

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КОЛЬЦЕВОМ УПЛОТНИТЕЛЬНОМ ЗАЗОРЕ ТНА ЖРД

© 2012 А. В. Иванов, А. В. Москвичев, А. А. Цыганов

Воронежский государственный технический университет

Рассмотрен процесс моделирования течения рабочего тела в кольцевом зазоре, образованном ротором и статором турбины турбонасосного агрегата, с использованием пакета Ansys и приведены результаты первого этапа расчёта.

Уплотнение, ТНА, полуподвижное кольцо, математическое моделирование, имитатор.

Современная технология требует одновременного увеличения давлений и подач различных жидкостей и газов. Пока наиболее рациональным способом достижения требуемых параметров является применение высокооборотных центробежных насосов и компрессоров. В процессе создания таких машин возникают новые научно-технические проблемы. К их числу принадлежит и проблема создания надёжных и герметичных уплотнений роторов.

Такое положение обусловлено, с одной стороны, большими уплотняемыми давлениями, окружными скоростями, температурами, с другой стороны — очень жёсткими требованиями к герметичности и надёжности, которые повышаются вместе с ростом параметров. Зачастую для выбора оптимального варианта уплотнения проточной части насоса или турбины необходимо провести анализ и сопоставление большого числа уплотнений разных типов или уплотнительных комплексов. Традиционно эта задача решалась сочетанием инженерных методик расчёта, применением методов математического моделирования и сравнительными экспериментальными работами. В настоящее время использование возможностей трёхмерного моделирования течения рабочего тела позволяет свести к минимуму количество дорогостоящих физических экспериментов, заменить их математическим моделированием. В статье представлены работы по исследованию уплотнения водородной турбины ТНА ЖРД безгенераторной схемы, выполненные с использованием программного комплекса Ansys, предназначенного для трёхмерного

моделирования гидродинамики и теплообмена. Для сравнительного анализа были выбраны уплотнения с полуподвижными кольцами с различными относительными зазорами $\delta D/D = 0,00175$ и $0,0010625$. Для того чтобы сравнить расходные характеристики, использовались поля скорости и давления в уплотнительном зазоре. Для экспериментального определения работоспособности уплотнений на модельных режимах и средах была разработана и изготовлена специальная установка – имитатор. На рис. 1 и 2 представлены конструктивная схема установки и её внешний вид. Турбопривод имеет активную турбину, позволяющую развивать мощность до 18,5 кВт при использовании воздуха в качестве рабочего тела. Максимальная частота вращения до 50000 об/мин.

Испытания проводились на модельных уплотнениях с двумя разными радиальными уплотнительными зазорами – 0,14 и 0,085 мм. По окончании проведения эксперимента были получены данные для создания граничных условий, а именно:

- давление на входе в расчётную область;
- давление на выходе из расчётной области;
- массовый расход рабочего тела на выходе из расчётной области, необходимый для сравнения с массовым расходом, полученным в результате проведения расчётов;
- частота вращения ротора;
- шероховатость поверхностей ротора и статора.

