

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЛОПАТОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ НАПРАВЛЯЮЩИХ АППАРАТОВ ТУРБИН

Хаева Гузель Рамильевна, магистрант кафедры технологий производства двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва,

Печенина Екатерина Юрьевна, аспирант кафедры технологий производства двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва,

Печенин Вадим Андреевич, доцент кафедры технологий производства двигателей Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва.

В работе рассматривается кластеризация лопаток соплового аппарата турбины по измеренным параметрам для повышения эффективности сборки комплекта. Проведены замеры отклонений формы и расположения пера лопаток в трех сечениях.

Ключевые слова: турбина, сборка, сопловой аппарат, качество, геометрическое отклонение, кластеризация.

BLADE CLUSTERING TO IMPROVE THE ASSEMBLY OF TURBINE NOZZLE

Khaeva Guzel Ramilievna, master's student of the Department of Engine Production Technology, Samara National Research University,

Pechenina Ekaterina Yurievna, post-graduate student of the Department of Engine Production Technology, Samara National Research University,

Pechenin Vadim Andreevich, docent of the Department of Engine Production Technology, Samara National Research University.

The paper considers clustering of the blades of a nozzle according to the measured parameters to increase the efficiency of the assembly of the set. Measurements of deviations in the shape and location of the blade airfoil in three sections have been carried out.

Key words: turbine, assembly, nozzle, quality, geometric deviation, clustering.

Важными направлениями исследований в области производства авиационных двигателей являются повышение их надежности, ресурса и экономичности работы. Достигнуть эти цели можно путем повышения качества на стадии проектирования, изготовления и сборки деталей и узлов двигателя.

Особенные трудности в изготовлении и сборке вызывают роторы и сопловые аппараты турбин. Эти сборочные единицы участвуют в формировании газового тракта, для их изготовления применяют самое современное производственное оборудование и системы автоматизированного проектирования. Доля изготовления турбин в себестоимости двигателя составляет около 30%. В силу ряда причин (плохая повторяемость достигаемых в производстве геометрических параметров, наличие пересборок после предварительных испытаний) до 50% трудоемкости изготовления двигателя занимает сборка [1].

При сборке лопаточного венца влияющими на эксплуатационные характеристики параметрами являются равномерность площадей проходных сечений лопаток в решетке (цифра 1 на рисунке 1) и углы расстановки соседних лопаток. Выполнение данных показателей по существующим технологиям, в условиях того что дополнительная размерная обработка проточной части лопаток не допускается, основывается на многократных пересборках с замерами получаемых сборочных параметров в стапеле и сборочном узле. Таким образом, время сборки одного соплового аппарата занимает до двух месяцев, и для удовлетворения требований к качеству производственная себестоимость существенно растет [2].

Способами достижения конкурентоспособного качества сборки сопловых аппаратов является использование сортировки деталей по возрастанию или убыванию одного или нескольких геометрических параметров лопаток, а так же метода индивидуального подбора деталей [3].

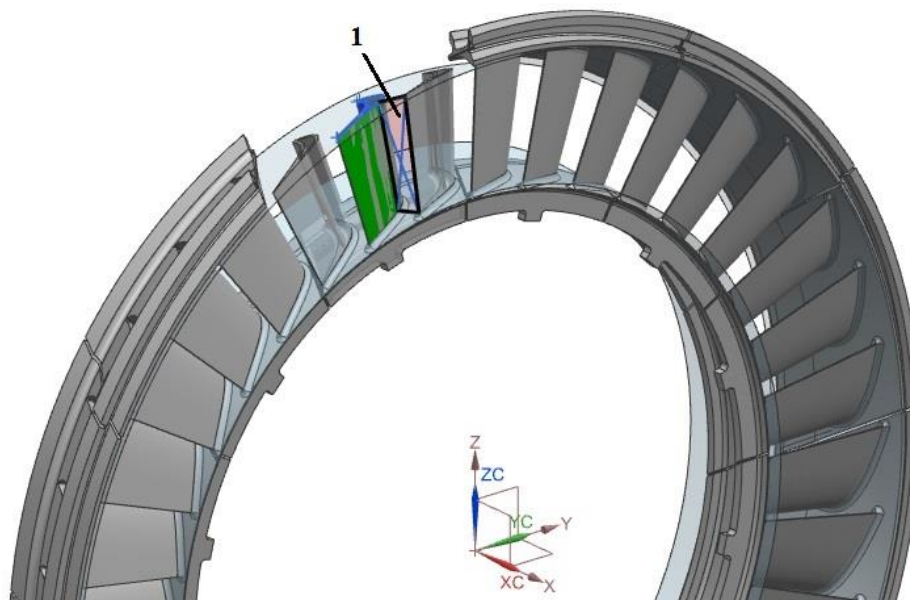


Рисунок 1 – Модель сборки направляющего аппарата турбины

Метод индивидуального подбора деталей более трудоемкий, но позволяет достичь максимальных показателей качества, для его применения в производстве требуется разработка и компьютерная реализация модели сборки деталей, в которой учитываются измеренные отклонения геометрии. Учитывая, что количество лопаток в сопловых аппаратах может превышать 50-60 штук, даже с учетом использования вычислительных мощностей компьютера решение задачи комплектования является трудоемкой задачей. Снижение трудоемкости метода индивидуального подбора можно достигнуть, разбив детали на группы, в зависимости от сочетания величин геометрических отклонений, и проводя подбор лопаток внутри таких групп. В многомерном пространстве параметров (отклонения формы и расположения, отклонения линейно-размеров) хорошим инструментом для разбивки на группы являются методы кластеризации.

