

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБИННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛА НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 621.311

А.П. Черных, ООО НПП «Газэлектроприбор» (Москва, РФ), g-e-p@mail.ru

В статье рассматривается отечественная разработка турбинной установки, вырабатывающей электричество за счет энергии компримированного и поступающего по трубопроводу природного газа. Рассмотрены перспективы применения данной энергетической установки в качестве альтернативного источника возобновляемой энергии на труднодоступных объектах ПАО «Газпром».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ, ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА, ЭНЕРГИЯ КОМПРИМИРОВАННОГО ГАЗА, КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ГАЗА В ТРУБОПРОВОДЕ, ТУРБОДЕТАНДЕР, МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР.

Транспортируемый по магистральным газопроводам газ обладает потенциальной энергией сжатого состояния и кинетической энергией движения по трубе. Эта энергия передается газу на дожимных компрессорных станциях, и на ее создание затрачивается до 10 % перекачиваемого газа. Часть переданной энергии теряется на нагрев окружающей среды и на преодоление трения о стенки газопроводов. Основная же доля, являющаяся потенциальной энергией сжатого газа, рассеивается на пунктах редуцирования газа. Ежегодно в системах газораспределения на газораспределительных станциях (ГРС), компрессорных станциях (КС) и газораспределительных пунктах (ГРП) ПАО «Газпром» вследствие снижения давления газа до заданного уровня перед подачей его потребителям теряется до 50 млрд кВт/ч энергии. В процентном соотношении этот энергопотенциал распределяется следующим образом: на ГРС – 30 %, КС (топливный газ) – 15 %, ГРП – 55 %.

В России более 4 тыс. ГРС, 254 КС и более 120 тыс. ГРП и узлов учета. Около 1000 объектов имеют энергопотенциал для установки турбодетандерных

электрогенерирующих агрегатов мощностью более 300 кВт, на остальных можно использовать подобного типа устройства мощностью 0,2 кВт и больше. Общая максимальная мощность энергогенерирующих установок может составить 5700 тыс. кВт. Если даже применять турбодетандеры только на вновь строящихся или неэлектрифицированных объектах, потенциал энергосбережения остается достаточно объемным и привлекательным. Существует также возможность изготовления энергогенерирующих устройств для установок подготовки газа (УПГ) и линейной части магистральных газопроводов (МГ).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ГАЗА

В целях полезного использования перепада давления нашим научно-производственным предприятием разработаны и активно внедряются источники электроэнергии и тепла небольшой мощности для собственных нужд ГРС и ГРП с приводом от турбины, помещенной в газовый поток. В этих установках реализован энергосберегающий, автономный, экологически чистый процесс получения электричества и тепла.

Обычно снижение давления газа, транспортируемого по магистральному газопроводу, происходит в два этапа. Первый этап – это ГРС, где давление от транспортного (5,5–8,0 МПа) снижается до 1,2–1,6 МПа. Второй этап – снижение давления газа на газораспределительном пункте (ГРП) до значения, необходимого потребителю (0,1–0,3 МПа).

Выпускаемые предприятием турбодетандерные установки рассчитаны на мощность от 0,2 до 20 кВт, отличаются простотой конструкции и достаточной надежностью. Поскольку работа, отводимая из потока газа турбиной, невелика, температура газа снижается незначительно и не влияет на работу регуляторов давления газа. В то же время для предотвращения отрицательного влияния пониженной температуры на работу регуляторов одним из схемных решений установки турбины является расположение ее после регулятора, но до вывода импульсной трубки командного давления регулятора. В этом случае охлажденный газ, протекая по газопроводу до потребителя, постепенно приобретает температуру окружающей среды вследствие теплопередачи через стенку трубы и трения.

