

УДК 532.516; 536.24.01

**Костенко Д.А.<sup>1</sup>, Романов В.В.<sup>2</sup>, Халатов А.А.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>*ВНИПИТрансГаз*<sup>2</sup>*Сумское НПО им. М.В. Фрунзе*<sup>3</sup>*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ: ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Аналізуються основні напрями модернізації газотранспортної системи України.

Анализируются основные направления модернизации газотранспортной системы Украины.

The main directions of the Ukrainian pipeline network rehabilitation are analyzed.

Газотранспортная система (ГТС) Украины создавалась более 50 лет назад и в настоящее время требует серьезной модернизации, на которую по разным оценкам требуется от 6 до 16 млрд. долл. США. Больше всего средств пойдет на реконструкцию и строительство компрессорных станций, главным образом, для замены газотурбинных приводов, где необходимо заменить более 200 морально устаревших и физически изношенных газоперекачивающих агрегатов, модернизацию линейной части газопроводов и подземных хранилищ газа.

Политика использования импортного оборудования для модернизации ГТС Украины поставит страну в серьезную зависимость от зарубежного производителя, т.к. покупка запасных частей, обслуживание и периодический ремонт оборудования потребуют серьезных финансовых затрат, соизмеримых со стоимостью основного оборудования.

В то же время Украина входит в шестерку ведущих стран мира, обладающих полным циклом проектирования и производства промышленных газовых турбин мощностью от 1,5 до 110 МВт. В инфраструктуру украинского газотурбокомпрессоростроения входят всемирно известные предприятия: Государственное предприятие (ГП) Научно-производственный комплекс газотурбостроения (НПКГ) «Зоря-Машпроект» (Николаев), ГП «Ивченко-Прогресс» (Запорожье), ОАО «Турбоатом» (Харьков), «МНПО им. М.В. Фрунзе» (Сумы) и некоторые другие. Поэтому, первоочередной задачей является широкое вовлечение украинских машиностроительных предприятий в про-

грамму модернизации украинской ГТС.

Для транспортирования газа по магистральным газопроводам диаметром 700...1420 мм в Украине и в странах СНГ преимущественное применение получили газотурбинные газоперекачивающие агрегаты (ГПА) с центробежными компрессорами. Сегодня газотурбинные ГПА в составе ГТС Украины составляют более 82 % от мощности установленных ГПА, в составе российской ГТС доля газотурбинного привода достигает 87 %. Более чем 50-летний опыт эксплуатации газотурбинных ГПА на магистральных газопроводах различных стран мира (Россия, Украина, Иран, Европа, Канада) показал их высокую экономичность и эксплуатационную надежность.

Одним из наиболее важных вопросов модернизации украинской ГТС является разработка надежного газотурбинного привода для ГПА с высоким эксплуатационным ресурсом (до 150 тыс. часов). Детальный анализ, представленный в концепции модернизации газотурбинного привода ГПА [1, 2], показывает, что на первом этапе для украинской ГТС наиболее целесообразно применение газотурбинных двигателей регенеративного и простого цикла с последующим их усложнением. В настоящее время на основе разработанной Концепции уже разрабатываются высокоэффективные промышленные ГТД нового поколения – регенеративный ГТУ-16Р мощностью 16 МВт с проектным КПД 40,3 % («Зоря-Машпроект», Николаев) и ГТД АИ-312 простого цикла мощностью 12 МВт с КПД 38 % (ГП «Ивченко-Прогресс»,

Запорожье). Однако, эти разработки ведутся за счет внутренних резервов предприятий и пока не имеют государственной поддержки. Подробный перечень первоочередных научно-технических проектов в интересах промышленного газотурбокомпрессоростроения Украины был разработан Комиссией по промышленным газовым турбинам и электроприводам при Отделении физико-технических проблем энергетики НАН Украины и представлен в работе [2].

Поршневые ГПА с приводом от двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и интегрированные газомотокомпрессоры применяются в Украине, как правило, на газопроводах-ответвлениях диаметром менее 700 мм и на компрессорных станциях (КС) подземного хранения газа, где требуется высокая степень сжатия газа. При этом единичная мощность поршневых ГПА не превышает 3 МВт (10ГК, МК8, 10 ГКН), а общая мощность поршневых ГПА, установленных на ГТС Украины, составляет менее 3 %.

