

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «СУХИХ» УПЛОТНЕНИЙ ГАЗОВОГО ДОЖИМНОГО КОМПРЕССОРА ГТД НК-37 НА ВОЗДУХЕ

© 2006 В.М. Белкин¹, И.П. Косицын¹, М.А. Емельянов¹, Г.А. Терехов¹,
С.В. Фалалеев², Д.К. Новиков²

¹ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

²Самарский государственный аэрокосмический университет

В работе приведены результаты экспериментальной доводки «сухих» уплотнений – опор модулей (секций) дожимного газового компрессора ГТД. В качестве рабочего тела использовался воздух. Целью испытания было определение утечек через эти уплотнения на рабочих режимах рассчитанных для природного газа.

В работе [1] представлены материалы по разработке установки дожимного компрессора (УДК-ЦГ) для подачи природного газа в ГТД типа НК-37 мощностью 25 МВт, КПД 36,4 % и показано, что альтернативой существующим поршневым и винтовым дожимным компрессорам (ДК) могут быть центробежные компрессора с промежуточным охлаждением газа на базе малорасходных центробежных ступеней с параметрами:

- рабочая среда	природный газ;
- массовый расход, кг/с	1,87
- входное абс. давление, МПа	0,392
- выходное абс. давление, МПа	4,217
- степень повышения давления	10,75
- температура газа на входе, К	288

В ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова» на заданные параметры выбран оптимальный вариант многоступенчатого компрессорного агрегата для УДК-ЦГ, разработана компоновка ДК, выпущены рабочие чертежи, разработана технология, изготовлен опытный экземпляр компрессора и проведены испытания ДК-1 на воздухе на подобных режимах. Конструкция первого каскада показана на рис. 1, второго – на рис. 2. Разработанный компрессор имеет следующие особенности:

1. Частота вращения роторов ДК с центробежными колесами – 25000 1/мин. Для обеспечения заданного ресурса были приняты шариковые подшипники, смазываемые маслом;
2. Компрессор центробежный, число ступеней 12;
3. Схема дожимного многоступенчатого компрессорного агрегата включает два многоступенчатых компрессора (каскада).

Каждый каскад состоит из секций (модулей), а каждая секция состоит из трех ступеней. Такая схема позволила получить жесткие валы с коэффициентом запаса по критическим оборотам – 1,4;

4. Ротор каждой секции снабжен двумя шариковыми подшипниками и двумя концевыми газодинамическими «сухими» уплотнениями. Использование «сухих» уплотнений позволяет уменьшить суммарный выброс газа в атмосферу до 4...8 г/с и сократить длину вала между опорами;
5. Между секциями установлены три газоздушных охладителя природного газа;
6. Оба двухсекционных каскада приводятся во вращение от электромотора мощностью 1 МВт через мультипликатор;
7. Автономная маслосистема, система управления и регулирования;
8. Все утечки газа через концевые уплотнения поступают в полости мультипликатора и маслобака. Выброс утечек газа в атмосферу производится из полости мультипликатора по трубопроводам через подпорный клапан при перепаде давления 0,0098...0,0147 МПа (0,1...0,15 кгс/см²).

Методика расчета гидродинамических «сухих» уплотнений, технология изготовления и испытания [2] разработаны Самарским государственным аэрокосмическим университетом (СГАУ) и ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова».

«Сухие» уплотнения для ДК были рассчитаны на параметры:

- частота вращения ротора, 1/мин	25000
- окружная скорость на периферии вращающегося диска, м/с	143

