

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ОБЪЕКТАХ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ»

УДК 621.6

Г.А. Фокин, д.т.н., ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»
(Санкт-Петербург, РФ)

Н.А. Забелин, к.т.н., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, РФ)

В.М. Иванов, ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»,
vivanov@sev.ltg.gazprom.ru

М.В. Смирнов, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье рассматривается ряд технологических решений, позволяющих вырабатывать электрическую и тепловую энергию, а также производить конденсацию воды с использованием тепловых процессов на газораспределительных и компрессорных станциях. В числе данных решений рассмотрены: утилизация тепла выхлопных газов газоперекачивающих агрегатов запатентованными в ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» установками в целях отопления помещений компрессорных станций, обогрева оборудования и коммуникаций; преобразование в электрический ток потенциальной энергии компримированного магистрального газа турбодетандерными установками, агрегатированными с надежными и доступными по цене серийными автомобильными электрогенераторами; конденсация воды для технологических нужд газораспределительных станций за счет понижения температуры газа при редуцировании. Представлены решения, повышающие ресурс оборудования объектов транспортировки и распределения природного газа: модернизация системы смазки и суфлирования маслобаков газоперекачивающих агрегатов; оптимизация работы аппаратов воздушного охлаждения газа; отбор сжатого воздуха от осевого компрессора газотурбинного двигателя и его кондиционирование для технологических нужд компрессорной станции; выработка газа из технологических коммуникаций компрессорных станций при плановых сбросах давления. Апробированные в производственных условиях комплексные энерго- и ресурсосберегающие решения ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» способствуют реализации задач корпоративной технической политики в области повышения эффективности производственных процессов и оптимизации капитальных и оперативных затрат. Решения соответствуют общемировым тенденциям энергосбережения и энергоэффективности производственных процессов, ориентированных на сохранение благоприятного энергетического и экологического баланса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРАНСПОРТИРОВКА ПРИРОДНОГО ГАЗА, ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ, КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ, ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ, ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, АППАРАТ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА, ТУРБОДЕТАНДЕР, ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РЕДУЦИРОВАНИЕ, КОНДЕНСАЦИЯ.

Сокращение потребления энергии и ресурсов всех видов – основной тренд развития цивилизации в настоящем и будущем. Запасы ископаемых энергоносителей не безграничны и не возобновляемы. Во многих странах мира действуют государственные программы развития, поддержки и стимулирования экологически

чистых и энергосберегающих технологий, снижения потребления углеводородных энергоносителей. Наиболее наглядным примером технологического прорыва последнего времени с глобальным эффектом энергосбережения может считаться разработка светодиодных осветительных приборов и последующий бурный рост их

производства. По данным Мирового энергетического совета, полная замена осветительных приборов накаливания на светодиодные приведет к сокращению потребления электроэнергии, расходуемой в мире на освещение, на 80 %.

Как поставщик наиболее экологически чистого углеводородно-

Fokin G.A., Doctor of Sciences (Engineering), Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Zabelin N.A., Candidate of Sciences (Engineering), Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Ivanov V.M., Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC, vivanov@sev.ltg.gazprom.ru

Smirnov M.V., Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

Integrated energy and resource-saving solutions used at the facilities of Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC

The article considers a number of technological solutions that allow to generate electric and thermal energy, as well as to produce water condensation using thermal processes at the gas distribution and compressor stations. Among these solutions are the utilization of the heat of exhaust gases from the gas pumping units, patented by Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC, for heating the compressor station rooms, the equipment and communications; transformation of the potential energy of compressed gas into electric current by turbo expanding assemblies, aggregated with reliable and affordable serial automotative power generators; condensation of water for technological needs of gas distribution stations due to drop of the gas temperature during reduction.

The solutions increasing the resource of equipment of the natural gas transportation and distribution facilities are presented, among them are the modernization of the lubrication and venting system of oil tanks of gas pumping units, the optimization of the operation of gas air-cooling units, the selection of compressed air from the axial compressor of a gas turbine engine and its conditioning for the technological needs of a compressor station, the gas production from technological communications of compressor stations under planned pressure relieves.

The integrated energy and resource-saving solutions of Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC, approved in the production conditions, contribute to the accomplishment of objectives of corporate technical policy in the field of increasing the efficiency of production processes and optimization of capital and operation costs. They also correspond with the global trends of energy saving and energy efficiency of operating processes oriented to maintaining a favorable energy and ecological balance.

