

Применение ЭГД-генератора- детандера в системах использования энергии сжатого природного газа

Д. В. БОРОДИН, Г. И. БУМАГИН, А. В. ЗИНОВЬЕВА

Омский государственный технический университет

Е. И. РОГАЛЬСКИЙ

ООО «Научно-технический комплекс «Криогенная техника», г. Омск

In recent years interest to energy-saving technologies is increased, so more often the problem of compressed natural gas energy utilization is considered. One of more effective methods is expansion of compressed natural gas in effective work removal expanders. In this connection this paper presents an application of electro-gas-dynamic generator-expander (EGD G-E). Under support of Russian Basic Research Foundation, the subproducts of Omsk State Technical Universities activity are performed here. Some schemes of heat-recovery energy systems on basis of EGD G-E are reduced, the factors are described and estimated value of its basic specifications is made.

В последнее время природный газ (ПГ) выходит на первый план в энергетике как наиболее доступное топливо. Его внутреннее потребление в нашей стране резко возросло, и сегодня доля природного газа в суммарном потреблении энергоносителей в России составляет около 50 % (в Европе 30 – 35%).

В мировой практике существуют две основные технологии транспортирования природного газа: перекачивание по трубопроводам и перевозка в сжиженном виде. В нашей стране доставка газа к местам потребления осуществляется исключительно при помощи трубопроводной технологии. Учитывая географическую специфику России (отдаленность регионов добычи ПГ от мест его потребления, низкая плотность населения и пр.), затраты на его транспортирование сравнительно велики. С целью их снижения давление транспортируемого природного газа по магистральным газопроводам повышается до 5...7,5 МПа. В результате ПГ поступает к местам потребления с давлением 2...6 МПа. Затем на специальных газораспределительных станциях (ГРС) производится его понижение до 0,3...1,2 МПа (обычно до 0,6 МПа). Как правило, принцип действия большинства ГРС состоит в редуцировании природного газа с предварительным его подогревом, в результате чего безвозвратно теряется огромное количество потенциальной энергии сжатого газа. Учитывая, что ежегодное потребление ПГ в России составляет около 360 млрд м³ [1], необратимые потери энергии достигают 30 ГВт·ч в год. С развитием энергосберегающих технологий задачи утилизации данного вида энергии приобретают все большую актуальность.

В Омском государственном техническом университете (ОмГТУ) при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) начата работа по проектированию электрогазодинамического генератора-детандера (ЭГД Г-Д), на основе которого предполагается создание энергетических утилизационных систем (ЭУС).

Основной особенностью различных типов ЭГД-преобразователей является непосредственное преобразование энергии давления в электрическую и наоборот, минуя промежуточное преобразование. Это позволяет снизить потери, присущие традиционным машинам.

В конструкции ЭГД Г-Д отсутствуют движущиеся части, благодаря чему исключаются потери, связанные с механическим трением деталей и узлов, отсутствует необходимость их смазывания, повышается ресурс работы и увеличивается продолжительность межрегламентного периода.

Процесс преобразования в ступенях ЭГД Г-Д происходит за счет вязкого взаимодействия газа с заряженными частицами в электрическом поле. Ионизация газового потока осуществляется с помощью коронного разряда при высоком напряжении. При переносе заряженных частиц против сил электрического поля посредством газа совершается работа, которая отводится потребителю в виде электрического тока высокого напряжения. Вместе с этим поникаются давление и энталпия газа. В случае обратимого проведения ЭГД-преобразования процесс приближается к адиабатическому расширению с отводом работы.

Процесс ЭГД-преобразования наиболее эффективно протекает при следующих факторах, характеризующих рабочее тело:

- ✓ высокая диэлектрическая проницаемость;
- ✓ относительно высокое пробивное напряжение;
- ✓ относительно низкое напряжение зажигания коронного разряда;
- ✓ низкая подвижность заряженных частиц.

Природный газ при параметрах ГРС наилучшим образом подходит для ЭГД-преобразователей, так как при повышенном давлении снижается подвижность заряженных частиц. Понижение температуры также уменьшает их подвижность, в том числе в связи с возникновением крупных ионов заряженных частиц с малой подвижностью,

центрами образования которых становятся твердые и жидкие частицы конденсирующихся примесей природного газа.

Понижение давления в одной ступени ЭГД Г-Д при оптимальном режиме работы невелико, поэтому устройство является многоступенчатым. Конструктивно ЭГД Г-Д для параметров существующих ГРС представляет собой многоступенчатый аппарат (50 – 100 ступеней в зависимости от давления на входе и выходе), оснащенный источником высокого напряжения и преобразователем напряжения.

