

## СОПРЯЖЕННЫЙ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Урлапкин В.В.<sup>1</sup>, Корнеев С.С.<sup>1</sup>, Шиманов А.А.<sup>1</sup>, Гаев Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, [urlapkin.vv@ssau.ru](mailto:urlapkin.vv@ssau.ru)

*Ключевые слова:* теплообмен, газовый поток, распределение температур, деформация, перемещения

Сопряженный теплогидравлический и термомеханический расчет двумерной модели газотурбинного двигателя (ГТД) представляет собой совместный расчет гидравлики внутренних полостей и каналов течения воздушных потоков, получение температур воздуха в этих полостях и каналах, и последующее приложение данных термических нагрузок к материалам деталей и узлов двигателя. Далее проводится расчет теплового состояния ГТД, подготовка и расчет механической модели с получением перемещений и зазоров в интересующих узлах двигателя. Блок-схема этапов расчета представлена на рис.1.

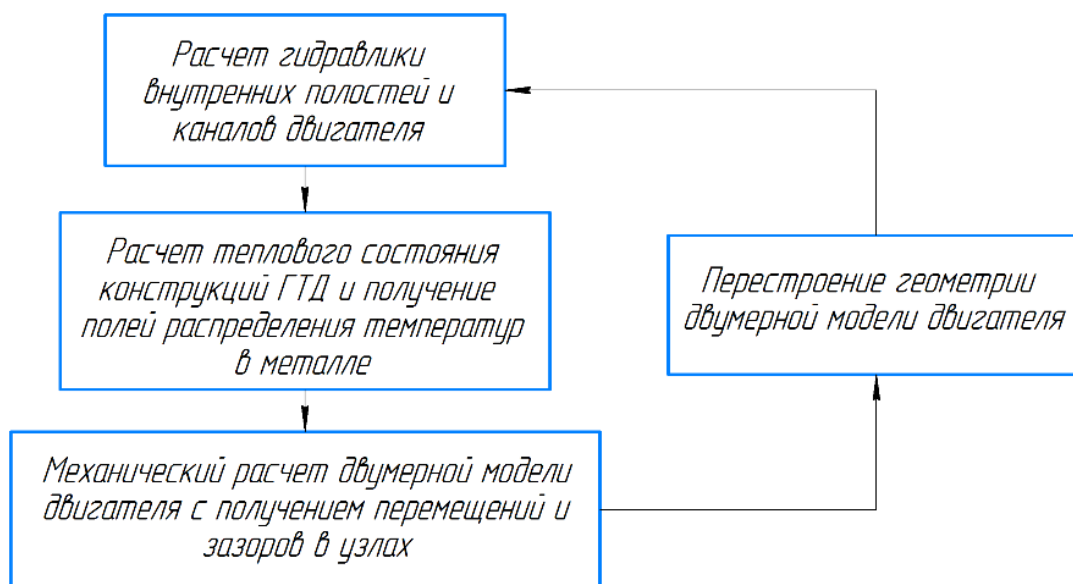


Рис.1 – Блок-схема этапов расчета сопряженного расчета

Конечно-элементная модель представляет собой двумерную осесимметричную модель двигателя. Модель включает основные узлы двигателя, такие как: опоры, компрессор, элементы корпуса, турбину и другие.

В задаче используются следующие типы конечных элементов:

- PLANE55 (Axisymmetric) – моделирование осесимметричных элементов конструкции;
- PLANE55 (Plane With Thickness) – моделирование неосесимметричных элементов конструкции (лопатки, элементы с отверстиями и др.);
- SURF151 – приложение граничных условий 3-го рода на осесимметричных границах;
- LINK34 – приложение граничных условий 3-го рода на неосесимметричных границах;
- TARGE169 и CONTA172 – моделирование контакта с заданной контактной теплопроводностью.

При моделировании гидродинамики внутренних полостей ГТД учитываются:

- а) сжимаемость газа (уравнения энергии и состояния для реального газа);
- б) граничные условия теплообмена (конвекция, излучение, сопряженный теплообмен между газом и стенками).

Для корректного переноса тепловых нагрузок в термомеханическую модель применяется интерполяция полей температур с гидродинамической сетки на структурную. Это особенно важно для зон с высокими градиентами (лопатки турбины, камера сгорания).

Термомеханический анализ, ключевые аспекты:

- а) учет температурной зависимости модуля упругости, коэффициента теплового расширения, предела текучести;
- б) моделирование ползучести и релаксации напряжений для жаропрочных сплавов;
- в) контактные взаимодействия: TARGE169 + CONTA172 – моделирование теплового и механического контакта с переменной проводимостью (влияние зазоров, натягов).
- г) учет термических сопротивлений на стыках деталей;
- д) механические граничные условия: заземление опор, связывание с ротором (учет центробежных сил).

### **Заключение**

Приведенная методика расчета позволяет:

- а) оптимизировать тепловые режимы – за счет точного прогнозирования температур в критических узлах;
- б) оценить механическую надежность в первом приближении – выявить зоны повышенных напряжений и деформаций, минимизировать риски усталостного разрушения;
- в) контролировать зазоры – обеспечить работоспособность роторно-статорных систем в условиях теплового расширения.

Использование осесимметричной конечно-элементной модели сокращает вычислительные затраты при сохранении адекватности результатов. Дальнейшее развитие методики может включать:

- а) учет нестационарных эффектов (пусковые/остановочные режимы);
- б) трехмерное моделирование отдельных узлов для более точного анализа локальных напряжений;
- в) верификацию расчетных данных натурными испытаниями.

Таким образом, предложенная методика является эффективным инструментом для проектирования и анализа ГТД, обеспечивая баланс между точностью и вычислительной эффективностью.

Результаты работы получены при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2024-0017).

### **Список литературы**

1. Бондарчук, П.В., Тепловой и прочностной расчет корпусов ГТД [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / П. В. Бондарчук, А. С. Злобин, А. Ю. Тисарев.; М-во образования и науки РФ. Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013.
2. Системы отбора воздуха из компрессора и транспортирование воздуха к потребителю: электрон. учебное пособие / А.Ю. Тисарев, С.В. Фалалеев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т) – Самара, 2011

### **Сведения об авторах**

Урлапкин Виктор Викторович, аспирант. Область научных интересов: тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, двигатели внутреннего сгорания.

Корнеев Сергей Сергеевич, аспирант. Область научных интересов: тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, двигатели внутреннего сгорания.

Шиманов Артем Андреевич, старший преподаватель кафедры ТиТД. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение, термоакустика.

Гаев Евгений Сергеевич, аспирант. Область научных интересов: тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, бортовая энергетика, термоакустика.

## **COUPLED THERMOHYDRAULIC AND THERMOMECHANICAL CALCULATION OF A TWO-DIMENSIONAL MODEL OF A GAS TURBINE ENGINE**

Urlapkin V.V.<sup>1</sup>, Korneev S.S.<sup>1</sup>, Shimanov A.A.<sup>1</sup>, Gaev E.S.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Samara University, Samara, Russia, [urlapkin.vv@ssau.ru](mailto:urlapkin.vv@ssau.ru)

*Keywords: heat exchange, gas flow, temperature distribution, deformation, displacement*

The coupled thermal-hydraulic and thermomechanical calculation of a two-dimensional model of a gas turbine engine is a joint calculation of the hydraulics of internal cavities and air flow channels, obtaining air temperatures in these cavities and channels, and the subsequent application of these thermal loads to the materials of engine parts and assemblies. Next, the calculation of the thermal state, preparation and calculation of the mechanical model with obtaining displacements and clearances in the engine components of interest.