

ВИХРЕВОЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОИСТОЧНИК ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

© 2007 В. В. Бирюк¹, Д. В. Лобзин², Г. А. Смоляр²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²НПО «Арсенал», г. Киев

Рассмотрены вопросы применения устройств на базе вихревого эффекта энергетического разделения газа и термоэлектрического преобразователей для нужд газораспределительных станций. Подробно приведены результаты исследования промышленного образца термоэлектрического агрегата генерации электроэнергии мощностью 8,4Вт. Дополнительно рассмотрена вихревая система обогрева редукторов давления сжатого газа типа РЛДКМ-100.

При эксплуатации газораспределительных станций (далее ГРС) возникает ряд технологических проблем, существенно снижающих надежность их работы. Это, в первую очередь, - обмерзание элементов затвора регуляторов давления при дросселировании газа, приводящее к изменению проходного сечения в каналах и выводу регулятора из строя. Другая проблема - обеспечение электропитанием штатного оборудования ГРС. Современные компьютеризованные комплексы коммерческого учета газа, автоматизированные системы управления регуляторами давления, автоматические системы одоризации требуют надежного и стабилизированного электропитания, которое не может быть обеспечено сетевым электропитанием в современном его состоянии.

Чаще всего эти проблемы решаются сжиганием небольшой части природного газа, проходящего через ГРС, в котлах-подогревателях газа, отопительных котлах водяного обогрева регуляторов давления, термоэлектрических генераторах с газовыми горелками в качестве источника тепла и т.п.

Используются также энергетические ресурсы самого газового потока, в частности потенциальная энергия сжатого газа. Этот привлекательный источник энергии используется в турбодетандерах [1], струйно-реактивных турбинах [3]. Вопросу их применения посвящено множество исследований и разработок.

Потенциальную энергию сжатого газа можно также использовать для обогрева ре-

гуляторов давления, сепарации влаги, генерации электроэнергии и как источник энергии для работы вихревых труб [2...4].

Использование энергии сжатого газа часто преподносится авторами разработок (особенно турбодетандеров) как ее утилизация, однако это не так. Рассмотрим газораспределительную станцию как термодинамическую систему, у которой параметры на входе и выходе заданы в определенном диапазоне. Причем вне зависимости от процессов, проходящих внутри системы, параметры на входе и выходе системы должны соответствовать заданным.

Определенные стандартами газовой промышленности диапазоны параметров газа на входе и выходе ГРС приведены в таблице 1.

Параметры газа, определенные стандартом, на входе в ГРС: давление (изб.) 1,7...5,5 МПа, температура 278...288 К; на выходе: при максимальном расходе газа давление 0,6...1 МПа, при минимальном расходе газа - 0,1 МПа, температура в этих случаях одинакова 273...278 К.

При выполнении указанных требований к температуре выходного потока газа о возможности "утилизации" какой-либо энергии речь уже не идет. Даже при простом редуцировании запаса потенциальной энергии сжатого газа не достаточно для обеспечения заданной температуры на выходе ГРС и газ приходится подогревать.

Рассмотрим три возможных процесса расширения газа от начальных параметров $P_1 = 3,5$ МПа и $T_1 = 15^\circ\text{C}$ до конечного давле-

Таблица 1. Располагаемые параметры газового потока на газораспределительной станции

| Режим работы | Параметры газа | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|
| | На входе | | На выходе | |
| | Давление (изб.), кгс/см ² | Температура, °С | Давление (изб.), кгс/см ² | Температура, °С |
| Максимальный расход газа | 18...55 | 5...15 | 6 | 0...5 |
| Минимальный расход газа | 18...55 | 5...15 | 1 | 0...5 |

ния $P_0 = 0,6$ МПа: редуцирование, расширение в турбодетандере и расширение в вихревой трубе.

Для термодинамического сравнения процессов выбрано такое соотношение параметров, чтобы при простом редуцировании выходящий поток газа соответствовал заданным требованиям.

При редуцировании газа на рассматриваемом перепаде давлений (рис. 1, диаграмма «а») величина дроссель-эффекта составит $\Delta T_{др} \approx 15$ К и температура газа на выходе будет удовлетворять нижней границе $T_0 \approx 273$ К.