Chernykh A.P., Gazelektppribor LLC, Research and Development Enterprise (Moscow, RF), g-e-p@mail.ru

Use of the turbine driver to produce electric energy and heat at gas industry facilities

The article considers the national development of a turbine driver that produces electricity through the energy of compressed gas received via pipelines. Prospects of using the energy unit as an alternative renewable energy sources at Gazprom PJSC's hard-to-reach facilities, are reviewed.

KEY WORDS: ENERGY SAVING, ALTERNATIVE RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY GENERATING UNIT, ENERGY OF COMPRESSED GAS, KINETIC ENERGY IN A PIPELINE, TURBO EXPANDER, MAGNETOHYDRODYNAMIC GENERATOR.

В зависимости от рабочего давления и от допустимого срабатываемого перепада установки автономного электроснабжения по конструктивному исполнению можно разделить на системы мощностью от 0,2 до 5,0 кВт для ГРП и от 2 до 20 кВт для ГРС. Установки для ГРП комплектуются генераторами постоянного тока с напряжением от 12 до 48 В, что позволяет использовать их как станции катодной защиты, электропитания контрольно-измерительных приборов и телемеханики, а также для освещения. При необходимости установки комплектуются блоками преобразования напряжения до 220 или 380 В с частотой тока 50 Гц. Наряду с задачей энергосбережения основным преимуществом применения автономных источников электроэнергии на ГРП служит отсутствие необходимости в подводе линии электропередач.

В зависимости от эксплуатационных условий установки могут быть выполнены:

а) в отдельном блок-боксе (рис. 1);

б) в помещении ГРС или ГРП. В этом случае электрогенерирующий модуль с запорно-регулирующей арматурой находится в технологическом помещении ГРС или ГРП, а система КИПиА, электрошкаф и инвертор – в операторной.

Возможна также компоновка с отдельным электрогенерирующим модулем с постоянным напряжением на выходе для непосредственного электропитания катодной защиты и других

Габаритные и присоединительные размеры электрогенерирующего модуля

Мощность, кВт	L, мм	D, мм	Присоединительный фланец	d, мм
1	1050	405	1-50-63	58
2	1050	405	1-50-63	58
3	1250	405	1-50-63	58
5	1490	470	1-50-63	58
10	1490	470	1-50-63	58
20	1780	530	1-100-63	110

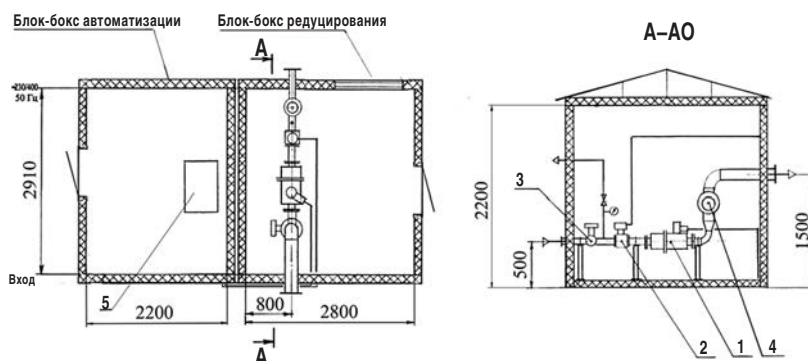


Рис. 1. Размещение турбодетандерной установки в отдельном блок-боксе

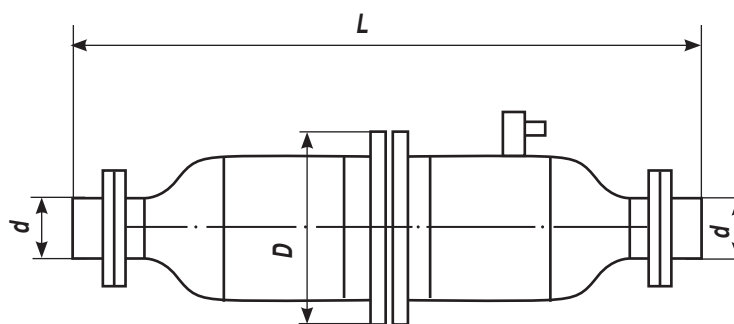


Рис. 2. Схема снятия габаритных размеров с электрогенерирующего модуля

потребителей постоянного тока (фото 1).

