

2. Реализована методика параметрической взаимосвязи расчётного модуля с моделью фрезерной обработки, созданной в системе *Siemens NX* посредством файлов Excel.

Проведена верификация модели обработки электродов-инструментов для лопатки 3-й ступени ротора двигателя НК-36.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП САМ-технологий (RFMEFI59314X0003). Работа была поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

УДК 621.454.2

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НАСОСА С ГИДРОПРИВОДОМ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ

©2016 В.М. Зубанов, Л.С. Шаблий, А.В. Кривцов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### FEATURES OF METHODOLOGY FOR MODELING OF RADIAL-DLOW PUMP WITH A HYDRAULIC CONTROL ON THE FIRST STAGE

Zubanov V.M., Shabliy L.S., Krivtsov A.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The authors show the technique for CFD-modeling of a powerful two-stage pump with the following main parameters: main rotor speed is 13,300 rpm, pressure head is more than 3,000 meters with mass flow of 250 kg/s. There are two highlights in this work in comparison with previous. The first one is how to choose the rotating speed of hydro-turbine. The second one is the CFD-modeling of cavitation processes. The adequacy of CFD-model has been evaluated by comparing predicted characteristics of the pump with the experimental ones derived from the test rig. The differences has been amounted to less than 10%. The technique that has been obtained can be used in the future research for performance improving and efficiency increasing of pumps with hydraulic control of the low-pressure stage by CFD-tools.*

Авторами описывается методика CFD-моделирования высокопроизводительного двухступенчатого насоса со следующими основными параметрами: частота вращения главного ротора 13300 об/мин, входное давление 0,2 МПа, напор 3000 м при массовом расходе 250 кг/с. Отличительная особенность исследуемого насоса заключается в гидравлическом приводе ступени низкого давления турбиной с переменной частотой вращения. В этой работе есть две основные особенности по сравнению с предыдущими: в определении частоты вращения гидротурбины и в CFD-моделировании процессов кавитации. Основной частью предлагаемой методики является определение скорости вращения во время CFD-расчёта по специальному алгоритму. Ещё одной особенностью является моделирование кавитации, чтобы убедиться в отсутствии области кавитации потока в преднасосе при достаточно низком

входном давлении и переменной скорости вращения ротора. Выработанные рекомендации по работе с программным обеспечением ANSYS CFX, NUMECA AutoGrid5, ANSYS ICEM CFD (формирование расчётной области, сеткогенерация, выбор моделей турбулентностей, проверка сходимости, пост-обработка результатов) являются важной частью предложенного метода. Адекватность CFD-модели оценивалась сравнением расчётных характеристик с экспериментальными, полученными на испытательной установке фирмы-разработчика насоса. Полученный метод может быть использован для будущих исследований для повышения производительности и увеличения эффективности насосов с гидравлическим приводом ступени низкого давления с помощью CFD-инструментов.

Гидропривод насоса низкого давления - это компактное и эффективное решение для

многоступенчатых насосов. Но оно также имеет недостатки, такие как сложность конструкции насоса и сложность взаимной увязки каскадов. Это значительно усложняет проектирование, разработку и доработку этих насосов без пригодных методологий моделирования.

Техника для CFD-моделирования насоса, предложенная авторами, позволяет моделировать насосы с гидроприводом ступени низкого давления с ошибкой прогнозирования характеристик менее чем 10% в сравнении с экспериментальными данными. Это свидетельствует об адекватности используемых CFD-моделей и предложенной методики.

Даны подробные рекомендации по пригодным CFD- и сеточным инструментам, а также особенности моделирования. Для адекватного прогнозирования характеристик насоса на ненормальных режимах необходимы мелкая сетка и «низкорейнольдсовая» модель турбулентности. Для начального решения рекомендуются модели турбулентности  $k-\epsilon$  с граничным условием массового расхода на выходе. В дальнейшем, расчёты должны выполняться с граничным условием *Opening Pressure*, моделью турбулентности  $k-\omega$  и мелкой сеточной

моделью. В расчёте должны учитываться колебания интегральных параметров.

Влияние неопределённости частоты вращения гидропривода насоса может быть проигнорировано, когда напор основного насоса намного больше, чем напор преднасоса. В других случаях необходимы определённые меры для повышения точности моделирования. Моделирование кавитации позволяет оценить степень влияния кавитационных процессов на внутренние КПД и напор насоса. Модель кавитации Рэлея-Плессета, реализованная в ANSYS CFX, позволяет получить вполне адекватное моделирование кавитации даже с базовыми настройками.

Полученная методика может быть использована в будущих исследованиях для улучшения производительности и повышения КПД насосов с гидроприводом ступени низкого давления с помощью CFD-инструментов с применением технологий оптимизации.

Полученная CFD-модель может быть использована для дальнейшего исследования рабочего процесса насоса с целью оценки осевой и радиальной нагрузки ротора и поиска путей её снижения.

УДК 621.9.047

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ С НАНЕСЁННЫМ НА НИХ ТОКОПРОВОДЯЩИМ СЛОЕМ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

© 2016 С.С. Вихирев, М.В. Нехорошев, Г.В. Смирнов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### **STUDYING THE APPLICATION OF PHOTOPOLYMER COATING MODELS WITH CONDUCTOR LAYER AS AN ELECTRODE TOOL FOR ELECTROCHEMICAL MACHINING**

Vikhirev S.S., Nekhoroshev M.V., Smirnov G.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*In this paper, we have considered the possibility of using coated photopolymer model as an electrode-tool with a conductive metal coating. The electrode with a complex working profile has obtained a 3D-printing quality of photopolymer, having sufficient mechanical properties for a flow of electrolyte fluid. For the application of a conductive layer has been considered an electroplating method.*