Работу турбодетандера рассмотрим на примере установки УТДУ-2500-М У1 АО «Турбогаз». Согласно паспортным данным расширение газа в указанной установке происходит следующим образом (рис. 1, диаграмма «б»).

Газ перед детандером нагревают до $T_2 = 313$ К при постоянном давлении P_1 (изо-

барный нагрев 1-2) и редуцируют до давления $P_3 = 2,2$ МПа (дросселирование 2-3), при этом температура снижается до $T_3 = + 308$ К.

Работа турбодетандера (изоэнтропа 3-4) происходит в диапазоне давлений $P_3 = 2,2$ МПа - $P_4 = 1,0$ МПа. После чего газ редуцируется до выходного давления $P_0 = 0,6$ МПа (адиабатное дросселирование 4-5). В результате газ имеет температуру $T_5 \approx -353$ К и требует подогрева до $T_0 = 273$ К (изобарный нагрев 5-0) [1].

Как видно из диаграммы, работа, совершаемая газом в детандере в данном случае, равна количеству тепла, затраченного на подогрев газа. Таким образом, фактически детандер не утилизирует потенциальную энергию сжатого газа, а срабатывает тепло сгоревшего в подогревателях газа или другого топлива. При других соотношениях давлений на входе и выходе ГРС отношение количества выработанной электроэнергии к теплу,

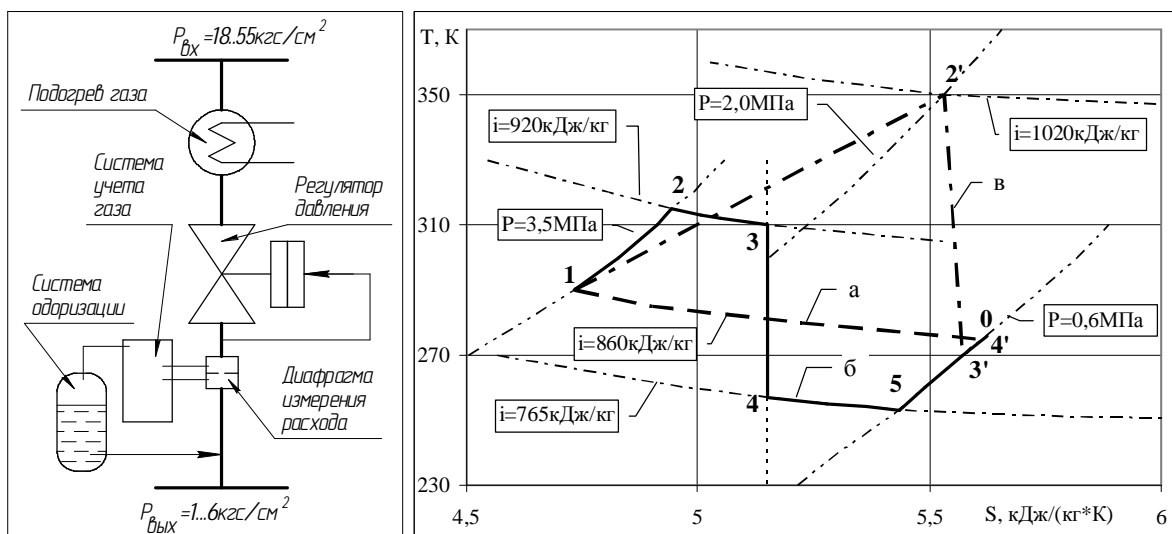


Рис. 1. Принципиальная схема ГРС и диаграммы процессов расширения газа на ГРС: а) дросселирование; б) расширение в турбодетандере; в) расширение в вихревой трубе

подведенному к газу, может быть несколько больше или меньше.

Высокая эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую обусловлена тем, что затраты на работу компрессорной станции по сжатию газа входят в стоимость газа для потребителей.

Наиболее эффективно применение турбодетандеров на тепловых электростанциях, где в качестве источника тепла используется “бросовое” тепло отработанного пара, и на газовых промыслах, где газ имеет высокую температуру, а вырабатываемый турбодетандером холод используется для сепарации влаги из газа.

Применение турбодетандеров для обеспечения собственных нужд ГРС в электроэнергии нецелесообразно ввиду существенных затрат на сжигаемый газ. На территории Украины затраты на подогрев газа для работы одного турбодетандера мощностью 100 Вт будет составлять \$ 3000 в год.

