

УДК 62-251-762.89:532.5.013.12

## К РАСЧЕТУ ПОТЕРЬ ПРИ ТЕЧЕНИЯХ В ПОЛОСТЯХ ВРАЩЕНИЯ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД

Толстопятов М. И., Жуйков Д. А.

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

Турбонасосные агрегаты (ТНА) современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) являются высоконагруженными энергетическими узлами, основной задачей которых является стабильная подача компонентов топлива в камеру сгорания на всех режимах работы двигателя и при всех условиях полета летательного аппарата. Требования по надежности, энергетической эффективности и ресурса работы ЖРД нового поколения выдвигают в качестве актуальной научно-технической задачи снижение гидравлических и механических потерь, выравнивание полей скоростей и давлений в проточных трактах насосов и турбин ТНА.

Для центробежных насосов ЖРД снижение гидравлических потерь обусловлено рядом конструктивных, технологических и режимных факторов, в разной степени влияющих на внутренний КПД насоса. При оценке внутреннего КПД особое значение имеет задачи анализа и определения дисковых потерь, которые характеризуются моментом сопротивления вращению поверхностей колеса в результате трения при течении жидкости в торцевых полостях, щелевых уплотнениях и других участках гидравлического тракта. Затраты мощности на трение составляют достаточно значительную величину, однако расчет дисковых потерь, ввиду недостаточной изученности характера течения, является весьма сложной проблемой, которую целесообразно решать путем численного моделирования режимов течения, аналитического расчета момента сопротивления трения и верификации результатов численного и гидродинамического экспериментов.

На основе этой численной модели был разработан программный модуль гидродинамического расчета [1]. Результаты расчета удовлетворительно согласуются с экспериментальными исследованиями, приведенными в работе [2].

Для удобства сравнения с известными решениями определим выражение для коэффициента момента сопротивления. Согласно [3], коэффициент момента сопротивления смоченного с двух сторон диска определяется выражением:

$$C_M = \frac{2M_d}{\frac{\rho}{2} R^5 \omega_d^2} \quad (1)$$

На рисунке 1 представлены результаты расчета коэффициента момента сопротивления  $C_M$  в зависимости от числа  $Re = \omega_d R_d^2 / \nu$  и результаты классических решений: для диска в корпусе [4],[3],[5],[5] и свободно вращающегося диска [7], где коэффициент расхода определяется выражением

$$C_w = \frac{\dot{m}}{\mu R_d}, \quad (2)$$

где  $\dot{m}$  – массовый расход жидкости.

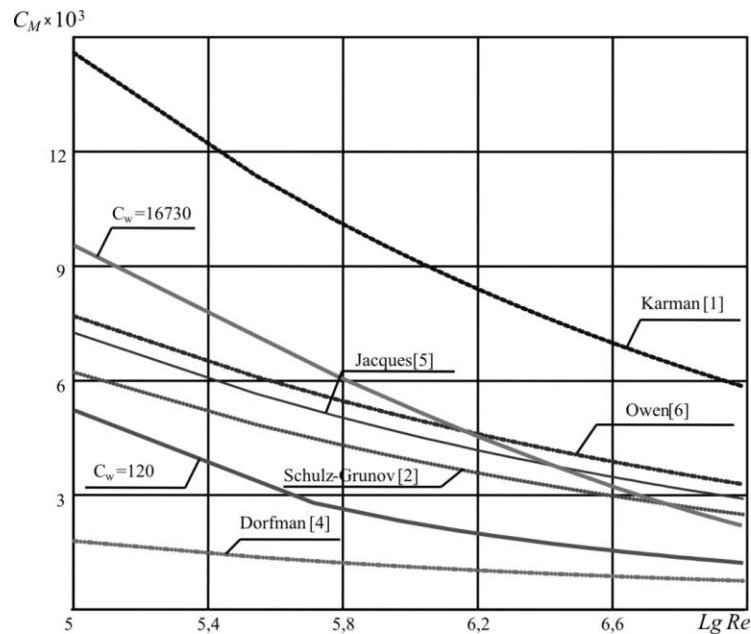


Рис.1. Зависимость коэффициента момента сопротивления от вращательного числа Рейнольдса

Анализ показал, что коэффициент момента сопротивления в свободно вращающихся дисках имеет наибольшую величину при опыте Кармана [7], а при вращении диска в корпусе имеет наибольшую величину при опыте Оуэна [8]. В результате численного исследования было установлено, что на сложный характер изменения коэффициента момента сопротивления от вращательного числа Рейнольдса существенно влияет коэффициент расхода  $C_w$  (см.рис.1.), что необходимо учитывать в расчетных работах при проектировании и отработке ракетных двигателей.

Таким образом, рассмотренная математическая модель неосесимметричного течения жидкости в полостях вращения центробежного насоса и разработанная на ее основе методика расчета параметров потока позволяют определить дисковые потери в центробежном насосе, установить распределение давления по поверхности диска и рассчитать величину утечек при известных перепадах давления. Представленный программный модуль целесообразно использовать для автоматизации расчетных работ при проектировании турбонасосных агрегатов.

#### Библиографические список

1. Кишкин, А. А., Черненко, Е. В., Жуйков, Д. А., Делков, А. В., Черненко, Д. В. Автоматизированная система термогазодинамического расчета и оптимизации параметров элементов турбомашин (ASTROPET): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013610054 от 09.01.2013. Заявка №2012619448 от 02.11.2012.
2. Жуйков, Д. А., Фальков, В. О., Кишкин, А. А., Зуев, А. А., Назаров, В. П. Экспериментальные исследования течения несжимаемой вязкой жидкости в торцевой щели между вращающимся диском и неподвижной стенкой [Текст]/ Д. А. Жуйков, В. О. Фальков, А. А. Кишкин, А. А. Зуев, В. П. Назаров // Вестник СибГАУ им.М. Ф. Решетнева / Выпуск 5(45). -- Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск - 2012. - с. 123-126.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя [Текст]/ Г. Шлихтинг// М.: Наука. - 1969. – 744 с.

4. Schulz-Grunov F. Der Reibungswiderstand vortierender Scheilen in Geha usen // ZAMM. №15 (1935). P. 191-204
5. Dorfman L. A. Hydrodynamic resistance and heat loss of rotating solids. – Edinburgh: Oliver & Boyd. - 312 p.
6. Jacques R., Le Quere P., Daube O. Axisymmetric numerical simulations of turbulent flow in rotor-stator enclosures // Intern. J. of Heat and Fluid Flow. 2002. V.23., No. 4. P.381-397.
7. Karman Th. Uber laminare und turbulente Reibung // Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech. (ZAMM). №1 (1921). P. 233-251
8. Owen J. M., Haynes C. M., Bayley F. J. Heat transfer from an air cooled rotating disk // Proc. of the Royal Society of London. A. 1974. V.336. - P.453-473.