

УНИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ

© 2011 С. В. Фалалеев¹, В. В. Седов², В. В. Мидюкин³

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

²Открытое акционерное общество «Газпром»

³ООО «Газпром трансгаз Самара»

Сформулированы научно обоснованные предложения по выбору геометрических размеров колец уплотнения. Выбран унифицированный ряд пар трения. Он применим ко всем нагнетателям природного газа.

Газодинамическое уплотнение, пара трения, унификация, диаметральные размеры.

В ОАО «ГАЗПРОМ» из более 4000 агрегатов различной мощности около 260 оборудованы системами газодинамических уплотнений (ГДУ) различных производителей (John Crane, Eagle-Burgmann, СНПО им. М.В. Фрунзе, НПФ «ГРЕЙС ИНЖИНИРИНГ», ООО «ПНПК», ЗАО «ТРЭМ-Казань»), причем ГДУ имеют разные размеры пар трения. Создание ГДУ является высокотехнологическим и трудоёмким процессом. Разработка унифицированного ряда пар трения позволит существенно снизить сроки и стоимость проектирования ГДУ, так как разработка пары трения является наиболее трудоёмким этапом при проектировании.

Выбор диаметральных размеров уплотнительного кольца ГДУ

При проектировании ГДУ необходимо задать первоначальные геометрические размеры пары трения для последующей их оптимизации. При этом необходимо учитывать следующие основные требования к уплотнениям: требуемая герметичность; высокая надёжность; приемлемые динамические свойства; малые габариты и вес.

Данные требования весьма противоречивые. Анализ разработанных методов анализа и проектирования ГДУ [1, 2] позволил конкретизировать требования к выбору геометрических размеров уплотнений:

1. Обеспечение баланса осевых сил в ГДУ.
2. Обеспечение баланса изгибающих моментов в ГДУ.
3. Обеспечение требуемых величины и формы уплотнительного зазора.
4. Обеспечение высокой жёсткости газового слоя.
5. Обеспечение работоспособности вто-

ричного уплотнения.

6. Обеспечение малых габаритов пары трения.

7. Снижение влияния технологических допусков на геометрические размеры.

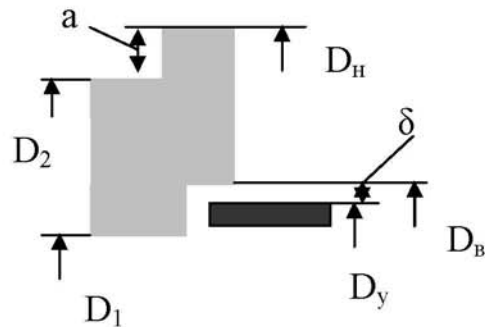


Рис. 1. Схема графитового кольца

Для выбора диаметральных размеров графитового кольца (рис. 1) на предварительном этапе проектирования были сформулированы следующие критерии:

1. Геометрический критерий, представляющий собой коэффициент разгрузки пары трения $k = (D_2^2 - D_y^2) / (D_2^2 - D_1^2)$. Рекомендуемое значение параметра $k = 0,83 \dots 0,835$. При данных значениях обеспечивается высокая осевая жёсткость газового слоя и многорежимность ГДУ.

2. Прочностной критерий, представляющий собой радиальную усадку графитового кольца в месте расположения вторичного уплотнения $\Delta r = \Delta p D_e D_n^2 / (E(D_n^2 - D_e^2))$ [2]. Рекомендуемое допустимое значение параметра $\Delta r = 0,75\delta$, где δ – монтажный радиальный зазор между графитом и втулкой. В этом случае обеспечивается работоспособность вторичного уплотнения и подвижность графитового кольца. Следует учесть, что $D_e = D_y + 2\delta$, $D_n = D_2 + 2a$. Размер a необходим для размещения штифта от проворота и

определяется конструктивно.

3. Газодинамический критерий представляет собой изгибающую жёсткость газового слоя $C_{\theta} = -\Delta M_{изз} / \Delta \theta = -\Delta M_{изз} \Delta r / \Delta h$. Рекомендуемое значение данного критерия – не менее 10^4 нм/рад. В этом случае будет обеспечен баланс изгибающих моментов на графитовом кольце, которое является самым слабым элементом пары трения, при минимальном искажении формы зазора. Также будут обеспечены приемлемые динамические характеристики ГДУ. При данном значении параметра будет сведено к минимуму влияние технологических допусков на геометрические параметры пары трения.

