

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"

ТОРЦОВЫЕ ГАЗОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Паненко В.Г.¹, Пшик В.Р.², Вощенко Р.Б.³, Лохоня С.И.⁴

АННОТАЦИЯ

В настоящее время практически на всех центробежных компрессорах, изготовленных в ПАО "Сумское НПО им. М.В.Фрунзе", устанавливаются тандемные торцовые газовые уплотнения. Они успешно эксплуатируются при рабочих давлениях до 8,0 МПа и частотах вращения до 13000 об/мин. При проектировании уплотнения и газовой системы уплотнений компрессоров реализуются технологически выверенные и наиболее эффективные инженерные решения.

Ключевые слова: торцовые газовые уплотнения, компрессор, система уплотнений.

В течение последних лет, практически на всех центробежных компрессорах (ЦК) газоперекачивающих агрегатов (ГПА), изготовленных в ПАО "Сумское НПО им. М.В.Фрунзе" (далее ПАО), устанавливаются торцовые газовые уплотнения (ТГУ). В настоящее время на компрессорных

¹ Паненко Вадим Григорьевич, главный конструктор компрессорного оборудования ПАО «Сумское НПО им М.В.Фрунзе», ул. Горького, 58, 40004, г. Сумы, Украина.

² Пшик Василий Романович, с.н.с. отдела турбомашин СКБ ПАО «Сумское НПО им М.В.Фрунзе», ул. Горького, 58, 40004, г. Сумы, Украина.

³ Вощенко Роман Борисович, зам. нач. отдела турбомашин СКБ ПАО «Сумское НПО им М.В.Фрунзе», ул. Горького, 58, 40004, г. Сумы, Украина.

⁴ Лохоня Сергей Иванович, нач. бюро отдела турбомашин СКБ ПАО «Сумское НПО им М.В.Фрунзе», ул. Горького, 58, 40004, г. Сумы, Украина.

станциях (КС) магистральных газопроводов различных стран эксплуатируется более 150-ти

ГПА с маркой «FRUNZE», на компрессорах которых установлены ТГУ и подшипники скольжения, а также 75 бесшумных компрессора [1]. На этих компрессорах установлены ТГУ, спроектированные и изготовленные в ПАО. В подавляющем большинстве это нереверсивные ТГУ, хотя в объединении проведены успешные испытания и освоено изготовление реверсивных уплотнений [2]. Создание ТГУ было сопряжено с решением целого комплекса инженерных проблем, представляющих самостоятельные сложные расчетные, проектные и технологические задачи. Следует отметить, что практически все ТГУ, изготавливаемые различными фирмами, конструктивно похожи друг на друга, но в то же время, обладают определенными отличиями. Схожесть уплотнений в какой-то мере определяется требованиями международных стандартов, в частности, стандарта API 617, а также другими требованиями потребителей компрессорного оборудования. Основное требование, которое неукоснительно выполняется при проектировании ТГУ для компрессоров ГПА, это тандемная конструкция уплотнительного узла. Последовательное расположение двух ступеней торцового уплотнения не только повышает надежность ТГУ, но и дает возможность проводить постоянный мониторинг технического состояния уплотнения. В ПАО изготавливаются тандемные ТГУ на диаметры валов от 0,10 м до 0,18 м. Уплотнения успешно эксплуатируются на ЦК при рабочих давлениях до 8,0 МПа и частотах вращения до 13000 об/мин. Вращающиеся кольца уплотнений выполнены из карбида кремния или карбида вольфрама (рис. 1), а аксиально-подвижные - из углеграфитов пропитанных фенолформальдегидными смолами или сурьмой.



а)



б)

Рисунок 1 - Рабочие поверхности вращающихся колец ТГУ:
а) фрагмент карбидокремниевого кольца нереверсивного ТГУ;
б) фрагмент твердосплавного кольца реверсивного ТГУ

Эти материалы имеют высокую теплопроводность, а их геометрические размеры, особенно аксиально-подвижного кольца, подобраны таким образом, чтобы при рабочих давлении и температуре обеспечивалось их термоупругое деформирование, приводящее к волнистости и небольшой конфузурности рабочих поверхностей колец пары трения. Этим достигается бесконтактная работа торцового уплотнения в широком диапазоне рабочих параметров.

