



**ГЕРВИКОН  
NERVICON**



**ЭККОН  
ЕККОН**



**6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина**

*XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"  
Международный форум "НАСОСЫ-2011"  
Семинар "ЭККОН-11"*

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

**Марцинковский В.С.<sup>1</sup>, Юрко В.И.<sup>2</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*Рассмотрены технические решения, повышающие надежность и эффективность нагнетателей газоперекачивающих агрегатов и обеспечивающие существенное снижение потребляемой энергии.*

**Ключевые слова:** газотранспортная система, газоперекачивающий агрегат, подшипник скольжения, лабиринтное уплотнение, соединительная муфта.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Задача модернизации газотранспортной системы (ГТС) актуальна в связи с тем, что большинство газоперекачивающих станций используют морально устаревшее оборудование, не соответствующее современным требованиям по параметрам энергопотребления (КПД нагнетателей 75...80%, газотурбинного привода 24...43%), и надежности (как правило, один агрегат в работе, один в резерве и один в ремонте).

Поэтому в первую очередь необходимо проводить модернизацию газоперекачивающих агрегатов (ГПА) ГТС, которая должна быть направлена на повышение эффективности и надежности ГПА. При этом необходимо

---

<sup>1</sup> Марцинковский Василий Сигизмундович, к.т.н., директор ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина

<sup>2</sup> Юрко Владимир Иванович, зав. бюро расчетов и программирования, ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина

решить вопрос оптимизации характеристик ГПА под требования технологии транспортировки газа.

Замена морально устаревшего оборудования новым представляется наиболее радикальным но и дорогостоящим вариантом проведения модернизации. В то же время существуют апробированные технические решения, позволяющие поднять эффективность и надежность работы ГПА выше уровня нового оборудования. Такие решения уже на протяжении многих лет применяет большая химия – азотные производства. К ним относятся:

1. Расшивка узких технологических мест с целью увеличения производительности;
2. Согласование режимов работы оборудования с технологическими режимами;
3. Применение эффективных сменных проточных частей для компрессоров и турбин;
4. Автоматизация технологических процессов;
5. Модернизация динамического оборудования с целью увеличения надежности и экономичности для перехода на 2х...4х годичный межремонтный пробег;
6. Вибромониторинг для перехода от ППР к предупредительному обслуживанию и последующему переходу к обслуживанию по техническому состоянию;
7. Применение энергосберегающих технологий.

Основным направлением деятельности фирмы «ТРИЗ» является модернизация центробежных компрессорных агрегатов с использованием узлов собственной разработки и изготовления, отвечающих современным техническим требованиям и обеспечивающих высокую эффективность их применения. Технология модернизации центробежного компрессорного оборудования химической, нефтехимической и газовой промышленности, разработанная на основе многолетнего опыта совместной работы специалистов фирмы «ТРИЗ» и технических служб крупнейших предприятий-потребителей Украины, России, Белоруссии, Польши, нашла практическое применение в сотнях компрессорных агрегатов. Анализ практических результатов показал, что наиболее эффективной является комплексная модернизация компрессорного оборудования, что обусловлено оригинальными и взаимно дополняющими друг друга свойствами модернизированных узлов, позволяющими значительно повысить надежность и экономичность ГПА и добиться существенного сокращения энергопотребления при сжатых сроках окупаемости первоначальных вложений.

## 1. ОПОРНЫЕ ПОДШИПНИКИ

На практике штатные подшипники скольжения не всегда обладают достаточной несущей способностью даже в номинальном режиме, а в пусковых и переходных режимах из-за узкого частотного диапазона устойчивой работы и низкой несущей способности происходит их интенсивный износ. Увеличение зазоров в штатных уплотнениях по причине просадки подшипников, а также высокая вибрация ротора на пусковых и нерасчетных режимах эксплуатации изначально требует увеличенных зазоров в уплотнениях и в процессе эксплуатации становится причиной снижения производительности нагнетателя.