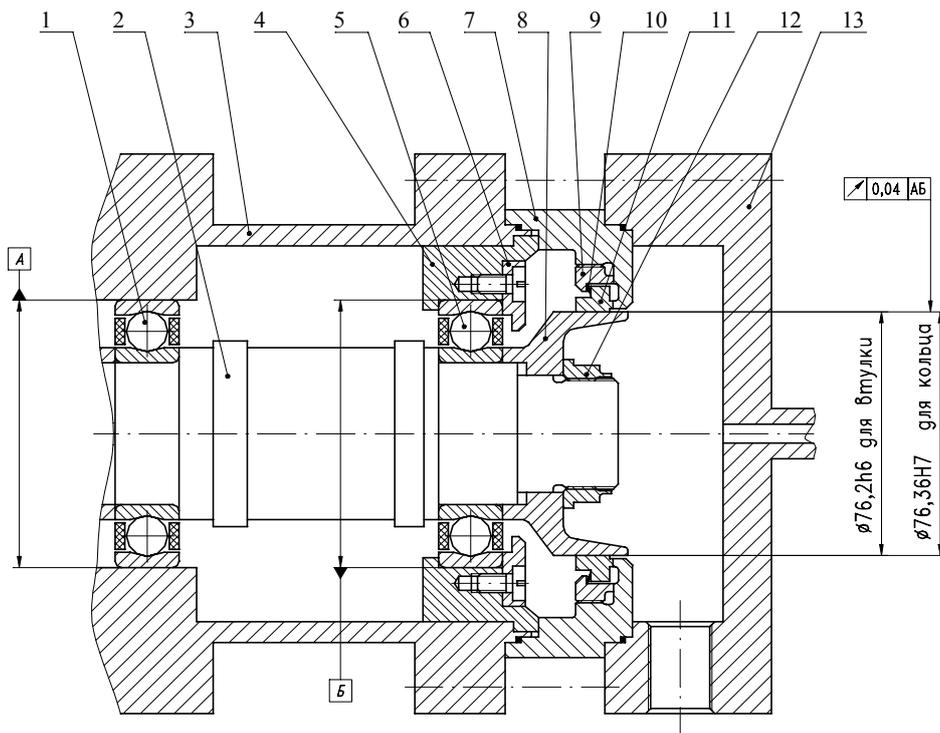


Рис. 1. Конструктивная схема имитатора:

1, 5 – шарикоподшипник; 2 – вал; 3 – корпус имитатора; 4 – корпус подшипника; 6 – крышка; 7 – корпус модельного уплотнения; 8 – втулка; 9 – гайка полуподвижного кольца; 10 – осевая кольцевая пружина; 11 – полуподвижное кольцо; 12 – гайка ротора; 13 – корпус выхода

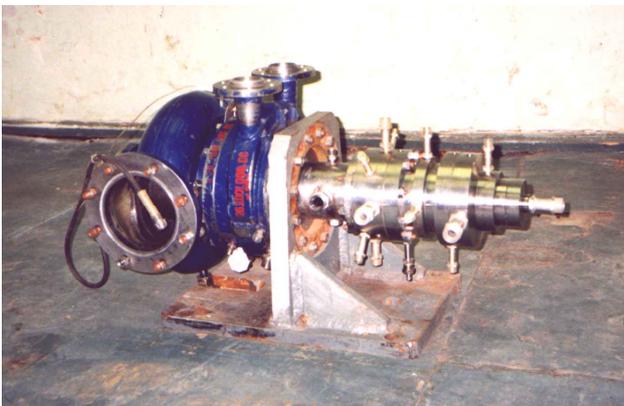


Рис. 2. Общий вид имитатора с турбоприводом

Для определения изменения радиального зазора в процессе работы имитатора проведён эксперимент с максимальной скоростью вращения ротора 50000 об/мин. Результаты эксперимента подтвердили, что радиальный зазор между ротором и статором в течение всего эксперимента не изменяется.

По результатам проведённых испытаний проведено математическое моделирование течения рабочего тела в радиальном зазоре между ротором и статором турбонасосного агрегата.

Область течения рабочего тела, представленная на рис. 3, построена с использо-

ванием программного продукта SolidWorks, предназначенного для трёхмерного проектирования. Затем геометрическая модель была передана в Ansys для дальнейшего расчёта. На первом этапе исследования для верификации расчётной модели с имеющимися экспериментальными данными [3] в качестве рабочего тела выбран воздух, расчёты производились при вращающемся роторе.

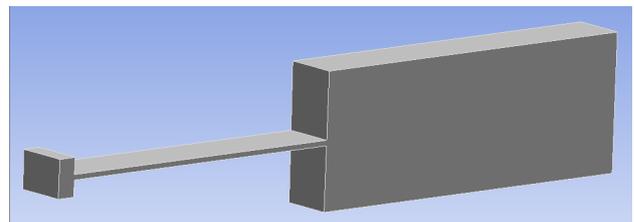


Рис. 3. Расчётная область течения рабочего тела

В качестве начальных условий задаются данные, полученные в результате реального эксперимента: на входе в расчётную область задаётся давление рабочего тела, на выходе из расчётной области задаётся давление выхода, на стенках рабочей области задаются условия полного прилипания рабочего тела, указывается шероховатость стенок и считается, что они адиабатны. В качестве

модели турбулентности выбрана SST модель, поскольку она даёт наиболее точные результаты для сложных течений со вторичными потоками.