На основе принципов ЭГД-преобразования предложены следующие способы утилизации энергии природного газа с помощью ЭГД Г-Д:

✓ трансформация в другие виды энергии, широко применяемые в различных областях человеческой жизни, например в тепловую, механическую или электрическую;

✓ использование энергии сжатого газа для получения холода на уровне умеренных температур (до 120 К);

✓ получение жидкого и твердого хладагентов, например сухого льда;

✓ сжижение природного газа.

На рис. 1 представлены упрощенные принципиальные схемы некоторых энергетических утилизационных систем с ЭГД Г-Д.

Энергетическая утилизационная система для получения электроэнергии (рис. 1, а) наиболее приближена к конструкции существующих ГРС, что позволяет их легко модернизировать. Для предотвращения снижения температур ниже допустимых рабочих и образования конденсата после расширения природный газ в ЭГД Г-Д предварительно нагревают в подогревателе природного газа 2 с промежуточным теплоносителем до температуры 80...100 °C. Нагрев осуществляется за счет теплоты сгорания части

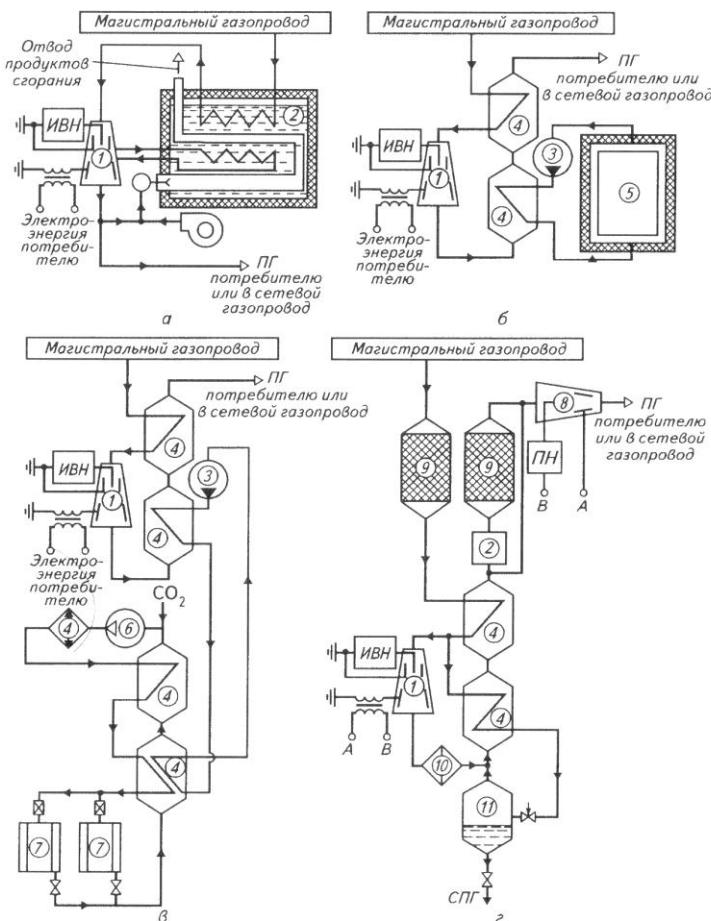


Рис. 1. Упрощенные принципиальные схемы энергетических утилизационных систем с ЭГД Г-Д:

а – для получения электроэнергии; б – для получения электроэнергии с термостатируемой камерой; в – для получения электроэнергии и «сухого» льда; г – для получения сжиженного природного газа (СПГ); 1 – ЭГД Г-Д; 2 – подогреватель; 3 – насос; 4 – теплообменник; 5 – термостатируемая камера; 6 – компрессор; 7 – льдогенератор; 8 – ЭГД-компрессор; 9 – адсорбер; 10 – фильтр; 11 – накопительная емкость; ИВН – источник высокого напряжения; ПН – преобразователь напряжения

природного газа. Ограничение температуры природного газа на входе в ЭГД Г-Д обусловлено использованием в конструкции легкоплавких электроизоляционных материалов. При относительно большой степени расширения природного газа (выше 5...6) необходимо осуществлять процесс, как минимум, в двух ступенях с предварительным подогревом.

Энергетическая утилизационная система для получения электроэнергии с термостатируемой камерой (рис. 1,б) позволяет одновременно с получением электроэнергии использовать холод, образующийся при расширении природного газа, для термостатирования камеры в области умеренного холода. Применение таких установок может существенно улучшить термодинамическую эффективность ЭУС и снизить сроки окупаемости модернизации ГРС. На основе таких систем возможно создание крупных холодильных комплексов, способных заменить потенциально опасные аммиачные холодильные установки, а температурный уровень до 120 К делает возможным создание комплексов для быстрой заморозки и долгосрочного хранения продуктов. При этом электроэнергия не только не потребляется, но и производится.