KEYWORDS: NATURAL GAS TRANSPORTATION, GAS DISTRIBUTION, COMPRESSOR STATION, GAS DISTRIBUTION STATION, GAS TURBINE ENGINE, AIR-COOLING UNIT, OPTIMIZATION, HEAT UTILIZATION, TURBOEXPANDER, POWER GENERATOR, REDUCTION, CONDENSATION.

го топлива, ПАО «Газпром» имеет значительные возможности совершенствования технологических процессов и оборудования для сокращения потребления ресурсов и энергии от внешних источников.

Процессы транспортировки и распределения природного газа, специфика работы оборудования компрессорных (КС) и газораспределительных станций (ГРС) связаны с появлениями излишков тепловой и потенциальной энергии. Их утилизация и переработка могут повысить как автономность самих станций, так и общую эффективность работы всей газотранспортной системы. В структуре ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» разработан и частично апробирован ряд технологических решений, основанных на утилизации «энергетических излишков» и иных ресурсосберегающих технологиях. Ниже подробно рассмотрено каждое из них.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ГПА

Суммарная мощность 253 КС ПАО «Газпром» составляет 46,7 тыс. МВт. Их выхлопные газы уносят в атмосферу до 100 тыс. МВт. Норматив потребления тепловой энергии одной среднестатистической квартирой во время отопительного сезона составляет примерно 2,3 кВт. Тепла, уходящего в атмосферу с выхлопными газами на объектах ПАО «Газпром», достаточно для обогрева в зимнее время 40 млн квартир, т. е. большей части отечественной жилплощади, которая, согласно данным Росстата, составляет 61,5 млн квартир.

Прямое использование этой тепловой энергии для отопления невозможно, так как объекты газовой промышленности находятся вдалеке от крупных населенных пунктов. Существующие технологии преобразования тепловой энергии в электрическую как уни-

версальный и легко передаваемый на большие расстояния вид энергии сложны и нерентабельны. Требуется технологический прорыв – разработка и внедрение термоэлектрических преобразователей, способных эффективно работать в потоке выхлопных газов в температурном диапазоне 450–750 °С, не требующих больших эксплуатационных затрат и высококвалифицированного сервиса. Такие разработки активно ведут США и Япония. Если удастся разработать пригодный для монтажа на выхлопном тракте газотурбинной установки термоэлектрический преобразователь с КПД 3–5 % – это как минимум решит проблему электроснабжения собственных (эксплуатационных) нужд на предприятиях ПАО «Газпром».

В настоящее время возможно максимально использовать только легко снимаемую тепловую энергию выхлопа газоперекачи-

вающих агрегатов (ГПА) для всех коммунальных и технологических нужд КС.

Пример эффективного использования утилизированного тепла выхлопных газов ГПА имеется на КС «Северная» – объекте ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург». Четыре ГПА Taurus 60S мощностью по 5,2 МВт каждый оборудованы установками утилизации тепла (УУТ) тепловой мощностью по 4,65 МВт каждая. Все потребности в тепловой энергии промплощадки обеспечены утилизацией тепла выхлопных газов газотурбинных двигателей (ГТД). К их числу относятся: отопление зданий и сооружений; обогрев воздуха вентиляции укрытий ГПА; обогрев сосудов системы очистки газа; обогрев емкостей склада горюче-смазочных материалов; обогрев маслопроводов; обогрев дренажных трубопроводов; эффективная тепловая защита от обледенения крыш зданий в зимнее время (рис. 1) и т. п.

Особенность утилизационных установок, используемых на КС «Северная», заключается в том, что их включение в работу не приводит к ухудшению параметров ГТД, так как отбор потока выхлопных газов в теплообменный аппарат производится за счет скоростного напора и тяги дымоходной трубы, без изменения сопротивления основного выхлопного тракта, всегда полностью открытого. Алгоритм управления УУТ предусматривает предпусковую проверку приводных устройств регулирующих поворотных заслонок и постоянный контроль их корректной работы, контроль потока теплоносителя через теплообменный аппарат и эффективную запатентованную систему охлаждения от перегрева в аварийных ситуациях. Использование этой системы предотвращает рост температуры и давления, вскипание и гидроудары в УУТ при аварийной остановке циркуляции теплоносителя на продолжительное время, позволяет избежать вынужденной



