

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА КОМПРЕССОРА

Печенина Е.Ю., Кудашов Е.В., Советникова Е.Д.
Самарский университет, г. Самара, ek-ko@list.ru

Ключевые слова: лопатка, сборка, конечно-элементная модель, натяг.

При сборке рабочих колёс компрессора, лопатки которых имеют антивибрационные полки (рис. 1), обеспечивают точность натягов между соседними лопатками. На величину натяга оказывают влияние геометрические отклонения лопаток и пазов. Контроль натягов осуществляется с помощью измерения угла установки лопатки в рабочем колесе. При эксплуатации выход за пределы поля допуска по величине угла установки становится причиной обрыва лопатки и выхода двигателя из строя, так как он напрямую влияет на возникновение дополнительных напряжений и деформаций в лопатках.

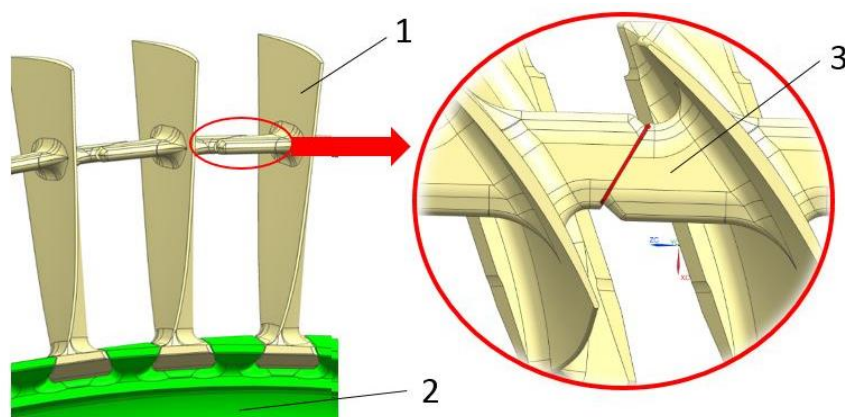


Рисунок 1 – Сборка рабочего колеса: 1 – лопатка; 2 – диск; 3 – антивибрационная полка

Лопатка после сборки в рабочее колесо испытывает деформацию изгиба с кручением. Данная деформация возникает от воздействия сил, которые появляются из-за изменения межполочных размеров и значений углов установки лопаток, а также из-за изменения углов расположения лопаток по ободу диска. Нахождение перемещений точек лопатки от воздействующих силовых факторов представляется весьма трудной задачей, так как из-за сложной формы сечения лопаток и изменения этого сечения по длине детали её полное перемещение рассчитать затруднительно. Целью исследования является создание достоверной модели для расчёта изменения углов установки лопаток в сборке по геометрическим отклонениям, которую можно использовать в условиях производства.

Был выполнен расчёт изменения углов установки лопаток с использованием конечно-элементной модели (КЭМ) в программной системе ANSYS Workbench. На первом этапе по чертежам были построены упрощённые 3D-модели диска и лопаток. Далее была произведена их виртуальная сборка. С целью увеличения скорости и точности задания параметров (геометрических отклонений, измеренных на деталях или сгенерированных) для КЭМ был разработан скрипт в пакете MATLAB. Скрипт управляет процессом в программной системе ANSYS с помощью отправки APDL команд и сохраняет результаты расчётов. Загрузка исходных данных для модели производится из электронных таблиц.

Расчёт КЭМ довольно длительный (для одного рабочего колеса не менее двух часов на персональном компьютере с вычислительными мощностями выше среднего) и требует долгой настройки, поэтому данный расчёт проблематично использовать в производстве. Проблема трудоёмкости расчётов решается созданием регрессионной модели, которую можно использовать в условиях производства. Для создания регрессионной модели, в которой входными параметрами будут значения натягов со стороны спинки и корыта лопатки,

а выходными – значения углов установки лопатки, было произведено моделирование различных случаев сборки лопаток с диском посредством ANSYS.

Построение регрессионной зависимости осуществлялось с применением методов машинного обучения, таких как: метод опорных векторов (SVM), гребневая регрессия (KR) [1] и случайный лес (RF) [2]. Для оценки качества подобранных регрессионных моделей были применены критерии: доля спрогнозированных величин в пределах допустимой погрешности δ (количество результатов на выходе из модели, не превышающих заданные значения ε), среднеквадратичная ошибка MSE и коэффициент детерминированности R^2 . Величина ε была принята в размере $0,167^\circ$.

Было промоделировано 200 случаев сборки рабочих колёс (в каждом по 84 лопатки), всего 16 800 натягов, характеризующихся разностями углов установки лопаток до и после сборки рабочего колеса. Из общего числа натягов 80 % было использовано для обучения регрессионных моделей и 20 % для тестирования. Математическое ожидание обучающей выборки μ составило $1,316^\circ$, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,276^\circ$. В результате произведённых расчётов наибольший коэффициент $R^2 = 0,995$, наименьшую величину $MSE = 0,0004$ у регрессионной модели случайного леса. В тестовой и обучающей выборке ни один случай не превышал заданную величину ε . Таким образом, метод случайного леса лучшим образом подходит для достижения поставленной цели исследования.

Результатом исследования является разработанная регрессионная модель, которая позволяет прогнозировать изменения углов установки лопаток рабочего колеса компрессора, характеризующих натяги, возникающие из-за контакта антивибрационных полок лопаток в рабочем колесе компрессора. Регрессионная модель позволяет заменить конечно-элементную модель, длительно рассчитываемую и сложно применимую в производстве для проведения виртуальных расчётов сборочных состояний и подбора лучшего сочетания лопаток до проведения фактических работ по сборкам комплектов рабочих колёс.

Список литературы

1. Murphy K. P. Machine Learning: A Probabilistic Perspective. The MIT Press, Chapter 14.4.3. 2012. P. 492. 493 с.
2. Breiman L., Random Forests / Machine Learning. 2001. Vol. 45 (1). PP. 5-32.

Сведения об авторах

Печенина Екатерина Юрьевна, ассистент кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: координатные измерения, математические методы, машинное обучение.

Кудашов Евгений Викторович, аспирант кафедры технологий производства двигателей Самарского университета. Область научных интересов: конечно-элементное моделирование, балансировка, газодинамический расчёт.

Советникова Елена Дмитриевна, студент группы 1206-240501D Самарского университета. Область научных интересов: конечно-элементное моделирование.

PREDICTION OF CHANGES IN INSTALLATION ANGLES OF COMPRESSOR IMPELLER BLADES

Pechenina E. Yu., Kudashov E. V., Sovetnikova E. D.
Samara University, Samara, Russia, ek-ko@list.ru

Keywords: blade, assembly, finite element model, interference.

The paper considers a regression model that allows predicting changes in the installation angles of the compressor impeller blades. To create a regression model, modeling of various cases of assembly of blades with a disk was carried out using ANSYS. The model uses a machine learning method – a random forest.