



Рис. 3. Схема работы эжектора Festo OVEM

ного давления для всех исполнительных механизмов, независимо от их нагрузки;

- отсутствие в таких системах, как система обдува заготовок, барботажа, распыления, пневмотранспорта, управления диафрагменными насосами, охлаждения шкафов управления и пр. редуктора, понижающего давление. Дело в том, что зачастую для всех этих задач можно использовать сжатый воздух более низкого давления, чем в пневмосети;

- неэффективность использования и генерации вакуума. Примерами могут служить использование более глубокого вакуума, чем требуется, непрерывная подача сжатого воздуха на вакуумный эжектор при длительном времени удерживается детали вакуумной присоской.

*Марченко Денис Александрович* — руководитель группы маркетинга ООО "ФЕСТО-РФ".

Контактный телефон (495) 737-34-00.

[Http://www.festo.ru](http://www.festo.ru) E-mail: [marchenko@festo.ru](mailto:marchenko@festo.ru)

## АНАЛИЗ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРАХ

О.В. Крюков (ОАО "Гипрогазцентр")

Представлен статистический анализ технического состояния электроприводных газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций. Рассмотрены инновационные пути модернизации и проектирования современных САУ электроприводов турбокомпрессоров магистральных газопроводов.

Ключевые слова: электроприводные газоперекачивающие агрегаты, САУ электроприводами турбокомпрессоров, факторы энергоэффективности инноваций.

### Введение

В настоящее время Россия располагает значительными запасами энергетических ресурсов и уникальным по мощности топливно-энергетическим комплексом, который является базой развития экономики страны. Именно энергетический сектор экономики обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей отечественной промышленности и определяет формирование основных финансово-экономических показателей, влияющих на благосостояние граждан страны. Экспорт энергоносителей дает до 60 % валютных поступлений России, а вопрос энергосбережения — это вопрос и финансовой безопасности страны. Поэтому природные топливно-энергетические ресурсы, производственный, научно-технический и кадровый потенциал всех отраслей, составляющих ТЭК, является национальным достоянием России.

Главной целью современной энергетической политики страны является бережное и максимально эффективное использование природных ресурсов и потенциала энергетического сектора для неуклонного роста экономики, поддержки новых наукоемких направлений промышленности и повышения качества жизни населения страны [1].

Правительством РФ в рамках энергетической стратегии перед энергетиками поставлены следующие приоритетные задачи:

- полное и надежное обеспечение населения и промышленности России энергоресурсами по доступным, и, вместе с тем, стимулирующим энергосбережение ценам;
- снижение рисков и недопущение развития кризисных ситуаций в энергообеспечении страны;
- снижение удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет их рационального

потребления, применения энергосберегающих технологий и оборудования, сокращения потерь при добыче, транспортировке и реализации продукции ТЭК;

- значительное снижение экологической нагрузки на природу от ТП доставки энергоносителей потребителям в штатных режимах и оперативная локализация аварийных ситуаций.

Анализ развития экономики России наглядно показывает, что газовая промышленность была и будет важнейшей составной частью ТЭК страны, а природный газ в обозримой перспективе останется главным видом не только уникального топлива, но и ценнейшим природным сырьем для многих отраслей промышленности. Последнее обстоятельство с учетом перспектив инновационного развития технологий глубокой переработки газа позволит стабильно обеспечивать страну новыми наукоемкими производствами и конкурентоспособными продуктами.

Учитывая, что природный газ относится к невозобновляемым ресурсам, а основные газовые месторождения в настоящее время эксплуатируются в режиме падающей добычи, проблема энергосбережения в отрасли приобретает особое значение, так как освоение новых газовых месторождений требует несоизмеримо больших капиталовложений. Общеизвестно, что сэкономить тонну условного топлива даже без учета экологической нагрузки в несколько раз дешевле, чем добыть.

#### Анализ парка газоперекачивающих агрегатов

Исторически сложилось так, что формирование газовой отрасли происходило в 60-е годы XX века при чрезвычайно низких ценах на энергоресурсы и большом дефиците оборудования и труб. Это обусловило минимизацию затрат на металл и оборудование для транспорта газа, а задачи экономии энергоресурсов, включая электроэнергию, практически ушли на второй план.

