УДК 621.671.001.024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСЕВОГО НАСОСА С БЫСТРОХОДНОСТЬЮ n_s=570

© 2013 Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Поступила в редакцию 18.03.2013

Представлены результаты экспериментального и расчетного исследования осевого насоса с коэффициентом быстроходности n_s=570. Получено хорошее согласование расчетных и экспериментальных интегральных параметров. Разработанная методика может быть рекомендована для расчета характеристик проточных частей осевых насосов. Проведены исследования на сеточную независимость решения для оптимального и неоптимальных режимов и даны рекомендации по выбору параметров расчетной сетки.

Ключевые слова: осевой насос, проточная часть, расчетная сетка, характеристики, сеточная независимость решения

Проведены исследования осевого насоса ГЦН-1455 с коэффициентом быстроходности n_s=570, коэффициентом подачи К₀=0,454 и коэффициентом напора К_н=0,165. Расчетные и экспериментальные исследования на водяном стенде СПбГПУ были проведены на модельной проточной части данного насоса - ЦН-44. Модельная проточная часть получена на основе теоретических чертежей лопастной системы рабочего колеса (РК) и выпрямляющего аппарата (ВА) натурного насоса ГЦН-1455. Коэффициент линейного подобия $K_L = D_{PKH}/D_{PKM} = 0,69/0,272 =$ 2,5367. На рис. 1 показаны фотографии РК и ВА изготовленного модельного насоса. Число лопаток РК составляет Z_{PK}=5. Лопатки РК являются поворотными. На выходе из РК устанавливается выправляющий аппарат. Число лопаток выправляющего аппарата с учетом требования минимального габаритного размера в осевом направлении, отсутствия условий для резонансных колебаний и достаточной прочности составляет Z_{BA}=12. Пересчет основных параметров натурного насоса дает следующие значения для модельного насоса: Q_M = 106,5 л/с, H_M = 1,658 м, n_M = 700 об/мин. На экспериментальном стенде были получены рабочая и универсальная характеристики.



Рис. 1. Рабочее колесо и выправляющий аппарат модели насоса ЦН-44

Численное исследование насоса ЦН-44 проводилось по следующей методике. В про-3D-проектирования грамме твердотельного SolidWorks была построена геометрическая модель насоса (рис. 2). Расчетная сетка в проточной части насоса строилась на основе твердотельной геометрической модели, имитирующей объем, внутри которого происходит исследуемое течение. Модель проточной части также была построена использованием программы c SolidWorks (рис. 3). Расчетная область включала в себя один межлопастной канал рабочего колеса и один канал выправляющего аппарата. Данный подход возможен, т.к. в других каналах течение периодически повторяется. Это позволяет экономить вычислительные ресурсы и дает

Свобода Дмитрий Геннадьевич, ассистент кафедры «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели». E-mail: svoboda.dmitry@gmail.com

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

возможность использовать для расчета течения в отдельном канале достаточно густую расчетную сетку. При таком подходе предполагается, что течение в РК осесимметричное и установившееся, а выход из РК осуществляется в осесимметричный элемент проточной части ВА.



Рис. 2. Модель проточной части насоса ЦН-44



Рис. 3. Расчетная модель проточной части насоса ЦН-44

Для построения расчетной сетки проточной части использовалась программа ІСЕМ СFD. Расчетная сетка – неструктурированная, ячейки сетки в ядре потока представляли собой тетраэдры. Была построена сетка со следующими параметрами: максимальный размер элемента сетки принимался ~1% от D_{PK} и равнялся 3 мм. Для достижения равномерной точности расчета производилось сгущение элементов в местах быстрого изменения параметров: входные и выходные кромки рабочего колеса, скругления, поверхности интерфейса. Здесь размер элемента сетки принимался 1,5 мм. Также для описания пограничного слоя вблизи твердых стенок лопасти РК, основного и покрывающего дисков, неподвижных стенок НА и ВА было создано 11 слоев призматических элементов общей толщиной ~1,8 мм. Таким образом, общее количество элементов расчетной сетки насоса составило ~5,4 млн. элементов, в том числе: для РК ~1,2 млн. элементов, для направляющего аппарата ~2,9 млн. элементов, для выпрямляющего аппарата ~1,2 млн. элементов.

Для проведения расчетов использовался программный комплекс Ansys CFX 12. На входе в расчетную область задавалось полное давление 1 атм., на выходе – массовый расход. Расчет течения проводился в стационарной постановке.

