

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Ярославцевой Марии Михайловны
«Разработка методики анализа усталостной прочности агрегатов наземной
космической инфраструктуры при многократных механических и
газодинамических воздействиях, представленной к защите на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13.
«Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация
летательных аппаратов»**

Представленные к защите диссертация и автореферат Ярославцевой Марии Михайловны посвящены решению актуальной научно-технической задачи совершенствования методов минимизации разрушающего воздействия на силовые элементы агрегатов, нагружаемых серией газодинамических нагрузок при каждом запуске двигательной установки путем оценки допустимого числа рабочих циклов газодинамического нагружения до разрушения агрегатов на этапе проектирования с использованием программно-реализованных численных методов.

Проведенный автором в диссертации анализ опыта проектирования и эксплуатации различных теплозащитных покрытий и силовых деталей позволил определить основные причины разрушения силовых конструкций наземного оборудования и покрытий стартового сооружения и установить, что при периодичности газодинамического нагружения от пуска к пуску ракеты космического назначения наличие дефектов в материале деталей приводит к потере работоспособности наземного оборудования, возвратным течениям горячего газа к соплам двигателя и необходимости внепланового ремонта стартовой площадки. При этом наибольшим потенциалом применения в проектах наземной инфраструктуры для многоразовых ракет-носителей обладают стальные конструкции и облицовки.

В используемых подходах на практике рассматриваются частные вопросы деформирования простейших образцов, при этом недостаточно внимания уделяется вопросам обоснования закладываемой сопротивляемости габаритных силовых конструкций стартового оборудования, работающих под газодинамическим воздействием, что приводит к ошибкам проектирования при реализации программ с большим числом запусков космических аппаратов на орбиту.

Для быстрого и точного определения ресурса проектируемой конструкции обоснована необходимость разработки методики анализа усталостной прочности агрегатов наземной космической инфраструктуры при многократных механических и газодинамических воздействиях и проведена постановка задачи исследования.

Разработанная методика основана на анализе истории циклического деформирования и амплитуды деформаций для последующего определения числа циклов до наступления предельного состояния материала, при этом поверхность исследуемой конструкции представлена в виде сетки, что позволило использовать метод конечных элементов.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«01» 06 20 16г.

В разработанной методике оценки циклической прочности предусмотрено выполнение анализа как для всех узлов в модели, так и для выбранного набора элементов вокруг критической точки конечно-элементной решетки (сетки).

Температурный цикл и цикл давления сглажены и представлены в виде последовательности импульсов, что облегчило расчет циклической прочности. Такой подход позволил упростить расчет амплитуды деформаций при моделировании, как разности между максимальным и минимальным значениями деформациями в цикле.

Взаимный учет амплитудных колебаний и значений, рассчитанных на основе графика усталости, позволил определить на основе выражения Коффина-Мэнсона-Баскина число циклов до разрушения конструкции. При этом критерий наступления предельного состояния учитывает помимо накопленной пластической деформации свойства материала конструкции.

Реализацию методики в алгоритмической форме предложено использовать в конструкторской документации по модели.

Валидация разработанной методики проведена по нескольким параметрам для оценки усталостной прочности газоотражателей, используемых в металлооблицовке газоходов, также других элементов конструкций агрегатов наземной космической инфраструктуры. При этом определен размер элемента сетки достаточный для достижения требуемой точности результатов моделирования.

В результате автором сделан вывод о допустимой сходимости результатов моделирования со значениями, зафиксированными на эксплуатируемом изделии. Рассчитанная погрешность модели составляет не более 10%, что допустимо при проведении проектировочных расчетов.

В работе автором также проведен анализ и разработаны соответствующие алгоритмы для некоторых критических областей габаритных конструкций, в том числе схем монтажа элементов в конструкцию (листов облицовки на силовой раме или закладных элементах газоотражателя). Для таких малых конструктивных элементов предложен метод субмоделирования, позволяющий определять параметры напряженно-деформированного состояния в малых подобластях в зависимости от цикла нагружения с необходимой точностью с рациональными затратами вычислительных ресурсов. Реализация метода субмоделирования в алгоритмической форме и его программная реализация позволяют на этапе проектирования выбрать рациональную схему закрепления конструкций, подвергающихся циклическому газодинамическому воздействию.