Предлагается следующий алгоритм определения диаметральных размеров пары трения:

1. По известному диаметру вала по конструктивным соображениям выбирается внутренний диаметр графитового кольца D_1 .

2. Проводится серия газодинамических расчетов пары трения и определяется ширина уплотнительной поверхности $(D_2 - D_1)$, исходя из условия обеспечения рекомендуемого значения газодинамического критерия C_{θ} .

3. Выбрав значение геометрического критерия k , определяем (с учетом выражения $D_6 = D_y + 2\delta$) внутренний диаметр графитового кольца $D_6 = 2\delta + \sqrt{(D_2^2 - k(D_2^2 - D_1^2))}$.

4. Выбрав значение прочностного критерия Δr , рассчитаем минимальное значение

$$D_n = \sqrt{\frac{\Delta r E D_6^2}{\Delta r E - \Delta p D_6}}. \text{ Далее проверяем условие } D_n = D_2 + 2a.$$

Диаметральные размеры графитового кольца однозначно определяют диаметральные размеры узла ГДУ. Так, максимально возможный внутренний диаметр втулки вала $D_{вн.вал} = D_1 - 10$ мм. Минимально возможный наружный диаметр корпуса $D_{нар.корп.} = D_n + 7$ мм.

Таким образом, разработана научно обоснованная методика определения габаритных размеров ГДУ на этапе предварительного проектирования. В дальнейшем при проведении поверочных расчетов геометрические размеры будут уточнены.

Выбор типоразмерного ряда посадочных мест под ГДУ

Для случая использования ГДУ необходимо отметить, что стандартный ряд диа-

метров валов применяется только для посадочных мест под подшипники и определяется величиной передаваемого крутящего момента. Диаметры валов под установку уплотнений могут быть отличными по величине от диаметров под подшипники из-за конструктивных требований, например удобства монтажа или потребности упорных буртов.

Для точного определения размерного ряда посадочных мест под ГДУ потребовалось изучить конструкции опорных узлов всех перспективных отечественных нагнетателей, используемых в ОАО «Газпром».

Все посадочные размеры под ГДУ по валу и по корпусу рассортированы по группам. За характерные размеры приняты диаметры вала под уплотнением. В качестве размера, ограничивающего группу, принят посадочный диаметр по корпусу ГДУ, который определяется конструктивно-технологическими возможностями создания пары трения.

Внутренний диаметр графитового кольца лимитируется диаметром вала, размером поперечного сечения резинового уплотнительного кольца по валу и толщиной роторных втулок и должен быть на 10 мм гарантированно больше диаметра вала.

Графитовое кольцо по наружному диаметру фиксируется от вращения штифтовым соединением. Диаметр штифтов выбирается из условий прочности графита на излом и износ. Учитывая необходимые зазоры и толщину корпусной втулки для установки штифта, получаем, что потребный посадочный диаметр по корпусу ГДУ должен быть на 7 мм больше наружного диаметра графитового кольца.

Проведенный анализ посадочных поверхностей под корпус ГДУ в существующих ГПА отечественного производства (рис. 2) показал, что все они могут быть разбиты на четыре группы с диаметром посадочных мест под ГДУ по валу: от 115 до 130 мм; от 130 до 160 мм; от 160 до 185 мм; от 185 мм и более.

С учетом этих данных с применением отработанной технологии проектирования [3] был спроектирован унифицированный ряд пар трения ГДУ (рис. 3), который был изготовлен и успешно испытан. Расчетные характеристики уплотнений приведены в таблице. Испытания проводились на динамическом стенде СУ-1, конструкция которого приведена в работе [3].