Граничные условия для данной задачи следующие:

- на входе в расчётную область задаётся давление;
- на выходе из расчётной области задаётся постоянное давление;
- на всех боковых поверхностях задаются условия адиабатичности;
- для ротора задаётся угловая скорость вращения.

Задание и построение расчётной сетки производилось в программном комплексе Ansys с использованием встроенного модуля Mesh. Задаётся равномерная расчётная сетка по трём осям. Количество ячеек в расчётной области после построения сетки составило 6 млн. Расчётная сетка представлена на рис. 4. С генерации сетки начинается решение поставленной задачи, анализируются полученные данные, а затем принимается решение об остановке или продолжении расчёта. На 250-й итерации решение сходится.

На рис. 5 – 9 представлены результаты численного моделирования высокоскоростного потока в канале ротора и статора турбонасосного агрегата с зазором $\delta D/D = 0,00175$.

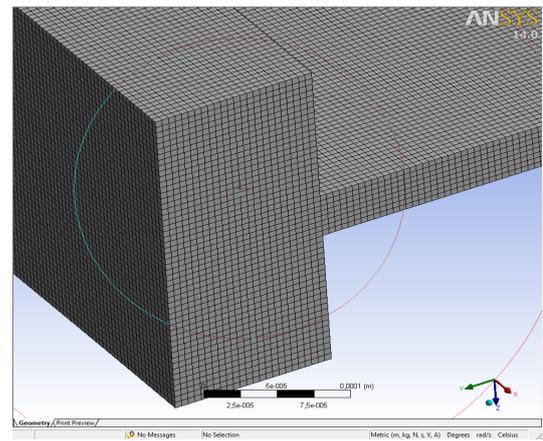


Рис. 4. Равномерная расчётная сетка области течения

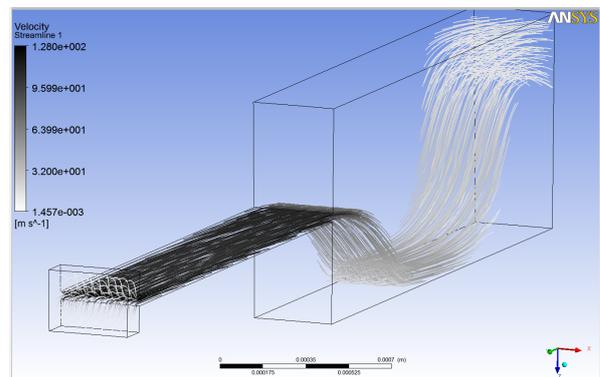


Рис. 5. Линии тока рабочего тела в расчетной области

Величины массового расхода через уплотнение, полученные в результате реального эксперимента и математического моделирования, сходятся, величина отклонения равна 5%.

