

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

РАДЧЕНКО Валерия Петровича

«МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ»

**на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и
аппаратуры**

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ И СООТВЕТСТВИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

В большинстве современных радиолокационных станций применяются активные фазированные антенные решетки (АФАР). Попытки улучшения функциональных характеристик РЛС связаны с увеличением мощности излучения и плотности компоновки, что, в свою очередь, увеличивает теплонагруженность элементов конструкции. Уровень и характер распределения тепловых полей оказывает существенное влияние на рабочие характеристики изделия. Ключевое значение для обеспечения прочности, надежности и работоспособности АФАР имеет система терморегулирования, поддерживающая оптимальный температурный режим. Поиск технических решений, обеспечивающих эффективный теплоотвод, а также разработка методов расчета подобных систем является актуальной задачей.

Таким образом, тема диссертационной работы соискателя Радченко Валерия Петровича является **актуальной и соответствует** специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка литературы из 75 позиций. Содержание работы изложено на 130 страницах машинописного формата, включает 44 рисунка.

Общий отдел МАИ
Вх. №
10 12 2018г.

Во введении, в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению диссертационных работ, автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и задачи, поставленные для

достижения перечисленных целей, формулируются полученные автором результаты, имеющие существенную научную новизну, с учетом полученных результатов обоснована теоретическая и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования, перечислены положения, выносимые автором на защиту диссертационной работы, приведены сведения об апробации результатов диссертационного исследования и о важнейших публикациях автора.

В первой главе автором проведен обстоятельный и детальный критический анализ современного состояния проблемы проектирования систем терморегулирования радиолокационных станций и методов их расчета. Сделан вывод о том, что для обеспечения оптимального теплового режима усилителей мощности АФАР X-диапазона, наилучшим вариантом является принудительное жидкостное охлаждение. Требуется проработка конструктивных решений, направленных на увеличение эффективности системы терморегуляции с уменьшением габаритов деформируемых тепловых труб, размеры которых ограничены свободным пространством между приемо-передающими модулями и мощностью малогабаритных насосов. Показано, что одной из определяющих характеристик, влияющих на величину теплосъема, является ширина зоны контакта между тепловыми трубами и охлаждаемыми поверхностями АФАР. Автором проведен обзор методов решения задач о деформировании конструкций, контактирующих с абсолютно жесткой поверхностью, и определения размера контактных областей. Отмечена возможность применения упрощенных аналитических подходов к решению данной задачи. На базе проведенного анализа сформулированы цели диссертационного исследования и выполнена постановка задач, решение которых обеспечивает достижение целей.

Во второй главе приведено описание предлагаемой конструкции системы принудительного жидкостного охлаждения элементов АФАР, использующей U-образные деформируемые трубки в качестве каналов охлаждения, и определен уровень гидростатического давления. Приведены ряд аналитических и численных решений по оценке ширины зоны контакта между трубами охлаждения и охлаждаемыми поверхностями. Задача о деформациях тонкостенной цилиндрической оболочки плоскоовального сечения сведена к решению задачи о деформациях балки единичной ширины, контактирующей с жесткой преградой.

Аналитические решения были получены с использованием классической теории изгиба для случая малых и конечных прогибов, а также балочной теории Тимошенко, учитывающей деформацию поперечного сдвига. На базе созданных аналитических моделей проведены расчеты ширины зоны контакта для нескольких толщин сечений и при разных уровнях начального зазора. Проведено сравнение результатов аналитических моделей с численным решением на основе конечно-элементной модели, построенной в ПК Ansys. Показано, что оценку ширины контакта трубок охлаждения типовых размеров (характерных для систем охлаждения АФАР) можно проводить с помощью аналитической модели, построенной на базе классической балочной теории в приближении малых прогибов. Приведен пример проекторочного расчета по определению геометрических размеров каналов охлаждения, обеспечивающих наиболее эффективный теплообмен.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальной оценки ширины зоны контакта труб плоскоовального сечения с жесткой поверхностью под действием давления наддува. Дано описание лабораторной установки и методики проведения натурного эксперимента. Приведено сравнение результатов оценки ширины зоны контакта с помощью ранее описанных аналитических и численных решений с экспериментальными данными. Отмечено, что аналитическое решение, построенное на базе классической балочной теории в приближении малых прогибов, согласуется с результатами экспериментов и может быть использовано для проекторочных расчетов.

Четвертая глава посвящена оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) каналов охлаждения с различной формой поперечного сечения. Решение проведено на базе метода конечных элементов в ПК Ansys. Сечение профилей аппроксимировалось 2D конечными элементами, работающими в режиме плоской деформации. Определены односторонние контактные взаимодействия, ограничивающие деформирование профиля. На внутренней поверхности профиля было задано равномерное поле давлений. Показано, что плоскоовальное сечение канала охлаждения обеспечивает большую ширину зоны контакта при меньших уровнях действующих механических напряжений. Проведена оценка НДС и ширины зоны контакта U-образного канала охлаждения с плоскоовальным профилем поперечного сечения в трехмерной постановке. Получены распределения

пластических деформаций на одном цикле нагружения, дана оценка усталостной прочности конструкции.

В заключении перечислены результаты работы, составляющие основу проведенного исследования, имеющие научную новизну и практическую ценность.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Анализ современной периодической литературы и важнейших монографий по профилю диссертационной работы позволяет сделать заключение о степени новизны полученных автором результатов, удовлетворяющей требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Новизна технических решений подтверждена четырьмя патентами, полученными по результатам работы.

ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Положенные в основу представленной автором приближенной модели апробированные методы решения задач механики, а также сравнение результатов, полученных автором аналитически, с численными решениями на основе сертифицированных комплексов прикладных программ и экспериментальными данными, обеспечивают достоверность результатов, опубликованных в диссертационной работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Разработанные автором аналитические методы расчета ширины области контакта тонкостенных каналов охлаждения, которые могут быть использованы при проектировании систем охлаждения АФАР, имеют практическую значимость, также как и предложенная реализация систем терморегулирования АФАР на базе деформируемых тонкостенных каналов.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Результаты исследований легли в основу разработки конструкторской документации, изготовления и испытаний мобильного радиолокационного комплекса «Демонстратор».

Основные результаты, выводы и рекомендации диссертации опубликованы в пяти научных статьях в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ. Зарегистрировано 4 патента.

Достоинством работы является то, что предложенная аналитическая оценка ширины зоны контакта тонкостенных каналов охлаждения может быть использована

при проведении проектировочного расчета элементов системы охлаждения и применена в инженерной практике, предваряющей детальный расчет методом конечных элементов.

Содержание диссертации **соответствует** содержанию опубликованных работ. Существенных замечаний к качеству оформления диссертации и изложению материала нет.

Содержание автореферата **соответствует** содержанию диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В главе 2, разделе 2.5.1 приводится описание аналитической модели, оценивающей ширину контакта прямолинейного участка поперечного сечения канала с преградой, и численное решение данной задачи на базе метода конечных элементов. В аналитической модели на правом конце балки, исходя из описания, изгибающий момент равен нулю. В конечно-элементной модели, для принятого типа конечных элементов, ограничение прогибов узлов правого конца пластины (рис. 2.8) приводит и к запрету на их повороты с возникновением изгибающего момента, что можно заметить на иллюстрациях деформированной формы модели (рис. 2.11). Таким образом, аналитическая и конечно-элементная модели не идентичны по граничным условиям;
2. В главе 4 (стр. 100) отмечено, что в плоскоовальном профиле при начальном зазоре 0,1 мм напряжения не превышают предела текучести для всех рассмотренных толщин (0,15 мм, 0,2 мм, 0,25 мм и 0,3 мм) при внутреннем давлении 500 кПа. Решение проводилось в 2D постановке с использованием конечных элементов, работающих в режиме плоской деформации. Далее, для того же сечения (толщина стенки 0,25 мм), проводится решение задачи в трехмерной постановке с учетом U-образной формы канала. На рис. 4.19 представлено распределение пластических деформаций при давлении 400 кПа и уровне начального зазора 0,1 мм. Характер распределения пластических деформаций говорит о том, что действующие напряжения превысили предел текучести и на прямолинейных участках U-образного канала. В работе не комментируется, с чем связана столь существенная разница результатов моделирования в 2D

и в 3D постановке на прямолинейных участках, которая должна быть незначительной вдали от U-образного перехода.

Указанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости результатов, полученных автором в диссертационной работе.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной решению актуальной прикладной научной задачи – оценке напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов конструкций систем терморегулирования радиолокационных станций.

Диссертация **соответствует** требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Радченко Валерий Петрович, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент

Нуштаев Дмитрий Владимирович,

кандидат технических наук,

менеджер по моделированию клиентских

процессов дирекции по техническому развитию и

качеству АО «Северсталь Менеджмент»

Адрес места работы: ул. Мира, 30, г. Череповец,

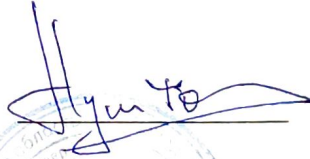
162608. Тел.: +7 (926) 623-78-70.

E-mail: dv.nushtaev@severstal.com

Специальность ВАК, по которой защищена

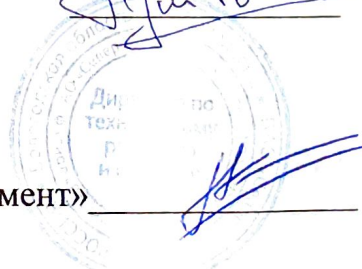
диссертация, 01.02.04 - Механика деформируемого

твердого тела.


Д. В. Нуштаев

Подпись Нуштаева Д. В. заверяю.

Старший менеджер АО «Северсталь Менеджмент»



О. В. Копаев