Рис. 1. Наросты льда на кромках крыш зданий ГПА (а) и защита от них (б)
Fig. 1. Ice buildup on the roof edges of the gas pumping units buildings (a) and protection from that (b)

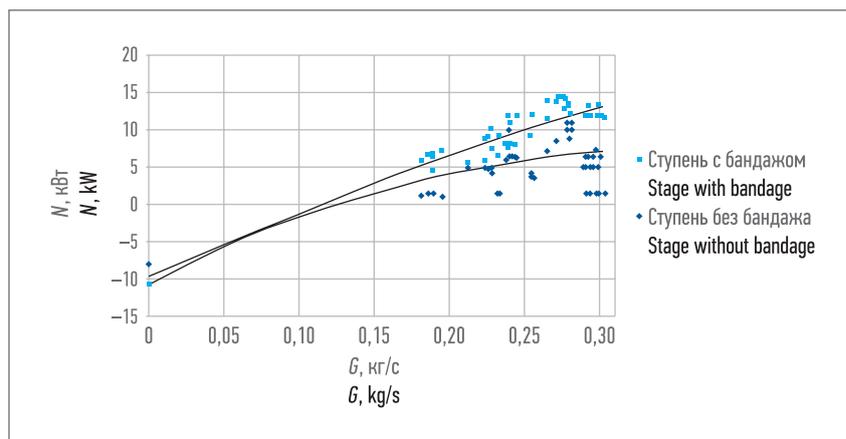


Рис. 2. Зависимость мощности турбодетандерного генератора N от расхода газа G
Fig. 2. Dependence of the turboexpander generator capacity N on the gas flow rate G

остановки ГПА по этой причине. Кроме того, при необходимости возможно проведение заполнения или слива теплоносителя из теплообменного аппарата УУТ без остановки агрегата [1].

Типовые технические требования введенного регламента Р Газпром 2-3.5-1105-2017 [2] предусматривают использование автоматизированного люка аварийного охлаждения утилизаторов тепла ГПА. Правообладателем патента на эту разработку является ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» [3].

ПЕРЕРАБОТКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ КОМПРИМОВАННОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗА

Электрогенераторных установок, использующих энергию магистрального газа при снижении давления на ГРС, в настоящее время разработано и сконструировано много, но число объектов, где бы они продолжительно и

эффективно работали, составляет единицы. Совместная разработка одного из вариантов исполнения турбодетандерного генератора мощностью 20 кВт, вырабатывающего стандартный трехфазный электрический ток, была выполнена сотрудниками ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», ООО «НТЦ «Микротурбинные технологии» и Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ). Была проведена серия лабораторных исследований и испытаний на промышленном объекте – ГРС «Северная» (рис. 2) [4].

Самым массовым вероятным потребителем электроэнергии турбодетандерных установок являются сами ГРС. В последнее время происходят изменения в структуре потребляемой ими электроэнергии: микропроцессорные слаботочные системы автоматики, связи, телемеханики и сигнализации, как правило,

имеют входной уровень питающего напряжения постоянного тока 24 В. Использование единого источника с таким уровнем напряжения снижает общее энергопотребление и позволяет обеспечить бесперебойность электроснабжения буферным подключением аккумуляторных батарей необходимой емкости. Такая технология отработана в маломощной альтернативной электроэнергетике. На заряд аккумуляторных батарей могут работать все возможные в условиях ГРС источники энергии: солнечные панели с широким диапазоном напряжений (до 200–250 В) и ММРТ-контроллером заряда на любой уровень напряжения батарей (12; 24; 48 или 96 В), имеющие КПД 96–98 %; ветрогенератор с собственным контроллером заряда аккумуляторных батарей; генераторная установка с любым механическим приводом (включая турбодетандер на перепаде давлений газа); термоэлектрические преобразователи и т. д.

При основном источнике системы электрогенерации на уровне напряжения постоянного тока 24 В для потребителей, питаемых переменным напряжением 220 или 380 В, используются трансформаторные преобразователи DC 24 В / AC 220–380 В с единичной мощностью 1,3–20,0 кВт, имеющие КПД до 96 % и гибкую систему телеметрии и дистанционного управления.