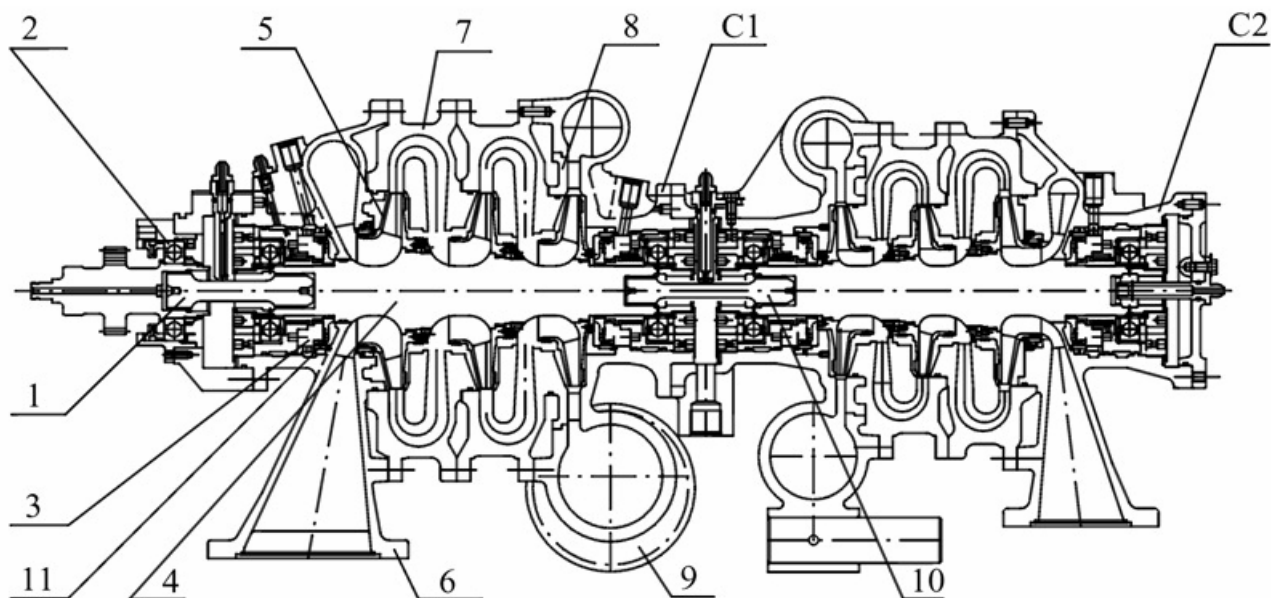


Рис. 1. Первый каскад дожимного компрессора:

1 – рессора; 2 – подшипник; 3 – концевое уплотнение «сухое»; 4 – вал; 5 – центробежное рабочее колесо; 6 – корпус входной; 7 – обратный направляющий аппарат канальный; 8 – лопаточный диффузор; 9 – корпус выходной (улитка); 10 – рессора; 11 – уплотнение лабиринтное; C1, C2 – первая и вторая секции дожимного компрессора

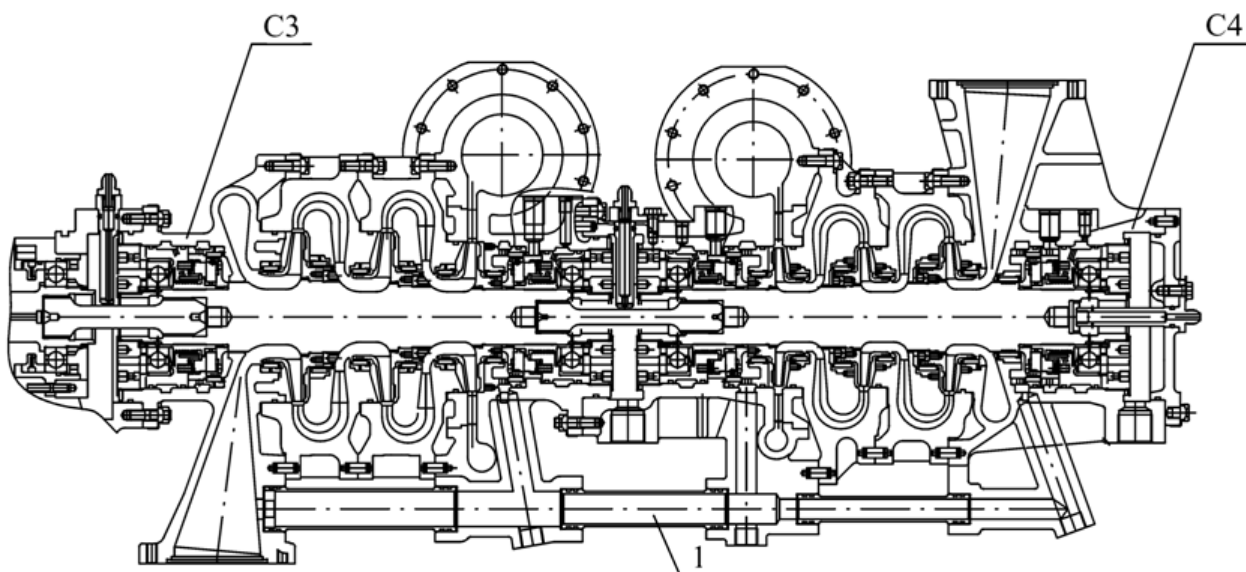


Рис. 2. Второй каскад дожимного компрессора:

