

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАСЧЁТУ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ КОЛЁС ГТД

Мельников С.А., Зубанов В.М., Кузнецов В.В.

Самарский университет, г. Самара, m.asergey196@gmail.com

Ключевые слова: охлаждаемая турбина, тепловое состояние рабочего колеса, сопряжённое моделирование, охлаждаемая рабочая лопатка.

После завершения процесса расчётной доводки охлаждаемой турбины выполняются проверочные расчёты с использованием ряда комплексных моделей, в том числе 3D CFD сопряжённых теплогидравлических моделей для определения теплового состояния рабочих колёс турбины. В работе рассмотрена комплексная модель для расчёта теплового состояния рабочего колеса охлаждаемой турбины высокого давления.

Данная модель не используется в процессе проектирования отдельных элементов конструкции. Расчётное время до сходимости решения по комплексной модели составляет 372 часа, что в несколько раз превышает время сходимости компьютерных моделей для расчёта теплового состояния соплового аппарата и рабочей лопатки отдельно (73 часа и 28 часов соответственно) и многократно превышает расчётное время моделей: теплового состояния РК (менее 1 часа), аэродинамической модели турбины (1,5 часа) и теплогидравлической модели системы охлаждения (менее 1 часа). Таким образом суммарное время расчёта моделей, используемых в процессе доводки в 3,6 раз меньше времени, необходимого для получения решения с использованием комплексной компьютерной модели. В расчётную область комплексной модели были включены: межлопаточный канал соплового аппарата с учётом выходной области камеры сгорания и последнего ряда отверстий её охлаждения; межлопаточный канал рабочей лопатки с учётом притрактовых полостей; внутренние полости плёночного охлаждения соплового аппарата с подводом воздуха из вторичной зоны камеры сгорания; полость транзитного дефлектора и вихревой матрицы соплового аппарата от выхода из клапана системы частичного отключения охлаждения; межлопаточный канал аппарата спутной закрутки турбины высокого давления; полость камеры смешения, думисная полость и переход к притрактовой полости через лабиринт перед рабочим колесом турбины высокого давления; полость внутридискового диффузора с учётом подвода охлаждающего воздуха к внутренней системе каналов охлаждаемой лопатки; внутренние полости каналов системы охлаждения лопатки; полость течения воздуха под диском, связанная с притрактовой полостью за рабочим колесом турбины высокого давления; сопловая лопатка, дефлектор, разделяющий полость плёночного охлаждения, транзитный дефлектор в задней полости и крышки корпуса соплового аппарата; передний дефлектор рабочего колеса турбины высокого давления с отверстиями подвода воздуха во внутридисковый диффузор к рабочим лопаткам турбины и дефлектор, устанавливаемый со стороны полости за рабочим колесом; диск рабочего колеса; рабочая лопатка.

Результаты моделирования, полученные с использованием комплексной компьютерной модели рабочего процесса ТВД, были сопоставлены с данными расчётов с использованием моделей: 3D аэродинамическая модель турбины, 1D теплогидравлическая и 3D термомеханическая модели, 3D сопряжённая теплогидравлическая модель рабочей лопатки.

Для снижения рисков неточной оценки параметров рабочего процесса охлаждаемой турбины необходимо дополнительно ввести коррекции характеристик, получаемых с использованием 3D аэродинамической модели турбины $\eta^* = -0,021$, $A = +1,7\%$.

Для снижения рисков неточной оценки параметров рабочего процесса в системе охлаждения турбины и, как следствие, теплового состояния её деталей, необходимы выполнять 3D CFD расчёты элементов системы охлаждения для уточнения расходных характеристик и граничных условий теплообмена. Эти уточнения необходимы для повышения

точности используемых 3D теплогидравлических и термомеханических моделей из-за их зависимости от граничных условий, получаемых по результатам предварительного 1D теплогидравлического расчёта всей системы воздушных двигателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания (номер проекта FSSS-2024-0015, «Изучение закономерностей рабочих процессов нагнетательных машин на базе сопряженных математических моделей»).

Список литературы

1. Логунов. А.В., Быков Ю.Г. Проблемы проектирования и производства высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД: монография, в двух книгах. – Москва: Наука и технологии, 2023. – ISBN 978-5-93952-042-3.
2. Данильченко В.П., Лукачёв С.В., Ковылов. Ю.Л. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 620 с.

Сведения об авторах

Мельников Сергей Александрович – ассистент кафедры ТДЛА им. В.П. Лукачёва. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин, рабочие процессы ракетных двигателей.

Зубанов Василий Михайлович – доцент кафедры ТДЛА им. В.П. Лукачёва. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин, рабочие процессы ракетных двигателей.

Кузнецов Валерий Витальевич – студент. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин, рабочие процессы ракетных двигателей.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR FINISHING OF COOLED NOZZLE VANES AND ROTOR BLADES

Melnikov S.A.,

Samara University, Samara, Russia, m.asergey196@gmail.com

Keywords: cooled turbine, thermal state of the impeller, conjugate modeling, cooled rotor blade.

After the cooled turbine's design refinement is completed, verification calculations are performed using several integrated models, including 3D CFD coupled thermal-hydraulic models to determine the thermal state of the turbine's impellers. This paper examines a comprehensive model for calculating the thermal state of a cooled high-pressure turbine impeller.