

А. И. Долгов

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

В статье описаны проблемы, связанные с оптимизацией систем охлаждения газовых турбин. Решение проблемы разделено на две взаимосвязанные части: установление более точных соотношений по теплоотдаче в каналах охлаждения, создание и использование метода оптимизации систем охлаждения

Ключевые слова: оптимизация, теплообмен, система охлаждения, газовая турбина, коэффициент теплоотдачи

1. Введение

Процесс оптимизации систем охлаждения ГТУ является настолько сложным, что некоторые исследователи считают, что его автоматизация практически невозможна в связи с большим количеством факторов, влияющих на поведение системы охлаждения. Однако, в связи с развитием методов моделирования процессов в газовых турбинах и технологии их производства, прежний подход «проектирование – испытания – перепроектирование» должен быть изменен, чтобы обеспечить выпуск нового поколения ГТУ и ГТД разного назначения в более короткие сроки, чем ранее.

2. Постановка задачи

Создание высокотемпературных ГТУ связано с решением комплекса задач по разработке эффективного охлаждения газовых турбин и обеспечению их надежной работы в условиях длительной эксплуатации при минимальных расходах охладителя. Это выдвигает в число актуальных задач задачу оптимизации систем охлаждения, основанную на современных методах нелинейного программирования, позволяющую найти оптимальное решение с учетом ряда параметрических и функциональных ограничений, накладываемых конструктивными и эксплуатационными особенностями газотурбинного агрегата. Однако оптимизация не возможна без детального изучения процессов теплообмена и гидравлического сопротивления каналов охлаждения. В связи с этим в работе выполнен численный анализ теплообмена в некоторых сложных условиях течения охладителя.

3. Основная часть

3.1. Анализ литературных источников по теме исследования

В последнее время для расчета систем охлаждения газовых турбин на ряде предприятий ис-

пользуется программный комплекс ТНА [1], в разработке которого принимал непосредственное участие автор. Расчет систем охлаждения основывается на использовании модели гидравлической сети систем охлаждения и конечно-элементной модели температурного поля охлаждаемых деталей газовых турбин. В процессе вычислений выполняется обмен необходимыми граничными условиями между указанными математическими моделями, что позволяет решать задачу в сопряженной постановке.

ТНА в течение длительного срока тестировался и позволил получить новые решения в проектировании систем охлаждения газовых турбин, например [2, 3].

Кроме того, изучались сложные процессы течения охладителя в придисковых зазорах роторов газовых турбин и течения охладителя с учетом сжимаемость и запыления канала при достижении скорости звука [4,5]. Отдельно изучалась возможность приближенного расчета трехмерных температурных задач в двумерной постановке [6]. Выполненные исследования позволили значительно повысить надежность расчетов с использованием ТНА.

3.2. Результаты по теме исследования

В соответствии с постановкой задачи в работе выполнено численное исследование теплообмена в некоторых каналах систем охлаждения. В частности изучено влияние подогрева воздуха и пара на коэффициент теплоотдачи в круглом и некруглом канале. Показано, что коэффициент теплоотдачи по длине канала в этом случае продолжает увеличиваться, несмотря на уменьшение локального значения числа Re. В среднем по длине канала его величина достаточно хорошо описывается зависимостью [7] в которой для учета влияния начального участка использована зависимость [8].

$$\text{Nu}_{\text{ж,д}} = 0,023 \cdot \text{Re}_{\text{ж,д}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,4} \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{с}}} \right)^{0,3} \epsilon \quad (1)$$

Зависимость (1) по виду близка к зависимо-

сти, предложенной в [9], но отличается значением показателя степени при отношении температуры воздуха (водяного пара) к температуре стенки канала.

Введение в зависимость поправки на отношение температур охладителя и газа оказалось весьма существенным при расчете температуры охлаждаемых деталей газовой турбины.

Кроме того выполнен численный анализ теплообмена при струйном охлаждении входной кромки лопатки газовой турбины [10]. Установлено, какая из многочисленных известных зависимостей для расчета коэффициента теплоотдачи является наиболее точной для этого случая.