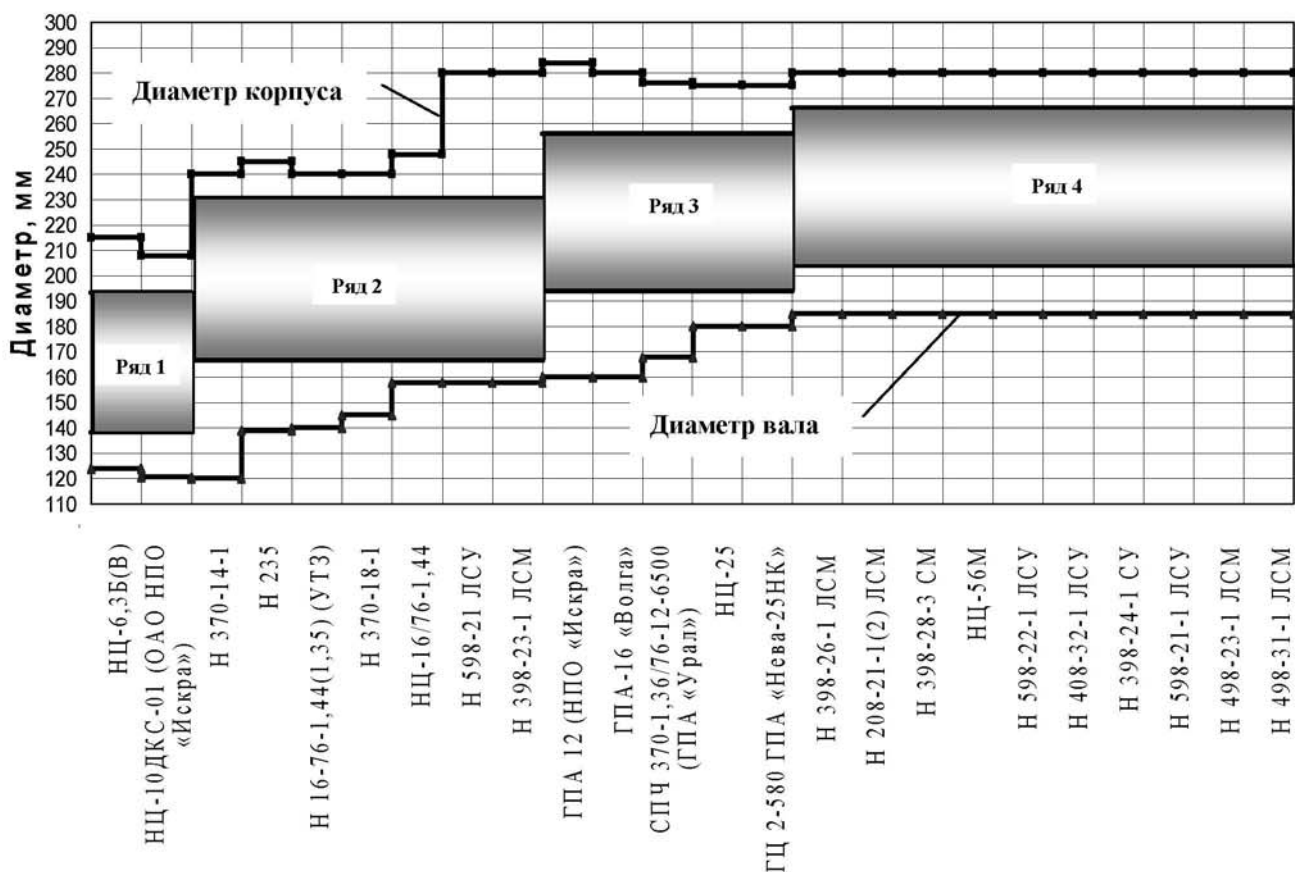


Рис. 2. Графическое представление выбора унифицированного ряда пар трения ГДУ для нагнетателей природного газа