Поршневые ГПА широко применялись только на ранней стадии создания украинской ГТС, причем, имеющийся опыт показывает, что при мощности более 3 МВт их применение на магистральных газопроводах нерационально. Они имеют невысокую наработку на отказ, ко-

торая в 10...15 раз меньше, чем у газотурбинных ГПА, большой расход смазочного масла (0,25...0,33 г/кВт·час), более высокие затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт. Удельная массовая характеристика газопоршневых двигателей в 25...40 раз хуже, чем у газотурбинных двигателей и установок (рис.). Если для газотурбинных двигателей она составляет (0,25...1,0) кг на кВт установленной мощности, то для газопоршневых – (8...25) кг на кВт. Габаритные характеристики ГТД также на порядок лучше, чем у ДВС. Для ГТД они составляют  $(0,1...0,25) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кВт}$ , в то время как у ДВС –  $(0,02...0,06) \text{ м}^3/\text{кВт}$ . В США поршневые ГПА в большом количестве используются, главным образом, на газопроводах высокого давления и малого диаметра при этом их мощность составляет от 1 до 5 МВт.

В ряде работ, опираясь на опыт США, ставится вопрос об использовании двигателей внутреннего сгорания для привода компрессоров природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. При этом ссылаются на высокий КПД (более 40 %) и большой срок службы ДВС (до 200 000 часов). Как следует из данных приведенной таблицы, ГТС США и Украины различны по своей структуре. Средняя мощность газотурбинных ГПА,

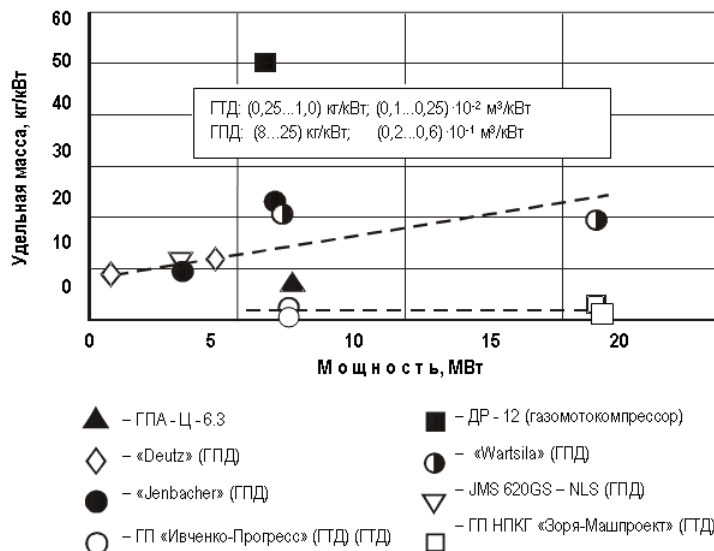


Рис. Удельные массовые и габаритные характеристики газотурбинных (ГТД), газопоршневых двигателей (ГПД) и газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

установленных на ГТС Украины, составляет 9,85 МВт, что в 2,6 раза больше, чем в США (3,78 МВт). Анализ представленной таблицы позволяет также сделать следующие выводы. В ГТС США значительное количество поршневых ГПА (5400 ед.) со средней мощностью 1,285 МВт.

Небольшая мощность газотурбинных и поршневых ГПА в ГТС США обусловлена тем, что газотранспортная система США состоит в основном из газопроводов небольшого диаметра и распределительной сети, тогда как в ГТС Украины транзит газа преобладает над собственным потреблением.

Анализ тенденций развития мирового рынка показывает [3], что общий заказ приводных газопоршневых двигателей в мире для механического привода в 2007-08 г.г. составил 6851 ед., причем 6688 из них – мощностью 0,5...2,0 МВт и только 154 ед. – в диапазоне 2,...3,5 МВт. Интересно отметить, что Северная Америка, где широко используются газопроводы малого диаметра, заказала 4825 двигателей мощностью 0,5...2,0 МВт (70,4 %), в то время как страны Западной Европы – только 930 ед. Таким образом, обосновывать приме-

венным потреблением.