1 – труба переброса газа; C3, C4 – третья и четвертая секции дожимного компрессора

- перепад давления на уплотнении, МПа (кгс/см²) 1,96 (20)
- расчетные утечки газа через уплотнение, г/с 0,3÷1.0
- расход газа на охлаждение пары трения, г/с 5
- температура газа на входе в уплотнение, К(°С) 323 (50)

Конструкция опоры ротора секции с «сухим» уплотнением показана на рис. 3.

Отличительной особенностью созданных концевых «сухих» уплотнений является

то, что из-за недостатка монтажного пространства пришлось отказаться от резервной ступени «сухого» уплотнения, а ее функции выполняются масляным уплотнением 13,14, которое располагается между подшипником 16 и «сухим» уплотнением 6,7,9. Конструктивно подшипниковый узел и узел «сухого» уплотнения объединены в один корпус 1, разделенные маслоотбойными элементами (шайба 14 и резьба 13) и составляют единый автономный узел – опору. Все роторные элементы опоры установлены на общей

втулке 11, которая по шлицам устанавливается на конец вала ротора секции ДК. Вращающийся диск 9 (твердосплавное кольцо со спиральными канавками показано на рис. 4) «сухого» уплотнения изготовлен из карбидвольфрама, а графитовое уплотнительное кольцо 6 из НИГРАН-В. Такая конструкция позволяет проводить контрольные испытания окончательно собранной опоры и ее установку в компрессор без разборки. При испытаниях рабочее тело (воздух) подается сверху 5 в полость «сухого» уплотнения 4, а масло к подшипнику 16 через отверстие 15.

Испытуемый узел-опора в составе ДК применяется в четырех вариантах исполнения. Два варианта исполнения обусловлены разным направлением вращения для двух опор каждого ротора, из-за особенностей газодинамического уплотнения и наличием маслоотбойной резьбы. Два варианта опор отличаются посадочными диаметрами узлов

в корпусе компрессора. Для проведения контрольных испытаний собранных опор разработан, изготовлен и внедрен в эксплуатацию стенд испытаний «сухих» уплотнений. Схема стенда для испытаний «сухих» уплотнений на воздухе показана на рис. 5. В состав стенда входят следующие основные узлы:

- воздушный турбинный привод 1 с частотой вращения до 50000 1/мин;
- испытательная головка 2, состоящая из сменных корпусов с парой опор соответствующих роторам ДК;
- маслобаки 3, 4 и маслосистемы для смазки подшипников турбинного привода 5,7 и испытательной головки 6,8;
- система замера утечек воздуха через «сухие» уплотнения, зона 9;
- система измерений стенда;
- воздушные системы стенда 10,11 (10 – линия подвода воздуха к турбине привода, 11 – линия подвода воздуха к «сухим» уплотнениям).