Все перечисленные элементы входят в единую систему, которая управляет и оптимизирует процессы, обеспечивает требуемый режим работы конкретного типа аккумуляторных батарей и их регенерацию, сохраняет в памяти всю историю и может вывести ее в виде трендов в любом сочетании параметров за выбранный интервал времени локально на любое устройство (компьютер, коммуникатор, телевизор) или дистанционно через Интернет по запросу. Оборудование производится в

России компанией «МикроАРТ», сотрудничающей с ПАО «Газпром».

При такой структуре электроснабжения ГРС требования к электрогенератору в составе турбодетандерной установки минимальны. Возможен самый простой и доступный по цене вариант – автономные электрогенераторы на 24 В от автомобильной или тракторной техники мощностью 1–3 кВт. Их конструкции отработаны и совершенны, ресурс составляет до 18 тыс. ч, продукция находится в розничной продаже по относительно низкой стоимости. Особое требование – бесщеточная конструкция с электронным возбуждением для работы в среде с природным газом при поступлении мелкодисперсной влаги и газового конденсата. В сочетании с простой в изготовлении и ремонте струйной турбиной (сменные элементы, имеющие низкий ресурс, – сопла и ротор) полноценная эксплуатация подобных турбодетандерных установок возможна эксплуатационным персоналом служб линейного производственного управления магистральных газопроводов, без привлечения специализированных подрядных организаций.

В настоящее время разработкой конструкции такой генераторной установки занимаются специалисты ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» совместно с учеными СПбПУ. Разработан и испытан в лаборатории опытный образец.

При целенаправленном снижении потребления электроэнергии ГРС и использовании таких электрогенераторных установок и альтернативных источников (солнечные батареи и ветрогенераторы) энергетически автономными могут быть до 50 % малых ГРС.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СМАЗКИ И СУФЛИРОВАНИЯ МАСЛОБАКОВ ГПА TAURUS 60S

С начала эксплуатации КС «Северная» в 1998 г. поэтапно было произведено несколько модер-

низаций в целях адаптации оборудования под используемое в России турбинное масло ТП-22С для снижения его удельного расхода и увеличения ресурса работы в системе смазки агрегатов.

Для снижения рабочей температуры масла была произведена замена температурных элементов термостатов, с температурой открытия ниже на 10 °С. В результате такой замены рабочий диапазон температуры масла снизился с 60–70 °С до 50–60 °С. Это является необходимым условием длительной работы отечественного масла ТП-22С.

Для снижения удельного расхода масла была проведена модернизация системы суфлирования маслобаков с целью убрать избыточное давление газов и паров масла в верхней зоне маслобаков (над поверхностью масла). Для этого были подобраны взрывобезопасные вентиляторы среднего давления отечественного производства FUA-1800B/SP и смонтированы на выходном фланце устройств улавливания масляных паров. С помощью системы автоматического регулирования и частотных преобразователей скорость вращения вентиляторов поддерживается такой, чтобы полностью убрать избыточное давление в маслобаках и сохранять его в пределах ± 2 мм вод. ст. на всех режимах работы ГПА [5].

Для тонкой очистки на молекулярном уровне и поддержания параметров масла на каждом ГПА при их работе в трассу в течение тысячи часов ежегодно работает установка электростатической очистки «Клинтек».

В результате проведенных модернизаций удельный расход масла снижен с 0,3 до 0,04 кг/ч. Необходимости в замене масла по показателям химических анализов не было с 1997 г., когда была произведена заливка маслобаков, до капитальных ремонтов. В 2009 и 2010 гг. все четыре ГТД прошли капитальный ремонт на заводе в Бельгии при наработ-

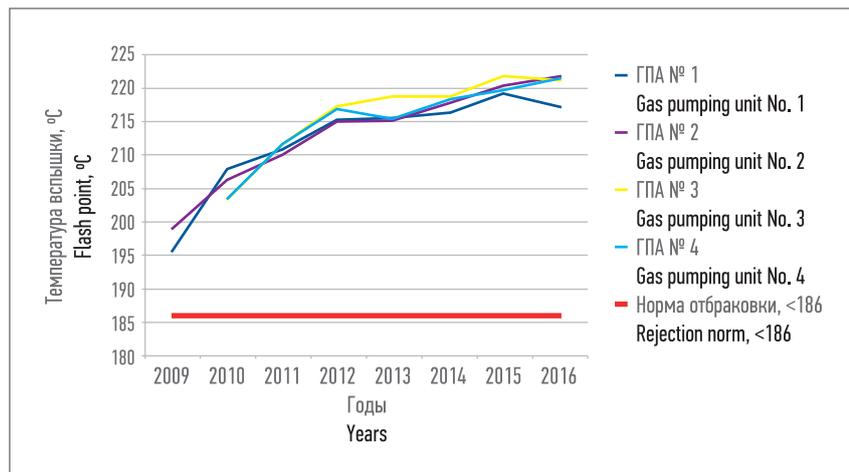


Рис. 3. Воздействие электростатической очистки на температуру вспышки паров масла в системе смазки ГПА Taurus 60S
Fig. 3. Effect of electrostatic cleaning on the flash point of oil vapors in the lubrication system of the Taurus 60S gas pumping unit

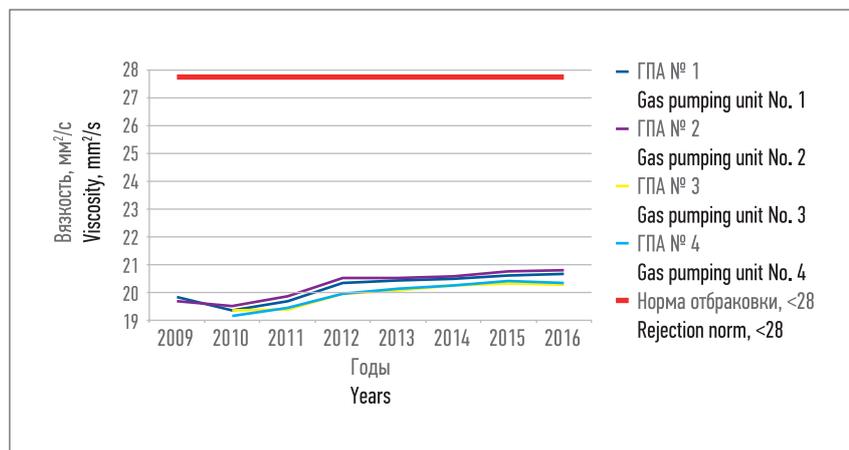


Рис. 4. Воздействие электростатической очистки на вязкость масла в системе смазки ГПА Taurus 60S
Fig. 4. Effect of electrostatic cleaning on the viscosity of oil in the lubrication system of the Taurus 60S gas pumping unit

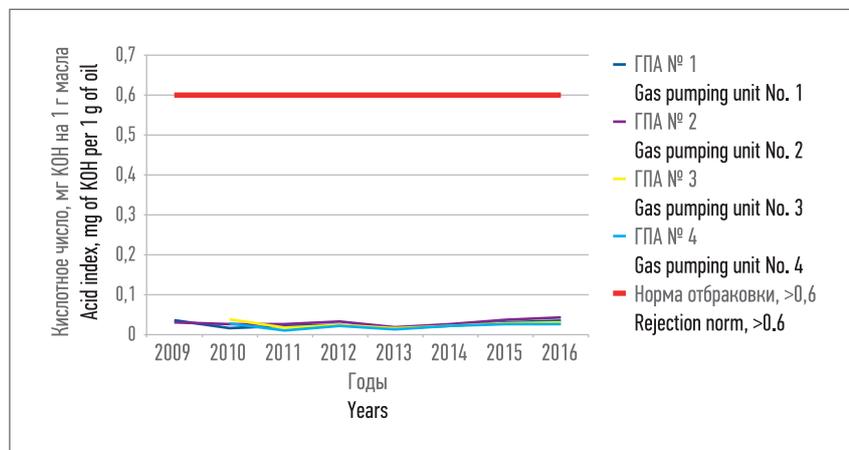


Рис. 5. Воздействие электростатической очистки на кислотность масла в системе смазки ГПА Taurus 60S
Fig. 5. Effect of electrostatic cleaning on the acidity of oil in the lubrication system of the Taurus 60S gas pumping unit

ке 30 тыс. ч и были заправлены свежим маслом. До настоящего времени масло, залитое в маслобаки ГПА после капитальных ремонтов, имеет безупречные показатели (рис. 3–6).

Графики (см. рис. 3–6) отражают процессы, происходящие в очищаемом масле, в результате высоковольтной ионизации и осаждения на картридже всех неоднородных соединений. Наиболее заметно воздействие электростатической очистки на температуру вспышки паров масла. Более подробно механизм воздействия высоковольтной электростатической очистки масла рассмотрен в статье [6].

