

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ..... | 6 |
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| ЧАСТЬ I. СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ РАКЕТ | 9 |
| ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТ, СТАРТУЮЩИХ С ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ. | 10 |
| Особенности проектирования силовых элементов корпуса ракеты | 10 |
| Методы оценки прочности | 13 |
| Коэффициенты безопасности..... | 14 |
| Система исходных данных | 15 |
| ГЛАВА 2. НАГРУЖЕННОСТЬ РАКЕТЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ | 17 |
| Этап производства..... | 17 |
| Наземная эксплуатация..... | 17 |
| Эксплуатация в шахте подводной лодки | 23 |
| Подготовка к старту | 24 |
| Старт и выход ракеты из шахты | 28 |
| Подводный участок траектории | 29 |
| Атмосферный участок траектории | 29 |
| Разделение ступеней | 30 |
| Особенности конструкции и эксплуатации баллистических ракет подводных лодок с двигателями на твердом топливе | 31 |
| ГЛАВА 3. АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ НАГРУЖЕНИЯ И ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ СЛУЧАЕВ | 35 |
| Расчетные случаи нагружения | 35 |
| Оптимизация расчетных случаев..... | 35 |
| Силовая и расчетная схемы ракеты | 37 |
| Расчеты на прочность | 38 |
| ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ | 40 |
| Натурные испытания..... | 40 |
| Лабораторные испытания | 40 |
| Контроль прочности конструкции в процессе серийного производства | 48 |
| ЧАСТЬ II. ПРОЧНОСТЬ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА БРПЛ..... | 49 |
| ГЛАВА 5. ПРОЧНОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК..... | 51 |
| Общие понятия о механических характеристиках материалов..... | 51 |
| Общие сведения из теории оболочек | 53 |
| Сферические оболочки | 54 |
| Цилиндрические оболочки | 56 |
| Конические оболочки | 57 |
| Торовые оболочки | 58 |
| Вафельные оболочки..... | 60 |
| Компенсация снижения прочности оболочки, ослабленной отверстием..... | 62 |
| Емкости с плоскими днищами | 64 |
| Весовая эффективность конструкционных материалов..... | 67 |

| | |
|---|-----|
| ГЛАВА 6. РАСЧЕТ РАСПОРНЫХ УЗЛОВ И ПОДКРЕПЛЯЮЩИХ ШПАНГОУТОВ | 69 |
| Определение внутренних силовых факторов | 69 |
| Расчет напряжений в элементах конструкции | 73 |
| Проектирование распорного шпангоута..... | 74 |
| Расчет распорных шпангоутов методом площадей давления | 75 |
| Оценка прочности подкрепляющих шпангоутов..... | 77 |
| ГЛАВА 7. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ШПАНГОУТОВ..... | 80 |
| Определение внутренних силовых факторов | 80 |
| Расчет шпангоута на прочность..... | 82 |
| Проектирование сечения силового элемента, работающего на изгиб..... | 86 |
| Предельные нагрузки при изгибе | 88 |
| ГЛАВА 8. ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ | 93 |
| Резьбовые соединения | 93 |
| Заклепочные соединения..... | 98 |
| Сварные соединения | 100 |
| Фланцевые соединения..... | 105 |
| ГЛАВА 9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРПУСА РДТТ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ | 110 |
| Проектирование цилиндрической оболочки, нагруженной равномерным внутренним давлением..... | 110 |
| Проектирование силовой оболочки корпуса РДТТ | 112 |
| ЧАСТЬ III. УСТОЙЧИВОСТЬ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСОВ БРПЛ | 117 |
| ГЛАВА 10. УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕЙ | 119 |
| ГЛАВА 11. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ | 123 |
| Гладкие цилиндрические оболочки..... | 123 |
| Гладкие конические оболочки | 126 |
| ГЛАВА 12. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ | 128 |
| Гладкие цилиндрические оболочки..... | 128 |
| Гладкие конические оболочки | 130 |
| Оболочки с особыми граничными условиями | 131 |
| Цилиндрические оболочки под действием локального внешнего давления | 133 |
| ГЛАВА 13. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ КРУЧЕНИИ И СДВИГЕ | 137 |
| Гладкие оболочки под действием крутящего момента | 137 |
| Гладкие оболочки под действием перерезывающей силы..... | 139 |
| ГЛАВА 14. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗОК | 140 |
| Осевое сжатие с внутренним давлением | 140 |
| Осевое сжатие с внешним давлением | 141 |
| Кручение или поперечный сдвиг с внутренним давлением | 142 |