При отсутствии потребности в относительно крупных холодильных установках, а также при удаленности или распределении потребителей холода возможна организация производства пищевого «сухого» льда. На рис. 1,в приведена упрощенная схема *энергетической утилизационной системы для производства электроэнергии и «сухого» льда*.

В последнее время часто ставится вопрос о получении природного газа в сжиженном виде для обеспечения труднодоступных районов данным видом топлива [2]. Особен-

но актуально применение сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива [3, 4]. ЭГД Г-Д может быть использован не только для получения электроэнергии, но и в качестве эффективного источника холода для установки сжижения природного газа. На рис. 1,г приведена одна из упрощенных схем *энергетической утилизационной системы для производства сжиженного природного газа*. В процессе предварительной подготовки производится осушка природного газа, что предотвращает вымерзание влаги в предварительном теплообменнике. Отделение твердой углекислоты осуществляется после ЭГД Г-Д в переключающихся механических фильтрах. В данном случае полученная с помощью ЭГД Г-Д электроэнергия расходуется на повышение давления несжиженного природного газа до величины давления в сетевом газопроводе. Оптимальные значения тока на электродах электрогазодинамического компрессора обеспечиваются преобразователем напряжения.

На основании анализа действительных характеристик ГРС, детальной проработки конструкции и характеристик комплексов сжижения природного газа, а также результатов расчета с помощью разработанной модели ЭГД Г-Д для определения показателей ЭУС были приняты следующие параметры ЭГД Г-Д:

- ✓ расход природного газа;
- ✓ давление на входе в ЭГД Г-Д;
- ✓ давление на выходе из ЭГД Г-Д;
- ✓ термодинамический КПД процесса ЭГД-преобразования;
- ✓ минимальное паросодержание на выходе ЭГД Г-Д.

На рис. 2 – 4 приведены расчетные величины эксере-

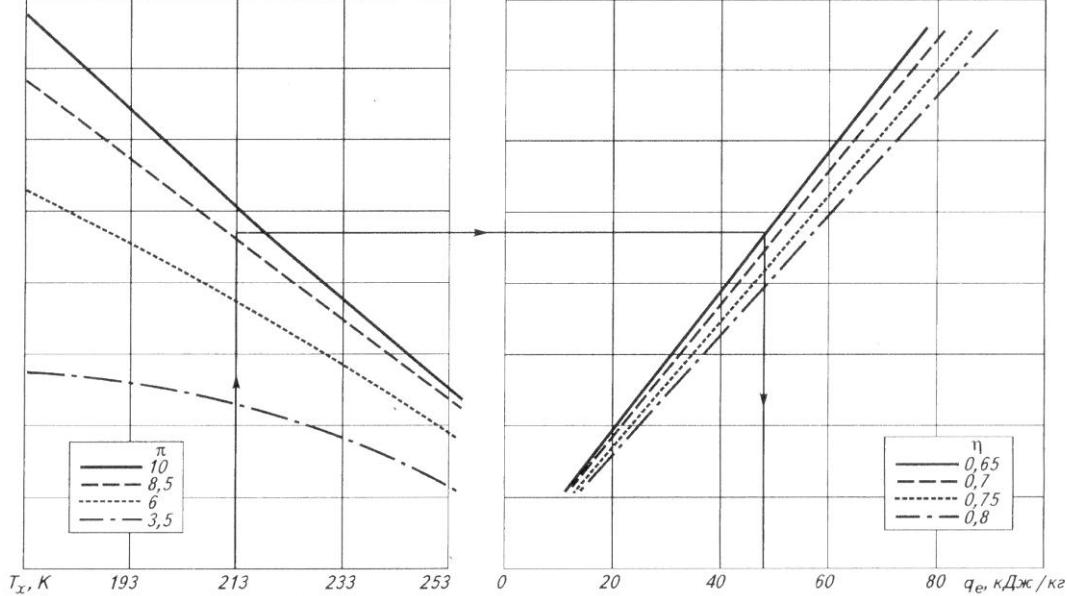


Рис. 2. Номограмма определения экспериментальной холодопроизводительности ЭУС в зависимости от температурного уровня T_x

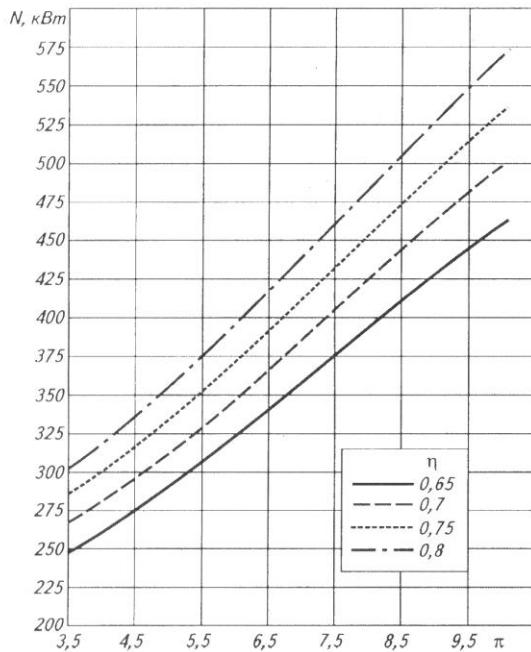


Рис. 3. Зависимость вырабатываемой электрической мощности ЭГД Г-Д от степени расширения и ПГ

