

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СУХИХ ОТСЕКОВ РАКЕТ

Абдурахимова Р.И., Фролова О.А.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Для обеспечения высокой эффективности объектов ракетной техники необходимым условием является распространение инноваций в области проектирования, технологии и расчета на прочность, жесткость и устойчивость конструкций. Разработка методик и алгоритмов аналитического и численного расчетов на прочность элементов конструкций, определение и выбор рациональных проектных параметров конструкции является основной задачей в расчетах напряженно-деформированного состояния и устойчивости.

В настоящее время существует огромное разнообразие в подходах, алгоритмах, используемых при постановке задач, и методиках расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости элементов сухих отсеков ракет. Сухие отсеки – это приборные, межбаковые, хвостовые отсеки, различного рода обтекатели. Корпус сухого отсека обычно представляет собой цилиндрическую или коническую подкрепленную оболочку, нагруженную осевой силой, изгибающим или крутящим моментом и перерезывающей силой. Конструктивное исполнение силового набора зависит в основном от характера нагружения отсека и величины сжимающей силы.

Путем проведения ряда расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости элементов отсеков возможно проектирование сухих отсеков с учетом реализации минимальной массы. Трудности в расчетах состоят в выборе сочетания параметров отсеков, при которых выдерживается заданная внешняя нагрузка. После полученных результатов по оптимальному сочетанию параметров отсека, необходимо выполнить проверку соответствия их критериям оптимальности. Также вызывает сложность формирование схемы нагружения, т.е. распределение нагрузки между элементами. Например, для сухого отсека, представляющего цилиндрическую оболочку, подкрепленную стрингерным набором, распределение внешней нагрузки между оболочкой и стрингерами является статически неопределимой задачей и приводит к необходимости решения контактной задачи для оболочки и стрингеров. Разработка методик расчета нагрузки элементов сухих отсеков ракет и выбор оптимального сочетания параметров является весьма актуальной задачей.

Силовые элементы конструкции сухих отсеков должны обладать высокой прочностью, так как они подвержены воздействию больших нагрузок. Характерным воздействием для сухих отсеков ракеты является сжатие этих отсеков. Поэтому разрушающим усилием будет являться усилие, приводящее к потере устойчивости. Потеря устойчивости может привести к разрушению всей системы, в то время как, например, явление текучести в растянутом элементе не всегда опасно для конструкции.

Снижение веса является первоочередной задачей проектирования ракет. Многие достижения в области создания тонкостенных оболочек обязаны своим

происхождением этому требованию. Поэтому важным фактором при определении оптимальных параметров конструкции является требование минимума массы при обеспечении прочности, жесткости, надежности, необходимых величин механических характеристик при эксплуатации. Малый вес конструкции может быть достигнут только в результате использования тонких и удлиненных конструктивных элементов из высокопрочных материалов. При выборе материала необходимо учитывать множество требований, которые очень сложно оптимально сочетать в одном материале. Поэтому, в зависимости от конструктивного применения материала выделяют требования минимальной массы при условии неразрушаемости конструкции. Наиболее эффективными являются конструкционные материалы с большой удельной жесткостью

В общем случае массовую эффективность конструкции сухих отсеков можно оценить отношением критического напряжения потери устойчивости отсека к пределу текучести материала. Малая массовая эффективность гладких оболочек свидетельствует о невыгодности использования таких конструкций. Однако эти конструкции все же применяются в виде коротких переходных участков из-за их технологической простоты и небольшого вклада в общий массовый баланс конструкции. Наиболее широкое распространение в конструкции сухих отсеков ракет получили стрингерные или лонжеронные отсеки. Однако возможности стрингерных отсеков, не допускающих потери устойчивости обшивки, ограничены. Действительно, для повышения критических напряжений такой обшивки нужно существенно уменьшить расстояние между подкреплениями, что соответственно приведет к уменьшению площади их сечения. При этом ухудшение эффективности стрингерных оболочек будет обусловлено отсутствием стандартизованных профилей малых размеров и несоответствием расчетных и стандартизованных параметров профилей. Фактически только в конструкции отсека с обшивкой, подкрепленной частым гофром, удастся достичь максимальных уровней массовой эффективности. Наибольшая массовая эффективность будет обеспечиваться при равнопрочности элементов отсека по различным предельным состояниям. При заданных габаритных размерах отсеков, определяемых из компоновочных соображений, минимум массы обеспечивается при минимальной площади поперечного сечения отсека. При заданных нагрузках это условие выливается в требование достижения максимальных напряжений, действующих в отсеке. При решении задачи оптимизации необходимо также учитывать ограничения, связанные с технологическими факторами и удовлетворением условия непревышения действующими напряжениями механических свойств материала [1].

Современный уровень развития ракетостроения характеризуется использованием современных программных комплексов как средств проектирования, исследования и обеспечения функциональности объектов ракетно-космической техники. Разработка и внедрение программного обеспечения занимает существенное место в разработке и эксплуатации ракетных комплексов. Использование программных комплексов позволяет

многосторонне представить результат расчета напряженно-деформированного состояния элементов отсека и конструкции в целом. В основу используемых программных комплексов положен метод конечных элементов. Программные комплексы являются неотъемлемой частью современных систем проектирования сложных технических систем. Автоматизация расчетов позволяет существенно повысить эффективность проводимых разработок. Поэтому выбор систем программирования требует серьезного рассмотрения и обоснования, как и выбор других технических средств [2].

Прочностной расчёт сложных пространственных конструкций и моделей большой размерности представляет значительную сложность. Применение суперэлементного моделирования значительно сокращает время расчета. При расчёте конструкции методом суперэлементов происходит сокращение размерности задачи за счёт исключения внутренних степеней свободы.

В настоящее время существует большое количество российских и зарубежных систем автоматизированного проектирования, использующихся обычно совместно с системами автоматизации инженерных расчетов и анализа (CAE), которые позволяют выполнять задачи моделирования процессов в различных комбинированных средах. В частности, среди российских САД наиболее распространенными являются T-FLEX CAD, КОМПАС, АРМ WinMachine, среди САПР мировых производителей — AutoCAD, Autodesk, NX, Solid Edge, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidWorks. Программное обеспечение типа CAE (системами автоматизации инженерных расчетов и анализа) выполняет самую разнообразную работу по расчету напряжений, деформаций, теплообмена, распределения магнитного поля, потока жидкостей и других параметров сплошных сред, контактных задач, задач для частотной области динамического анализа, устойчивости конструкций, механики разрушений в линейных и нелинейных задачах для изделий из композиционных и армированных материалов, включая температурные воздействия. К наиболее распространенным CAE-системам можно отнести продукты компаний MSC Software Corporation (Marc, Nastran, Patran), ANSYS, Inc. (ANSYS, LS-DYNA).

Список источников литературы

- 1. Грабин, Б.В. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов: учебник для студентов вузов / Б.В. Грабин, О.И. Давыдов, В.И. Жихарев и др. - М.: Машиностроение, 1991.- С.-217-218.*
- 2. Абдрахимова, Р.И. Фролова О.А. Применение программных комплексов в расчетах элементов конструкций. Компьютерная интеграция производства и ИППИ-технологии / Р.И. Абдрахимова, О.А. Фролова.- Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 399-401. ISBN 978-5-44177-0299-7.*