| | |
|--|------------|
| Кручение или поперечный сдвиг с внешним давлением | 142 |
| Осевое сжатие с поперечным сдвигом..... | 142 |
| Осевое сжатие, поперечный сдвиг и внешнее давление | 142 |
| ГЛАВА 15. УСТОЙЧИВОСТЬ СФЕРИЧЕСКИХ | |
| И ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ВНЕШНEM ДАВЛЕНИИ | 144 |
| Гладкие сферические оболочки | 144 |
| Гладкие эллипсоидальные оболочки..... | 145 |
| ГЛАВА 16. УСТОЙЧИВОСТЬ ТОРОИДАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК | 147 |
| Тороидальные оболочки под действием внешнего давления..... | 147 |
| Торосферические днища под действием внутреннего давления | 148 |
| ГЛАВА 17. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ, | |
| РАБОТАЮЩИХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ | 150 |
| ГЛАВА 18. ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ГЛАДКИХ ОБОЛОЧЕК | |
| ДЛЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БРПЛ | 151 |
| ГЛАВА 19. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ОБОЛОЧЕК С ВАФЕЛЬНЫМ | |
| ПОДКРЕПЛЕНИЕМ | 160 |
| Механическое фрезерование ячеек в листах | 160 |
| Химическое фрезерование | 161 |
| Размерная электрохимическая обработка..... | 161 |
| Механическое фрезерование со сложением | 162 |
| ГЛАВА 20. УСТОЙЧИВОСТЬ ВАФЕЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК | 163 |
| Теоретические основы инженерных методов расчета критических | |
| нагрузок потери устойчивости..... | 164 |
| Цилиндрические оболочки при осевом сжатии | 168 |
| Конические оболочки при осевом сжатии..... | 174 |
| Цилиндрические оболочки при действии внешнего давления..... | 175 |
| Конические оболочки при внешнем давлении..... | 179 |
| Цилиндрические оболочки при кручении и сдвиге..... | 181 |
| Устойчивость сферических днищ при действии внешнего давления | 181 |
| ГЛАВА 21. УСТОЙЧИВОСТЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ | |
| ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ | 188 |
| Осевое сжатие..... | 188 |
| Внешнее давление | 191 |
| Кручение..... | 191 |
| Совместное действие осевого сжатия и внешнего давления..... | 193 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 195 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга охватывает проблемы разработки расчетно-теоретических схем и инженерно-практических методов проведения расчетов на прочность и устойчивость конструкций баллистических ракет подводных лодок (БРПЛ). В ней обобщены теоретический и экспериментальный материалы исследований авторов, а также результаты, полученные в процессе создания ряда морских стратегических ракетных комплексов, находящихся в настоящее время на вооружении Военно-Морского Флота.

Материал книги во многом основан на курсе лекций, прочитанных В. Т. Лизиным в стенах Южно-Уральского государственного университета для студентов четвертого-пятого курсов, обучающихся по программе специалитета.

Так как основой несущих элементов ракетоносителей являются различного типа оболочки, шпангоуты, то в книге большое внимание уделено проектным расчетам на прочность и устойчивость этих элементов конструкции, обеспечивающих минимум массы при заданной расчетной нагрузке.

В настоящее время в большинстве случаев для проведения этих расчетов инженер-расчетчик использует готовые программные продукты ведущих иностранных фирм. Эти продукты основаны на методе конечных элементов и требуют значительных временных ресурсов. Их целесообразно проводить на этапе разработки рабочей документации.