Роторная часть классической конструкции ТГУ (которой придерживаются практически все зарубежные фирмы-изготовители уплотнений) состоит из цельной основной втулки, на которой установлены вращающиеся кольца первой и второй ступеней уплотнения при помощи промежуточной и замыкающей втулок. Так были выполнены первые узлы уплотнений, изготовленные в объединении и установленные на агрегатах типа ГПА-Ц-16/76-1,44 на КС «Тольятти» и КС «Сызрань» (Россия), а также на КС «Бильча Волица» (Украина). Впоследствии были изготовлены уплотнения несколько видоизмененной конструкции для компрессоров с таким же диаметром вала в месте установки уплотнения, но с иной конфигурацией расточки крышек ЦК (рис. 2). Осевое поджатие аксиально-подвижного кольца осуществляется с помощью нажимного устройства, которое выполнено в виде отдельной сборочной единицы состоящей из нажимной втулки и обоймы, между которыми установлены пружины. Нажимная втулка установлена в корпусе уплотнения с минимальным зазором, что практически исключает повреждение вторичного уплотнителя, обеспечивающего герметизацию аксиально-подвижных колец и их осевое перемещение.

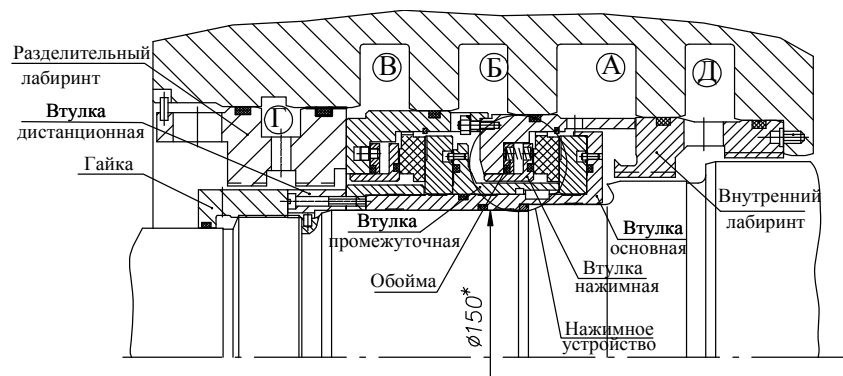


Рисунок 2 - Концевое уплотнение ротора компрессора 294ГЦ2-260/48-76М1:

А - камера подвода буферного газа; Б – камера отвода утечки газа после первой ступени уплотнения; В – камера отвода утечки газа после второй ступени уплотнения;

Г – камера подвода разделительного воздуха, Д – уравнивательная камера

Наиболее широкое применение получили торцовые уплотнения, показанные на рисунке 3. Отличительной особенностью этих уплотнений является то, что их роторная часть состоит из трех втулок, соединенных между собой радиальными винтами. Такое конструктивное исполнение уплотнения позволяет легко осуществлять сборку и разборку его отдельных частей, что особенно важно при ревизии ТГУ в условиях КС.

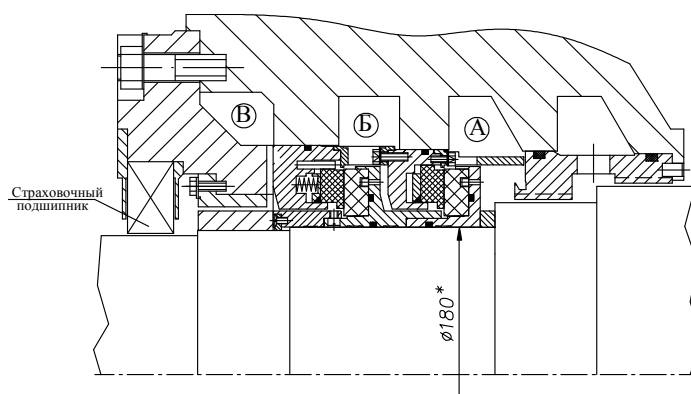


Рисунок 3 - Торцовое уплотнение бесмасляных компрессоров агрегатов типа ГПА-Ц-25 и ГПА-Ц-16С. Обозначения см. на рис. 2

Кроме того для установки таких уплотнений на ротор компрессора применяются монтажные втулки. Монтажные втулки устанавливаются в ТГУ с помощью приспособления (рис. 4) и позволяют полностью исключить заедание демпферов и повреждение уплотнительных колец при установке ТГУ на ротор компрессора.