Применение для образования энергии сжатого газа вихревой трубы значительно уменьшает его потери при сжигании.

Например, при использовании охлаждаемой вихревой трубы (ОВТ) с отводом тепла от ее камеры энергетического разделения

к какому-либо агрегату, реализующему процесс генерации электроэнергии (паросилово-му циклу или термоэлектрическому генератору), и сбросом тепла от указанного агрегата в выходящий поток газа (рис. 1, диаграмма «в»), термодинамические процессы происходят практически между точками 1 и 0 [5].

Газ, разгоняясь в сопле ВТ, расширяется в пристеночных слоях до давления $P_2 = 2,0$ МПа, одновременно нагреваясь за счет тепла от осевых слоев газа и отдавая тепло агрегату генерации электроэнергии (отрезок 1-2). Затем газ расширяется в осевых слоях до давления P_0 , отдавая тепло пристеночным слоям (отрезок 2' - 3'). Вышедший из ВТ поток газа воспринимает тепло от агрегата генерации электроэнергии и сбрасывается в выходящую магистраль ГРС (отрезок 3' - 4').

Делящая вихревая труба работает аналогично с тем отличием, что имеется два потока газа - горячий и холодный.

Если учесть, что КПД использования потенциальной энергии сжатого газа в ВТ в сравнении с изэнтропным расширением $\approx 30\%$, а КПД агрегата генерации электроэнергии составляет до 20 % в паросиловом цикле и до 3 % в термоэлектрическом генераторе, то точка 4' практически будет совпа-

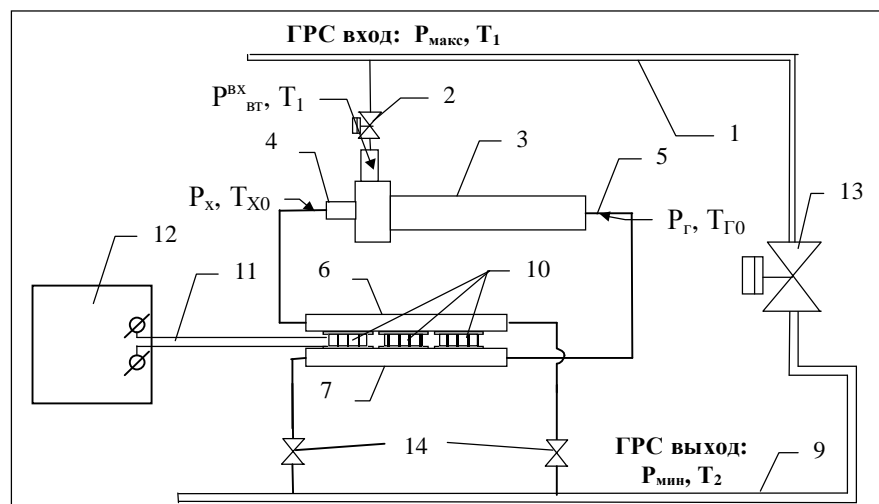


Рис.2. Принципиальная схема и компоновка электрогенератора ТЭГ-ВТ в составе ГРС:
 1 - магистраль газа высокого давления; 2 - регулирующий клапан; 3 - вихревая труба (ВТ) делящая противоточная; 4 - коллектор холодного потока ВТ; 5 - коллектор горячего потока ВТ; 6 - “холодный” теплообменник; 7 - “горячий” теплообменник; 9 - магистраль низкого давления; 10 - термоэлектрические модули; 11 - соединительный кабель; 12 - потребитель электроэнергии; 13 - штатный регулирующий клапан; 14 - задвижка

дать с точкой 0 и дополнительный подогрев газа перед отводом из ГРС не требуется.

При использовании вихревых труб в качестве обогревателей регуляторов давления газа на ГРС тепло от горячих потоков в вихревой трубе будет полностью переходить через конструкцию регулятора к холодным потокам.