Предложенные методы проектных расчетов на прочность, рассмотренные в данной книге, проводятся как на этапах проектирования, когда только определяется общий облик конструкции и выбираются рациональные конструктивные решения и материалы, которые целесообразно использовать в данной конструкции, так и на этапе разработки рабочей документации. Эти методы достаточно просты и основаны на формулах, подтвержденных экспериментальными данными.

Основная цель книги — помочь студентам, а также специалистам, работающим в области проектирования ракетно-космической техники, овладеть не только приемами проведения расчетов на прочность элементов тонкостенных конструкций ракетно-космической техники (РКТ), но и выбирать их оптимальные параметры при заданной несущей способности.

Книга состоит из трех частей. Первая часть содержит общие вопросы обеспечения прочности ракет, в которой раскрываются особенности конструирования и проектирования ракет, стартующих с подводной лодки (ПЛ). Рассматривается нагруженность ракеты на всех этапах ее эксплуатации, начиная с этапа производства и заканчивая разделением ступеней. Подробно раскрывается объем экспериментальных работ при натурных и лабораторных испытаниях.

Вторая часть посвящена вопросам прочности основных силовых элементов корпуса ракеты. Так как основные силовые элементы корпуса ракет, стартующих с ПЛ, работают на устойчивость, то третья часть посвящена расчетам и проектированию оболочек на устойчивость.

Материалы книги к печати подготовил доцент кафедры прикладной математики и ракетодинамики филиала Южно-Уральского государственного уни-

верситета в г. Миасс кандидат технических наук А. П. Ануфриев. При этом материалы лекций В. Т. Лизина были существенно дополнены методиками расчета на прочность и устойчивость тонкостенных конструкций из композиционных материалов.

Большая помощь и поддержка в этом была оказана кафедрой прикладной математики и ракетодинамики филиала ЮУрГУ в г. Миассе.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретической основой расчетов на прочность являются курсы «Сопротивления материалов», «Теории упругости», «Строительной механики». В них даются наиболее общие понятия о видах напряженно-деформированного состояния, методах определения его параметров, способах решения статически неопределимых систем, уравнениях равновесия оболочек и путях их решения.

Под строительной механикой понимаются курсы, в которых рассматриваются способы решения и результаты исследования прочности и устойчивости конкретных конструктивно-силовых схем и элементов, характерных для данного вида техники. В связи с этим существуют курсы строительной механики корабля, строительной механики самолета, строительной механики сооружений.

В настоящей книге рассматриваются основы расчетов на прочность баллистических ракет с подводным стартом. Специфика ее состоит в том, что основой конструктивно-силовой схемы (КСС) ракеты являются тонкостенные суды различной геометрической формы и переходные отсеки с силовыми шпангоутами, то есть оболочечные конструкции с местными силовыми элементами. Это предполагает, что основную роль в оценках несущей способности корпуса ракет играют не столько вопросы прочности, сколько устойчивости.

Кроме того, для летательных аппаратов первостепенное значение играют вопросы оптимизации параметров конструкции по критерию минимума веса. Отсюда следует, что для всех типовых элементов конструкции и типов оболочек должны быть проведены исследования весовой оптимальности и определены параметры и их соотношения, при которых конструкция имеет минимальный вес.

Система обеспечения прочности летательных аппаратов, по сути, является системой обеспечения проектирования, разработки, экспериментальной отработки и производства силовой схемы конструкции с высокой степенью механической надежности.

ЧАСТЬ I
СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОЧНОСТИ РАКЕТ

ГЛАВА 1

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТ, СТАРТУЮЩИХ С ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ

В пособии рассматривается система обеспечения прочности одного класса летательных аппаратов — баллистических ракет с подводным стартом. По сравнению с ракетами наземного базирования они имеют целый ряд особенностей, обусловленных как особенностями проектирования ракеты в заданных габаритах, так и спецификой подводного старта.