тической холодопроизводительности $q_e = q_x(T_x - T_c)/T_x$, электрической мощности N и коэффициента сжижения природного газа x представленных ЭУС в зависимости от степени расширения $\pi = p_h/p_k$ и изоэнтропийного коэффициента полезного действия η ЭГД Г-Д.

Как видно на рис. 2, чем ниже температура термостатирования T_x , тем эффективнее использование холодопроизводительности, создаваемой ЭГД Г-Д. Это позволяет сделать вывод о целесообразности применения ЭУС для сжижения природного газа. На основе единичного модуля ЭГД Г-Д может быть создан охладитель природного газа с отбором до 18 % жидкого продукта (см. рис. 4), что соответствует производительности 1300 кг/ч СПГ.

Проведенный анализ позволил определить основные характеристики различных ЭУС на основе предложенной конструкции ЭГД Г-Д в зависимости от параметров ГРС. Как показали расчеты, при давлениях на входе ГРС 2...6 МПа и на выходе 0,6 МПа такие системы на базе одного ЭГД Г-Д способны вырабатывать электрическую мощность до 0,25...0,675 МВт (см. рис. 3).

Помимо этого возможно использование полезной холодопроизводительности на температурных уровнях до -153°C . Экономия мощности за счет замещения парокомпрессионных холодильных систем при температурах термостатирования от -18°C до -100°C составит 0,11...1,85 МВт.

Используя холодопроизводительность для производства «сухого» льда, можно получить 285...710 кг/ч твердой углекислоты. Вырабатываемая электроэнергия перекрывает затраты в комплексе на сжатие и циркуляцию ди-

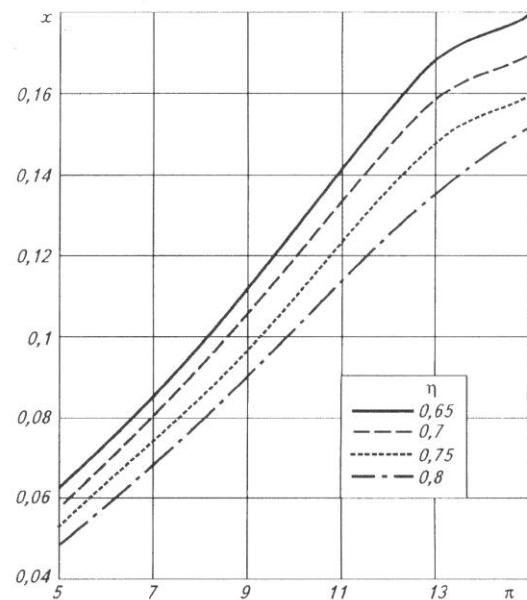


Рис. 4. Доля выхода в зависимости от степени расширения ПГ в ЭУС для получения СПГ

оксида углерода и может быть использована в установке получения газообразного CO_2 .

В случае производства сжиженного природного газа, когда имеется наибольший эффект использования холодопроизводительности ГРС, производительность ЭУС может составить 330...1300 кг/ч СПГ при указанных параметрах.

Таким образом, предложенные ЭУС позволят эффективно использовать энергию сжатого природного газа, а за счет отсутствия движущихся частей в конструкции ЭГД Г-Д такие системы будут обладать высокой надежностью и продолжительным межремонтным периодом. Это делает их наиболее перспективными в условиях работы на ГРС.

Список литературы

- Грезин А.К., Громов А.В., Мельникова Н.С. и др. Использование сжиженного природного газа в качестве энергоносителя – задача государственной важности // Холодильная техника. 1999. № 9.
- Кирилов Н.Г. На чем поедем в XXI веке: альтернативные моторные топлива // Автозаправочный комплекс. 2003. № 1.
- Мовчан Е. П., Попов Л.В., Рогальский Е.И. Проблемы внедрения сжиженного природного газа на автотранспорте и некоторые пути их решения // Технические газы. 2004. № 4.
- Реформа без потрясений. Перспективы развития российского рынка газа до 2010 года. По материалам выступления на форуме «Газ России-2003» А. Рязанова, заместителя председателя правления ОАО «Газпром» // Нефтегазовая вертикаль. 2003. № 8.