Таким образом, если не требуется генерация большой электрической мощности для внешних потребителей (применение турбодетандеров эффективно при $N \geq 0,5$ МВт [3]), то задача обеспечения собственных потребностей ГРС может быть успешно решена применением вихревых труб в сочетании с термоэлектрическим агрегатом генерации электроэнергии. Вихревая труба может быть применена для местного обогрева критичных к обмерзанию элементов конструкции регуляторов давления без дополнительного подогрева всего потока газа.

Для электропитания комплексов учета газа был разработан и изготовлен опытный образец ТЭГ-ВТ (шифр ТЭГ-14/06, расчетное напряжение питания потребителя - не менее 14 В по цепи постоянного тока, - не менее 0,6А, рис. 2) [6]. В основе его конструкции -

ОВТ калибра 32 мм и система из 16 серийных термоэлектрических модулей МТ2-127-1,6.

Генератор успешно прошел технологические (на сжатом воздухе) и натурные (на природном газе в составе штатного оборудования ГРС) испытания.

При $P_1 \geq 2,0$ МПа (соответствующий расходу газа $G \geq 1000$ $\text{нм}^3/\text{час}$) генератор обеспечивает заданный режим электропитания 14 В x 0,6 А, а при $P_1 \geq 3,5$ МПа ($G \geq 1700$ $\text{нм}^3/\text{час}$) генератор обеспечивает двукратное превышение требований – 27 В x 0,6 А.

Приведенные параметры газового потока реализуются на большей части ГРС, а, следовательно, ТЭГ-14/06 может служить основой для обеспечения их автономным электропитанием.

По заказу ООО “Контакт” (г. Дружковка Донецкой области, Украина) были разработаны системы обогрева регуляторов давления типа РЛДКМ-100 и УРД-50 с использованием ОВТ. Вихревые трубы были вписаны в конструкцию так, чтобы обогревать непосредственно исполнительные элементы конструкции регуляторов.

В регуляторе типа УРД (рис. 3) применение двух ОВТ позволило отделить холод-

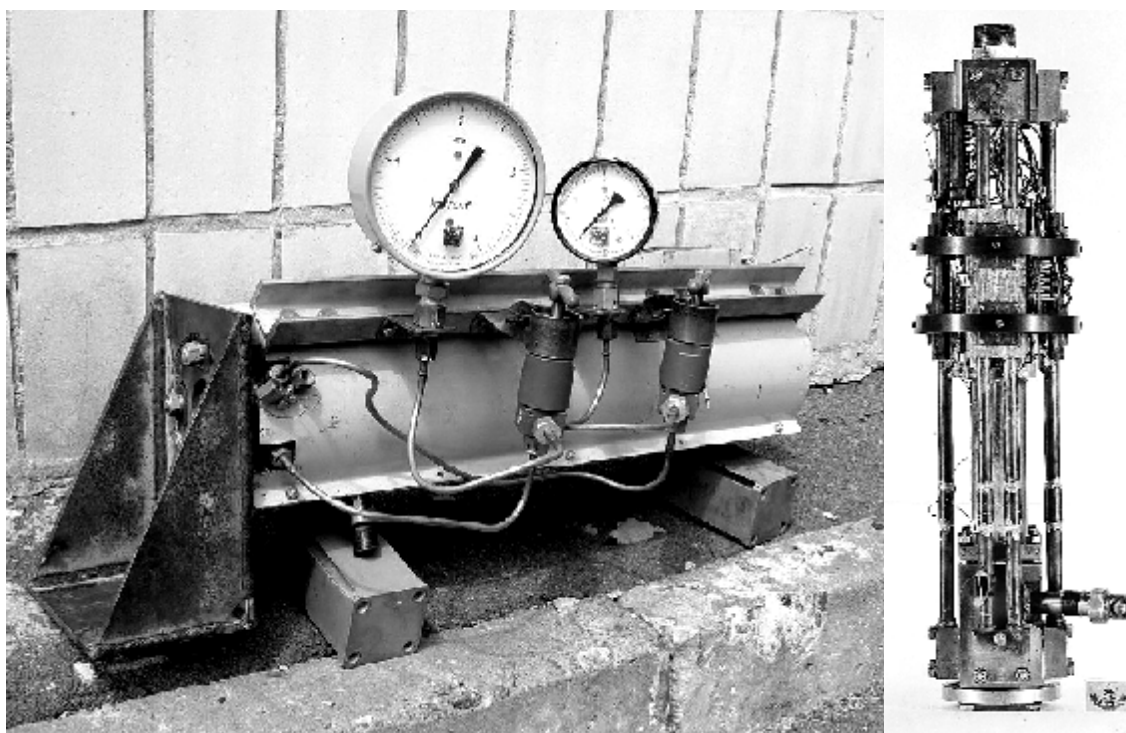


Рис. 3. Термоэлектрический генератор ТЭГ-14/06 с вихревой трубой в качестве источника тепла