Проектирование в заданных габаритах приводит к необходимости для получения заданной дальности максимально увеличивать отношение веса топлива к сухому весу корпуса ($G_v/G_{сух}$), что, в свою очередь, приводит к исключению проектирования отсеков, совмещению функций в одном агрегате (днище — рама двигательной установки (ДУ), днище — приборный отсек (ПО), днище — промежуточный отсек) и так далее, что усложняет конструкцию и схемы ее нагружения.

Подводный старт в сочетании с габаритными ограничениями приводит к резкому увеличению номенклатуры случаев нагружения, увеличению нагрузок от поражающих факторов ядерного взрыва (ПФЯВ), усложнению предстартовой подготовки.

Поскольку старт и предстартовая подготовка производятся в подводной лодке (ПЛ), предъявляются повышенные требования к безопасности эксплуатации. Это приводит к необходимости рассматривать в качестве расчетных случаев отказы элементов любой из систем ракеты и подводной лодки, поскольку современный атомный подводный ракетоносец (АПР) — это аналог наземного позиционного района, гибель которого из-за аварии с одной из ракет недопустима.

Таким образом, класс баллистических ракет с подводным стартом перекрывает класс ракет наземного базирования (РНБ) как по разнообразию конструктивных схем, так и по номенклатуре случаев нагружения.

В качестве примера рассмотрим систему обеспечения прочности конструкции корпуса и пусковой установки двухступенчатой межконтинентальной баллистической ракеты с разделяющейся головной частью Р-29Р (рис. 1) [1].

Особенности проектирования силовых элементов корпуса ракеты

Проектирование силовой конструкции корпуса представляет собой сложный многоступенчатый процесс, своеобразие которого определяется в основном двумя требованиями к конструкции: прочности или механической надежности и минимального веса.

Эти два требования являются взаимопротиворечащими, так как проще всего обеспечить механическую надежность за счет увеличения веса конструкции и, соответственно, снизить вес конструкции за счет уменьшения запасов прочности.

