

УДК 621.433, 53.088

Оценка погрешности методов базирования лопатки компрессора газотурбинного двигателя в процессе контроля геометрии профиля пера контактными методами

Новикова Анна Алексеевна

ananovikova34479@gmail.com

Тумакова Екатерина Владимировна

tumakova_ekaterina@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Погрешность базирования одна из наиболее влияющих составляющих погрешности измерений. Ее необходимо учитывать для точного определения получаемых результатов. Высокая точность особенно необходима при контроле лопаток газотурбинного двигателя, так как данные детали определяют коэффициент полезного действия основных узлов двигателя (вентилятора, компрессора и турбины). При измерении лопаток на каждом шагу существует разнообразие методов: при выборе средства измерения, при выборе количества точек и измеряемых сечений. Но базирование можно отнести к наименее проработанному вопросу, однако он не теряет своей важности. Поэтому данная работа посвящена анализу погрешностей, которую дает каждый из методов, оценку их достоинств и недостатков, также представлен собственный метод для решения данной задачи.

Ключевые слова: базирование, лопатка, газотурбинный двигатель, погрешность базирования, геометрические параметры профиля пера

Введение. Важность высокоточного контроля лопаток определяется их ответственностью и большим количеством в газотурбинном двигателе [1], что делает обеспечение такой точности актуальной задачей в производстве ГТД. Однако на сегодняшний момент многие нормативные документы давно не обновлялись, методы контроля редко совершенствуются, несмотря на растущие требования к точности лопаток. Процесс контроля сложен из-за нетривиальной формы хвостовиков и сложнопрофильной геометрии пера. Для выявления наилучших решений необходима глубокая проработка вопросов, связанных с контролем параметров лопаток. Одним из наиболее актуальных и важных вопросов в этой сфере является вопрос базирования детали.

Материалы и методы. Для выполнения работы необходимо было выбрать определенную лопатку, определить предъявляемые к ней требования и, непосредственно, провести измерения, базировав лопатку различными методами, для оценки погрешности каждого из них.

Для измерения была выбрана лопатка 9-й ступени с хвостовиком типа «ласточкин хвост». Следующим этапом работы стало изучение нормативной документации, содержащей требования к геометрическим параметрам лопаток. Результатом анализа литературы стал единственный документ, ОСТ 1 02571–86 «Лопатки компрессоров и турбин. Предельные отклонения разме-

ров, формы и расположения пера» [2]. На основании требований ОСТа [3] и результатов измерения габаритных размеров лопатки был разработан чертеж, представленный на рис. 1.