Проведенные усовершенствования позволили снизить удельный расход масла в агрегатах на 80 % и довести наработку масла без необходимости замены до 30 тыс. ч.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АВО ГАЗА

Для увеличения пропускной способности газопровода и для повышения запасов газа в трубе после каждой КС газ необходимо охлаждать, что выполняется с помощью аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа путем обдува газа атмосферным воздухом. Для выполнения этой задачи необходимо затрачивать электроэнергию на привод электродвигателей вентиляторов АВО, получая при этом выгоду за счет экономии топливного газа на КС. Вместе с тем баланс затрат на электроэнергию и выигрыша в расходе топливного газа применительно к газопроводу с несколькими КС до сих пор является нерешенной задачей.

При охлаждении газа в АВО возникают большие затраты на электроэнергию для привода электродвигателей АВО. В то же время увеличение глубины охлаждения может приводить к уменьшению гидравлических потерь на следующем за КС участке газопровода, что приводит к снижению расхода топливного газа как на рассмат-

риваемой КС, так и на следующей за ней по потоку природного газа. Возникает довольно сложный и неоднозначный баланс между затратами на электроэнергию и экономией на топливном газе.

Для решения этой задачи была создана многофакторная математическая модель. Тестирование модели позволило выяснить, что значимыми факторами, влияющими на результаты расчета, являются: давление газа в магистральном газопроводе; расход газа через участок магистрального газопровода; температура грунта на глубине залегания магистрального газопровода; температура атмосферного воздуха; количество и порядок включенных АВО.

Для подтверждения адекватности модели были проведены испытания на участке газопровода «Грязовец – Ленинград», включающем три КС. В течение полутора месяцев по утвержденной программе проводилось последовательное отключение и включение АВО, фиксировалось изменение теплофизических параметров на КС, ГРС и крановых узлах, расположенных на магистральном газопроводе. Параллельно проводился расчет аналогичных параметров по разработанной модели. Сравнение результатов расчета и эксперимента показало, что максимальное отклонение по температуре составляет 2,5 %, а по давлению 0,3 %, что подтвердило адекватность модели и позволило выполнить основной массив расчетов для газопровода «Ямал – Европа».

Проведенные расчеты показали, что существуют сочетания параметров, при которых наблюдается ярко выраженный минимум затрат на транспортировку газа, но есть и такие сочетания параметров, при которых любое включение АВО приводит только к росту затрат.

Выполненная работа позволила сделать вывод, что в зависимости от расхода газа через газопровод, давления в газопроводе

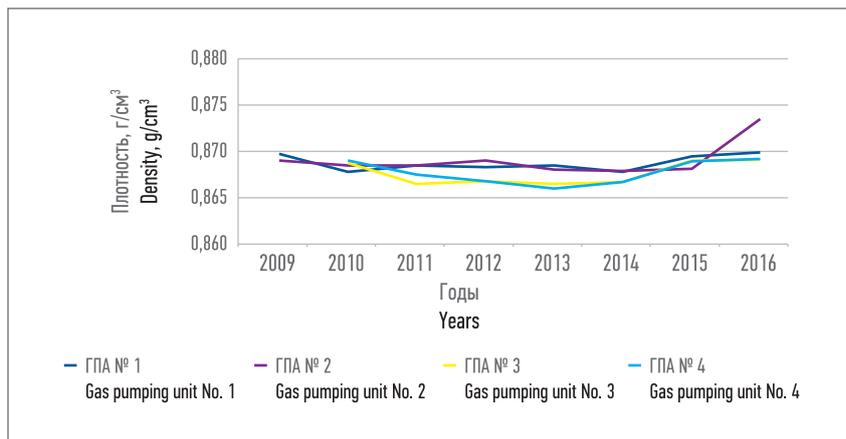


Рис. 6. Воздействие электростатической очистки на плотность масла в системе смазки ГПА Taurus 60S

Fig. 6. Effect of electrostatic cleaning on the oil density in the lubrication system of the Taurus 60S gas pumping unit