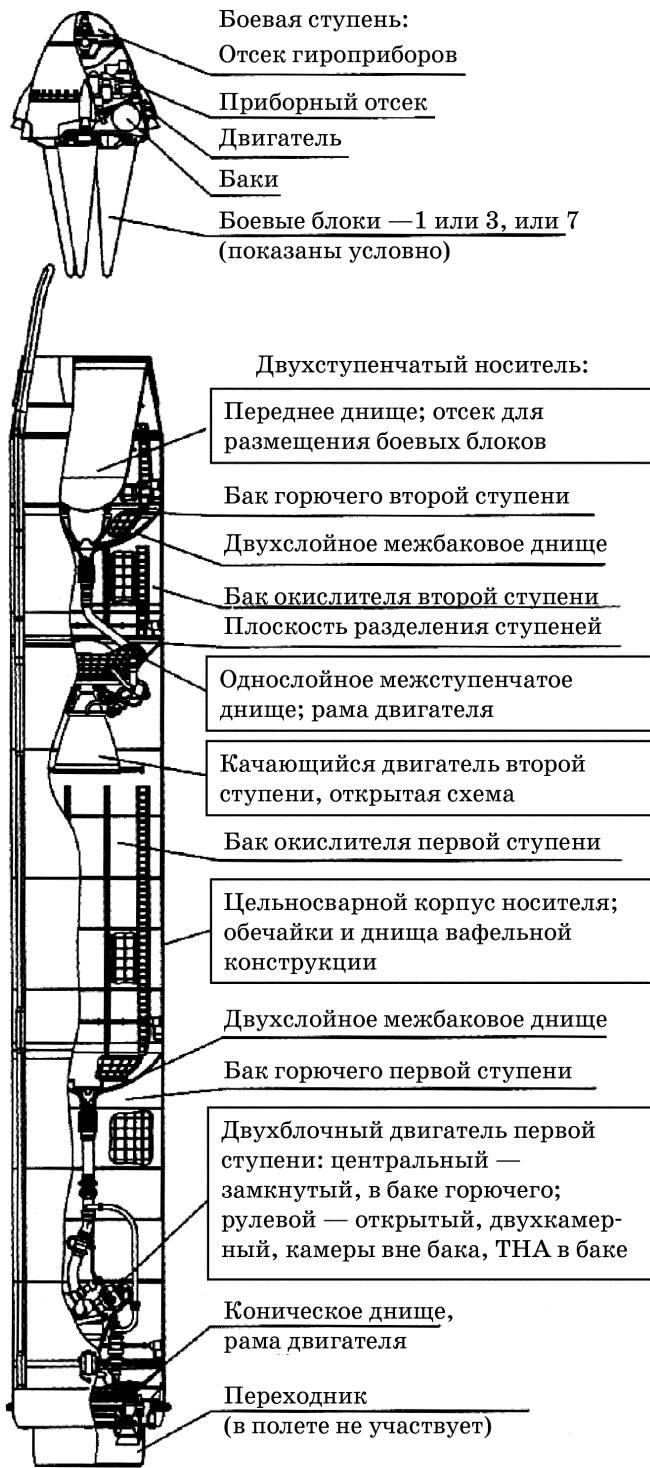


Рис. 1
Конструктивно-силовая схема ракеты Р-29Р

Поиски путей увеличения прочности без увеличения веса или снижения веса без уменьшения прочности и составляют творческое содержание процесса проектирования силовой схемы корпуса. При этом анализируются не только собственно прочностные пути (выбор более эффективных материалов, оптимальных форм и размеров сечений силовых элементов, более эффективных конструкций и т. п.), но и нагруженность конструкции, возможность снижения интенсивности внешних воздействий и изменения параметров функционирования агрегатов и систем комплекса наземного оборудования (КНО), подводной лодки и ракеты.

Отсюда следует, что проектирование силовой схемы корпуса требует не только специальных знаний по динамике упругой конструкции, теории упругости и строительной механике ракет, но и знаний технологии производства, характеристик материалов, условий эксплуатации конструкции и технологии работ с ракетой на агрегатах КНО, параметров и логики функционирования систем обслуживания ракеты на подводной лодке и систем самой ракеты.

Важность вопросов проектирования силовой конструкции корпуса обусловлена их особой ролью, поскольку неуспешный пуск по причине недостаточной прочности — это практически всегда тяжелейшая авария, а устранение обнаруженных при этом ошибок — дело чрезвычайно сложное, связанное с огромными материальными и временными затратами, ибо доработка силовой конструкции в заделе и готовой продукции, как правило, невозможна. Следовательно, возможность ошибки должна быть исключена как при разработке, так и в процессе производства.

Поэтому корректность проектных и конструкторских работ по силовым элементам корпуса в обязательном порядке должна проверяться комплексом экспериментальных работ по подтверждению как нагрузок и прочности, так и исходных данных (ИД), определяющих их параметры. Возможность некачественного изготовления, которая может привести к снижению несущей способности конструкции, должна быть исключена широким применением дефектоскопии и системой контрольных испытаний в процессе производства по определению механических свойств исходных материалов и характеристик прочности силовых элементов.

Только при таком комплексном подходе можно гарантировать достаточную механическую надежность силовой конструкции корпуса ракеты. Ранее отмечалось, что система обеспечения прочности в широком понимании является системой, обеспечивающей разработку конструкций с высокой степенью механической надежности. Эту систему можно назвать организационно-технической основой обеспечения прочности, которая реализует комплексный подход и включает в себя:

- выбор метода оценки прочности;
- разработку норм прочности;
- разработку системы исходных данных и обеспечение проведения работ по их подтверждению;
- анализ условий эксплуатации для определения случаев нагружения;
- анализ случаев нагружения для определения расчетных случаев;

- проведение проектных расчетов прочности с оптимизацией расчетных случаев;
- проведение расчетов прочности при разработке конструкторской документации (КД) с выработкой требований по контролю качества изготовления в процессе производства;
- разработку организационно-технической документации на проведение экспериментальной отработки прочности;
- анализ результатов экспериментальной отработки с выработкой требований для рекомендаций по корректировке конструкторской документации;
- разработка мер по контролю прочности в процессе серийного производства.