Проверка разработанного алгоритма проведена для выбора схемы монтажа листов в составе габаритной металлической конструкции обеспечивающей длительную работу облицовки.

Предложенные в работе методика и алгоритмы были применены на этапе проектирования габаритных конструкций, подвергающихся циклическому газодинамическому воздействию, в АО «ЦЭНКИ» – НИИСК им. В. П. Бармина и АО «НПО «Обуховский завод».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке и практическая реализация нового метода оценки усталостной прочности проектируемых термомеханически напряженных конструктивных элементов стартового оборудования для запуска летательных аппаратов. Предложены методы и приемы анализа напряженно-деформированного состояния конструкций с оцениванием циклической прочности, основанные на применении разработанной методики анализа усталостной прочности агрегатов наземной космической инфраструктуры при многократных механических и газодинамических воздействиях. В отличие от разработанных ранее концепций предлагаемая автором методика позволяет обосновывать ресурс стартового оборудования, подверженного термосиловому воздействию, на этапе проектирования сборочных единиц стартового комплекса.

Теоретическая значимость работы состоит в адаптации теории малоциклового усталости Коффина-Мэнсона для более точной оценки ресурса конструкций наземного оборудования РКН, подверженных газодинамическому воздействию, на этапе проектирования, а также в разработке новой методики численного анализа усталостной прочности стартового оборудования, испытывающего периодические газодинамические нагрузки.

По теме диссертационной работы опубликовано 12 работ, 2 из них в изданиях, категории К1, которые включены в Перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) по специальности 2.5.13., 2 статьи в изданиях категорий К1 и К2, которые включены в Перечень ВАК по смежным специальностям.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработана методика оценки малоциклового усталостной прочности применена в филиале АО «ЦЭНКИ» – НИИ СК им. В.П. Бармина при создании теоретической базы для обоснования прочности разрабатываемых агрегатов пусковых установок при действии газодинамической нагрузки.

2. Разработаны практические рекомендации по формированию теоретического профиля и исполнения гребня двухскатного газоотражателя.

3. Результаты моделирования конструкций, подверженных термосиловому воздействию, учтены при проектировании масштабных испытательных стендов.

В качестве замечаний можно привести следующее:

1. В автореферате не обозначен тип используемого для численного моделирования методом конечных элементов программного обеспечения (ПО) (ANSYS, COMSOL, Abaqus, FreeCAD, CalculiX), а также способ интеграции в такое ПО разработанных автором алгоритмов, что не позволяет оценить возможность их практической реализации на практике. В связи с этим представляется затруднительным провести выбор необходимого аппаратного обеспечения для подобных вычислительно емких методов расчета и программных приложений в составе испытательного оборудования.

2. В автореферате автором не приведена математическая постановка задачи исследования в целом, а также математические постановки частных задач по главам и математические описания предложенных моделей и алгоритмов, что

затрудняет определение степени достижения цели диссертационного исследования и обоснованности применяемых методов.

3. Приведенные в автореферате блок-схемы алгоритмов (рис.4, рис.8) выполнены не в соответствии с действующим основным стандартом, регламентирующим оформление алгоритмов (блок-схем), - ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) «Единая система программной документации (ЕСПД). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения».

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы и не снижают ее научной и практической ценности.

Результаты работы могут найти применение на этапе проектирования термомеханически напряженных конструктивных элементов авиационных и ракетных двигателей, испытательных стендов на предприятиях государственной корпорации «Ростех» (АО «ОДК», АО «Высокоточные комплексы» и др.).

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертация и автореферат соответствуют всем установленным требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, соответствуют специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов». Автор диссертации Ярославцева Мария Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Руководитель проектов первой категории
Научно-технического совета (Департамента)
Государственной корпорации «Ростех»
кандидат технических наук, доцент

А.Г. Волков

21.05.2026



Подпись Волкова Андрея Геннадьевича удостоверяю
эксперт-аналитик
Департамента управления персоналом

О.Ф. Лазовская

Телефон рабочий: +7 (495) 287-25-00, доб. 28-10
Адрес электронной почты: A.G.Volkov@rostec.ru
Почтовый адрес: 125424, Российская Федерация,
г. Москва, Волоколамское шоссе д.75А