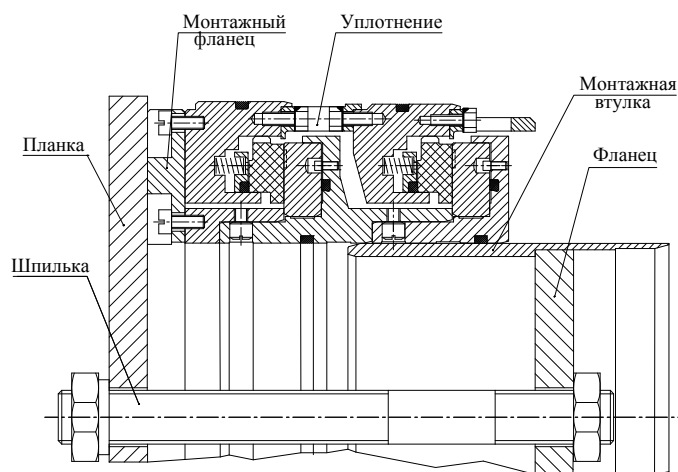


Рисунок 4 - Приспособление для установки монтажной втулки

Конструктивные отличия ТГУ агрегатов ГПА-Ц-6,3 (рис. 5) обусловлены тем, что место установки уплотнений использовалось из ЦК с масляными уплотнениями при незначительных доработках, в основном, крышек компрессоров. В этом уплотнении его статорные элементы удерживаются от осевого смещения под действием давления уплотняемой среды разрезным стопорным кольцом. Кроме того, на некоторых концевых уплотнениях ротора компрессора втулка разделительного лабиринта имеет со стороны опорного подшипника гладкий участок, под которым на гайке выполнена винтовая нарезка, препятствующая попаданию масла в ТГУ.

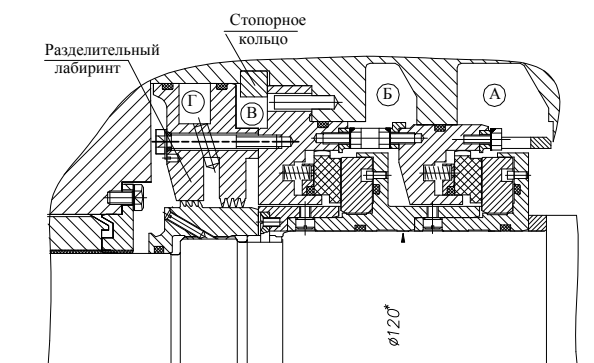


Рисунок 5 - Уплотнение ротора компрессоров агрегатов ГПА-Ц 6,3 (обозначения см. на рис. 2)

С учетом положительных особенностей предыдущих конструкций уплотнений, надежно зарекомендовавших себя в эксплуатации, создана унифицированная конструкция ТГУ (рис. 6), на базе которой разрабатывается стандарт предприятия на торцовые уплотнения на рабочие давления до 10,0 МПа.

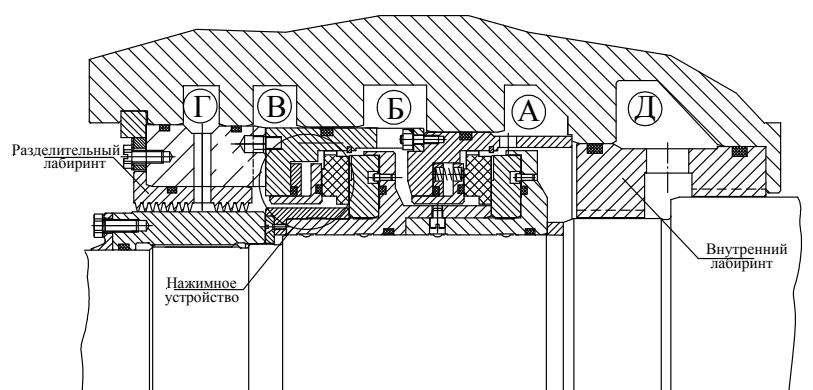


Рисунок 6 - Унифицированная конструкция ТГУ (обозначения см. на рис. 2)

В этом уплотнении статорная и роторная части состоят из отдельных узлов (рис. 7). Это позволяет легко выполнять визуальный контроль пары трения и ревизию уплотнения без сложных приспособлений. Материалы колец пары трения уплотнения и их геометрические размеры заимствуются с ТГУ, проверенных в реальных условиях эксплуатации. Этим достигнута как надежная работа ТГУ, так и их высокая степень унификации.