Далее подробнее рассмотрим все составляющие этой системы.

Методы оценки прочности

Существует два подхода или метода расчета на прочность: по допускаемым напряжениям и по разрушающим нагрузкам.

Расчет по допускаемым напряжениям традиционно применяется в машиностроении, и суть его заключается в том, что по эксплуатационным нагрузкам определяются действующие в конструкции эксплуатационные напряжения $\sigma_{\text{экс}}$, которые затем сравниваются с допускаемыми $[\sigma]$:

$$\eta = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{экс}}}.$$

Получаемый при этом запас прочности должен быть больше или равен единице. Допускаемые напряжения $[\sigma]$ определяются путем деления предельных напряжений на коэффициент запаса прочности n :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n}, \text{ или } \frac{\sigma_b}{n}, \text{ или } \frac{\sigma_{kp}}{n},$$

где σ_t — условный предел текучести, σ_b — предел прочности материала, σ_{kp} — критические напряжения потери устойчивости конструкции.

При расчете по разрушающим нагрузкам (или разрушающим напряжениям) сначала определяются расчетные нагрузки как произведение эксплуатационных нагрузок на коэффициент безопасности f :

$$R_{\text{рас}} = f \cdot R_{\text{экс.}}$$

Затем по этим нагрузкам определяются расчетные напряжения $\sigma_{\text{рас}}$. Запас прочности определяется как отношение разрушающих напряжений к расчетным:

$$\eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_{\text{рас}}}, \text{ или } \frac{\sigma_{kp}}{\sigma_{\text{рас}}},$$

где σ_{kp} — критические напряжения потери устойчивости.

Запас прочности должен быть равен или больше единицы.

Основное различие этих двух методов заключается в том, что в первом из них все нагрузки, действующие на конструкцию, априори принимаются равнозначными, хотя в действительности все они различны и по воздействию на конструкцию, и по точности их определения, и по их стабильности. Во втором же их можно ранжировать, назначая разным видам нагрузок различные коэффициенты безопасности, с учетом вышеперечисленных особенностей, то есть подходить к ним дифференцированно.

Поэтому для случая действия на конструкцию одной нагрузки оба метода дают одинаковый результат. Если же мы имеем дело с конструкцией, нагруженной комплексом нагрузок, расчет по разрушающим нагрузкам позволяет избежать:

– излишнего увеличения веса при действии динамической добавки на конструкцию, нагруженную статической нагрузкой, применяя для статической нагрузки коэффициент безопасности f , близкий к 1;

– воздействия на конструкцию неучтенного вида нагружения в случае действия на предварительно надутую оболочку равного или близкого по величине внешнего давления (при расчете по допускаемым напряжениям конструкция на внешнее давление вообще не будет рассчитана).

Вообще, невозможность разграничить нагрузочные и разгрузочные силовые факторы является принципиальным недостатком метода расчета по допускаемым напряжениям, существенно снижающим его надежность.

Поэтому в авиации и ракетно-космической технике, где требуется гарантированная механическая надежность конструкции, применяется метод расчета по разрушающим нагрузкам как более надежный в смысле учета всех возможных случаев нагружения, в том числе обусловленных погрешностью определяемых внешних нагрузок и, кроме того, позволяющий излишне не утяжелять конструкцию.

Коэффициенты безопасности

Выбор и назначение коэффициентов безопасности является важнейшим этапом проектирования. При их установлении должны учитываться: безопасность эксплуатации, точность определения действующих и разрушающих нагрузок, степень новизны силовой схемы, особенности механических характеристик применяемых материалов и технологических процессов, предполагаемый объем экспериментальной отработки и контроля качества изготовления в процессе производства.

Величины коэффициентов безопасности f постоянно менялись по мере повышения точности определения нагрузок и параметров напряженно-деформированного состояния, накопления экспериментальных данных по несущей способности различных конструкций, совершенствования технологии и методов контроля качества изготовления.

В настоящее время уровень величин f составляет:

- 3,0–1,5 для случаев нагружения при наземной эксплуатации и на ПЛ;
- 1,5–1,25 для случаев нагружения при подготовке к старту и в полете;
- 1,1–1,05 для аварийных случаев.

Для сравнения уровень запасов прочности в машиностроении обычно составляет 2,5–4.

Выбор такого низкого уровня коэффициентов безопасности базируется прежде всего на многолетнем опыте проектирования, экспериментальной отработки и эксплуатации ракетных комплексов, на строгом соблюдении системы обеспечения качества, основывающейся на:

- проведении полного комплекса расчетно-теоретических и экспериментальных работ по нагрузкам и прочности в процессе разработки;
- тщательном контроле применяемых материалов и полуфабрикатов (штамповок, поковок и пр.) в процессе производства путем входного контроля их механических характеристик и возможных скрытых дефектов;
- применении в процессе производства всех видов дефектоскопии;
- тщательном контроле качества и стабильности технологических процессов путем проведения контрольных испытаний наиболее ответственных деталей, узлов и сборок (опрессовочных, партионных и периодических).

В ракетно-космической технике (РКТ) для каждого типа ракет величины коэффициентов безопасности регламентируются «Нормами прочности». Разработаны и «Нормы прочности ракет, стартующих с подводных лодок». Тем не менее, при проектировании каждого нового комплекса на их основе должны разрабатываться свои «Нормы прочности», учитывающие его конкретные особенности.

Система исходных данных

Сложность и взаимосвязанность процессов, определяющих нагруженность и прочность конструкции корпуса, и многолетний опыт разработки ракетных комплексов показывают, что никакие «Нормы прочности» с самыми обоснованными рекомендациями по назначению коэффициентов безопасности *f* и никакие самые точные расчеты нагрузок и прочности не могут гарантировать прочность конструкции, если не приняты меры по исключению ошибок, обусловленных не учетом или несоответствием современному состоянию конструкции огромного числа исходных данных (ИД), необходимых для расчета нагрузок и прочности. Эти данные включают в себя:

- массово-центровочные характеристики ракеты и ее элементов;
- давления в емкостях при хранении и в полете;
- давления в сухих отсеках;
- характеристики двигателей (тяги, циклографма выхода на режим);
- давления в шахте при старте;
- аэрогидродинамические характеристики и воздействия;
- температуры нагрева элементов конструкции в полете;
- механические характеристики применяемых материалов;
- характеристики рулевых приводов;
- условия меж заводской транспортировки;
- параметры траектории полета (включая шахтный участок);
- усилиястыковки и расстыковки разъемов;

- характеристики элементов пусковой установки;
- условия наземной эксплуатации;
- условия эксплуатации в ПЛ, включая параметры качки и сотрясений;
- динамические модели бортовой автономной системы управления (БАСУ);
- и ряд других.

В процессе разработки и экспериментальной отработки целый ряд данных из этого перечня изменяется, уточняется и дополняется. И если любое из этих изменений не становится известным потребителю — это почти со 100% вероятностью проявится либо на натурных испытаниях, либо в будущей штатной эксплуатации.

Поэтому в конструкторском бюро (КБ) разработана и внедрена система исходных данных, включающая в себя следующие элементы и правила:

- разработка ведомости ИД, определяющей номенклатуру ИД, их разработчиков и потребителей;
- разработка план-графика выпуска ИД;
- обязательное согласование ИД и любых изменений ИД с потребителями;
- обязательное подтверждение ИД по результатам экспериментальной отработки перед выходами на этапы натурных испытаний.

Вся конструкторская документация на силовую конструкцию и любое ее изменение, влияющее на прочность, а также карточки разрешений (КР) на допуск дефектов производства должны согласовываться со службой прочности.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru