

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ ЭЛЕКТРОДОВ-ИНСТРУМЕНТОВ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕРА ЛОПАТОК  
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

© 2016 М.В. Нехорошев, Н.Д. Проничев, Г.В. Смирнов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

**DEVELOPMENT OF INFORMATION AND PARAMETRIC MODELS OF MILLING  
ON CNC ELECTRODE TOOLS FOR ECM PEN FEATHER BLADES GTE**

Nekhoroshev M.V., Pronichev N.D., Smirnov G.V. (Samara National Research University,  
Samara, Russian Federation)

*In this paper we have developed information-parametric model of milling machining with electrodes tools of CNC Siemens NX system that has been profiled on the basis of computer modeling process of ECM pen gas turbine engine blades. This model has been implemented in an environment that has been previously created by the authors of accounting module, which serves for easy implementation of the mathematical model of developed electrodes profiling tools at ECM pen GTE blades with a pulsed current.*

В современном аэрокосмическом производстве электрохимическая обработка (ЭХО) традиционно используется для финишной доводки сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых материалов. Однако для повышения эффективности и конкурентности этого метода необходимо существенно повысить выходные показатели данного метода.

Целью настоящей работы является разработка в системе Siemens NX информационно-параметрической модели фрезерной обработки на станках с ЧПУ электродов-инструментов, которые спрофилированы на основе компьютерного моделирования процесса ЭХО пера лопаток газотурбинных двигателей (ГТД). Данная модель была реализована с использованием ранее созданного авторами расчётного модуля, служащего для эффективной реализации разработанной математической модели профилирования электродов-инструментов при ЭХО пера лопатки ГТД на импульсном токе.

Обычно при внедрении операции ЭХО решаются последовательно следующие задачи:

- выбор схемы обработки;
- выбор состава электролита;
- определение режимов обработки;
- выбор технологического оборудования;
- проектирование электрода-инструмента (ЭИ);
- определение припуска на обработку;

- проектирование необходимой технологической оснастки;
- опытная проверка и корректировка.

Наиболее ответственными задачами технологической подготовки производства являются профилирование и изготовление ЭИ.

Сложность профилирования ЭИ заключается в том, что режимы обработки и форма рабочей поверхности являются взаимосвязанными, а следовательно, при изменении режима обработки изменяется распределение межэлектродного зазора, и поэтому для получения заданной формы и размеров детали необходимо корректировать рабочую поверхность ЭИ.

В настоящее время в производстве используются методы проектирования ЭИ, которые базируются на простых геометрических моделях поверхностей ЭИ и заготовки. Это не позволяет с достаточной полнотой учесть сопутствующие процессы, протекающие в межэлектродном промежутке (МЭП).

Основой созданной методики автоматизированного проектирования ЭИ является использование математических моделей пространственно-временного изменения поверхностей в процессе ЭХО.

В данной работе методика автоматизированного проектирования ЭИ разрабатывалась применительно к ЭХО пера лопатки компрессора ГТД. В интегрированной САЕ-системе создавались поверхностные модели сечений пера лопатки и заготовки, подлежа-

щей обработке. После чего с учётом режимов обработки производился итерационный расчёт распределения плотности тока с использованием пакета ANSYS. В зависимости от величины и направления векторов плотности тока менялась граница растворения заготовки. Расчёт эволюции формы ЭИ должен продолжаться до момента, соответствующего условию попадания границы растворения заготовки в поле допуска пера лопатки.

В ходе проектирования операций ЭХО должны быть определены режимы обработки, профиль рабочей поверхности ЭИ. В том числе должна быть выбрана схема ЭХО (обработка на постоянном или импульсном токах), чтобы обеспечивалось получение поверхности детали с требуемой точностью при максимальной производительности процесса. Схема проектирования операций ЭХФ представлена на рис. 1.