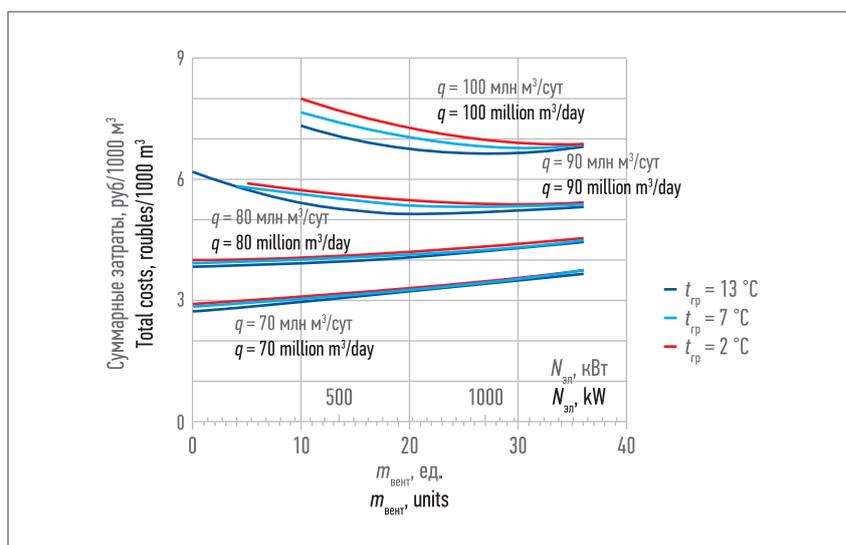


Рис. 7. Суммарные затраты на прокачку 1000 м³ газа в зависимости от числа включенных вентиляторов АВО на КС «Торжок» для участка «Торжок – Ржев» при температуре охлаждающего воздуха 10 °С и давлении в газопроводе 7,85 МПа: q – расход газа, м³/сут; t_{гр} – температура грунта, °С; N_{эл} – суммарная мощность электродвигателей, кВт; m_{вент} – число вентиляторов, ед. [7]

Fig. 7. Total costs for pumping 1000 m³ of gas, depending on the number of switched on fans of air-cooling unit on the Torzhok compressor station at the Torzhok – Rzhev section at a cooling air temperature of 10 °C and a gas pipeline pressure of 7.85 MPa: q – gas flow rate, m³/day; t_{гр} – soil temperature, °C; N_{эл} – total power of electric engines, kW; m_{вент} – number of fans, units [7]

и условий окружающей среды (в основном температуры грунта и температуры окружающего воздуха) существуют оптимальные режимы, при которых наблюдаются минимумы затрат на перекачку газа в денежном выражении при текущем заданном уровне цен на электроэнергию и топливный газ. Пример результатов расчета приведен на рис. 7.

Результаты работы были доложены на 25-й Международной газовой конференции в г. Куала-Лумпур (Малайзия) [7].

ВЫРАБОТКА ГАЗА ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ КС

Для возможности выработки газа из коммуникаций КС «Северная» при плановых остановках

и сбросах давления был спроектирован и смонтирован газопровод-перемычка. Он соединил точку ввода газа в котельную на территории КС с выходным коллектором ГРС «Красная Зорька», которая находится на расстоянии менее 100 м от промплощадки и имеет тот же уровень выходного давления – 0,3 МПа. Данная разработка ежегодно позволяет предотвратить сброс в атмосферу от 50 до 100 тыс. Нм³ природного газа, в зависимости от того, с какого участка и при каком давлении производится выработка. Учет и одорирование вырабатываемого газа производится оборудованием ГРС «Красная Зорька».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ

При редуцировании на ГРС небольшого потока газа высокого давления в обход подогревателя появляется беззатратный источник отрицательной температуры до –5 °С, с помощью которого можно решить проблему технического водоснабжения большого

количества малых ГРС, не имеющих собственных источников водоснабжения. Для таких станций практикуется доставка воды, что влечет за собой транспортные расходы и занимает рабочее время персонала. В ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» таких ГРС 228 (из общего числа 244).

Получение потребляемого количества воды возможно методом конденсации из атмосферного воздуха в летнее время и из дымовых газовых котлов отопления ГРС зимой. Охлаждение атмосферного воздуха с помощью теплообмена с холодным газом обеспечит возможность конденсации влаги 2–5 л/сут. Такого количества воды достаточно для технических нужд малых ГРС.

Конструкция установки конденсации воды должна быть безопасной, простой в изготовлении, без использования сложной и дорогостоящей автоматики.

ВЫВОДЫ

Энергоэффективные и ресурсосберегающие решения, разработанные и частично апробированные на объектах ООО «Газпром

трансгаз Санкт-Петербург», способствуют снижению эксплуатационных расходов и повышают эффективность работы газотранспортного и газораспределяющего оборудования, тем самым выполняя задачи и требования технической политики ПАО «Газпром».