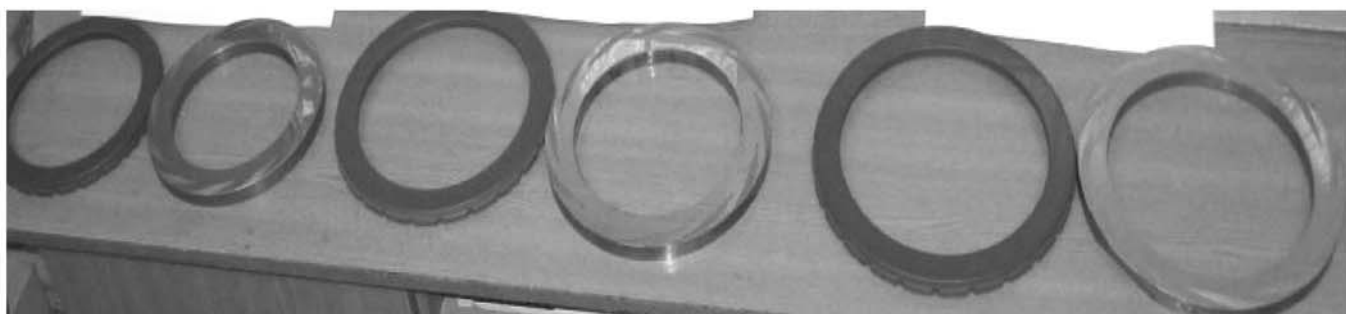


Рис.3. Фото пар трения

Таблица 1. Расчетные характеристики ТГДУ

Параметр	Пара трения 1	Пара трения 2	Пара трения 3	Пара трения 4
Перепад давления 5,2 МПа; частота вращения ротора 5500 об/мин				
Величина зазора, мкм	2,7	2,6	2,5	2,4
Утечки газа, нл/мин	36	35	37	40
Амплитуда изменения зазора, мкм	0,39	0,4	0,44	0,41
Перепад давления 5,2 МПа; частота вращения ротора 8300 об/мин				
Величина зазора, мкм	2,8	2,8	2,9	2,8
Утечки газа, нл/мин	48	54	58	60
Амплитуда изменения зазора, мкм	0,4	0,42	0,47	0,45

В процессе экспериментальных исследований измеренные величины утечек газа отличались от расчётных величин не более чем на 10%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

1. Фалалеев, С.В. Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов: основы теории и проектирования [Текст] / С.В. Фалалеев, Д.Е. Чегодаев - М.: Изд-во МАИ, 1998. - 276 с.

2. Фалалеев, С.В. Динамические характеристики торцового газодинамического уплотнения в ГПА с магнитным подвесом [Текст] / С.В. Фалалеев, В.В. Седов // Газотурбинные технологии 2009. - №3. - С.34-37.

3. Повышение эксплуатационной надёжности ГПА развитием конвертированных авиационных технологий [Текст] / С.Д. Медведев, С.В. Фалалеев, Д.К. Новиков [и др.] - Самара: СНЦ РАН, 2008. - 371с.

UNIFICATION OF THE DESIGN OF GASDYNAMIC SEAL

© 2011 S. V. Falaleev¹, V. V. Sedov², V. V. Midyukin³

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

²JNC «GAZPROM»

³GAZPROM Transgaz Samara

In the report scientifically well-founded offers for choice the geometrical sizes of rings of seal are formulated. The unified number of pairs a friction is chosen. It is applicable to all superchargers of natural gas.

Gasdynamik seal, friction pair, unification, the diametrical sizes.

Информация об авторах

Фалалеев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел. (846) 267-46-75, факс (846) 335-87-67. E-mail: sergey_falaleev@mail.ru, kipdla@ssau.ru. Область научных интересов: моделирование многодисциплинарных процессов в узлах и системах авиационного двигателя; газодинамические уплотнения.

Седов Виктор Викторович, начальник отдела по капитальному ремонту Открытого акционерного общества «Газпром». E-mail: V.Sedov@adm.gazprom.ru. Область научных интересов: моделирование процессов в газодинамических уплотнениях.

Мидюкин Виктор Вениаминович, заместитель начальника технического отдела ООО «Газпром трансгаз Самара». Тел. (846) 241-24-95. E-mail: viktor.midyukin@samaratransgaz.ru. Область научных интересов: моделирование процессов в газодинамических уплотнениях.

Falaleev Sergey Victorinovich, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Aircraft Engines Design Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kipdla@ssau.ru. Area of research: mechanical non-contact seals.

Sedov Viktor Victorovich, Chief of division on capital repair and diagnostic of compressor stations subdepartment, gas and gas condensate transportation department of JNC «GAZPROM». E-mail: V.Sedov@adm.gazprom.ru. Area of research: mechanical non-contact seals.

Midyukin Viktor Veniaminovich, Vice-Chief of technical department of «GAZPROM Transgaz Samara». E-mail: viktor.midyukin@samaratransgaz.ru. Area of research: mechanical non-contact seals.