Именно эти обстоятельства определили специфические особенности отечественного состояния развития электрооборудования газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и АСУ компрессорными станциями (КС), среди которых можно выделить следующее:

- беспрецедентные темпы строительства новых магистральных газопроводов и увеличение газоперекачивающих мощностей КС в период до 1986 г. с удвоением мощностей компрессорного парка каждые 5 лет (в среднем по 3,5 млн. кВт ежегодно) привели к экстенсивному развитию отрасли в ущерб надежности и долговечности, эффективности и экономичности, а также перспектив развития и модернизации оборудования электроприводных ГПА. Это привело к тому, что сейчас величина средних удельных эксплуатационных энергозатрат на газопроводах в России на 50...70 % превышает зарубежные показатели. Кроме того, в 1990-х гг. средняя энергоемкость валового национального продукта России увеличилась еще на 35%. Эти цифры говорят лишь о минимальных резервах энергосбережения в отрасли [2];

- в период 1986-2003 гг. в отрасли не разрабатывались какие-либо программы и не проводились работы

по масштабной реконструкции и модернизации электроприводных ГПА КС, что привело к устойчивой тенденции увеличения аварийности основного и вспомогательного электрооборудования. Это связано с наличием значительных газоперекачивающих мощностей, устаревших морально и физически, так как ряд действующих сегодня КС введены в эксплуатацию более 40 лет назад, в том числе 15 КС – до 1971 г. [3].

В настоящее время на КС для транспорта газа используются три варианта приводных установок: газотурбинные установки (ГТУ) различной мощности и типов (промышленные, судовые и авиационные), включая и агрегаты ряда зарубежных фирм, электроприводные системы и поршневые ГПА.

Как известно, технические характеристики современных электроприводов не имеют недостатков по сравнению с другими вариантами энергоприводов ГПА особенно в густонаселенных регионах страны. Все доводы в пользу использования газотурбинных или иных видов энергоприводов относятся к внешним конъюнктурным и субъективным факторам, включая главным образом перекосы тарифной политики ТЭК. Следует обратить внимание, что основные промышленно развитые страны мира давно поэтапно переходят на системы регулируемого электропривода нагнетателей КС [1], что обусловлено неоспоримыми преимуществами автоматизированного электропривода по сравнению с газотурбинными установками:

- точной обработкой всех реальных технологических режимов магистральных газопроводов с высокими энергетическими характеристиками (КПД, коэффициент мощности) в статических, квазистатических и динамических режимах работы компрессорной станции;

- предельно высоким КПД электрических машин переменного тока (до 95...98%) и преобразователей частоты (до 97...99%), который практически неизменен во всем диапазоне регулирования скорости;

- высокой надежностью работы со средней наработкой на отказ до 40 тыс. ч (4,5 г.) и практически без сервисного обслуживания до 35 тыс. ч (4 года), для ГТУ – до 25 тыс. ч;

- в 3...9 раз (в зависимости от комплектации) более низкими первоначальными капитальными затратами на электропривод по сравнению с показателями для ГТУ или конвертируемых авиационных двигателей, и дополнительной выгодой за счет простоты блочного монтажа;

- низкими затратами на техобслуживание и ремонт – до 4 % от эксплуатационных затрат (в случае безмасляных и безредукторных систем затраты отсутствуют), в то время как для ГТУ они составляют 15...30 % стоимости двигателя;

- низкими показателями по трудоемкости ремонт в 1,5...2 раза;

- экологичностью – отсутствием выбросов CO<sub>x</sub> и NO<sub>x</sub> в атмосферу и низким уровнем шума, вибраций и т.п.

Но главное заключается в том, что автоматизированный электропривод всегда был и будет лидером

среди энергоприводов по внедрению новой техники и технологий транспорта газа с неограниченным полем деятельности. Именно здесь всегда отрабатывались все инновационные конструкторские и технологические идеи и затем уже переносились на другие типы агрегатов (например, технология электромагнитного подвешивания валов и роторов машин).

К 2009 г. парк ГПА на КС ОАО "Газпром" распределялся следующим образом: газотурбинный привод составлял примерно 85,3 % от общей установленной мощности; электропривод составлял примерно 14,1 %; поршневой – < 0,6 %.

В настоящее время на КС магистральных газопроводов установлены 4011 ГПА 42 типов, из них ГПА с газотурбинным приводом составляют 3090 ед. По статистике газотурбинные ГПА, используемые на КС, включают 1768 агрегатов стационарного типа отечественного (1372 ед.) и зарубежного (396 ед.) производства и 1322 агрегатов авиационного и судового типов.