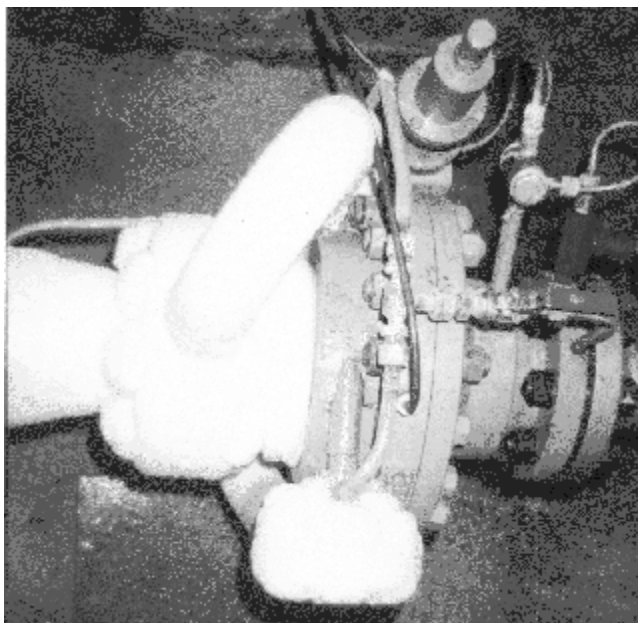


Рис.4. Регулятор типа УРД-50 с обогревом корпуса двумя однопоточными вихревыми трубами

ную зону от чувствительной мембраны и затвора регулятора.

Регуляторы РДКМ-100 и УРД-50 с обогревом успешно эксплуатируются в составе нескольких ГРС Киевского и Донецкого ЛВУМГ.

Температура газа на выходе ГРС, как при применении ТЭГ-14/06, так и при применении РДКМ-100 и УРД-50 с обогревом от ОВТ была такой же, как и при простом редуцировании.

Авторами запатентован способ регулирования давления перед входом в систему редуцирования, позволяющий решить проблему введения ОВТ с нерегулируемым соплом в газовую магистраль ГРС.

Выводы

В ГРС, как термодинамической системе с заданными входными выходными параметрами, потенциальная энергия сжатого газа может быть использована либо при подводе тепла от внешнего источника, либо при организации процесса редуцирования газа.

Установки на основе вихревых труб, предназначенные для генерации электроэнергии и обогрева элементов конструкции регуляторов давления, не требуют дополнительного подогрева газа и являются перспективной альтернативой при необходимости генерации относительно небольшой мощности

для собственных нужд газораспределительной станции.

Список литературы

1. Зарницкий Г. Э. Теоретические основы использования энергии давления природного газа. -М.: "Недра", 1968. - 297 с.
2. Способ подогрева расширяющегося потока газа и устройство для его реализации: Пат. РФ 2143650, 1998 / Белостоцкий Ю. Г., Никулихин В. Г., Кошелев А. М.
3. Жидков М. А., Комарова Г. А., Гусев А. П., Исхаков Р. М. Взаимосвязь сепарационных и термодинамических характеристик трехпоточных вихревых труб // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2001. - № 5. - С.8-11.
4. Гусев А. П., Исхаков Р. М., Жидков М. А., Комарова Г. А. Система подготовки попутного газа нефтедобычи к транспорту с применением регулируемой трехпоточной вихревой трубы // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2000. - № 7. - С. 16-18.
5. Бирюк В. В. Основы расчета характеристик вихревых авиационных систем охлаждения. - Самара: СГАУ, 1997. - 60 с.
6. Кротевич В. А., Лозбин Д. В., Погребной Е. Л., Смоляр Г. А. Опыт создания автономной системы электропитания для газовой промышленности // Нефть и газ. - 2004. - № 7. - С. 30-34.