Таблица

№ п/п	Показатели	ГТС США	ГТС Украины
1	Общая протяженность	300 000 миль	36 тыс. км
2	Объем транспорта, млрд. м <sup>3</sup> /год	540	194*
3	Расход топливного газа: млрд.м <sup>3</sup> /год % от объема транспорта	15,8 2,92	4,53* 2,34
4	Количество КС	1200	73
5	Средняя производительность КС, млн. м <sup>3</sup> /сутки	1,233	7,3
6	Производительность наибольших компрессорных станций, млн. м <sup>3</sup> /сутки	124	295,5
7	Общая мощность ГПА, МВт	12353,3	5660
8	<b>Поршневые ГПА (ПГПА)</b>		
8.1	Количество ПГПА	5400**	144
8.2	Средняя мощность, МВт	1,285	1,263
8.3	Общая мощность, МВт	6939	182
9	<b>Газовые турбины (ГТ)</b>		
9.1	Количество, ед.	1000	469
9.2	Количество КС с ГГПА, ед.	473	69
9.3	Общая мощность, МВт	5292	4620
9.4	Средняя мощность, МВт	3,78	9,85
9.5	Более 50 % мощности менее 3,78 МВт	50 %	нет
9.6	Диапазон мощности ГТУ, МВт	1,34...26,5	6,3...25
10	<b>Электропривод</b>		
10.1	Общая мощность, МВт	122,3	828
10.2	Количество ЭГПА, ед.	Нет данных	160

\* – Средний за 2006-2007 г.

\*\* – 2/3 ПГПА установлены до 1970 г.

нение ДВС на КС магистральных газопроводов Украины на основе опыта США не вполне корректно.

Анализ, выполненный в работе [4], показывает, что условия совместной работы ГПА и газопровода являются более важными, чем эффективность самого привода. При стационарных условиях существует однозначная и нелинейная связь между расходом газа через газопровод и степенью сжатия компрессора. Если сравнивать характеристики газотурбинного привода и газопровода, то можно видеть, что характер их рабочих характеристик примерно одинаков и по этой причине газотурбинный привод работает при оптимальных условиях в широком диапазоне изменения расхода газа через газопровод. В то же время, центробежный компрессор с приводом от ДВС функционирует в условиях далеких от оптимальных, поскольку характеризуется примерно постоянным расходом при изменении степени сжатия. В целом, средняя эффективность системы «газопровод-привод от ДВС» составляет около 79 %, а системы «газопровод-газотурбинный привод» – 85...88 % [4].

В настоящее время на украинской ГТС установлено 158 электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) общей мощностью 820 МВт, что составляет 14,6 % мощности всех ГПА, установленных на компрессорных станциях ГТС Украины. Однако, фактически в эксплуатации находятся 7...10 ГПА, которые используются на 15...18 %. Во Франции, где производится большое количество электрической энергии на атомных электростанциях, в подавляющем большинстве используются ЭГПА мощностью 3...7 МВт. Однако, ГТС Франции фактически не содержит магистральных трубопроводов, а представляет собой систему относительно коротких газопроводов небольшого диаметра, соединенных между собой в единую газотранспортную сеть. Как следует из таблицы, количество электроприводных ГПА, установленных в США, весьма незначительно, они составляют около 1 % от общей мощности ГПА и устанавливаются только в местностях с

жесткими требованиями по экологии (шум, выбросы  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_x$ ).

При существующем соотношении цен на природный газ и электричество масштабный перевод на ЭГПА в Украине оправдан только при цене топливного газа более \$ 450 за 1000 м<sup>3</sup> газа [5, 6]. При этом для широкого применения ЭГПА в Украине необходимо освоить производство электродвигателей мощностью 12, 16 и 25 МВт с регулируемой частотой оборотов, которые сегодня производятся только зарубежными фирмами («Siemens AG», «ABB», «Transresch» и др.). Для надежной работы ЭГПА требуется электроснабжение первой категории (от двух независимых источников), что значительно усложняет условия эксплуатации агрегатов. Следует также помнить, что КПД системы «ТЭЦ–ЛЭП–КС–ЭГПА» составляет только 26...27 %, поэтому с точки зрения более полного использования химической энергии топлива применение электричества может оказаться неэффективным. Срок окупаемости проектов по переводу ГТС Украины на электропривод достаточно большой и составляет около 10 лет.

В перспективе ЭГПА с регулируемой частотой оборотов нагнетателя могут получить развитие на компрессорных станциях магистральных газопроводов Украины – в регионах с избыточным производством электричества. В частности, применение электропривода на ГТС Украины перспективно на газопроводе «Киев-Запад Украины» (КС «Бердичев», «Красилов», «Тернополь», «Рогатин») [7]. В настоящее время Сумское НПО им. М.В.Фрунзе разрабатывает электроприводной агрегат ГПА-Ц-12,5Р с регулируемыми оборотами мощностью 12,5 МВт. Для украинской промышленности это первый безмасляный («сухой») ЭГПА с магнитными подшипниками электродвигателя и компрессора и «сухими» газодинамическими уплотнениями ротора компрессора и частотным регулированием оборотов.