Габаритные и присоединительные размеры электрогенерирующего блока турбодетандерных станций для ГРС на давление 6,3 МПа показаны на рис. 2 и в таблице.

Принципиальная электрическая схема подключения турбодетандера в электросистему ГРС разработана согласно стандарту ПАО «Газпром».

Для контроля за режимами работы турбодетандерного агрегата предусмотрена возможность под-



Фото 1. Турбодетандер электропитания 2 кВт (Кабардино-Балкария)



Фото 2. Турбодетандерная установка электропитания узла учета и телеметрии

случае является газ, перекачиваемый в контуре компрессора. Подогретый таким образом газ или греет помещение непосредственно через нагревательный регистр, или нагревает воду в системе водяного отопления через теплообменник (рис. 3). В данном случае комплексно и экологически чисто решаются задачи утилизации «бросовой» энергии перепада давления газа, экономии на строительстве и комплектации котельного отделения, а также пожаробезопасности.

Основным элементом предлагаемых установок является осевая или центробежная турбина.

Разработаны методика расчета и компьютерная модель профилей рабочего колеса турбины и соплового аппарата в зависимости от параметров протекающего газа. На рис. 4 показан пример результатов расчета турбинной ступени. В настоящее время ведутся работы по созданию математической модели турбодетандерной станции электропитания.

В ходе разработки турбина проходит испытания на газодинамическом стенде. В результате продувок воздухом мы получаем номограммы зависимости мощности и частоты вращения рабочего колеса турбины от расхода, степени парциальности, перепада давления и температуры воздуха. Полученные экспериментальные данные пересчитываем с поправкой на природный газ для оптимизации параметров потока в трубопроводе, куда будет помещена турбина (рис. 5).

На основе рассматриваемой турбодетандерной станции катодной защиты и электропитания (ТСКЗиЭ) разработан принципиально новый ГРП с электроприводным регулятором давления (рис. 6), с возможностью выработки электроэнергии для различных нужд и технического учета газа. Такой ГРП может стать основополагающим элементом «интеллектуальных» газовых се-

соединения к контроллеру системы автоматического управления GSM-модуля для передачи параметров работы на диспетчерский пункт. Развитием данного направления работ служит создание источников электроснабжения систем телемеханики и связи, передающих на центральный диспетчерский пункт данные с ГРС и ГРП о расходах, давлении и температуре газа (фото 2).

В газораспределительных пунктах для штатной работы регуляторов давления, отсечных и сбросных клапанов, контрольно-измерительных приборов предусмотрен подогрев помещения в

зимнее время года. Для этого к ГРП пристраивается отопительный бокс, где установлен водяной газовый котел, к которому предусмотрен подвод отдельной линии редуцирования газа с отдельным счетчиком. Нами разработан турбонагреватель, преобразующий потенциальную энергию избыточного давления газа непосредственно в тепло. Установка представляет собой газодинамический нагреватель, использующий повышение температуры газа при его сжатии в контуре компрессора. Энергия для привода компрессора снимается турбиной из потока газа. Теплоносителем в данном

тей и шагом к шестому технологическому укладу в нефтегазовой отрасли.

Огромный потенциал энергии сжатого газа находится непосредственно на газовых промыслах, где его скопление произошло в силу естественных природных условий. Известны турбодетандерные устройства, применяемые на установках подготовки газа (УПГ) для его охлаждения и осушки. Установка турбодетандера для выработки электроэнергии также возможна на выходе уже очищенного газа после дросселей и фильтров-сепараторов. Такая турбодетандерная станция мощностью 20 кВт эксплуатируется на малодебитном месторождении Ракитное (фото 4).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТУПАЮЩЕГО ПО ТРУБЕ ГАЗА

В настоящее время главную роль в системе газоснабжения России играют магистральные газопроводы. Одной из важнейших задач отраслевой энергетики в связи с этим остается электроснабжение линейных потребителей. Электроэнергия на магистральных газопроводах расходуется на электрохимическую защиту, электропитание приводов запорной арматуры, устройства телеметрии и телемеханики, связи, КИП и т. д.

