

УДК 621.45.018.2

ОСОБЕННОСТИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД

© Жежера С.А., Назаров В.П.

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

E-mail: sergezhezhera@gmail.com

Стендовые (огневые) испытания турбонасосных агрегатов (ТНА) ЖРД относятся к категории автономных испытаний, т. к. они проводятся на специальных испытательных стендах без установки в состав двигателя.

В процессе серийного производства стендовым испытаниям подвергаются ТНА двигателей открытых схем (без дожигания генераторного газа). Как правило, испытания проводятся по программам контрольно-выборочных испытаний (КВИ) и специальных периодических испытаний (СПИ).

При испытаниях контролируют значения основных параметров и проводят проверку работоспособности агрегата на различных режимах работы, предусмотренных конструкторской документацией [1].

Одной из основных задач огневых испытаний ТНА является проверка соответствия располагаемой и потребной мощностей турбины. При совместной работе турбины с насосами в составе ТНА необходимым условием является равенство развиваемой турбиной мощности N_T и мощности N_H , необходимой для привода насосов с обеспечением заданных режимов их работы: $N_T = N_H$.

В общем случае потребная мощность турбины N_T задается как сумма потребных мощностей насосов окислителя $N_{НО}$, горючего $N_{НГ}$ и вспомогательных агрегатов $N_{ВСП}$: $N_{ТП} = N_{НО} + N_{НГ} + N_{ВСП}$. При отсутствии вспомогательных агрегатов: $N_{ТП} = N_{НО} + N_{НГ}$.

В практике оценки работоспособности насосов ТНА наибольшее распространение получили методы, основанные на анализе характеристик в виде зависимостей напора и КПД от расхода и оборотов ротора [2].

Зависимость напора от расхода $H = f(V)$ называют напорной характеристикой, уравнение которой $H = H_T - h_T$ будет представлено линией с точками K при $\dot{V} = 0$ и M при $H = 0$. Характеристики при различных числах оборотов представляют собой семейство кривых, наиболее надежно получаемых путем гидравлических испытаний насосов ТНА.

Также, как правило, программой огневых испытаний ТНА предусматривают задачу определения кавитационных характеристик, выражающих зависимость предельного давления на входе $P_{вх_кав}$, ниже которого начинается кавитация, от угловой скорости ротора насоса ω и расхода компонента \dot{V} .

На основании серии проведенных испытаний строят кавитационные характеристики $P_{вх_кав} = f(\omega, \dot{V})$. Давление на входе, ниже которого начинается кавитация, определяется как давление, при котором падение напора составляет 2...3 %.

Кавитационные свойства насоса надежно определяются только опытным путем. Уровень совершенства антикавитационных свойств насоса характеризуется значением

кавитационного коэффициента быстроходности $C_{кр}$. Его увеличение приводит к росту допустимой частоты вращения ротора ТНА, что уменьшает массу не только насоса, но и всего летательного аппарата [3].

При оценке работоспособности ТНА и совместной работы насосов с турбиной используют характеристику турбины вида $N_T = f(n)$, определяемую способом подачи рабочего тела на турбину (независимо/зависимо от ТНА) и представленную уравнением:

$$N_T = N_{T_рас} \left[\mu - (\mu - 1) \frac{n}{n_{рас}} \right].$$

Измеренные в процессе испытания параметры насосов ТНА приводят к нормальным условиям и по ним определяют потребные мощности насосов «О» и «Г»:

$$N_{НГ} = \frac{\dot{m}_{не_нр} (p_{э2} - p_{э1})_{нр}}{\rho_{э} \eta_{не}}, \quad N_{НО} = \frac{\dot{m}_{но_нр} (p_{о2} - p_{о1})_{нр}}{\rho_{о} \eta_{но}}.$$

По данным в КД значениям показателя k и газовой постоянной R рассчитывают адиабатную мощность турбины $N_{ТР}$ и, наконец, рассчитывают КПД турбины, определяющую ее качество и энергетическую эффективность:

$$\eta_T = \frac{N_{но} + N_{не}}{N_{ТР}}.$$

Рассчитанная величина КПД турбины должна находиться в заданном нормативной документацией интервале значений для испытываемого ТНА [4].

Библиографический список

1. Коломенцев А.И., Краев М.В., Назаров В.П. [и др.]. Испытание и обеспечение надежности : учебник. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т ; Моск. авиац. ин-т. Красноярск, 2006. 336 с.
2. Моисеев В.А., Тарасов В.А., Колмыков В.А.; А.С. Филимонов Технология производства жидкостных ракетных двигателей: учебник; под ред. В.А. Моисеева и В.А. Тарасова. М.: Изд-во МГТУ, 2008. 381 с.: ил. (Технологии ракетно-космического машиностроения).
3. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1971. 540 с..
4. Яцуненко В.Г., Назаров В.П., Коломенцев А.И. Стендовые испытания жидкостных ракетных двигателей: учеб. пособие; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т; Моск. авиац. ин-т. Красноярск, 2016. 248 с.