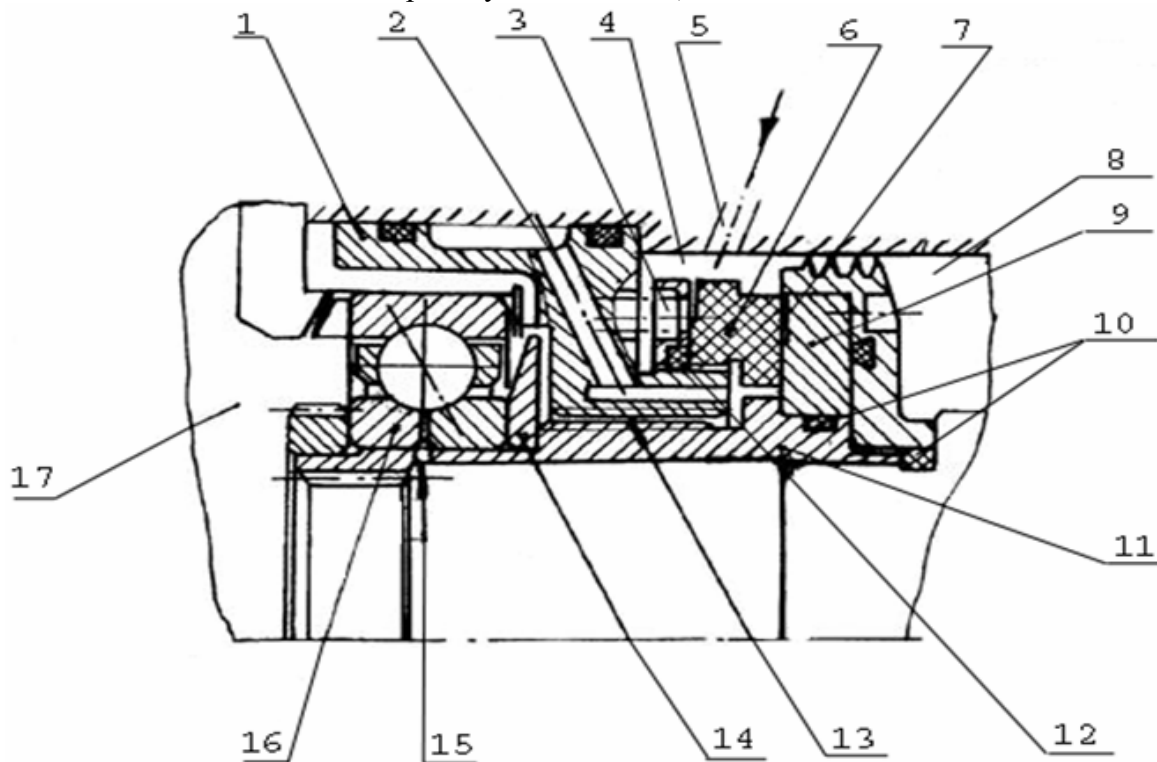


Рис. 3. Опора ротора секции ДК с «Сухим» уплотнением:

1 – корпус; 2 – полость за уплотнением; 3 – упругий элемент; 4 – полость до уплотнения; 5 – подача рабочего тела (воздух); 6 – графитовое уплотнительное кольцо; 7 – газодинамическая камера; 8 – полость за лабиринтным уплотнением; 9 – вращающийся диск, твердосплавное кольцо со спиральными канавками; 10 – резиновые уплотнительные кольца; 11 – втулка со шлицами; 12 – вторичное резиновое уплотнение; 13 – маслоотбойная резьба на втулке; 14 – маслоотбойное кольцо; 15 – подвод масла к шарикоподшипнику; 16 – двухточечный шарикоподшипник; 17 – масляная полость (слив масла из опоры)