При проведении экспериментальных исследований была изготовлена серия из 200 восковых лопаток статора турбины. Восковые модели

отливались с использованием системы для вакуумного литья полимеров МТТ 4/05. Для изготовления мастер-моделей, по которым изготавливались восковые лопатки, использовался 3D принтер EDEN 350. Контроль отклонений формы и расположения пера выполнялся на координатно-измерительной машине DEA Global Performance 05.07.05. Замеры пера каждой лопатки производились в трех сечениях, измеренные точки сличались с CAD-моделями восковых моделей. Величины смещений центров тяжести сечений вдоль оси OY и отклонений формы в сечениях были сохранены в таблицы MS Excel. На рисунке 2 приведены гистограммы распределения отклонения формы и смещения центра масс вдоль оси OY в среднем сечении лопаток.

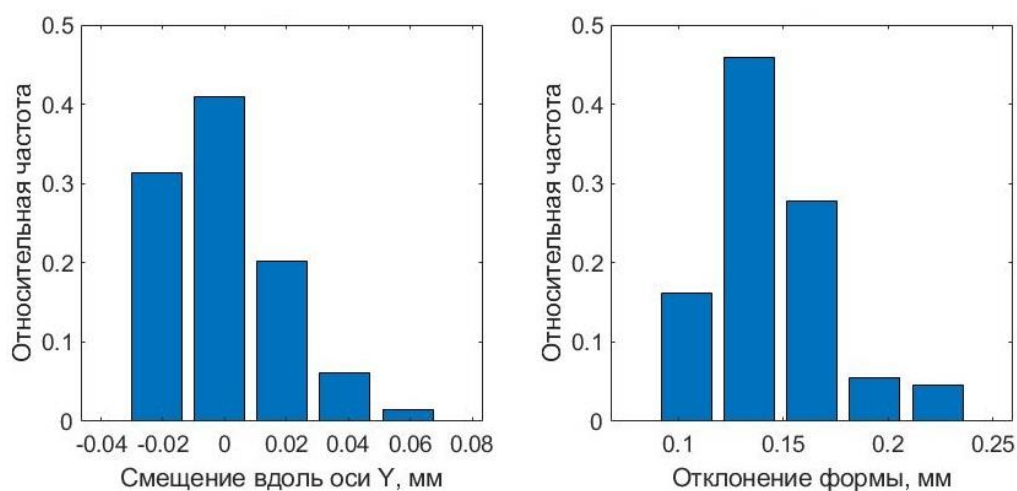


Рисунок 2 – Гистограммы распределения отклонений

Согласно ОСТ 1 02571-86, лопатки выполнены по второму классу точности, размеры имеют большой размах в рамках допуска, распределение отклонений не подчиняется нормальному закону распределения. Для проведения кластеризации лопаток по двум рассматриваемым параметрам был использован метод k-средних. Метод был реализован на языке программирования Python. На рисунке 3 приведены результаты кластеризации лопаток по двум параметрам отклонений в среднем сечении.

Использование кластеризации лопаток на основе их геометрических отклонений является одним из этапов комплектования сопловых аппаратов с применением подхода «виртуальная сборка» [4].

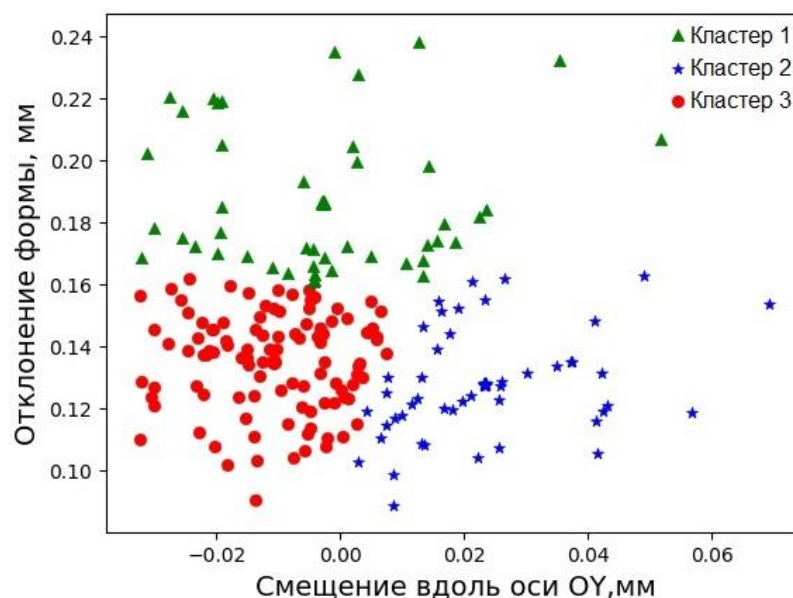


Рисунок 3 – Результаты кластеризации лопаток

Дальнейшим развитием работы является создание математических моделей сборки и расчета показателей качества лопаточной решетки, использование виртуальной сборки разбитых на кластеры лопаток и разработка алгоритмов комплектования направляющих аппаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках стипендии Президента Российской Федерации (номер СП-262.2019.5).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Безъязычный В.Ф., Непомилуев В.В. Некоторые проблемы современного сборочного производства и перспективы их преодоления // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 8. С. 18 - 25.
2. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т.2. М.: Машиностроение, 2008. 365 с.
3. Осипович Д.А., Ярушин С.Г., Макеев А.Б. Исследование алгоритмов подбора лопаток при сборке сопловых аппаратов газотурбинного двигателя // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. №7 (216). С. 313 - 319.

4. Безязычный В.Ф., Непомилуев В.В. Технология виртуальной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 6. С. 3-14.