

Сравнительный анализ методов оценки сборочных размерных цепей

И.А. Грачев¹, В.А. Печенин¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

В статье представлено сравнение методов оценки сборочных размерных цепей, основанных на машинном обучении и методе множественной нелинейной регрессии. Оценка сборочных параметров выполнялась на основе теоретических экспериментов, полученных с помощью параметризованной конечно-элементной модели (КЭМ) узла ротора авиационного двигателя. КЭМ учитывает геометрические отклонения поверхностей деталей, их угловое положение в узле и силовые факторы.

Ключевые слова

Множественная нелинейная регрессия, машинное обучение, сборочная размерная цепь, конечно-элементная модель

1. Введение

К двигателям гражданской и военной авиации предъявляются высокие требования по геометрической точности. Это связано с тем, что она оказывает существенное влияние на основные показатели качества и технические характеристики авиационного двигателя [1]. Основным мероприятием по оценке геометрической точности собранного двигателя в технологическом процессе является операция контроля сборочных параметров. Наиболее распространенными методами расчета размерных цепей является метод максимума-минимума (max-min) и вероятностный метод [2]. Существующие методы и модели расчета сборочных размерных цепей имеют следующие недостатки. Первый недостаток – это недостоверный расчет точности замыкающего звена, что обуславливается отсутствием установления взаимосвязей деталей в изделии. При расчете размерных цепей по методу максимума-минимума используется номинальное представление поверхностей деталей. В реальности сопрягаемые поверхности деталей имеют дефекты (несоответствие размеров, отклонение формы и расположения) [3]. Целью работы является определение метода, который позволит с заданной точностью выполнять прогнозирование сборочных параметров роторов авиационных двигателей с взаимосвязанными размерными цепями.

2. Сравнительный анализ методов

Сравнительный анализ методов выполнялась на основе теоретических экспериментов, полученных с помощью параметризованной конечно-элементной модели (КЭМ) узла ротора компрессора высокого давления (КВД). На рисунке 1 представлена схема сборки узла ротора КВД. Узел состоит из вала, проставка, промежуточных колец 1–3 и дисков 1–4. В качестве методов машинного обучения рассматривался: гребневая регрессия (KR), случайный лес (RF), а также рассмотрен метод множественной нелинейной регрессии (MNLR). Параметром оценки сборочных параметров было выбрано торцевое биение $T_{b_1} - T_{b_4}$ дисков (измеряется в мм). Оценка ошибок прогнозирования параметров производится по двум критериям: коэффициента детерминированности (R^2) и среднеквадратичная ошибка (MSE). Количество результатов, полученных в ходе экспериментов, составило 647 значений. В таблице 1 приведены параметры точности рассмотренных методов, использованных для обобщения полученных значений.

Из полученных результатов следует, что при методе гребневой регрессии происходит переобучение, а из оставшихся методов большую величину коэффициента R^2 и меньшую ошибку дает метод случайного леса.

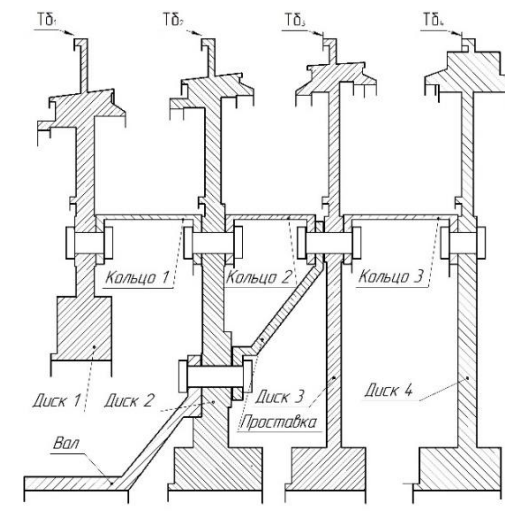


Рисунок 1: Схема сборки узла компрессора высокого давления

Таблица 1

Параметры точности обучения и теста для разных методов при прогнозировании $P_{T,6}$

Номер модели	R^2				MSE			
	Д10	Д11	Д12	Д13				
KR	0.99	0.99	0.99	0.99	1.4E-09	1.4E-09	2.1E-09	3.2E-09
RF	0.94	0.94	0.94	0.95	6.7E-06	7.8E-06	1.0E-05	1.2E-05
MNLR	0.77	0.70	0.79	0.76	0.00002	0.00004	0.00004	0.00006

3. Заключение

Использование рассмотренных в работе методов обобщает и тем самым существенно ускоряет расчеты сборочных размерных цепей, что позволяет использовать данные расчеты на производстве. Кроме того, рассмотренный подход позволяет получать более точные результаты по сравнению с имеющимися методами максимума-минимума (max-min) и вероятностным.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90263.

5. Литература

- [1] Тихонов, А.И. Проблемы и предпосылки конкурентоспособности авиационного двигателестроения // Вестник университета. – 2014. – № 14.
- [2] Столбова, С.Ю. Методы расчета и обоснование технологических допусков планового и вертикального положения конструкции при возведении одноэтажных производственных зданий // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – № 6(34).
- [3] Groch, D. Simulation Tests of the Accuracy of Fitting Two Freeform Surfaces / D. Groch, M. Poniatowska // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – 2019. – Vol. 21. – P. 23-30.