Рис. 4. Твердосплавное кольцо «сухого» уплотнения со спиральными канавками

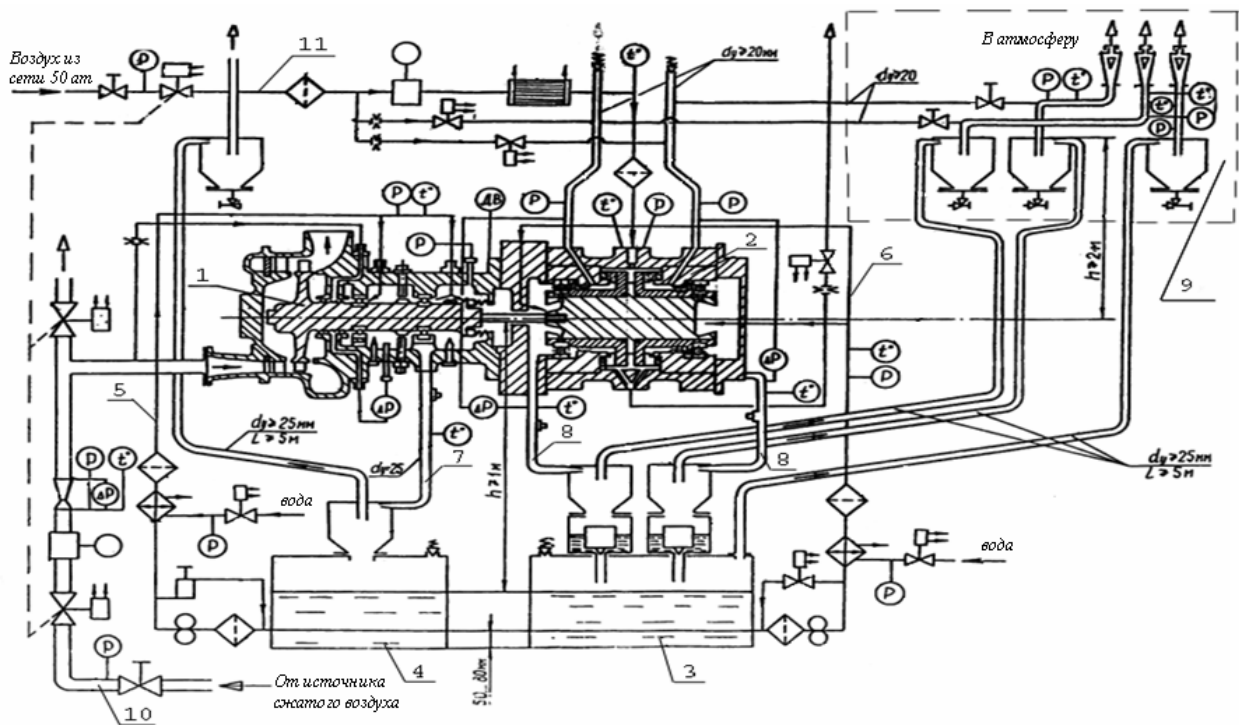


Рис. 5. Схема стенда для испытаний «сухих» уплотнений на воздухе:

1 – воздушный турбинный привод; 2 – испытательная головка с парой опор; 3 – маслобак турбинного привода; 4 – маслобак испытательной головки; 5 – маслосистема для смазки подшипников воздушной турбины; 6 – маслосистема для смазки подшипников испытательной головки; 7 – слив масла из воздушной турбины; 8 – слив масла из испытательной головки; 9 – система (зона) замера утечек воздуха через «сухие» уплотнения ротаметрами; 10 – линия подвода воздуха к турбине привода; 11 – линия подвода воздуха к «сухим» уплотнениям

Перед сборкой ДК были проведены следующие контрольные испытания восьми опор для роторов четырех секций компрессора:

- разгонные испытания вращающегося твердосплавного кольца при частоте вращения ротора 30000 1/мин. Площадка по времени выдерживалась 5 минут. Для разгонных испытаний вращающегося диска 9 (рис. 3) ис-

пытательная головка собирается с опорами без графитового уплотнительного кольца б. Все кольца прошли испытания;

- статические испытания по оценке утечек воздуха через «сухие» уплотнения при перепаде давления на уплотнении 1,96 МПа (20 кгс/см²). Утечки воздуха составили величину 0,12...0,96 г/с;

- динамические испытания по оценке утечек воздуха через «сухие» уплотнения при частоте вращения ротора 25000 1/мин и перепаде давления на уплотнении 1,96 МПа (20 кгс/см²). Утечки воздуха составили величину 0,312...0,9 г/с.

После динамических испытаний все восемь опор установлены в секции ДК без разборки. Проведенные испытания опытного экземпляра ДК 1 сб 1, сб 2 в 2004-2005 г на воздухе с этими уплотнениями подтвердили работоспособность опор.

Список литературы

1. Тресвятский С.Н., Федорченко Д.Г., Николаев В.В., Белкин В.М., Косицын И.П.,

Козьмин Ю.П., Резников Е.Г. Установка для подачи природного газа в ГТД на базе мало-расходных центробежных ступеней сжатия. – М., Компрессорная техника и пневматика № 3, 2005. -9 с

2. Фалалеев С.В., Новиков Д.К., Косицын И.П., Вигурский А.В., Опыт создания «сухих» уплотнений для высокооборотного компрессора – Труды 11-ой международной научно-технической конференции. Герметичность, виброненадежность и экономическая безопасность насосного и компрессорного оборудования, Сумы, Украина, 2005. – 270 с.

RESULTS OF EXPERIMENTAL TESTS OF «DRY» SEALS FOR NK-37 GAS TURBINE SEPARATE COMPRESSOR WITH THE USE OF AIR AS WORKING BODY

© 2006 V.M. Belkin¹, I.P. Kositsyn¹, M.A. Yemelianov¹, G.A. Terekhov¹, S.V. Falaleyev², D.K. Novikov²

¹N.D. Kuznetsov Company Scientific and Technical Comple, Samara

²Samara State Aerospace University

Results of experimental development of «dry» seals for support frames of a gas turbine separate compressor modules are given in the article. Air was used as working body for tests. Tests were aimed at estimation of leaks through «dry» seals at operating regimes calculated for operation with natural gas.