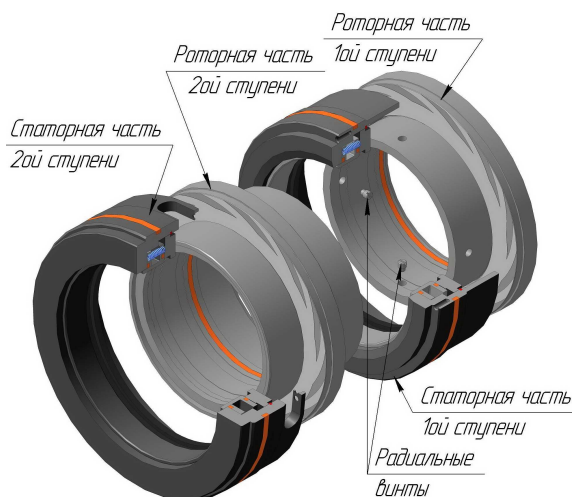


Рисунок 7 - Основные сборочные узлы унифицированного ТГУ

Опыт, накопленный при эксплуатации ЦК, оснащенных ТГУ, как с подшипниками скольжения, так и с магнитными подшипниками, показывает, что более 80% отказов газовой системы уплотнений происходит в основном из-за загрязнений тяжелыми углеводородами C_{6+} и жидкостью из технологического газа, а также твердыми частицами [3]:

- тяжелые углеводороды C_{6+} образуют маслянистые или парафиновые отложения, которые в конечном итоге затрудняют перемещение аксиально-подвижного кольца торцового уплотнения, а также засоряют несущие канавки на рабочей поверхности вращающегося кольца;

- капельная влага, а также углеводородный конденсат (обычно образуются в потоке буферного газа из-за снижения его температуры при дросселировании), попадая в уплотнительный зазор, вызывает увеличение расхода газа через уплотнение и значительное повышение температуры в паре трения, что иногда приводит к термическому растрескиванию рабочих поверхностей колец торцового уплотнения;

- загрязнения твердыми частицами вызванные недостаточной очисткой трубопроводов и каналов подвода буферного газа и отвода утечек (устраняются в процессе пуско-наладки агрегата).

Эти загрязнения являются основной причиной отказов ТГУ при пусконаладочных работах, а также при пусках агрегатов после длительной стоянки и зависят не столько от конструкции уплотнения, сколько от правильно подобранной и спроектированной газовой системы уплотнений агрегата в целом, особенно системы очистки и подачи буферного газа.

Наиболее качественно подготовку (сепарация и очистка от вредных примесей и твердых частиц, осушка и поддержание определенной температуры газа на входе в агрегатную систему уплотнений) обеспечивает стационарная система подачи буферного газа. Такие системы применяются для обеспечения надежной работы компрессоров дожимных КС, расположенных в непосредственной близости от месторождений. Несмотря на то, что стационарная система повышает как капитальные, так и эксплуатационные затраты на КС, надежная работа компрессоров полностью компенсирует дополнительные расходы.

Учитывая то, что перекачиваемый газ линейными КС многократно очищается в процессе транспортировки, их агрегаты целесообразно оснащать наиболее простой газовой системой, при которой отбор буферного газа осуществляется с нагнетания компрессора до аппарата воздушного охлаждения. Повышенная температура буферного газа позволяет исключить выпадение конденсата при его дросселировании в запорно-регулирующей арматуре и парах трения торцовых уплотнений. Кроме того, на таких агрегатах, чтобы не допустить загрязнения уплотнений технологическим газом, ограничивается скорость повышения давления в газовом контуре при его заполнении. Этих двух условий, если очистка и влагосодержание газа соответствуют требованиям ГОСТ, обычно достаточно, чтобы избежать загрязнения узлов уплотнений. Такие системы уплотнений применяются на различных агрегатах, поставляемых ПАО на линейные КС магистральных газопроводов.

Однако, как показала практика, на компрессорах с такими системами уплотнений, чаще всего отказы в работе ТГУ наблюдаются на стадии ввода в эксплуатацию вновь строящихся КС из-за недостаточной очистки технологического газа и трубопроводов. Это происходит, в основном, при заполнении газового контура технологическим газом, когда отсутствует подача буферного газа к ТГУ.