Если учесть, что около половины ГПА с электрическим приводом находится в резерве из-за дороговизны электрической энергии, фактический удельный вес газотурбинных ГПА составляет порядка 92 %. Из всего парка газотурбинных ГПА большинство (~60 %) имеют срок эксплуатации 15...20 лет. В связи с этим их техническое состояние значительно снижается из-за физического износа.

Строительство и ввод в эксплуатацию основных мощностей электроприводных КС осуществлялся в 1970-1990 гг. на основе единой экономической политики государства, в соответствии с которой была построена специальная система электроснабжения компрессорных цехов с электроприводными ГПА (ЭГПА). В настоящее время на 13 предприятиях ОАО "Газпром" эксплуатируются электроприводные ГПА, среди них 12 газотранспортных, использующих ЭГПА на КС магистральных газопроводов и дожимных компрессорных подземных хранилищах газа, и одно газодобывающее предприятие, использующее ЭГПА на дожимной КС.

Приведенные факты свидетельствуют о необходимости предотвращения дальнейшего снижения технического состояния и производительности оборудования ГТС, повышения эксплуатационных показателей и снижения энергозатрат при транспорте газа. Эти результаты могут быть достигнуты за счет реконструкции, модернизации и оптимизации режимов эксплуатации основного оборудования компрессорных станций и поиска новых резервов повышения энергоэффективности и надежности работы нагнетателей, приводов и вспомогательного оборудования КС.

#### **Факторы энергоэффективности инновационных решений электроприводных ГПА**

Вместе с тем, в настоящее время имеются положительные примеры успешной разработки и реализации инновационного отечественного и зарубежного оборудования и систем для модернизации ЭГПА КС, адаптированного к особенностям существующего оборудова-

ния и режимам транспорта газа. Все их можно классифицировать как факторы повышения энергоэффективности и надежности КС средствами электропривода ГПА.

1. Методы, алгоритмы и технические средства безопасного пуска/останова ЭГПА (фазовый, мягкий, частотный и квазичастотный пуск средствами силовой полупроводниковой техники; подключение вспомогательных гонных двигателей, специальных обмоток основной машины; переключение режима нагрузки нагнетателей и т.п.). Основным техническим средством безаварийного запуска синхронных электродвигателей сегодня являются высоковольтные тиристорные преобразователи с оптимизированными под нагрузку законами управления и рациональным сочетанием технико-экономического критерия "себестоимость – ресурс машины".

2. Оборудование и алгоритмы для регулирования скорости вращения турбокомпрессора и обеспечения требуемой производительности газоподачи на выходе электроприводных ГПА средствами тиристорных регуляторов напряжения, гидродинамических муфт скольжения; вариантов преобразователей частоты (ПЧ) и напряжения питающей сети на базе автономных инверторов тока, непосредственных и матричных ПЧ. Последний из вариантов выгодно отличается высокими энергетическими характеристиками, регулировочными свойствами и расширенными функциональными возможностями реализации графиков газоподачи.

3. Средства, системы и алгоритмы для обеспечения устойчивой работы ЭГПА при наличии режимных и случайных возмущений со стороны нагрузки, питающей сети и климатических воздействий. Для реализации этих задач используются инвариантные системы с регрессионными алгоритмами, комбинированные САР по основному технологическому параметру давления газа, а также автоматизированные системы регулирования возбуждения синхронных двигателей с микропроцессорными идентификаторами состояния угла нагрузки.

4. Средства электромагнитного подвешивания валов центробежных нагнетателей и роторов приводных синхронных электродвигателей для реализации безмасляных технологий и безредукторных вариантов ЭГПА. Используются высокоскоростные асинхронные или синхронные машины в едином корпусе с турбокомпрессором, конструктивно обеспечивая отсутствие эксплуатационных затрат на маслосмазку подшипников скольжения, уплотнения подшипниковых узлов и смазочные материалы, а также сокращение площадей компрессорных цехов. Однако главное преимущество здесь – увеличение ресурса ГПА и оборудования КС в целом.

5. Встроенные системы оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния электроприводных ГПА для непрерывного анализа параметров оборудования и реализации технологий технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию. Системы диагностики обеспечивают контроль



основных показателей электрооборудования ЭГПА – нагрев обмоток статора, коммутационные перенапряжения питающей сети, вибрации характерных элементов, частичные разряды в высоковольтном оборудовании методом нейро-нечеткой логики и идентификацией на пульте дистанционного управления.