В последнее время на ГПА осуществляется замена штатных подшипников скольжения на активные магнитные подшипники (АМП). Однако магнитные подшипники имеют ряд недостатков, которые описаны, в частности, в работах [1], [2]. Среди этих недостатков можно выделить следующие.

1. Низкие жесткость (в 10-20 раз меньше по сравнению с масляными сегментными подшипниками) и демпфирование, что отрицательно сказывается на динамическом состоянии ротора.

2. Как следствие, низкая несущая способность АМП и необходимость компенсировать ее недостаточность за счет больших, по сравнению подшипниками скольжения, геометрических размеров, которые зачастую трудно обеспечить.

3. Большие зазоры. В силу того, что зазоры в магнитных подшипниках больше, чем в традиционных подшипниках скольжения (радиальный зазор составляет примерно 0,5 мм), в лабиринтных уплотнениях зазоры также должны быть соответственно больше. В результате существенно возрастает расход протечек через уплотнения, и это приводит к снижению КПД агрегата примерно на 1-2%, что, например, для ГПА Ц-16 эквивалентно потере 160-320 кВт мощности.

4. Узкий диапазон устойчивой работы. Магнитные подшипники не обеспечивают необходимую надежность на переходных режимах и во внештатных ситуациях, что в лучшем случае приводит к замене страховочных шарикоподшипников, в худшем к замене, или к капитальному ремонту внутреннего корпуса с ротором.

5. В процессе эксплуатации собственная частота валопровода изменяется и может войти в резонанс с собственной частотой магнитного подвеса.

6. Наличие технически сложной системы контроля и управления АМП.

7. При недостаточно корректной настройке регуляторов в спектре сигнала вибрации появляется низкочастотная составляющая, которая резко повышается при увеличении частоты вращения компрессора.

8. Необходимость обеспечения высокого качества питающей сети и работы бесперебойного питания (в противном случае при переходе с основной сети на резервную сеть возникает несанкционированное падение ротора на страховочные подшипники, что приводит к нештатной ситуации в работе компрессора).

9. Изменение технологии и психологии эксплуатации подшипников, необходимость высокой квалификации обслуживающего персонала.

10. Наличие дополнительной системы защитного воздуха, от работоспособности которой зависит надежность работы АМП.

11. Наличие дополнительных страховочных подшипников.

12. Высокие требования к качеству изготовления и сборки компрессора с АМП, приводящие к его существенному удорожанию.

13. После испытания ГПА на стенде при пуске на месте эксплуатации требуется переналадка АМП.

Все перечисленные факторы приводят к низкой эффективности и надежности компрессоров с АМП по сравнению с компрессорами, работающими даже на штатных подшипниках скольжения, надежность работы которых не соответствуют сегодняшнему уровню развития подшипников скольжения. Таким образом, применение магнитных подшипников на нагнетателях ГПА не оправдано. В то же время, на сегодняшний день есть технические решения в области опорных подшипников скольжения, позволяющие существенно уменьшить энергоемкость при повышении надежности и снижении себестоимости.

В частности, опорные подшипники фирмы «ТРИЗ» обладают широким частотным диапазоном устойчивой работы, высокой демпфирующей и несущей способностью [3]. Благодаря этому подшипники успешно справляются не только с пусковыми и нестационарными режимами, но и с такими аварийными ситуациями, как помпаж, расчеканка лабиринтных уплотнений центробежного компрессора, обрыв лопаточного аппарата, осевой сдвиг. Подшипники (рис. 1) отличаются простотой, компактностью, экономичностью, защищены от электрохимической коррозии, антифрикционный слой имеет на 30% более прочную связь, не требуют каких-либо изменений в маслосистеме.

После замены штатных подшипников скольжения на демпферные подшипники с самогенерируемой гидростатической масляной опорой значительно снижается износ опорных вкладышей, "просадка" подшипника и уровень вибрации ротора компрессора, в том числе при переходных и нестационарных режимах работы, обеспечивается мягкий переход через критическую частоту (амплитуда вибрации снижается на порядок в сравнении со штатными). Благодаря этому уменьшается износ лабиринтных уплотнений, за счет чего снижаются протечки газа и потери мощности

привода на сжатие дополнительного расхода газа, идущего на протечки (объемный КПД повышается на 0,8...1,5%). Даже в самых благополучных с точки зрения динамики агрегатах демпферные подшипники уменьшают прецессию вала в 1,5...2 раза. Это свойство демпферных подшипников фирмы «ТРИЗ» позволяет изначально уменьшить зазоры в лабиринтных уплотнениях и тем самым дополнительно повысить экономичность агрегата. Использование совместно с уплотнениями из полимерного материала "РЕЕК" демпферных подшипников позволяет не только продлить срок службы высокоэффективных дорогостоящих полимерных уплотнений, но и сохранить стабильной производительность агрегата на протяжении нескольких межремонтных периодов благодаря стабильности зазоров в лабиринтных уплотнениях.



Рисунок 1 – Трехсегментный демпферный опорный подшипник

## **2. УПОРНЫЕ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Фирма «ТРИЗ» имеет опыт значительного повышения несущей способности упорных подшипников скольжения в штатных габаритах при одновременном сокращении расхода смазки, что существенно повышает

надежность и экономичность их работы. Такие технические решения, как индивидуальный подвод масла к упорным колодкам, охлаждение термонагруженной зоны и входной кромки колодки, формирование заходной поверхности на входной кромке, применение рычажной выравнивающей системы с повышенными компенсирующими свойствами, использование многофункциональных маслоъемных скребков, позволяют повышать несущую способность упорных подшипников до 3,5 раз [4]. Так, например, несущая способность подшипника модернизированной турбины турбокомпрессора синтез-газа была повышена с 5,5 т (штатная конструкция) до 20 т (модernизированная конструкция, см. рисунок 2), при этом не потребовалось увеличения габаритов турбины и изменения маслосистемы агрегата.



Рисунок 2 – Подшипник опорно-упорный ПДУ-120/260 во время монтажа.

Реализация таких технических решений предоставляет потребителю возможность выбора. В тех случаях, когда страдает надежность агрегата из-за недостаточной несущей способности упорного подшипника и частых осевых сдвигов, установка модернизированного узла тех же габаритов позволяет решить эту проблему и повысить надежность работы агрегата без увеличения потребляемой мощности. В тех же случаях, когда несущей способности штатных упорных подшипников достаточно для восприятия действующих в компрессоре осевых сил, можно заменить штатный

подшипник на модернизированный с меньшими габаритами, за счет чего сократить потери мощности в подшипнике в сравнении со штатными. Это позволит повысить КПД ГПА на 0,5...1%.

### 3. ЛАБИРИНТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

Уменьшение зазора лабиринтных уплотнений позволяет снизить количество вредных перетоков сжимаемого газа между ступенями сжатия, а также подогрев газа на входе в ступень, что увеличивает эффективность сжатия. Но уменьшение зазоров приводит к снижению надежности компрессора, так как при работе возрастает риск касания гребешков уплотнения с ротором. Повысить эффективность сжатия без снижения надежности возможно при использовании материала уплотнений, допускающего касания с вращающимся ротором. Для этого лабиринтные уплотнения изготавливаются из полимерного материала (рис.3). Полимерный композиционный материал обладает повышенной износостойкостью, низким динамическим коэффициентом трения, повышенной стойкостью к химической коррозии. Благодаря своей гибкости позволяет поддерживать стабильными зазоры, установленные на монтаже. Это свойство материала позволяет установить минимальную величину диаметрального зазора в лабиринтном уплотнении и, тем самым, снизить перетоки газа по ступеням.



Рисунок 3 – Лабиринтное уплотнение из полимерного материала.

Уменьшение потерь мощности, связанных с перетоками газа в лабиринтных уплотнениях, позволяет повысить КПД компрессорного агрегата (в среднем на 1,2...2,5 %) и снизить потребляемую мощность при неизменной производительности, либо повысить производительность при той же мощности.