Для обеспечения бесперебойной подачи буферного газа к узлам уплотнений на всех режимах работы компрессора применяют комбинированные газовые системы уплотнений. В этих системах предусматривается отбор газа, в зависимости от режима работы компрессора, от двух источников: при заполнении контура технологическим газом - от нагнетательного трубопровода КС, а при работе компрессора - от нагнетательного патрубка компрессора. Однако следует учитывать, что от нагнетательного трубопровода КС отбирается уже охлажденный газ, давление которого равно давлению нагнетания компрессора. При этом возможно выпадение капельной жидкости при дросселировании газа,

особенно в начале заполнения газового контура, когда диапазон изменения давления буферного газа максимальный. Для поддержания температуры буферного газа выше температуры, соответствующей состоянию насыщения в нем паров, как по углеводородам, так и по влаге, необходимо вводить в комбинированную газовую систему уплотнений дополнительное оборудование, в частности, подогреватели газа [4]. Это приводит не только к усложнению агрегатной системы уплотнений, но и к увеличению как капитальных, так и эксплуатационных затрат.

Наиболее опасными, с точки зрения загрязнения ТГУ, являются режимы заполнения газового контура агрегата. Особенно это относится к начальному этапу заполнения технологическим газом проточной части компрессора, когда скорость движения газового потока максимальная.

Простая система подачи буферного газа, принципиальная схема которой показана на рисунке 8, позволит исключить поступление грязного технологического газа к ТГУ на этапе заполнения газового контура.

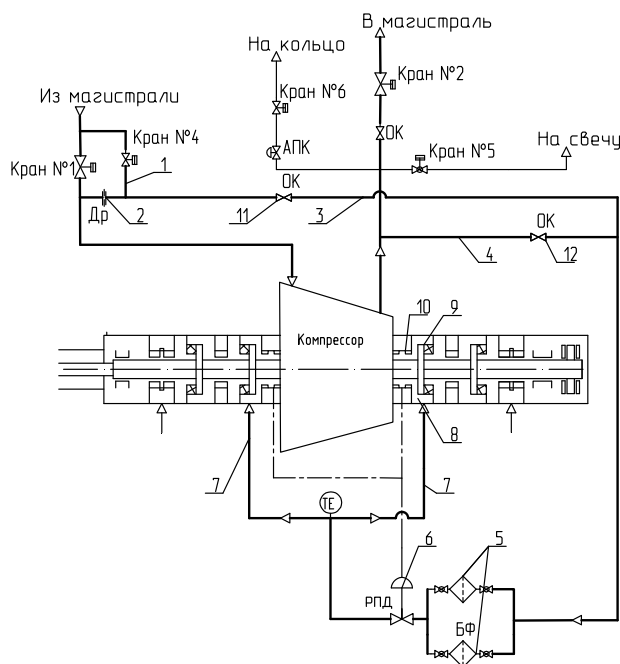


Рисунок 8 - Комбинированная система подачи буферного газа ГПА линейных КС

В этой системе, в зависимости от режима работы компрессора, предусмотрен отбор газа от двух источников: при заполнении газового контура агрегата - буферный газ отбирается от обводной линии 1 крана №1 (между краном №4 и дроссельной шайбой 2) по дополнительному трубопроводу 3; при работе агрегата - с нагнетания компрессора по

трубопроводу 4. Из этих трубопроводов газ через блок фильтров 5 и регулятор перепада давлений «газ-газ» 6 по трубопроводам подвода 7 поступает в камеры 8 между торцовыми 9 и лабиринтными 10 уплотнениями. В трубопроводе 3 и в трубопроводе 4 установлены обратные клапана 11 и 12 (или запорная арматура) [5].

Заполнение газового контура и проточной части компрессора осуществляется через обводную линию 1 после открытия крана №4. Скорость повышения давления в газовом контуре зависит от его объема и диаметра дроссельной шайбы 2. Диаметр дроссельной шайбы 2 меньше, чем проходное сечение крана №4, следовательно, давление в обводной линии перед дроссельной шайбой 2 и на входе в дополнительный трубопровод 3, устанавливается такое же, как и перед краном №1, т.е. равное давлению в трубопроводе на входе КС. Таким образом, газ с одним и тем же давлением будет поступать одновременно в газовый контур компрессора и в систему уплотнений через дополнительный трубопровод 3. Объем газового контура компрессора значительно больше, чем объем трубопроводов системы подачи буферного газа. Следовательно, повышение давления газа в газовом контуре компрессора происходит значительно медленнее, чем в трубопроводах системы подачи буферного газа. Давление газа в трубопроводах системы уплотнений до регулятора перепада «газ-газ» 6 практически мгновенно уравнивается с давлением в трубопроводе на входе КС. При этом практически все время, пока идет заполнение газового контура, давление в камерах 8 перед торцовыми уплотнениями 9 будет поддерживаться регулятором 6 больше, чем давление газа в проточной части компрессора. И только в конце заполнения контура, после открытия входного крана № 1, давление в камерах 8 перед торцовыми уплотнениями 9 сравняется с давлением в проточной части компрессора. При этом заканчивается заполнение контура компрессора газом. Скорость перемещения технологического газа в проточной части компрессора незначительна и, следовательно, возможность попадания загрязнений в ТГУ минимальна. В дальнейшем, по мере набора оборотов компрессором, газ с нагнетания компрессора начнет поступать через обратный клапан 12 по основному трубопроводу 4 подвода газа в камеры 8 перед ТГУ. При этом в трубопроводе 3 обратный клапан 11 закроется и, в течение всего периода работы компрессора, будет осуществляться подача очищенного газа по трубопроводу 4.