6. Декомпозиция алгоритмов управления электроприводами турбокомпрессоров и адаптация под технологические режимы компрессорных цехов. При этом обеспечивается оптимизация расчета параметров электроприводных ГПА (оптимизация температуры газа регулированием скорости вентиляторов установок охлаждения и оптимизация скорости вращения нагнетателя для стабилизации давления по фактическим графикам работы) исходя из гидравлических расчетов газоподачи магистральных трубопроводов по критерию максимальной производительности.

7. Алгоритмические и аппаратные средства системной координации работы нескольких электроприводных ГПА в рамках компрессорного цеха при работе нескольких агрегатов на одну нагрузку (трубу) и различных характеристиках турбокомпрессоров. Это способствует перераспределению мощностей между параллельно работающими агрегатами с целью равномерной и оптимальной загрузки всех работающих агрегатов и повышения общего КПД станции.

8. Согласование работы различных систем в рамках КС (электроприводных ГПА, аппаратов воздушного охлаждения газа и масла, крановой арматуры, вспомогательных систем) для минимизации энергопотребления и обеспечения минимально достаточного давления газопровода. Это достигается координацией оптимальных параметров температуры, давления газа и производительности КС для каждого технологического режима.

9. Средства электроснабжения со стабильными параметрами питающей сети (новые технические решения КРУ, микропроцессорные системы РЗиА, кабели из сшитого полиэтилена, вдольтрассовое оборудование и т.п.), которые способствуют надежному энергообеспечению КС и улучшению электрической и электромагнитной совместимости электроустановок станции с питающей сетью.

10. Мероприятия по обеспечению комфортных условий обслуживающему персоналу в помещениях КС в соответствии с действующими нормативами при условии максимального энергосбережения. Оптимальные условия микроклимата способствуют повышению производительности труда, адекватности принятия оптимальных решений в различных ситуациях, снижению вероятности ошибок и ущерба от аварий.

11. Координация работы компрессорных цехов и станций с соседними по магистрали КС для повышения пропускной способности магистрального газопровода (согласование параметров газоподачи, давления и температуры газа).

12. Комплекс мероприятий по снижению воздействия на экосистему в районе КС (контроль за соблюдением санитарных норм по выбросам, шумам, вибрации и т.п.).

Для технической реализации рассмотренных выше факторов в настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью выпускаются современные системы и аппараты. Однако целесообразность их внедрения при модернизации КС следует оценивать путем технико-экономического анализа вариантов с учетом особенностей оборудования и технологических режимов каждой конкретной КС. При этом только комплексная, рациональная и адресная реализация приведенных выше инновационных решений по модернизации электроприводных ГПА позволит получить современные конкурентоспособные системы привода для компримирования газа и обеспечить максимальное энергосбережение, высокую производительность и надежность работы КС МГ.

### Выводы

1. Приведенный статистический анализ современного состояния энергоприводов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций свидетельствует о том, что средние удельные эксплуатационные энергозатраты у нас на 50...70 % превышают зарубежные показатели, а около 90% электроприводов турбокомпрессоров выработали свой ресурс.

2. Современные достижения в электромашиностроении, преобразовательной и микропроцессорной технике позволяют в ближайшее время провести модернизацию электроприводов ГПА с реализацией инновационных решений на новом оборудовании, адаптируясь к особенностям работы конкретных КС. Учитывая необходимость использования на КС оборудования высокого технического уровня необходим технико-экономический анализ перспектив работы каждой КС, исходя из динамики развития газотранспортных потоков на ближайшие 20...30 лет и поэтапной энергоэффективной реализации современных ЭГПА.

3. Поэтапную модернизацию электроприводных ГПА следует вести комплексно на основе анализа факторов повышения энергоэффективности и надежности инновационных решений и современного электрооборудования.

### Список литературы

1. Пужайло А.Ф., Спиридович Е.А., Воронков В.И. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. Крюкова О.В. Н.Новгород. Вектор ТиС. 2010.
2. Захаров П.А., Киянов Н.В., Крюков О.В. Системы электрооборудования и автоматизации для эффективного транспорта газа // Автоматизация в промышленности. 2008. №6.
3. Аникин Д.А., Рубцова И.И., Крюков О.В. Проектирование систем управления ЭГПА // Газовая промышленность. 2009. №2.

**Крюков Олег Викторович** – канд. техн. наук, главный специалист ОАО "Газпрогазцентр".  
Контактный телефон (831) 4-28-25-84. E-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru