

ОТЗЫВ

официального оппонента Коваля Сергея Всеволодовича
на диссертационную работу Ярославцевой Марии Михайловны на тему
«Разработка методики анализа усталостной прочности агрегатов наземной
космической инфраструктуры при многократных механических и газодинамических
воздействиях» на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.13 «Проектирование, конструкция, производство, испытания и
эксплуатация летательных аппаратов»

Диссертация Ярославцевой М.М. посвящена **актуальной** теме разработки методики, и вычислительных алгоритмов для анализа сопротивления усталостному разрушению и прогнозирования ресурса термомеханически нагруженных элементов теплозащитных покрытий (ТЗП), газоподводов стартовых сооружений, стационарных стартовых космических комплексов (СКК), обеспечивающими безопасность и непрерывность запусков ракет-носителей (РН).

Исследованию теплозащиты конструкций газоподводов посвящено значительное число работ, о чем свидетельствует детальный и объемный обзор, проведенный автором диссертации. Соискателем предложена классификация существующих подходов и типов теплозащит газоподводов, что облегчило анализ публикаций. Цель работы Ярославцевой М.М. выбрана верно. Задачи, обеспечивающие достижение этой цели сформулированы.

Целью диссертации является разработка методики анализа малоциклового усталостной прочности ТЗП при многократных механических и газодинамических воздействиях на основе сопряженного термомеханического моделирования. Одновременный учет упругопластического деформирования материала и температурной деградации его свойств при формулировке критериев долговечности является принципиальной особенностью и новизной рассматриваемой работы. Классические линейно-упругие модели могут быть использованы только для предварительных оценок, когда конструкции не испытывают значительных температурных градиентов. Учет пластических течений и кинематических ограничений необходим при проектировании облицовок, работающих в условиях экстремального теплового удара. Автор диссертации рассматриваются ответственные и дорогостоящие элементы ТЗП газоподводов стартовых сооружений, поэтому наличие в расчетном аппарате уточненных нелинейных моделей усталости представляется целесообразным и обоснованным.

Задача анализа ресурса ТЗП является многофакторной и предполагает моделирование нестационарных полей температур и напряженно-деформированного состояния. Разумно сочетая методы конечных элементов с деформационно-кинематическими критериями малоциклового усталости и алгоритмами схематизации

нерегулярного нагружения, автору диссертации удалось создать эффективный расчетный инструмент, пригодный для использования в инженерной практике.

Наиболее существенными результатами, полученными соискателем и определяющими научную новину, фундаментальную и практическую значимости работы, являются следующие:

1. Разработана комплексная методика сквозного анализа усталостной прочности ТЗП, основанная на сопряженном решении нестационарной задачи теплопроводности и нелинейной задачи механики деформируемого твердого тела с учетом изотропного упрочнения материала.

2. Сформирован алгоритмический аппарат для оценки долговечности на основе деформационного критерия Коффина-Мэнсона-Баскина, адаптированный к условиям высокотемпературного циклического деформирования элементов ТЗП.

3. Проведена верификация расчетных моделей на основе сопоставления результатов расчетного моделирования с данными натурных термометрических измерений, полученных при запусках РН стартовых комплексов, что подтверждает достоверность разработанного подхода.

4. Разработаны конкретные рекомендации по оптимизации конструкций узлов ТЗП и переходу от жестких сварных схем монтажа металлооблицовки к шарнирно-болтовым узлам крепления, обеспечивающим компенсацию температурных расширений. Результаты внедрены в реальное производство, что подчеркивает практическую значимость диссертационного исследования.

Достоверность научных результатов и выводов диссертации Ярославцевой М.М. обеспечена: корректной постановкой алгоритмов рассматриваемых связанных задач термомеханики; применением разработанного и верифицированного метода анализа; хорошим согласованием с данными, полученными при пусках РН «Протон» в течении многих лет.

Диссертация Ярославцевой М.М. объемом 137 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (98 наименований) и приложений с актами внедрения результатов исследования. В работе содержатся 71 рисунок и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи работы, показаны ее научная новизна, а также теоретическая и практическая значимости, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен обзор исследований и опыта проектирования теплозащитных покрытий газопроводов стартовых сооружений. Использована классификация работ по типам материалов и условиям эксплуатации. Рассмотрены характерные дефекты металлических и бетонных конструкций ТЗП при газодинамическом воздействии. Особое внимание уделено причинам и факторам, вызывающим преждевременные повреждения и предельно допустимые уносы за неполный эксплуатационный период.

Во второй главе диссертации соискателем выполнен основной объём теоретических исследований: разработан алгоритмический аппарат для сквозного сопряженного термомеханического анализа и прогнозирования малоциклового усталости элементов ТЗП. Автором лично внедрена в модель явная температурная зависимость физико-механических свойств сталей и интегрированы уравнения описывающие пластическое деформирование с изотропным упрочнением по критерию Мизеса, что позволило адекватно учесть многие эффекты, характерные для циклического деформирования при действии высоких температур. Для оценки влияния цикличности газодинамического воздействия на конструкцию соискатель предложила способ схематизации циклов деформирования методом «дождевого потока», трансформирующий их в набор регулярных циклов. На этой основе автором формализован критериальный аппарат оценки долговечности с помощью модифицированного деформационного уравнения Коффина-Мэнсона-Баскина.

В третьей главе диссертационной работы соискателем проведена практическая реализация предложенного теоретического аппарата средствами конечно-элементного анализа и выполнена комплексная верификация расчетных моделей.

Ярославцева М.М. разработала детальные пространственные конечно-элементные модели (КЭМ) ключевых элементов газоотражательного устройства — «гребня» (рассекателя) и защитных решеток башни обслуживания. Автором проведено исследование по подбору конечно-элементных сеток, обоснован выбор оптимального типа и порядка элементов, а также выполнено моделирование нестационарного упругопластического напряженно-деформированного состояния конструкций в условиях циклического термо-воздействия.

Соискатель провела валидацию методики оценки циклической прочности конструкции при действии газодинамической нагрузки путем сопоставления результатов расчетного моделирования с данными натурных термометрических измерений, полученных аппаратурой за 62 пуска ракет-носителей «Протон» за 22 года эксплуатации. Продемонстрированная точность результатов подтверждает достоверность созданного автором расчетного аппарата.

В четвертой главе диссертации рассматривается практическое применение разработанной методики для решения прикладных инженерно-технических задач по анализу локальных зон распределения напряжений. Соискателем была обоснована и применена методика субмоделирования. С использованием предложенного алгоритма использования инструментария субмоделирования было доказано, что переход от жестких сварных соединений панелей к шарнирно-болтовым узлам позволяет значительно снизить уровень пиковых температурных напряжений, замедлить скорость накопления повреждений и увеличить циклический ресурс облицовки в несколько раз. Также в главе сформулированы рекомендации по оптимизации профиля рассекателя гребня газоотражателя для минимизации зон локального перегрева.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты, соответствующие поставленным задачам и обеспечивающие достижение цели диссертационной работы. Намечены направления дальнейшего развития методики в части учета высокотемпературной ползучести материалов при температуре нагрева свыше 1500 °С.

Таким образом, диссертационная работа Ярославцевой М.М. выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд полезных и значимых теоретических и новых прикладных результатов. Выводы диссертации являются обоснованными, а их достоверность не вызывает сомнений. Результаты работы неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях. Опубликованные 12 печатных трудов (в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК РФ) содержат полную информацию о полученных результатах диссертационной работы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

В качестве замечаний следует отметить:

– Из автореферата не ясно какая теория пластичности реализована в моделях, применяемых при расчете упруго-пластической задачи? ТМУ ПД и теория пластических течений, а если деформации большие, то, как учтены в теории пластического течения производные Яуманна?

– Качественные закономерности термомеханического поведения облицовок газоотражателей фундаментально исследовались ранее (СССР МО, 1970-1990 гг.). В их числе исследования, проводимые в 26 ЦНИИ, ВКА им. Можайского, п/я А 7731, в/ч 08340 и пр. В автореферате диссертации не полно проведен обзор основных проблем традиционных инженерных методов расчета ресурса ТЗП стартовых сооружений, и их учета в современной практике проектирования высоконагруженных элементов ТЗП.

– Имеются неточности в терминологических формулировках по тексту всей диссертации, которые не ухудшают суть результатов исследования.

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации Ярославцевой М.М. и имеют характер рекомендации для дальнейших исследований.

Общая оценка работы. В целом, диссертация Ярославцевой М.М. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему и на должном теоретическом и методическом уровне. Достоверность полученных результатов сомнений не вызывает.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности научно-исследовательских и проектно-конструкторских учреждений, занимающихся созданием и модернизацией объектов наземной космической инфраструктуры, а также внедрены в учебный процесс профильных технических вузов по данной тематике.

Заключение. Диссертационная работа Ярославцевой Марии Михайловны «Разработка методики анализа усталостной прочности агрегатов наземной

космической инфраструктуры при многократных механических и газодинамических воздействиях» полностью удовлетворяет квалификационным требованиям, изложенным в пункте 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции действующих изменений), а ее автор, Ярославцева Мария Михайловна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Официальный оппонент,

Главный научный сотрудник лаборатории цифровых методов управления жизненным циклом изделий машиностроения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН),

доктор технических наук (по специальности 20.02.06 «Военно-строительные комплексы и конструкции»), профессор



Коваль Сергей Всеволодович

«4» июня 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук
101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4
Тел.: 8-968-878-92-21, e-mail: lavrik2811@yandex.ru_

Подпись руки и должность, Ковалю Сергея Всеволодовича, заверяю
Исполняющий обязанности директора ИМАШ РАН


(подпись)

/ Рагушкин А.В. /
(Ф.И.О.)

М.П. «4» июня 2026 г.



С отзывом ознакомлена
10.06.2026