Во время остановки компрессора при стравливания газа на свечу через кран №5 давление в газовом контуре будет понижаться. Обратные клапаны 11 и 12 закроются и газ, из трубопроводов и блока фильтров системы уплотнений, будет уходить через лабиринтные уплотнения 10 в проточную часть компрессора, препятствуя попаданию грязного технологического газа в торцовые уплотнения.

Таким образом, рассмотренная система уплотнений исключает поступление грязного технологического газа к ТГУ, как при заполнении, так

и при стравливании газового контура, а также при стационарных режимах работы ГПА. Кроме того, при этом не требуется дополнительное оборудование для подогрева буферного газа, так как при заполнении газового контура давление в точке отбора буферного газа и время его подачи минимальны. К тому же такая система уплотнений решает проблему пуска первого ГПА при запуске КС на вновь строящихся газопроводах, так как не требует, чтобы давление буферного газа было выше давления всасывания компрессора [6].

Опыт, приобретенный за длительный период эксплуатации агрегатов, показал, что при выборе типа ТГУ и принципиальной схемы газовой системы уплотнений необходимо учитывать экологические, экономические и технологические факторы. Реализация технологически выверенных и наиболее эффективных инженерных решений при проектировании ТГУ и систем уплотнений компрессоров в целом позволяет уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты за счет упрощения конструкции, снижения затрат на ремонт и потерь газа при эксплуатации ГПА.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Бухолдин Ю.С. Опыт создания и эксплуатации турбокомпрессоров с применением магнитного подвеса ротора / Ю.С. Бухолдин, В.С. Королёв, В.Г. Паненко, А.Б. Чернышов, В.И. Данилейко, А.П. Сарычев, А.В. Носков // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - 2009. - №1. С. 9-12.
2. Королев В.С. Реверсивные торцовые газовые уплотнения центробежных компрессоров газоперекачивающих агрегатов: вопросы / В.С. Королев, В.Г. Паненко, О.И. Петров, В.Р. Пшик, Р.Б. Вощенко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2010., №1 (19), С. 27-31.
3. Seal Failure Analysis. (Анализ отказов уплотнений). Проспект фирмы John Crane. - 2001. - С.22.
4. Делрахим Дж. Подготовка газа повышает срок службы газового уплотнения компрессора / Дж. Делрахим // Нефтегазовые технологии. - 2005. - № 6. С. - 88-90.
5. Пат. 91926 Украина, МПК F04D 17/00, F04D 29/08, G05D 16/04. Система ущільнення турбокомпресора / Пшик В.Р., Паненко В.Г., Лохоня С.И., Лещенко Л.Н., Рейзлер В.Г.; заявник и патентовласник ВАТ «Сумське машинобудівне НВО ім. М.В.Фрунзе» - № а200900993; заявл. 09.02.09; опубл. 10.09.10. Бюл. № 17.
6. Кислицын Г.Ф. Обеспечение работоспособности сухих газодинамических уплотнений при запуске компрессорной станции / Г.Ф. Кислицын, И.С. Фрейман, С.В. Злобин // Газотурбинные технологии. - 2009.- № 7.- С. 36-37.

DGS FOR CENTRIFUGAL COMPRESSORS OF TURBO-COMPRESSOR PACKAGES

**Vadim Panenko, Vasyl Pshik, Roman Voshchenko, Sergey Lokhonya,
PJSC «Sumy Frunze NPO»**

SUMMARY

At present DGS of tandem type are installed on shafts diameters from 0.10 m to 0.18 m practically at all centrifugal compressors manufactured at JSC “Sumy Frunze NPO”. They are successfully operated at working pressures up to 8.0 MPa and speed 13000 rpm. While designing seals and compressors gas seals system the most effective engineering and technologically developed solutions are carried out.

Keywords: DGS, compressor, seals system.