Проведенные исследования теплообмена позволили повысить точность расчета теплоотдачи в каналах охлаждения, а, следовательно, и температурного состояния охлаждаемых деталей газовой турбины. Это дало возможность внедрить в ТНА алгоритм оптимизации, основанный на использовании LP-последовательностей [11].

В результате удалось выполнить оптимизацию систем охлаждения направляющих и рабочих лопаток газовых турбин и показать эффективность использованного алгоритма [12-14].

Литература

1. Тарасов, А.И. ТНА (Thermal & Hydraulic Analysis) - Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2007610141, 10 ноября 2006 [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, Россия
2. Тарасов, А.И. Замена воздуха на пар в системах охлаждения действующих газовых турбин [Текст] / А.И. Тарасов // Тяжелое машиностроение. - М. -2006. - №1. - С. 12-14.
3. Тарасов, А.И. Проектирование систем охлаждения газовых турбин [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Турбины и Дизели: Специализированный информационно-технический журнал. - Пермь. -2010. - №3. - С.14-17.
4. Тарасов, А.И. Учет центробежного эффекта в расчетах систем охлаждения роторов газовых турбин / А.И. Тарасов, Чан Конг Шанг // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2009. - №3. - С.138-143.
5. Тарасов, А. И. Расчет гидравлических сетей с учетом сжимаемости теплоносителя [Текст] / А.И. Тарасов, Чан Конг Шанг // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2010. - №3. - С.92-101.
6. Тарасов, А.И. Применение 2D моделей теплопроводности для расчета температуры охлаждаемых деталей газовых турбин [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов, О.А. Литвиненко // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2012. - №8. - С.36-41.
7. Тарасов, А.И. Влияние подогрева теплоносителя на теплоотдачу в каналах систем охлаждения [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов, Е.П. Авдеева // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2011. - №2. - С.28-33.
8. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. - М.-Л.: Энергия, 1965. - 424 с.
9. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче [Текст]

/ С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. - 414 с.

10. Тарасов, А.И. Анализ теплообмена при струйном охлаждении входной кромки лопатки газовой турбины [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2009. - №3. - С.122-127.
11. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями [Текст] / И.М. Соболев, Р.Б. Статников - М.: Наука. - 1981. - 110 с.
12. Тарасов, А.И. Оптимизация системы охлаждения турбинной лопатки дефлекторного типа [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2008. - №6. - С.76-82.
13. Тарасов, А.И. Оптимизация систем охлаждения лопаток газовой турбины методом LP-поиска [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Моделирование 2008: сб. трудов конференции (Киев, 14-16 мая 2008) / Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. - К.:ИПМЭ. - 2008.-С.350-357.
14. Тарасов, А.И. Стратегия оптимизации систем охлаждения лопаток газовой турбины методом LP-поиска применительно к сетевой модели [Текст] / А.И. Тарасов, А.И. Долгов // Электронное моделирование. - Киев: НАН Украины.- 2010. - №1.- т. 32.-С. 105-112.

К ПИТАННЮ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗОВИХ ТУРБІН

О. І. Долгов

У статті описані проблеми, пов'язані з оптимізацією систем охолодження газових турбін. Рішення проблеми розділене на дві взаємозалежні частини; встановлення більш точних співвідношень по тепловіддачі в каналах охолодження, створення і використання методу оптимізації систем охолодження

Ключові слова: оптимізація, теплообмін, система охолодження, газова турбіна, коефіцієнт тепловіддачі

Олександр Ігорович Долгов, здобувач кафедри турбінобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», тел. (066) 225-01-06, e-mail: dai13@rambler.ru

ON THE OPTIMIZATION OF THE COOLING SYSTEMS OF GAS TURBINES

A. Dolgov

The article describes the problems associated with optimization of cooling systems of gas turbines. The solution is divided into two interconnected parts; establishing a more exact relations for heat transfer in cooling channels, the creation and use of the method of optimization of cooling systems

Keywords: optimization, heat transfer, cooling system, gas turbine, heat transfer coefficient

Alexander Dolgov, graduate student of Turbomachinery Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. (066) 225-01-06, e-mail: dai13@rambler.ru