

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Севастьянова Георгия Мамиевича  
на диссертационную работу Андрианова Ивана Константиновича «Численное моделирование процессов теплоотвода в оболочковых элементах турбомашин на основании условия длительной прочности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

На современном этапе развития эффективных систем охлаждения оболочковых элементов, находящихся в условиях внешнего нагрева, все большее внимание уделяется вопросам математического моделирования теплообменных процессов с позиции оптимизации их работы. Актуальной является проблема разработки математических тепловых моделей, позволяющих управлять процессом отвода тепла, при котором параметры теплопереноса определяются прочностными критериями и особенностями напряженного состояния.

Оболочковые элементы турбомашин на сегодняшний день имеют различные конфигурации, а также различаются модификациями внутренних систем охлаждения. В настоящий момент предложено достаточно много методик для расчета теплового состояния элементов, оценки напряженно-деформированного состояния. В то время как решение обратных теплообменных задач в комбинации с задачами оптимизации представлено немногочисленными исследованиями.

### **Оценка структуры и содержания диссертации**

Диссертационная работа изложена на 154 страницах, включающих в себя введение, решение проблемы исследования, последовательно раскрытое в пяти главах, заключение, список литературы из 138 наименований и приложения.

Во введении отражена актуальность темы исследования, цели и задачи работы, новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе отражены подходы к численному решению теплообменных задач, построению математических тепловых моделей. Проведена оценка современных способов тепловой защиты элементов турбомашин.

Во второй главе дана постановка задачи исследования. Автором предложено при заданных условиях теплоподвода и механического нагружения минимизировать массовый

расход за счет соответствующего изменения ширины поперечного сечения каналов охлаждения на основании критерия длительной прочности. Представлена математическая модель, описывающая нелинейный процесс оптимального теплопереноса в слоях оболочкового элемента, газодинамику течения при требуемом прочностном критерии.

В третьей главе на основании полученных численных закономерностей установлена связь между минимальным массовым расходом охладителя, температурном распределении, удовлетворяющем критерию длительной прочности, параметрами теплоотвода, кинематики течения охлаждающей среды и геометрии каналов теплоотвода.

В четвертой главе представлены алгоритмы для расчета удельных тепловых потоков, удовлетворяющих критерию равнопрочности, определения минимального массового расхода охладителя, переменной ширины каналов теплоотвода внутренних систем охлаждения оболочек.

Пятая глава посвящена оценке результатов вычислительных экспериментов расчета процессов оптимального теплоотвода. Представлены данные о тепловом состоянии однослойных и двухслойных элементов, при котором обеспечивается равнопрочное состояние. Проанализировано изменение геометрии каналов теплоотвода и массового расхода в зависимости от различного времени работы элементов.

В заключении представлены основные результаты диссертационного исследования.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации**

В работе проанализированы достижения и результаты работы других авторов, проведено сопоставление результатов расчета соискателя с результатами других исследователей. Обоснованность полученных результатов обеспечивается применением математических закономерностей, отражающих фундаментальные физические законы, а также комбинированием апробированных методов математического моделирования и численного исследования.

Диссертантом проведена апробация результатов исследования на конференциях, конкурсах и семинарах. По теме диссертации автором опубликовано 17 работ. Основные положения диссертационного исследования нашли отражение в 4 публикациях в журналах из перечня ВАК РФ. Автором получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

## **Научная новизна полученных результатов**

Разработан новый метод математического моделирования процесса отвода тепла, при котором минимизируется массовый расход охладителя и обеспечивается равнопрочное состояние оболочковых элементов, омываемых разнотемпературными газовыми потоками.

На основании предложенной численной методики написаны новые алгоритмы вычисления параметров охлаждения по данным об условиях теплоотвода, времени работы, требуемого запаса прочности.

Разработан новый комплекс программ, позволяющий проводить вычислительные эксперименты по расчету минимального расхода охладителя, соответствующей геометрии каналов охлаждения при температурной конфигурации на наиболее термонагруженной поверхности оболочкового элемента, определяемой критерием длительной прочности.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Математическая модель, численная методика, алгоритмы и программы, разработанные соискателем обладают практической значимостью. Полученные результаты позволяют управлять шириной поперечного сечения каналов теплоотвода однослойных и двухслойных оболочковых элементов, при которых обеспечивается минимальный массовый расход на основании данных о времени работы элемента, требуемого коэффициента запаса, условий подвода теплоты.

Результаты исследования, представляют практический интерес для научной и производственной сфер, могут быть внедрены в рабочий процесс организаций, связанных с проектированием и модернизацией турбомашин.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры «Механика и анализ конструкций и процессов» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» при чтении лекции, проведении практических занятий и в курсовых проектах.

## **Замечания по диссертации**

1. В тексте диссертации нет схем, отражающих поперечное сечение и расположение канала (каналов) охлаждения. Из текстового описания эту информацию также тяжело получить однозначно. По косвенным данным (по результатам расчетов характерного линейного размера канала, скорости течения охладителя и локального коэффициента

теплоотдачи) можно предположить, что рассматриваются, вероятнее всего, щелевые каналы, так как площадь сечения канала оказывается приближенно линейной функцией характерного линейного размера. Вместе с тем, формула (2.26) для определения числа Нуссельта известна как аппроксимация экспериментальных данных для прямых каналов кругового сечения. В рассматриваемой работе каналы охлаждения заведомо не прямые, причем с существенным сужением по длине.

2. Числа Пекле для рассматриваемых процессов достаточно велики (порядка 100). В таких случаях для аппроксимации пространственных производных температуры, как правило, используются противопоточные разностные схемы, а не схемы с центральными разностями, как это сделано в работе.

3. Уравнение (2.31) в работе противоречит используемому соотношению гидравлического приближения на стр. 48. Возможность замены двумерного (в лучшем случае) течения охладителя в канале при меняющемся практически на порядок его характерном линейном размере на одномерное модельное течение стоило бы аргументировать. Уравнение Навье-Стокса (2.20) записано в предположении постоянства объемной и динамической вязкости, вместе с тем, судя по численной схеме, автор пересчитывает значения этих коэффициентов в узлах сетки в зависимости от температуры.

4. Поскольку в работе численно решается достаточно "тяжелая" нелинейная система уравнений в частных производных очень желательно было бы после получения расчетных данных проверить выполнение уравнений баланса энергии и контактных условий на границах по тепловым потокам. Это дало бы основания исключить возможность расчетных ошибок.

Указанные замечания в целом не снижают научной и практической ценности выполненной автором работы.

### **Заключение**

Диссертация Андрианова Ивана Константиновича «Численное моделирование процессов теплоотвода в оболочковых элементах турбомашин на основании условия длительной прочности» соответствует специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам паспорта специальности:

1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;

2. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
3. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Андрианов Иван Константинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

#### **Официальный оппонент**

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем металлотехнологий, исполняющий обязанности Учёного секретаря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН)

Севастьянов Георгий Мамиевич \_\_\_\_\_

681005 г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов, д.1

e-mail: mail@imim.ru, тел.: 89142104528

Подпись Севастьянова Г.М. заверяю, директор ИМиМ ДВО РАН  
чл.-корр. РАН Буренин А.А. \_\_\_\_\_

М.П.

Дата составления отзыва 25.04.2017