

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

© 2018 В.П. Назаров, Л.П. Назарова, Д.С. Швецова, Д.А. Савчин

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

IMPROVEMENT OF THE METOD TO DETERMINE CAVITATION CHARACTERISTICS OF CETRIFUGAL PUMPS

Nazarov V.P., Nazarova L.P., Shvetsova D.S., Savchin D.A. (Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation)

The paper deals with the proposal to offer an accelerated method of cavitation tests of centrifugal pumps of liquid rocket engines.

В насосах жидкостных ракетных двигателей при падении входного давления P_1 ниже определённого критического давления $P_{кр}$ возникает кавитация – явление, которое может привести к срыву режима работы насоса, сопровождаемому уменьшением напора, КПД и расхода жидкости через насос. Вследствие этого появляется необходимость проведения испытаний на определение антикавитационных свойств насоса. Эти свойства характеризуются величиной критического входного подпора $\Delta h_{кр}$, который определяется по критическому входному давлению из формулы (1):

$$\Delta h_{кр} = \frac{P_{1кр} + P_a - P_s}{\rho} + 0.5v_{вх}^2, \quad (1)$$

где $P_{1кр}$ – критическое входное давление, Па; P_a – атмосферное давление, Па; P_s – давление насыщенных паров жидкости, Па; $v_{вх}$ – скорость жидкости на входе в насос, м/с.

Согласно принятой методике, кавитационные испытания проводятся следующим образом: после вывода насоса на рабочий режим путём установки номинальных значений угловой скорости и расхода жидкости давление на входе в насос ступенчато снижается. При каждом снижении после установления режима производится замер основных параметров насоса: давления на входе и выходе насоса P_1, P_2 , Па; угловой скорости вращения ротора ω , рад/с; расхода жидкости через насос, \dot{m} м³/с. По этим данным определяют значение напора, а затем на миллиметровой бумаге строят напорную характери-

стику – зависимость $H(P_1)$. На рис. 1 представлены кавитационные характеристики насоса, получаемые: 1) без соблюдения условия $\dot{m} = const$ в области срыва – кривая 1; 2) с соблюдением условия $\dot{m} = const$ – кривая 2; 3) пунктирная кривая, где сначала до точки B не соблюдается условие $\dot{m} = const$, а затем расход поддерживается постоянным.

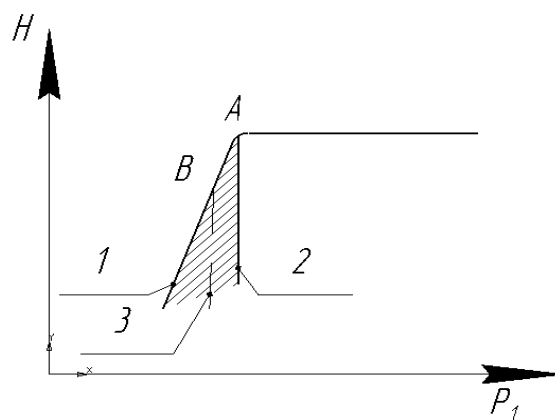


Рис. 1. Кавитационные характеристики насоса

Также на рис. 1 заштрихована область получения возможных характеристик, эта особенность методики формально позволяет влиять на антикавитационные свойства насоса, вследствие чего снижается достоверность испытаний, что может отразиться на ухудшении надёжности насосных агрегатов. Экспериментальные данные показали, что расхождение результатов испытаний доходит до 6,3%, а погрешность определения $\Delta h_{кр}$, доходящая до 10 %.

Таким образом, на основании изложенного можно выделить основные недостатки существующей методики:

- значительная трудоёмкость снятия кавитационной характеристики, как следствие, длительная работа насоса в условиях кавитации и снижение его надёжности в целом;
- недостаточная точность определения критического входного давления;
- влияние субъективных факторов на результаты испытаний.

В докладе представлена методика проведения испытаний, согласно которой предлагается определять характеристики насосов при непрерывном и достаточно быстром изменении P_1 , что позволит сократить длительность испытаний и существенно уменьшить кавитационную эрозию рабочих колёс. При этом предлагается в режиме срыва не поддерживать постоянным \dot{m} , что позволит отказаться от недостаточно надёжных регуляторов расхода.

При ускоренных испытаниях появляется необходимость решения задачи автоматизации процесса регистрации основных параметров. С этой целью разработана регистрирующая система, в состав которой входят вибростержневые датчики давления, преобразователи частоты в напряжение и двухкоординатные самописцы.

Определение кавитационных параметров насоса при непрерывном и достаточно быстром снижении входного давления приводит к тому, что процессы в системе «насос-измерительная система-гидростенд» становятся нестационарными. Поэтому был выполнен анализ влияния нестационарности процессов на результаты испытаний.

При увеличении скорости изменения входного давления растёт величина динамической погрешности (~20-60%). Чтобы её уменьшить, необходимо снижать P_1 со скоростью ~100 Па/с, т.е. за время $t \sim 10$ мин. Необходимо подчеркнуть, что ограничение скорости снижения входного давления накладывается только при работе насоса в об-

ласти срыва, в бесрывном режиме скорость может быть увеличена.

Теоретический анализ условий работы «насос-измерительная система-гидростенд» при определении антикавитационных свойств насосов на нестационарном режиме позволил выработать требования, которым должны удовлетворять измерительные системы стенда, чтобы динамическая погрешность определения параметров насоса была минимальна. Проведённые эксперименты подтвердили правильность сделанных предположений, показали сходимость расчёта и эксперимента при скоростях снижения P_1 до 2000 Па/с и позволили отработать методику проведения ускоренных кавитационных испытаний насосов.

С целью экспериментальной проверки возможности автоматизированного определения критического давления на входе в насос непосредственно в процессе испытаний был изготовлен опытный образец прибора автоматической регистрации (ПАР). Погрешность определения $P_{1кр}$ составила 1,63%, а время проведения трёх серий испытаний составило ~17 мин.

На основании приведённых данных можно сделать вывод, что ускоренный способ проведения испытаний в условиях серийного производства позволяет решить следующие проблемы:

- уменьшить вероятность эрозионного разрушения, сократив время испытаний;
- снизить трудоёмкость обработки результатов испытаний;
- устранить влияние субъективного фактора на результаты испытаний;
- повысить точность определения кавитационных параметров насосов за счёт автоматизации процесса определения критического входного давления.

Разработанный прибор автоматической регистрации путём несложных доработок может быть использован для определения кавитационных параметров практически всех типов лопаточных насосов.