#### **4. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ МУФТЫ**

Экономическая эффективность применения упругих муфт (рис. 4) обусловлена такими факторами, как высокая надежность, снижение потерь мощности на трение в подшипниках за счет снижения нагрузок на соединяемые валы, а также снижение потерь мощности в муфтах за счет устранения трения между зубьями, что дает экономию 0,05...0,1 % потребляемой мощности. Применение демпферных подшипников и упругих муфт позволяет максимально оптимизировать работу роторной системы и свести к минимуму потери мощности в опорах и потери крутящего момента по валопроводу.



Рисунок 4 – Упругая соединительная муфта

#### **ВЫВОДЫ**

Таким образом, минимальная гарантированная экономия при комплексной реализации мероприятий составит 2,5% от потребляемой мощности агрегата. Для ГПА Ц-16 это эквивалентно 400 кВт. Если рассмотреть установленную мощность ГПА, например, по предприятию "Прикарпаттрансгаз", которая составляет 1100,66 МВт, то при модернизации всего парка ГПА и при условии постоянного задействования в работе 1/3 от общего числа агрегатов, экономия потребляемой мощности составит примерно 9 МВт. При этом



следует учитывать, что КПД приводов ГПА, которыми в большинстве случаев являются газотурбинные двигатели, колеблется в пределах 24,5...43%. С учетом этого полная экономия мощности для "Прикарпаттрансгаза" в среднем составит 26,7 МВт. Это позволит, в конечном итоге, сэкономить в газотранспортной системе значительное количество используемого для работы газотурбинных двигателей технологического природного газа, стоимость которого из года в год возрастает, и обеспечит окупаемость затрат на модернизацию в течение года.

При этом следует отметить, что рассмотренные технические решения не только способствуют энергосбережению и росту КПД, но также повышают надежность и срок службы компрессорных агрегатов, значительно уменьшают количество отказов в работе оборудования (по статистике, в газотранспортной системе до 32 % отказов газоперекачивающих агрегатов происходят из-за подшипников скольжения). Такая модернизация позволяет вывести оборудование на новый уровень качества, надежности и экономичности.

В случае замены на новые ГПА в условиях на поставку необходимо оговорить, как минимум, достижения вышеуказанных технических характеристик.

Следует ещё раз подчеркнуть, что все рассмотренные технические решения апробированы и защищены более 50 патентами. Имеющийся в арсенале «ТРИЗ» опыт модернизации динамического оборудования позволяет решить задачу любой сложности с высоким техническим и экономическим эффектом.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Гадяка В.Г., Паненко В.Г. Особенности проектирования центробежных компрессоров с активными магнитными подшипниками//Матер. науч.-технич. конф. «ГЕРВИКОН-2008» Кельце – Перемышль, 9-12 сент. 2008 г. – С. 181-187.
2. Бухолдин Ю.С., Королев В.С., Паненко В.Г., Чернышов А.Б., Данилейко В.И., Сарычев А.П., Носков А.В. Опыт создания и эксплуатации турбокомпрессоров с применением магнитного подвеса ротора//Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2009. №1- С. 17-19.
3. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Развитие радиальных демпферных подшипников с вкладышами на гидростатической опоре//Химическая техника. 2009. №3- С. 10-17
4. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Эффективное повышение несущей способности упорных подшипников скольжения турбокомпрессорных агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. 2009. №7- С. 16-23.

**ENERGY-SAVING MODERNIZATION OF GASCOMPRESSOR UNITS  
OF THE GAS-TRANSPORT SYSTEM**

**Vasily Martsinkovsky, Vladimir Yurko,  
TRIZ Ltd**

**SUMMARY**

*Technical solutions increasing reliability and efficiency of the gascompressor unit equipment and providing sizeable reduction of power consumption are observed.*

**Keywords: gas-transport system, gascompressor unit, fluid film bearing, labyrinth seal, coupling.**