Нами предлагается электрогенерирующее устройство, предназначенное для выработки электроэнергии на линейных участках магистральных газопроводов посредством помещения в газовый поток турбины вертикального типа, сопряженной с электрогенератором. Данная турбина, воспринимая потенциальную и кинетическую энергию потока газа, создает в газопроводе минимальный перепад давления, который совершенно не критичен для потребителей и эксплуатирующих служб, но при этом позволяет вырабатывать необходимое количество электроэнергии.



Фото 3. Турбонагреватель, преобразующий потенциальную энергию избыточного давления газа

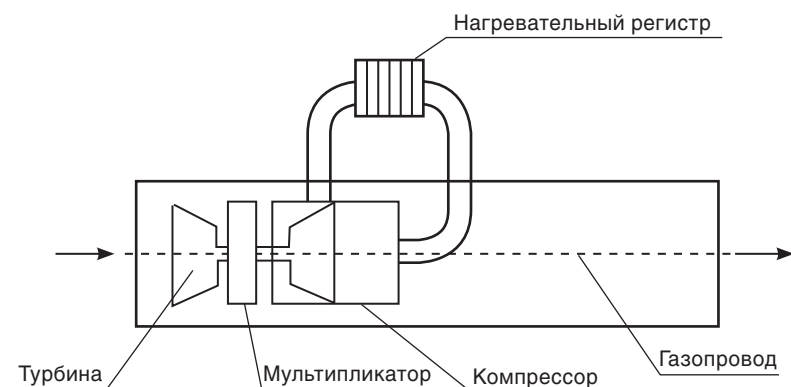


Рис. 3. Схема работы турбонагревателя

Принцип работы изделия состоит в том, что турбина телескопически выдвигается в газовый поток, где начинает вращаться под воздействием движущегося газа и приводит во вращение электрогенератор, вырабатывающий электрический ток. Далее ток из корпуса изделия, находящегося под давлением до 10,0 МПа, выводится наружу через специальный гермовывод, включающий силовые и управляющие проводники. Периодический вход и выход турбины из трубы необходим для того, чтобы обеспечить беспрепятственное прохождение по магистральному газопроводу очистных и диагностических поршней. Механизм микролифта, осуществляющего выдвигание турбины в трубу, может иметь ручной, пневматический, гидравлический или электрический привод. В случае

использования автоматизированного микролифта возможно дистанционное управление агрегатом с диспетчерского пункта с помощью системы телемеханики.

Типоразмерный мощностной ряд изделий планируется в диапазоне от 0,5 до 15,0 кВт. Устройство может поставлять напряжение 24 и 48 В постоянного тока или 220 и 380 В переменного тока в зависимости от потребностей заказчика. В настоящее время разработаны три основные конструкции изделия по виду турбин, произведены расчеты мощности в зависимости от параметров газового потока, изготовлен, испытан на стендах и подготовлен к опытно-промышленной эксплуатации действующий образец (фото 5).

Монтаж изделия возможен на строящихся или реконструируемых газопроводах, в местах кра-