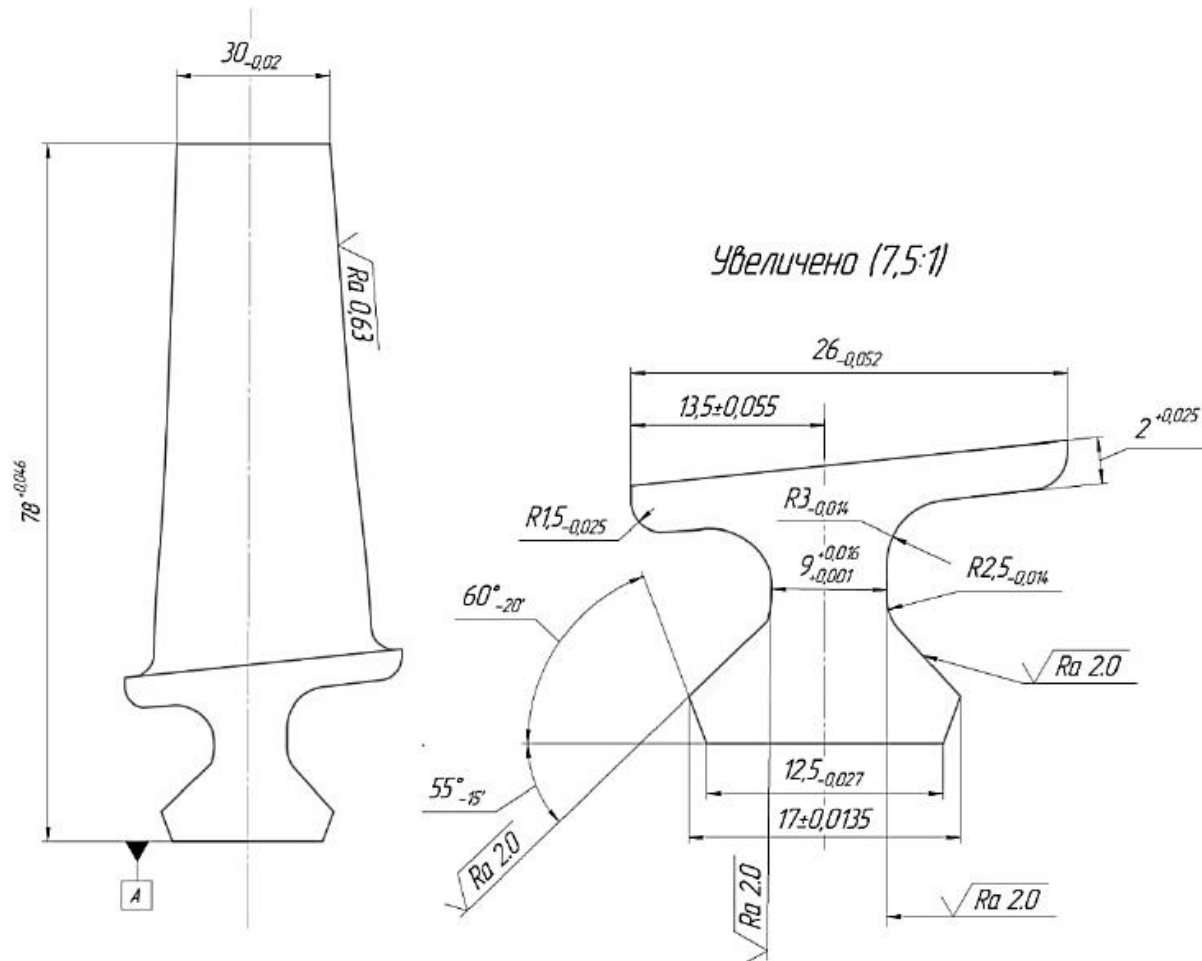


Рис. 1. Чертеж лопатки

Для правильного выбора средства измерения (СИ) необходимо определить степень точности контролируемых размеров. Наиболее высокими оказались требования к толщине пера, допуск на которое составляет 40 микрон. Согласно этим значениям по формуле была рассчитана допускаемая погрешность измерений

$$\Delta_{\text{и}}^{\text{доп}} = A_{\text{мет}} \cdot T = 0,25 \cdot 40 = 10 \text{ мкм}, \quad (1)$$

где T — допуск на размер, мкм; $A_{\text{мет}}$ — коэффициент, зависящий от качества.

Зная $\Delta_{\text{и}}^{\text{доп}}$, была вычислена допускаемая погрешность средства измерения

$$\Delta_{\text{СИ}}^{\text{доп}} = 0,7 \cdot \Delta_{\text{и}}^{\text{доп}} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ мкм}. \quad (2)$$

На основе данных о допускаемой погрешности средства измерения были выбраны контактные средства измерений, например, такие как координатно-

измерительные машины (КИМ), так как бесконтактные не обладают достаточной точностью для измерения лопаток малых габаритов [4]. Габариты лопаток могут достигать до полутора метра, в таких случаях целесообразно применение бесконтактных средств измерения в целях экономии времени на контроль деталей.

Для базирования лопаток при контактных измерениях можно выделить следующие методы:

- базирование прижимами;
- в тисках;
- в оснастке повторяющей геометрию хвостовика лопатки.

Базирование прижимами можно использовать только при измерении на КИМ. Комплектующие из набора прижимов позволяют собирать конструкцию для лопаток разных габаритов, что делает ее более универсальной. Использование данной оснастки ограничено только диапазоном измерения используемой КИМ. Основными ограничениями данного решения являются его сравнительно высокая цена и невозможность использования вне КИМ. Причина в том, что для установки оснастки требуется специальный измерительный стол КИМ.

В ходе экспериментальных измерений лопатка была зафиксирована прижимами, как показано на рис. 2. Измерения проводились на КИМ, при этом выбор измерительных точек осуществлялся в строгом соответствии с требованиями ОСТ 1 02571–86. По полученным данным был построен измеренный профиль.



Рис. 2. Лопатка, закрепленная прижимами

Базирование в тисках представляет собой простой и быстрый метод фиксации лопаток. Тиски можно устанавливать на любую поверхность, обеспечивая доступ средств измерения к большинству измеряемых поверхностей детали. Однако, существенным недостатком этого метода являются перекосы от закрепления, что показано на рис. 3.

Погрешность перекоса будет определяться допуском на параллельность самих тисков [5]. Различные тиски имеют допуски от 0,002 до 0,005 мм. С помощью геометрических построений проведем расчет погрешности по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{T}{L},$$

где T — допуск на параллельность поверхности тисков; L — высота рабочей поверхности тисков.

Вычислим угол перекоса

$$\alpha = \arctg(\operatorname{tg} \alpha).$$

Следовательно, максимальный перекося детали при базировании в тисках будет определяться по формуле

$$\Delta = L_{\text{дет}} \cdot \operatorname{tg}(\alpha),$$

где $L_{\text{дет}}$ — длина устанавливаемой в тиски детали.

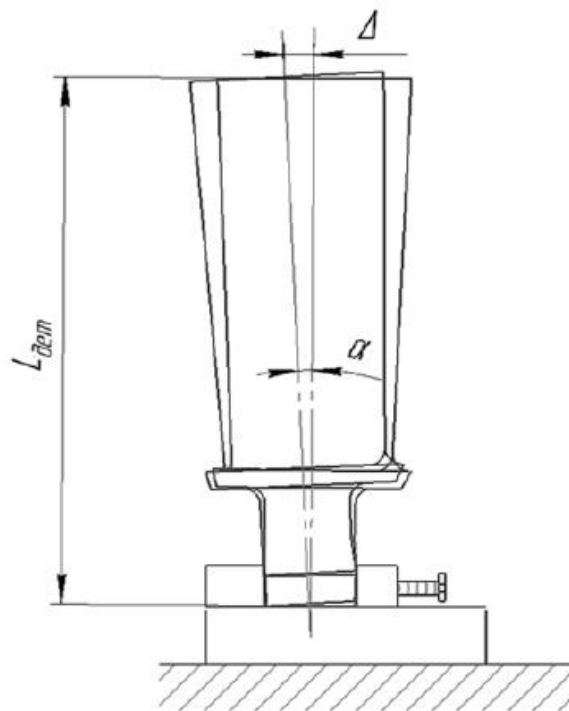


Рис. 3. Схема перекоса детали в тисках

Представленный расчет применим для тисков с различной точностью и деталями разной длины. Однако, помимо погрешности самих тисков, следует

учитывать непредсказуемую погрешность хвостовика лопатки, теоретический расчет которой невозможен.

Метод базирования, подразумевающий использование оснастки, повторяющей геометрию хвостовика, можно назвать самым трудоемким. Это обусловлено тем, что для лопаток разных размеров требуется уникальная оснастка, а ее производство не является отлаженным процессом. Однако сложность метода компенсируется возможностью внедрения дополнительных параметров, существенно расширяющих функционал оснастки.

Для демонстрации были разработаны 3D-модели оснастки и заглушки, представленные на рис. 4 и чертеж оснастки, представленный на рис. 5.

