УДК 621.671.001.024

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДВОДА НА ПРОГНОЗНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВОГО НАСОСА С НИЗКОЙ БЫСТРОХОДНОСТЬЮ

© 2014 Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский, А.Н. Скляревский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Поступила в редакцию 07.03.2013

Представлены результаты исследования влияния условий подвода на характеристики осевого насоса с низким коэффициентом быстроходности n_s=570. Расчетные исследования проводились на основе трехмерных методов вычислительной гидродинамики. Показано, что при режимах работы насоса на малых подачах условия подвода рабочей жидкости влияют на вид энергетических характеристик ступени.

Ключевые слова: осевой насос, проточная часть, поле скоростей, прогнозные характеристики

Проведены обширные расчетные работы по осевым насосам низкой быстроходности $n_{\rm s} = 570$, используемым в качестве главных циркуляционных насосных агрегатов в перспективных реакторных установках на быстрых нейтронах. Для оценки энергокавитационных качеств насосов и доводке их проточной части применяются современные трехмерные методы вычислительной гидродинамики [1-3]. Это объясняется тем, что эти методы обеспечивают наиболее полный учет особенностей пространственного течения рабочей жидкости в проточной части исследуемых насосов. Однако для подтверждения эффективности работы насоса необходимо проведение испытаний моделей насосов на стендах, сравнение расчетных и экспериментальных характеристик, проверка соответствия напора лопастной системы заданному по ТЗ значению на расчетном режиме, исследование кинематики потока перед его поступлением на лопасти рабочего колеса и лопатки выправляющего аппарата.

Стенд для испытания насоса на рабочей жидкости (рис. 1) имеет не осевой подвод, а представляет собой бочкообразную трубу с боковым подводом. Он имеет подвод с зоной поворота на 90° в виде колена с закрепленными в нем лопатками. Колено расположено на расстоянии $3,5D_{PK}$ от входа в рабочее колесо (РК), что также может приводить к асимметрии потока на входе в насос.

Свобода Дмитрий Геннадьевич, ассистент. E-mail: svoboda.dmitry@gmail.com

Цель работы: оценить степень влияния элементов подвода проточного тракта стендов на интегральные параметры и поля скоростей исследуемых моделей осевых насосов, что позволит проводить уточнение гидравлического расчета течения рабочей жидкости и повысит точность прогнозирования характеристик насоса.



Рис. 1. Входной участок стенда для испытаний ОН на рабочей жидкости

Жарковский Александр Аркадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели». E-mail: azharkovsky@pef.spbstu.ru

Скляревский Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование энерготехнологических комплексов». E-mail: ansk@mail.ru

С помощью программного комплекса SolidWorks были построены расчетные области для моделирования пространственного течения с несколькими вариантами подводов. При этом расчетная область после подвода включала в себя один межлопастной канал РК и один канал выправляющего аппарата (ВА). Тем самым предполагается, что течение во всех межлопастных каналах РК и ВА периодически повторяется. Осевой подвод был спроектирован в 3 вариантах: короткий конфузор на входе (рис. 2), труба длиной $L_{nod} = 2D_{PK}$ (рис. 3), труба длиною $L_{nod} = 4D_{PK}$.



Рис. 2. Модель насоса с осевым подводом в виде короткого конфузора



Рис. 3. Расчетная область насоса с осевым подводом ($L_{nod} = 2D_{PK}$)

На основе моделей геометрических областей с использованием программного комплекса ANSYS ICEM CFD были построены сеточные модели. Расчетная сетка – неструктурированная, ячейки сетки в ядре потока представляли собой тетраэдры. Максимальный размер элемента сетки принимался ~1% от D_{PK} в области РК и ВА, ~2% в области подвода. Для моделирования течения в области пограничного слоя у твёрдых стенок создавались призматические слои. Гидродинамические расчеты, обработка и визуализация результатов проводилась с использованием программного комплекса ANSYS CFX 14.5. На входе в расчетную область задавалось полное давление 1 атм., на выходе – массовый расход. Режим течения - турбулентный. Для замыкания уравнений Рейнольдса использовалась SST (Shear Stress Transport) модель турбулентности. На рис. 4 и 5 представлены напорные характеристики и графики гидравлического КПД насоса, полученные по результатам численного расчета ступени с различными вариантами подвода рабочей жидкости к насосу.



Рис. 4. Напорные характеристики ступени с различными вариантами подводов:

-•- боковой подвод, -=- короткий конфузор, • номинальный режим, - \blacktriangle - осевой подвод $L_{nod} = 2D_{PK}$, -•- осевой подвод $L_{nod} = 4D_{PK}$

Анализ графических зависимостей показывает, что на режимах работы насоса $\overline{Q} = 0.6 \div 1$ энергетические характеристики при различных вариантах осевого подвода практически совпадают. В области малых подач появляется закономерность – чем короче длина подвода, тем больше становится западание напорной характеристики. В случае применения бокового подвода такое западание становится наибольшим. Данное обстоятельство можно объяснить изменением полей скоростей на входе в рабочее колесо насоса. На рис. 6 изображены линии тока рабочей жидкости при использовании бокового подвода. Можно видеть, что подвод существенно влияет на структуру потока. На рис. 7 показано расположение контрольного сечения (поверхность Interface), перпендикулярного оси входа в РК, на котором определялись эпюры скорости и давления потока.



Рис. 5. КПД ступени ОН с различными вариантами подводов (обозначения см. на рис. 4)



Рис. 6. Линии тока при боковом подводе



Рис. 7. Контрольное сечение потока

Исследование трехмерного течения потока проводилось в программном комплексе *Ansys CFD Post* для режима работы насоса $\overline{Q} = 0,6$. Визуализация результатов исследований представлена на рис. 8-11. В использованной расчётной модели ось *Z* направлена в сторону противоположную направлению течения, поэтому расходная скорость имеет отрицательное значение.



Рис. 8. Поле осевой составляющей скорости



Рис. 9. Поле окружной составляющей скорости





Как видно из представленных рисунков, поля скоростей в окружном направлении

обладают неравномерностью и отличаются от случая осевого подвода потока к рабочему колесу насоса. Изменение относительной скорости в окружном направлении во входном сечении РК для среднего радиуса показано на рис. 10, из которого видно, что неравномерность относительной скорости в окружном направлении достигает 12%.

Выводы: боковой подвод приводит к увеличению западания напорной характеристики осевого насоса на малых подачах и вызывает неравномерность поля скоростей в окружном направлении. В дальнейших исследованиях надо провести расчеты течения и характеристик насоса при боковом подводе с использованием полноразмерной расчетной области, включающей все межлопастные каналы рабочего колеса и выправляющего аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кочевский, А.Н. Современных подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах / А.Н. Кочевский, В.Г. Неня // Вісник Сумського державного університету. – Суми, 2003. Вип. 13 (59). С. 195-210.
- Свобода, Д.А. Влияние модели турбулентности на интегральные параметры осевого насоса с быстроходностью n_s=560 / Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, №4 (2). С. 573-578.
- Свобода, Д.А. Влияние расчетных параметров на прогнозные интегральные характеристики осевого насоса с быстроходностью n_s=570 / Д.А. Свобода, А.А. Жарковский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 4-1(183). С. 111-119.

INFLUENCE OF INLET FLUID ON FORECAST INTEGRATED CHARACTERISTICS OF AXIAL PUMP WITH LOW RAPIDITY

© 2014 D.G. Svoboda, A.A. Zharkovskiy, A.N. Sklyarevskiy

St. Petersburg State Polytechnical University

Results of research the influence of inlet conditions on characteristics of axial pump with low coefficient of rapidity $n_s=570$ are presented. Calculated researches were conducted on the basis of three-dimensional methods of computing hydrodynamics. It is shown that at operating modes of the pump at low feed rates of working liquid influence on a type of power characteristics of a stage.

Key words: axial pump, flowing part, velocity field, forecasting characteristics

Dmitriy Svoboda, Assistant. E-mail: svoboda.dmitry@gmail.com Alexander Zharkovskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of "Turbines, Hydromachines and Aviation Engines". E-mail: azharkovsky@pef.spbstu.ru Alexander Sklyarevskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Machines and Equipment of Power-technological Complexes". E-mail: ansk@mail.ru