Обозначенные решения также способствуют реализации корпоративной экологической политики, поскольку ведут к повышению автономности производственных объектов газотранспортных предприятий от внешних источников электрической и тепловой энергии, а также воды, утилизируют тепловыделения, оптимизируют потребление углеводородных ресурсов.

Обсуждение данных решений ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» на отраслевых совещаниях ПАО «Газпром» и их возможное тиражирование могут привести к масштабному сокращению энергопотребления предприятиями компании, положительно сказавшись на общей эффективности производственной деятельности. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.М. Повышение безопасности систем утилизации тепла отходящих газов ГТУ на КС «Северная» ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» // Газотурбинные технологии. 2017. № 4. С. 26–28.
2. Р Газпром 2-3.5-1105-2017. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты с двухсекционными центробежными компрессорами. Типовые технические требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/437196336> (дата обращения: 29.05.2018).
3. Патент ПМ № 175323. Установка утилизации тепла отходящих газов газоперекачивающих агрегатов / А.Б. Федотов, С.И. Сайченко, В.М. Иванов. Заявка № 2017111109, 03.04.2017. Дата регистрации: 30.11.2017. Патентообладатель: ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург».
4. Рассохин В.А., Забелин Н.А., Матвеев Ю.В., Харисов И.С. Методика проведения экспериментальных исследований ступеней турбоустановок малой мощности на стендах СПбГПУ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. № 142. С. 119–122.
5. Данилкин В.Н., Иванов В.М. Усовершенствование системы суфлирования маслобаков турбоагрегатов «Тaurus 60С» компании Solar // Арматуростроение. 2005. № 7. С. 55.
6. Иванов В.М., Сайченко С.И., Федотов А.Б. Опыт использования отечественного турбинного масла ТП-22С на ГПА Taurus 60S компании Solar (США) // Газотурбинные технологии. 2017. № 1. С. 26–28.
7. Fokin G. New Approach to Solving the Problem of Energy Efficiency Increase in the Operation of Major Gas Transportation System // 25th World Gas Conference "Gas: Sustaining Future Global Growth". Kuala Lumpur, 2012. 23 p.

REFERENCES

1. Ivanov V.M. Improving the Safety of the Waste Heat Recovery Systems of the Gas Turbine Unit at the Severnaya Compressor Station of Gazprom transgaz Saint Petersburg. Gazoturbinnye tekhnologii = Gas Turbine Technologies, 2017, No. 4, P. 26–28. (In Russian)
2. Recommendations R Gazprom 2-3.5-1105-2017. Gas-Turbine Gas-Pumping Units with Two-Section Centrifugal Compressors. Typical Technical Requirements [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/437196336> (access date: May 29, 2018). (In Russian)
3. Patent PM No. 175323. Heat Recovery Unit for Waste Gases from Gas Pumping Units / A.B. Fedotov, S.I. Saychenko, V.M. Ivanov. Application No. 2017111109, April 3, 2017. Registration date: November 30, 2017. Patentee: Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC.
4. Rassokhin V.A., Zabelin N.A., Matveev Yu.V., Kharisov I.S. Methodology of Conducting Experimental Studies of Stages of Low-Power Turbo Units at the Saint Petersburg State Polytechnical University Stands. Nauchno-tekhnicheskie ведомosti SPbGPU = Scientific and Technical Bulletin of the Saint Petersburg State Polytechnical University, 2012, No. 142, P. 119–122. (In Russian)
5. Danilkin V.N., Ivanov V.M. Improvement of the System for Venting Oil Tanks of Taurus 60S Turbo Units of Solar Company. Armaturostroenie = Valve Industry, 2005, No. 7, P. 55. (In Russian)
6. Ivanov V.M., Saychenko S.I., Fedotov A.B. Experience in the Use of TP-22S Domestic Turbine Oil at Taurus 60S Gas Pumping Unit of Solar Company (USA). Gazoturbinnye tekhnologii = Gas Turbine Technologies, 2017, No. 1, P. 26–28. (In Russian)
7. Fokin G. New Approach to Solving the Problem of Energy Efficiency Increase in the Operation of Major Gas Transportation System. 25th World Gas Conference "Gas: Sustaining Future Global Growth". Kuala Lumpur, 2012, 23 p.