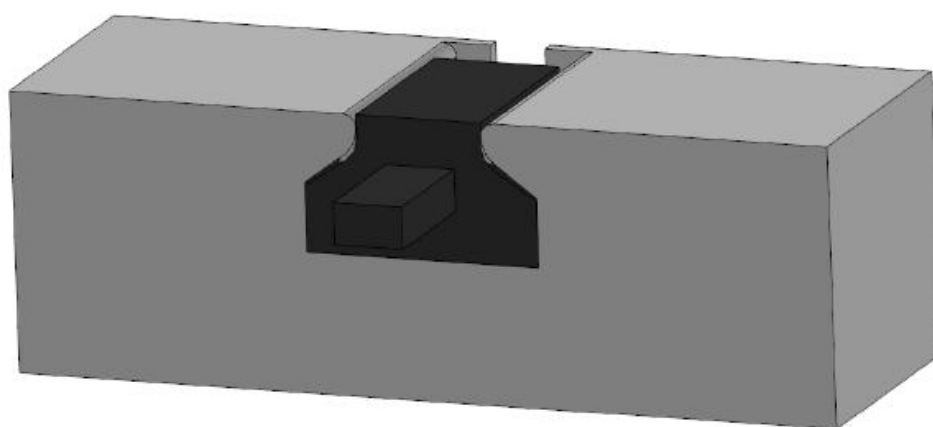


Рис. 4. Сборка оснастки с заглушкой

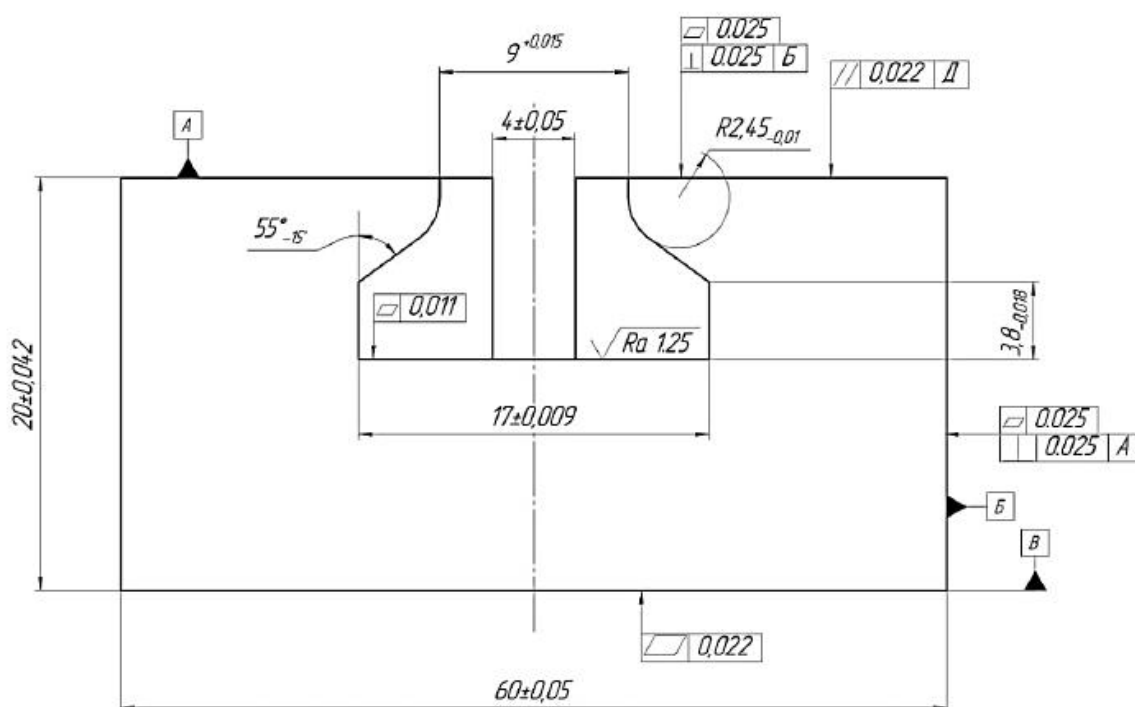


Рис. 5. Чертеж оснастки

Конструкция была улучшена путем интеграции стенки с выемкой и заглушки, эффективно предотвращающих качание лопатки в оснастке по оси Z . Для обеспечения точности установлены допуски на линейные размеры, а также на отклонения формы и расположения.

Заключение. Зафиксированные погрешности составили 0,21 мм для прижимной оснастки и 12 мкм от перекоса в тисках, однако погрешность для тисков имеет только составляющую, которую можно просчитать теоретически. В качестве собственного решения данного вопроса была разработана оснастка с расширенным функционалом. Ожидается, что она обеспечит высокую точность базирования благодаря полному соответствию геометрии хвостовика, а также упростит задание системы координат при измерениях за счет повышения точности ее внешних поверхностей.

Литература

- [1] Болотов М.А., Печенин В.А., Рузанов Н.В., Грачев И.А. Методики определения параметров расположения профилей лопаток ГТД по результатам их измерений. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева (национального исследовательского университета)*, 2016, т. 15, № 4, с. 39–52.
- [2] ОСТ 1 02571–86. Лопатки компрессоров и турбин. Предельные отклонения размеров, формы и расположения пера. Издание официальное, 1987.
- [3] ОСТ 1 02630–87. Построение, содержание и оформление рабочих чертежей лопаток ротора осевых компрессоров. Издание официальное, 1988.
- [4] Крушняк Н.Т., Комшин А.С. *Точностной анализ измерительных технологий*. Москва, Изд-во НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, 32 с.
- [5] Зубкова О.С. *Методика расчета погрешности установки детали в приспособлении*. Курск, Юго-Зап. гос. ун-т, 2018, 20 с.

Estimation of the error of the methods of basing the compressor blade of a gas turbine engine in the process of controlling the geometry of the pen profile by contact methods

Novikova Anna Alekseevna

ananovikova34479@gmail.com

Tumakova Ekaterina Vladimirovna

tumakova_ekaterina@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The basing error is one of the most important errors. High precision is necessary when controlling the blades of a gas turbine engine, as these parts determine the efficiency of the engine. But basing is one of the least developed issues. Therefore, the work is devoted to the error analysis of basing methods, and its own method for solving this problem is also presented.

Keywords: basing, blade, gas turbine engine, basing error, geometric parameters of the pen profile