Режим течения – турбулентный. Для замыкания уравнений Рейнольдса использовалась стандартная k- ε модель турбулентности. Интенсивность турбулентности на входе задавалась 5%. На поверхности интерфейса условие сопряжения Stage – осреднение параметров расчета в окружном направлении (для осевых насосов предполагается, что расстояние между лопастными системами соседних элементов достаточно велико, поэтому следы от лопастей расположенных выше по течению полностью сглаживаются). По результатам проведенных расчетов были построены характеристики рабочего колеса и насоса (рис. 4, 5).





Из сравнения интегральных расчетных и экспериментальных параметров потока можно видеть, что расхождение по напору в зависимости от режима работы насоса находится в диапазоне 0,5-10%. Расхождение по КПД составило 2-15%. Следует иметь в виду, что при расчете вязкого течения были получены значения только гидравлического КПД, а объемный и механический КПД не учитывались.



Рис. 5. Зависимость КПД насоса ЦН-44 от расхода (обозначения см. на рис.4)

В целом для оптимальных режимов работы насоса ЦН-44 имеет место хорошее согласование интегральных параметров при численном и экспериментальном исследовании проточной части. Следовательно, предлагаемая методика может быть рекомендована для расчета характеристик проточных частей осевых насосов. На неоптимальных режимах работы расхождение значений параметров численного расчета и эксперимента увеличивается. Это связано с ростом величины потерь в проточной части (в основном в выправляющем аппарате), что требует дополнительных исследований.

При выполнении численного эксперимента также было проведено исследование на сеточную независимость решения. Для этого были выполнены расчеты на нескольких сетках, различающихся количеством узлов. Такое исследование позволяет определить, начиная с какого количества узлов получаемое решение, практически перестает зависеть от густоты сетки. В программе генератора сеток ICEM CFD были построены 5 вариантов расчетных сеток. Варианты сеток отличались друг от друга размером глобального максимального элемента и плотностью сетки вблизи кромок и скруглений НА, РК и ВА, а также поверхности интерфейса (таблица 1).

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
Размер максимального глобального элемента (мм)	2,4	3	4	6	9
Размер в отношении к D _{PK} (%)	0,9	1,1	1,47	2,2	3,3
Размер элемента при сгущении (мм)	1,2	1,5	2	3	6
Количество элем. в НА (млн.)	5,6	3,0	1,3	0,5	0,4
Количество элем. в РК (млн.)	2,2	1,2	0,7	0,3	0,1
Количество элем. в ВА (млн.)	2,2	1,3	0,6	0,2	0,2
Количество элем. в проточной части насоса (млн.)	10,0	5,5	2,6	1,0	0,7

Таблица 1. Варианты расчетных сеток

На рис. 6, 7 изображены графики зависимостей интегральных параметров РК, потерь в НА и ВА от густоты расчетной сетки для оптимального режима работы насоса.









С уменьшением размера сетки происходит увеличение количества её элементов, в связи с чем при расчетах диссипация энергии происходит более плавно, и как следствие – уменьшаются потери в элементах проточной части, особенно в ВА. Также была проведены исследования на сеточную независимость решения для неоптимальных режимов работы насоса: Q=1,2 Q_{опт}, и Q=0,8Q_{опт} (рис. 8-10).



Рис. 8. Зависимость напора насоса от густоты расчетной сетки: - - режим Q=Q_{опт}, - ▲ - режим Q=0,8 Q_{опт}, - ■ - режим Q=1,2 Q_{опт}



Рис. 9. Зависимость потерь в НА от густоты расчетной сетки (обозначения см. на рис. 8)



Рис. 10. Зависимость потерь в ВА от густоты расчетной сетки (обозначения см. на рис. 8)

Как можно видеть из рис. 6-10, при увеличении количества элементов свыше 2,5 млн. изменение параметров происходит с меньшей интенсивностью. Для получения расчетной сетки такой густоты, размер максимального глобального элемента должен быть в пределах 1-1,5% от диаметра рабочего колеса, что является оптимальным значением для достаточно точных и экономичных (с точки зрения затрат вычислительных ресурсов и времени) расчетов. Данные рекомендации получены для расчетной модели представляющей собой один межлопастной канал колеса. Более чувствительной к качеству сетки являются расчеты потерь в ВА для режимов с подачей меньшей оптимальной.

EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDY OF THE AXIAL PUMP WITH SPECIFIC SPEED $n_s=570$

© 2013 D.G. Svoboda, A.A. Zharkovskiy

St. Petersburg State Polytechnical University

Results of experimental and computational researches of the axial pump with specific speed coefficient $n_s=570$ are presented. Good coordination of calculated and computational integral parameters is received. The developed method can be recommended for calculation the characteristics of axial pumps flowing parts. Researches on grid independence of the decision for optimum and non-optimum modes are conducted and recommendations about a choice of computational grid parameters are made.

Key words: axial pump, flowing part, computational grid, characteristics, grid independence of the decision

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