

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Алгазина Сергея Дмитриевича на диссертацию Бондаренко Андрея Юрьевича «Совершенствование методов расчётного анализа динамических нагрузок на конструкции и способов их отработки с учётом результатов натурных испытаний», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Обеспечение прочности изделий ракетно-космической техники с учетом высоких уровней статического и динамического нагружения, а также повышенных требований к их массовому совершенству, является важной задачей, требующей большого объема расчетных и экспериментальных исследований. В диссертации автором показано, что математическое моделирование условий нагружения конструкций может, с одной стороны, помочь уточнить режимы нагружения изделий, а также, в некоторых случаях, позволить расчетным путем обосновать прочность конструкции или сократить объемы ее наземной отработки.

Наиболее важным результатом диссертации является метод решения обратной задачи восстановления неизвестного внешнего воздействия на сложную пространственную конструкцию, моделируемую с использованием конечноэлементного подхода, по данным о ее динамических откликах в виде замеренных ускорений. Этот подход основан на двух факторах: начальном приближении к исходному воздействию, которое достигается путем минимизации квадратичной невязки между коэффициентами Фурье разложения рассчитанных и замеренных ускорений, а также представлением корректирующей части циклограммы как разложение по передаточным функциям механической системы. Под передаточными функциями подразумеваются амплитудно-частотные характеристики откликов в узлах системы, в которых проводятся измерения ускорений, от единичной гармонической силы в точке приложения неизвестного внешнего воздействия.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

06.11.2020

На примере задачи об определении внешнего воздействия при выключении высотного двигателя ступени ракеты-носителя автором продемонстрирована высокая точность предлагаемого подхода.

Следует отметить, что качество решения обратной задачи во многом зависит от корректности математических моделей, используемых в расчетах. В диссертации Бондаренко А. Ю. рассматриваются различные способы улучшения качества расчетных математических моделей и подходов к определению параметров внешних воздействий при нестационарных динамических воздействиях. Показаны особенности задания силовых воздействий на гармонические осцилляторы, моделирующие податливость днища бака с топливом и подвешенным к днищу двигателем, которые зачастую используются при создании упрощенных балочных моделей ступеней РН при расчете нагрузок. Кроме того, приведено описание особенностей использования полярных систем координат при расчете динамических характеристик конструкций и задания внешних воздействий в виде ускорений на статически неопределимые системы, а также возникающих при этом погрешностей.

По результатам исследований автором предложен расчетный с применением экспериментальных методов подход к подтверждению динамической прочности конструкций, который был применен автором при расчетном обосновании прочности сложной пространственной конструкции, испытывающей существенное динамическое нагружение от воздействий, не учтенных при наземной отработке. Это позволило исключить дорогостоящую повторную наземную отработку и риски, связанные с необоснованным разрушением изделия из-за неточностей в воспроизведении уровней нагружения, что имеет большую практическую значимость.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы соискателя Бондаренко Андрея Юрьевича не вызывает сомнений. Работа имеет прикладное значение и соответствует специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка обо-

значений и сокращений и списка литературы из 93 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы. Перечислены методы исследования, основные результаты и положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы, структуре диссертации.

В первой главе рассмотрен подход к решению задачи определения временной зависимости внешнего воздействия от двигательной установки на конструкцию по данным о ее реакции с использованием комплексных коэффициентов (передаточных функций). Исследованы возможности применения этого подхода для решения задач с учетом погрешностей в величинах замеренных ускорений и погрешностей в используемых математических моделях.

Во второй главе приводятся основные правила, использованные автором при разработке детализированных моделей для расчета нагружения. Рассмотрены интересные особенности расчета кинематических параметров (перемещений) и напряженно-деформированного состояния конструкций при статически-неопределимых граничных условиях. Разработан метод распределения коэффициентов неизвестного силового воздействия между осцилляторами, имитирующими днище бака с присоединенным двигателем. Показана сходимость этих воздействий к суммарной силе, на серии примеров обоснована эквивалентность полученной упрощенной и полной модели по массово-инерционным, динамическим характеристикам, а также по внешним воздействиям.