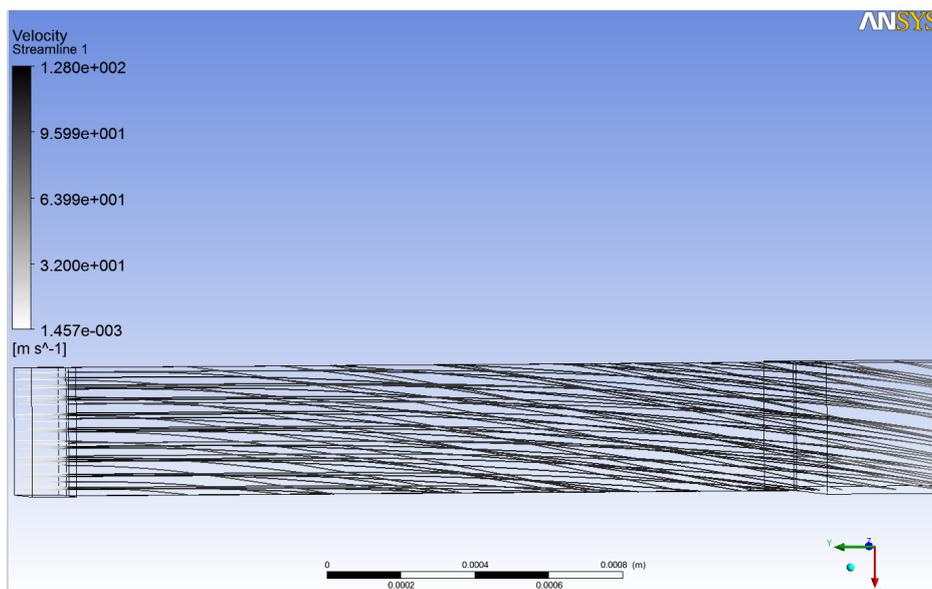


Рис. 6. Линии тока рабочего тела по длине зазора

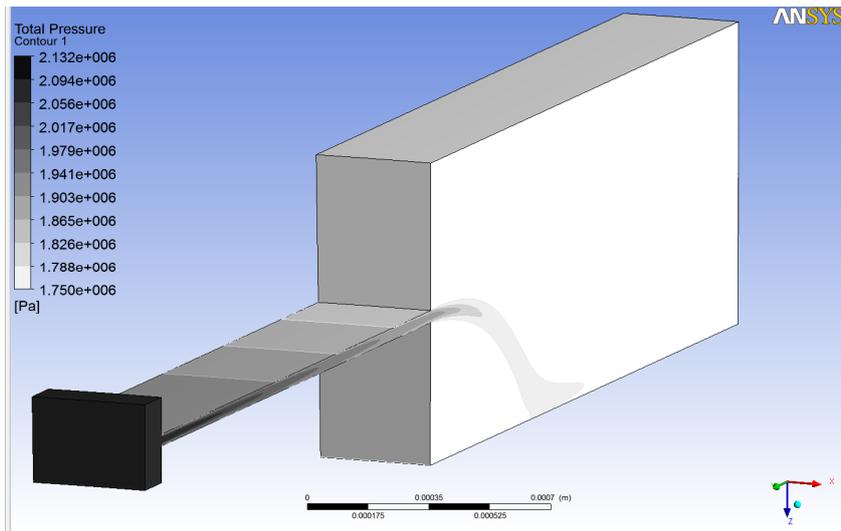


Рис. 7. Распределение давления в расчётной области

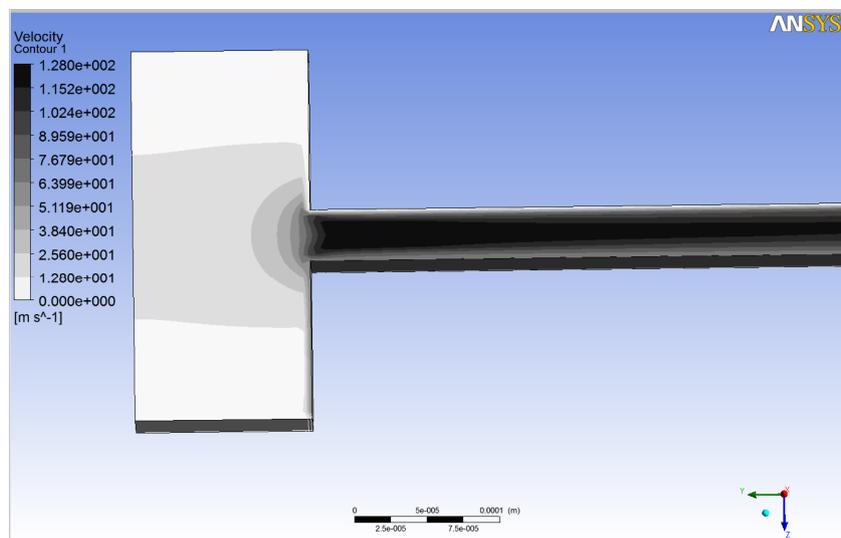


Рис. 8. Распределение скорости на входе в зазор

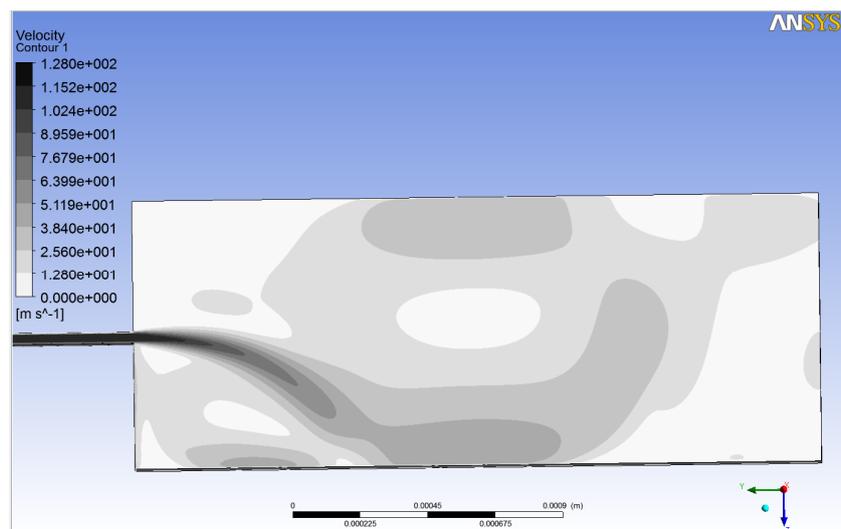


Рис. 9. Распределение давления на выходе из зазора

Математическое моделирование позволяет определить характер и вид течения в радиальном зазоре, а также, что самое глав-

ное, с достаточной степенью точности определить массовый расход в зазоре, что характеризует качество работы уплотнения. Это

позволяет подобрать такую геометрию уплотнения, которая позволит минимизировать массовый расход рабочего тела, что позволяет увеличить КПД агрегата. Представленный подход может быть использован для любых типов уплотнений проточной части.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Г.К. № 14.740.11.0152, при программно-технической поддержке НОЦ «Водородная энергетика» и ОАО КБХА, г. Воронеж.

Библиографический список

1. Исследование характеристик щёточных уплотнений авиационных ГТД [Текст] /

А.Н. Антонов, Н.К. Аксенов, Е.К. Межзиль [и др.] // Аннотации докладов 5-го Международного научно-технического симпозиума «Авиационные технологии 21 века». Секция 3. - Жуковский, 1999.

2. Малорасходные центробежные насосы ЖРД небольших тяг [Текст] / Р.Б. Ферст, Р.М. Бергесс, Н.К. Галбрендсен [и др.] // Аэрокосмическая техника. – 1987. – № 11 – С. 119–128.

3. Иванов, А.В. Исследование уплотнений с полуподвижными кольцами для турбин турбонасосных агрегатов [Текст] / А.В. Иванов // Полёт. - М.: Машиностроение, 2003. - № 1. – С. 50 – 54.

MODELING FLOW IN A RING BODY WORK O-GAP-STATE ROCKET ENGINE TURBOPUMP

© 2012 A. V. Ivanov, A. V. Moskvichev, A. A. Tsiganov

Voronezh State Technical University

This article describes the process of modeling the flow of the working body in the annular gap formed by the turbine rotor and the stator turbopump unit, using the Ansys package and the results of the first stage of the calculation.

Sealing, TPA, half mobile ring, simulation, simulator.

Информация об авторах

Иванов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели», Воронежский государственный технический университет. E-mail: iav308@inbox.ru. Область научных интересов: проектирование турбомашин, уплотнения роторов, динамика высокооборотных роторов.

Москвичев Александр Викторович, аспирант кафедры «Ракетные двигатели», Воронежский государственный технический университет. E-mail: almoskvichev@mail.ru. Область научных интересов: газодинамика течений в высокооборотных турбомашинах.

Цыганов Александр Александрович, аспирант кафедры «Ракетные двигатели», Воронежский государственный технический университет. E-mail: sansan666@mail.ru. Область научных интересов: динамика высокооборотных роторов.

Ivanov Andrey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of "Rocket Engines", Voronezh state technical university. E-mail: iav308@inbox.ru. Area of research: turbomachinery design, seal rotor dynamics of high-speed rotors.

Moskvichev Alexander Victorovich, Postgraduate of Voronezh state technical university. E-mail: almoskvichev@mail.ru. Area of research: gas dynamics in high-speed turbomachinery.

Tsyganov Alexander Alexandrovich, Postgraduate of "Rocket Engines", Voronezh state technical university. E-mail: sansan666@mail.ru. Area of research: dynamics of high-speed rotors.