Альтернативой частотному регулированию ЭГПА является гидродинамическое регулирование оборотов, осуществляемое с помощью



регулируемых гидромуфт или гидротрансформаторов. Преимущества гидродинамического регулирования проявляются уже для приводов мощностью более 700 кВт. Основные из них: меньшая стоимость, высокая надежность, простота эксплуатации, меньшая занимаемая площадь. По эффективности гидродинамическое и частотное регулирование близки между собой, но частотное регулирование требует использования системы климат-контроля. Газпром (Россия) на двух агрегатах STD-12500 Чебоксарской КС-22 уже применил регулируемые гидромуфты фирмы «Фойт» (Германия), что обеспечило снижение потребления электроэнергии на 15,5 млн. кВт·час в год.

В целом, современные нагнетатели для украинской ГТС должны создаваться на давление 5,6-7,5-9,8-12-15-21 МПа, степень сжатия 1,25-1,35-1,5-1,7-2,2-3-5, а их конструкция должна отвечать требованиям стандарта API 617. Конструкция нагнетателя должна включать магнитные подшипники с цифровой системой управления и тандемные «сухие» газодинамические уплотнения.

Современные ГПА предпочтительно размещать в индивидуальных зданиях ангарного типа без разделительной стенки между помещениями ГТД и газовыми компрессорами (нагнетателями). Для компрессорных станций подземных хранилищ газа, где при режимах работы закачки и отбора газа степень сжатия изменяется в широком диапазоне, необходимо создание центробежных компрессоров с параллельно-последовательной схемой работы, что может быть выполнено «Сумским НПО им. М.В. Фрунзе». Для разработки низконапорных месторождений газа, а также для обеспечения топливным газом газотурбинных электростанций, необходима разработка дожимных компрессоров небольшой мощности. Для этих целей могут использоваться поршневые, центробежные и винтовые компрессоры. Предпочтение следует отдавать центробежным и винтовым компрессорам. В настоящее время в ГП «Ивченко-Прогресс» разрабатывается центробежный компрессор ДГК-30, однако из-за от-

сутствия государственной поддержки эта разработка продвигается слишком медленно.

Сегодня особенно важно внимание правительства Украины к развитию газотурбокомпрессоростроения, которое пока остается конкурентноспособным на мировом рынке. В дальнейшем при отсутствии соответствующей поддержки возможна потеря лидирующего положения отрасли, существенное уменьшение рабочих мест и снижение финансовых отчислений в бюджет страны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Gailloreto G.* Mechanical Drive Order Survey // *Diesel & Gas Turbine Worldwide*. – Dec. 2008. – P. 20-23.
2. *Brun K., Kurz R.* Pipeline compression: recipes vs. centrifugals // *Turbomachinery International*. September / October 2008. – P.34.
3. *Патон Б.Е., Халатов А.А.* Какие промышленные газотурбинные двигатели нужны украинской ГТС? // *Зеркало Недели*. – № 26 (705). – 12.07.2008.
4. *Патон Б.Є., Халатов А.А., Костенко Д.А., Письменний О.С. та ін.* Промислові газотурбінні двигуни для газотранспортної системи України: сучасний стан і проблеми розвитку // *Енергетика та електрифікація*. – № 7. – 2008. – С. 20-22.
5. *Патон Б.Є., Халатов А.А., Костенко Д.А., Письменний О.С. та ін.* Концепція (проект) Державної науково-технічної програми створення промислових газотурбінних двигунів нового покоління для газової промисловості та енергетики // *Вісник Національної академії наук України*. – № 4. – 2008. – С. 3-9.
6. *Халатов А.А., Костенко Д.А., Парафейник В.П., Боцула А.Л., Билека Б.Д., Письменний А.С.* Компрессорные станции ГТС Украины: Концепция модернизации газотурбинного привода газоперекачивающих агрегатов. Киев. – 2009.-52С.
7. *Патон Б.Е., Халатов А.А.* Помогут ли газовые турбины преодолеть проблемы энергосистемы Украины? // *Зеркало Недели*. – № 47 (726). – 12.12.2008.

Получено 17.01.2011 г.