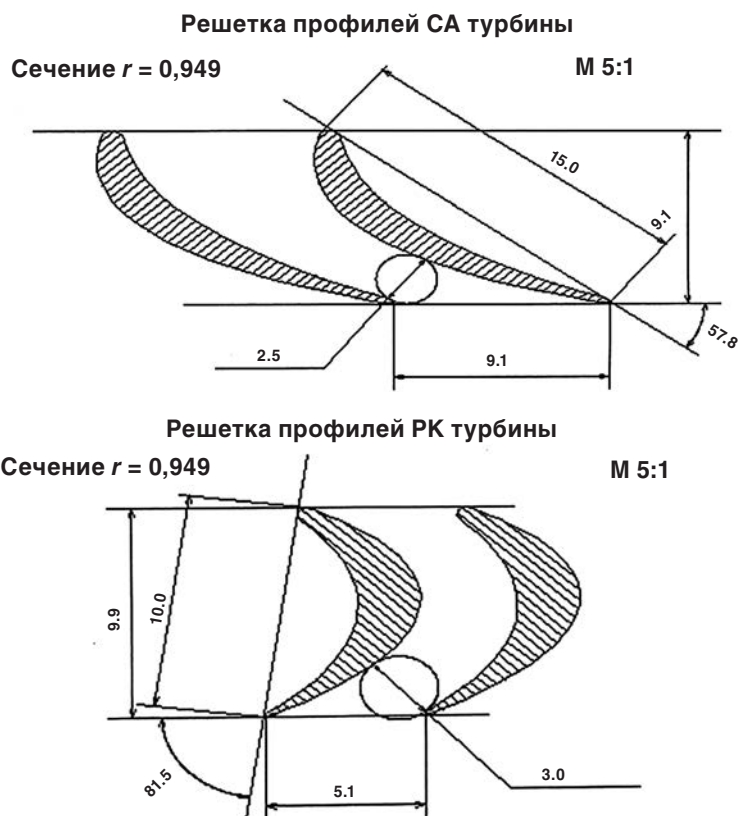


Рис. 4. Пример результатов расчета турбинной ступени

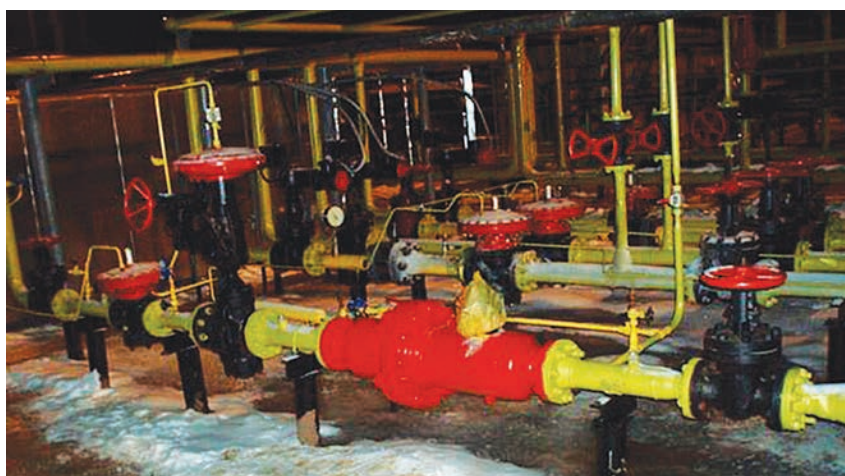


Фото 4. Турбодетандерная станция на месторождении Ракитное

новых развязок, методом приварки патрубка с фланцем или тройника с крепежным фланцем. Также можно смонтировать изделие на действующем газопроводе с использованием технологии «холодной» врезки, не сбрасывая давление газа. Данный источник электроэнергии предлагается для замены автономных блочных энергетических установок, работающих на основе термо-

электрических генераторов (ТЭГ), твердотопливных элементов, дизель-генераторов, а также для импортозамещения паровых турбоустановок ORMAT, газогенераторов HONDA, микротурбинных установок CAPSTONE и др. Проведенное предварительное технико-экономическое сравнение предлагаемой установки с ТЭГами, твердотопливными элементами и установками

ORMAT показало окупаемость на этапе капитального строительства, а с дизельными и газовыми генераторами – до полугода, вследствие отсутствия потребления топлива. Предлагаемая установка, не сжигая газ, из энергии его потока в десятки мегаватт извлекает сотые доли процента, но в нужном месте, там, где требуется электроэнергия.

Предлагаемое решение для электроснабжения линейных потребителей электроэнергии позволит в рамках программ импортозамещения:

- организовать электропитание приводов шаровых кранов газопровода «Сила Сибири» и «Ухта – Торжок»;
- заместить дорогостоящие установки ORMAT с замкнутым паровым циклом и осуществить электроснабжение задвижек MOV и SKADA;
- организовать электропитание электрогидроприводов для дистанционного управления импортными шаровыми кранами диаметрами от 300 до 1400 мм, рассчитанными на рабочее давление 9,8 Па;
- заместить термоэлектрические генераторы с низким КПД преобразования;
- заместить микротурбинные установки CAPSTONE, которые требуют высокой степени очистки газа, что не всегда возможно обеспечить. При этом высокие рабочие обороты (до 92 000 об/мин) при уменьшении массогабаритных показателей отрицательно сказываются на ресурсе, который на этих установках мал;
- заместить на участках, где имеется достаточный поток газа, поршневые электрогенераторы, которые вследствие возвратно-поступательного движения поршня имеют ограниченный ресурс.

ОТ РОТОРА – К МАГНИТУ

В ПАО «Газпром» широко применяются электрические генераторы (ТЭГ) на основе термоэлектрических модулей, вы-

рабатывающих электричество из разницы температур поверхностей. Конструкция представляет собой газовую горелку, разогревающую тепловую трубу, на поверхности которой расположены термоэлементы; снижение температуры «холодной» стороны термоэлемента обычно обеспечивается жидкостными радиаторами. Коэффициент полезного действия таких установок редко достигает 5 %, т. е. для получения 4 кВт электрической мощности необходимо произвести около 100 кВт тепловой. Мы предлагаем в случаях использования ТЭГов на пунктах понижения давления применить установку, превращающую механическую энергию в тепловую без сжигания газа. В показанном на рис. 7 устройстве термоэлементы «горячей» стороной контактируют с поверхностью неподвижного стального цилиндра, разогреваемого токами Фуко, созданными магнитным полем вращающегося ротора с закрепленными в нем постоянными магнитами. Ротор приводит в движение рабочее колесо турбины.

Низкая температура «холодной» стороны термоэлементов обеспечена детандированным, охлажденным после турбины газом. На сегодняшний день отечественные предприятия выпускают цилиндрические термоэлементы, подходящие для применения в предлагаемом изделии.

Установка рассматриваемой турбины возможна не на всех участках газопроводов. К примеру, наибольшей энергонасыщенности поток газа достигает на промысле до дросселя и сепаратора. Тяжелые условия из-за наличия механических примесей и капельной жидкости зачастую не позволяют установить в этом месте турбодетандер. Для такого участка предлагается изделие, где проходящим газом посредством эффекта струйного насоса придается движение магнитной жидкости по специальному маг-

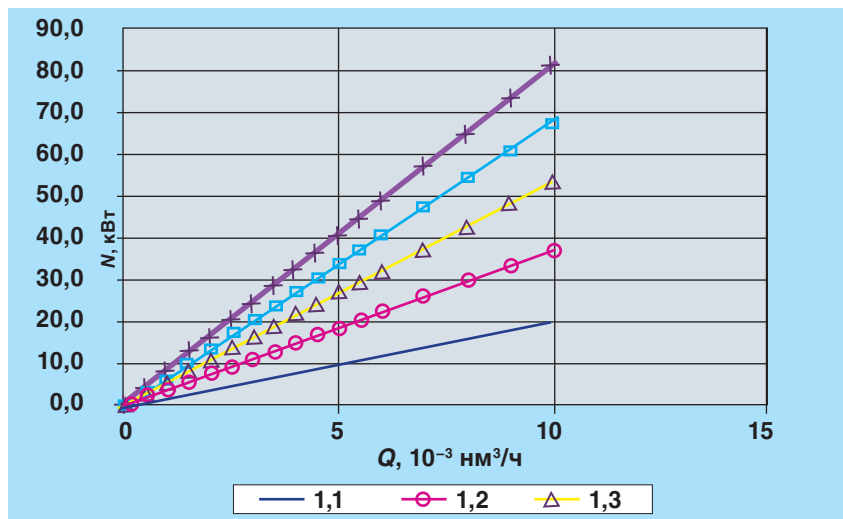


Рис. 5. Располагаемая мощность турбины в зависимости от степени расширения и расхода (КПД турбины 0,75)

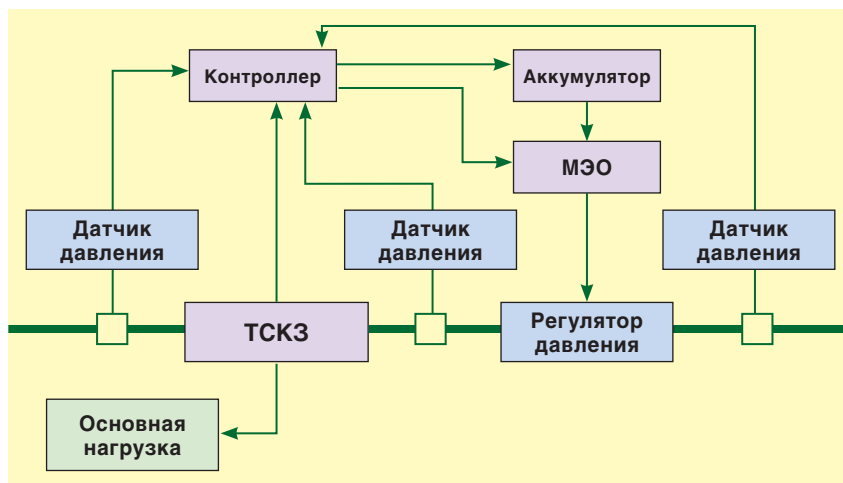


Рис. 6. Схема управления регулятором давления с помощью ТСКЗ

нитопроницаемому кольцевому трубопроводу. Далее системой постоянных магнитов, установленных снаружи трубопровода, необходимо сориентировать магнитные частицы жидкости, а системой катушек статора снять электрический ток. Система постоянных магнитов не даст улечься частицам магнитной жидкости с проходящим потоком газа, а дополнительно препятствовать этому будет выходной электромагнитный сепаратор. Если газом «закрутить» по электроизолированному кольцу электролит также с сориентированными с помощью постоянных магнитов частицами, то электрический ток можно бу-



Фото 5. Поточковая турбина выдвинута микролифтом в трубопровод

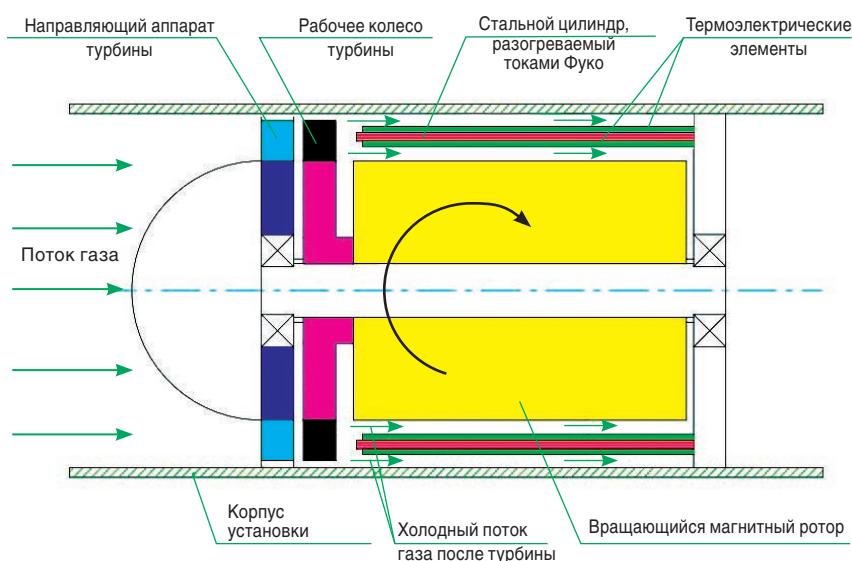


Рис. 7. Проект установки, превращающей механическую энергию в тепловую без сжигания газа

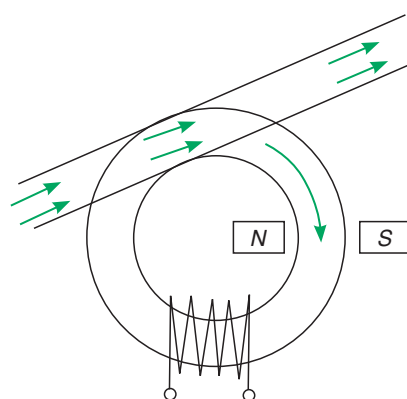


Рис. 8. Принцип действия магнитодинамического генератора (МГД)

дет снимать с расположенных внутри трубы электродов.

Данное изделие является магнитогидродинамическим (МГД) генератором (рис. 8), использующим кинетическую и потенциальную энергию газового потока и позволяющим заменить колесо турбины в месте, где оно не выдерживает механических нагрузок. Также в этом случае мы не нуждаемся в подшипниковых опорах, что снимает проблему тяжелых условий эксплуатации. Энергонасыщенный газовый поток на данном участке технологической цепи подготовки газа даже при невысоком суммарном КПД установки позволит снимать достаточное

количество энергии. В лабораторных условиях подтверждена работоспособность метода, но для доведения до рабочего образца необходимо проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Все рассматриваемые в данной статье установки обладают рядом следующих преимуществ.

1. Не требуется сжигание топлива.
2. Обеспечивается полная автономность.
3. Электроэнергия и тепло вырабатываются экологически чисто.
4. Полезно используются потенциальная и кинетическая энергия газа.

5. Значения параметров движущегося газа допустимы в широком диапазоне.

6. Нет необходимости прокладывать линии электропередач.

7. Конструкция системы надежна и вандалоустойчива.

В разработанных энергоустановках реализованы технические решения, которые запатентованы на территории Российской Федерации в качестве изобретений и полезных моделей. Часть энергоустановок внедрена на объектах нефтегазовой отрасли. Создание и внедрение подобного оборудования для бестопливного, «зеленого» получения электроэнергии, тепла и холода помогает сохранять природу, а в труднодоступных ее уголках – осуществлять надежное функционирование объектов Единой системы газоснабжения страны. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашин радиального типа: Учебник для вузов по специальности «Криогенная техника». – М.: Машиностроение, 1981. – 367 с., ил.
2. Чигрин В.С. Конструкция компрессоров и детандеров холодильных установок. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 131 с.
3. Иванов В.Л., Леонтьев А.И., Манушин Э.А. и др. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 592 с.
4. Степанец А.А. Энергосберегающие турбодетандерные установки. – М.: Недра, 1999. – 258 с.

REFERENCES

1. Epifanova V.I. Compressor and Expansion Radial-Type Turbo Machines – A Textbook for Higher Education Institutions Majoring in Cryoengineering. Moscow, Mechanical Engineering, 1981, 367 p., illustrated. (In Russian)
2. Chigrin V.S. Construction of Compressors and Expanders of Refrigeration Units. Kharkiv, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", 2002, 131 p. (In Russian)
3. Ivanov V.L., Leontyev A.I., Manushin E.A., et al. Heat Interchange Apparatuses and Cooling Systems of Gas Turbine and Combined Units. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2003, 592 p. (In Russian)
4. Stepanets A.A. Energy Saving Turbo Expander Units. Moscow, Nedra, 1999, 258 p. (In Russian)