В третьей главе показано, что при проведении виброиспытаний для имитации нагружения, реализуемого при нестационарном воздействии, возможно существенно перегрузить конструкцию, особенно при невысоких значениях коэффициентов демпфирования динамической системы. Особенно этот эффект проявляется при анализе откликов навесного оборудования и напряженно-деформированного состояния в кронштейнах его крепления. Кроме того, предложен универсальный метод определения режимов виброиспытаний на основе низкочастотной фильтрации исходных процессов. Несомненным плюсом явля-

ется то, что он позволяет исключить из получаемого спектра квазистатическую составляющую, обработка на которую проводится отдельно. Автором проведены расчеты в обеспечение обоснования возможности замены вибронагружения бросковыми испытаниями.

В четвертой главе на основе результатов предыдущих исследований сформулирован подход к расчетно-экспериментальному подтверждению динамической прочности конструкций, для которых были зафиксированы (например, в результате аварийных ситуаций) воздействия, не учтенные при наземной обработке. Этот подход был применен для расчетного обоснования прочности приборного отсека ракеты-носителя. Полученные результаты, позволили подтвердить достаточную прочность силовой конструкции отсека и узлов крепления навесного оборудования.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы:

Основными результатами работы, полученными соискателем лично и обладающими научной новизной и практической значимостью, являются:

- методика реконструкции циклограмм работы двигательной установки по динамической реакции конструкции с выделением скачкообразно меняющейся составляющей на основе математического моделирования и данных натурных измерений;

- подход к учёту активных сил, действующих на подсистемы, моделируемые механическими аналогами;

- принцип построения спектра ударного нагружения, эквивалентного воздействию на конструкцию при произвольном переходном процессе, а также разработанный на его основе альтернативный подход к подтверждению прочности конструкций;

- расчётно-экспериментальный метод подтверждения вибропрочности конструкций и его реализация на примере типового приборного отсека ракеты-носителя.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректной поста-

новкой задач, математически обоснованными методами их решения, сравнительным анализом результатов с экспериментальными данными.

К диссертации имеются следующие замечания:

– В диссертации при решении обратной задачи автором рассчитываются передаточные функции вплоть до частоты Найквиста, что может быть избыточно в некоторых случаях. Более корректным было бы проведение анализа частотного состава записанных кинематических параметров и частотного диапазона, в котором расчетная модель может считаться корректной, по результатам чего принимается решение о выборе используемого диапазона частот.

– При расчете собственных форм баков со сферическими днищами достаточно вольно даны рекомендации по исключению эффектов, связанных с существенным ростом скорости расчетов, без проведения исследований для различных характерных размеров оболочек и конечных элементов, хотя результат примера имеет и явно практическое значение.

– Автором при расчете гидроупругих тонов выбраны граничные условия, соответствующие заделке нижнего шпангоута бака, что не в полной мере учитывает реальное поведение конструкции при колебаниях.

– Не вполне понятно, что именно сравнивается на рисунках 4.40 – 4.43.

Указанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают научной ценности работы.

Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвящена актуальной теме и выполнена на высоком научно-техническом уровне. Полученные в работе результаты обладают новизной, представляют теоретический и практический интерес, соответствуют пунктам 1, 2, 4, 8, 9 паспорта специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры». Положения диссертации, выносимые на защиту, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 9 научных работ в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат полно отражает основные результаты дис-

сертации.

Считаю, что диссертация Бондаренко А.Ю. «Совершенствование методов расчётного анализа динамических нагрузок на конструкции соответствует критериям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Бондаренко Андрей Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Ведущий научный сотрудник
лаборатории Механики и
оптимизации конструкций
Института проблем механики
имени А.Ю. Ишлинского РАН,
Доктор физико-математических наук

Алгазин Сергей Дмитриевич

«28» 10 2020 г.

Адрес места работы:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
119526, г. Москва, проспект Вернадского, д. 101, к. 1.
Телефон: +7(495) 434-00-17
Сайт: <https://www.ipmnet.ru>

Подпись С.Д. Алгазина заверяю
Ученый секретарь ИПМех РАН
Кандидат физико-математических наук



М.А. Котов