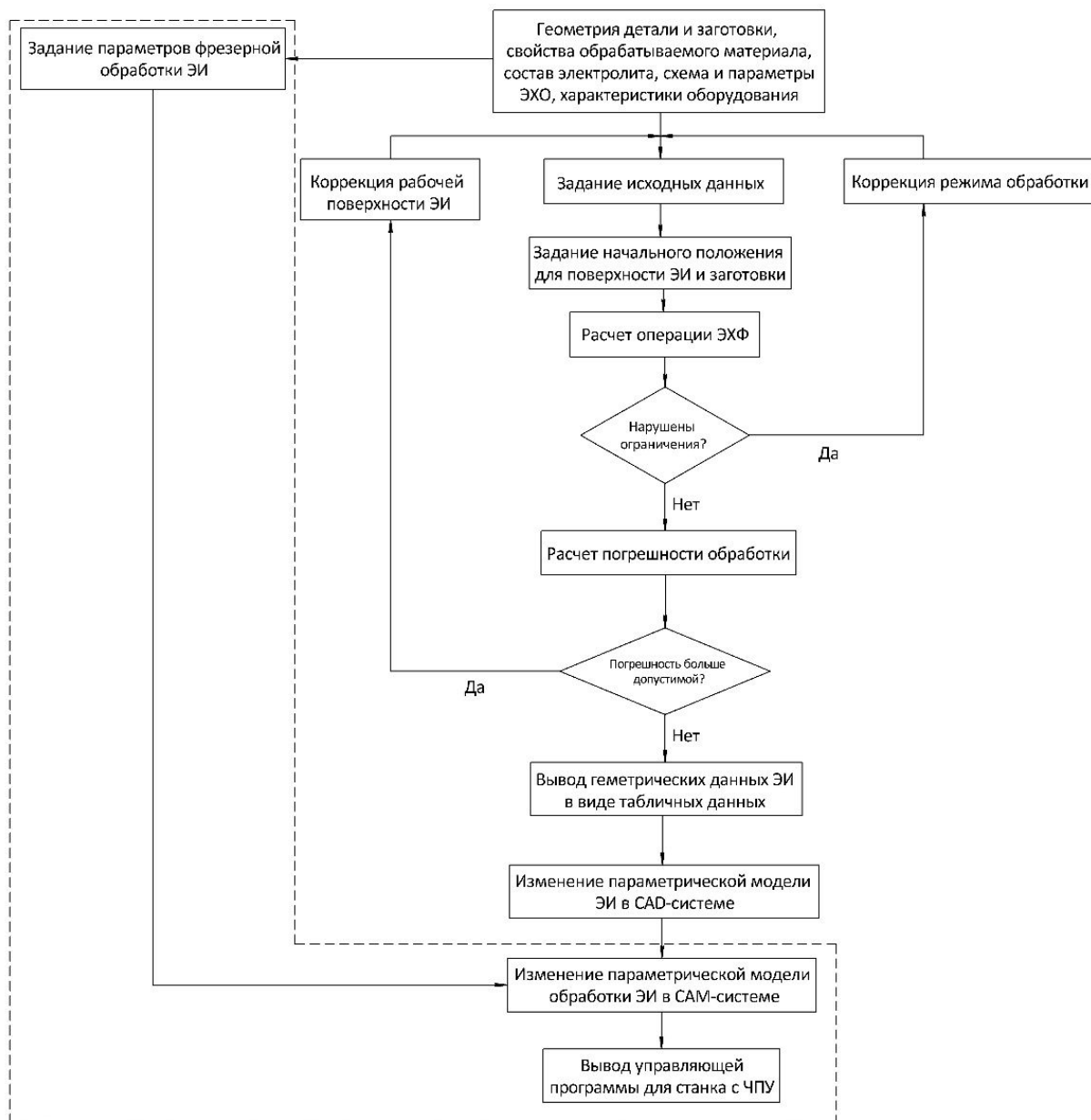


Рис. 1. Схема проектирования операций ЭХФ

В результате выполнения итераций расчёта была получена трёхмерная параметризованная модель ЭИ. Созданная модель служила исходными данными при проектировании электронной фрезерной обработки ЭИ.

В данной работе были получены следующие результаты:

1. На основе разработанного программного модуля формообразования решена задача автоматической подготовки производства операций ЭХО.

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