ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56514— 2015

НОРМЫ ПРОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 июля 2015 г. № 885-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Октябрь 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2015, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения и сокращения 2
4 Общие положения 2
5 Требования к отработке прочности 4
6 Требования к определению нагрузок 5
7 Случаи нагружения и коэффициенты безопасности 6
8 Требования к расчетной проверке прочности 13
9 Требования к экспериментальной отработке прочности 14
10 Требования к контролю и подтверждению прочности на этапах летных испытаний и эксплуатации 21
Приложение А (справочное) Порядок разработки и оформления расчета на прочность 22

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОРМЫ ПРОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Strength standards for automated spacecrafts

Дата введения — 2016—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает нормы прочности для всех этапов эксплуатации автоматических одноразовых космических аппаратов (АКА), а также требования к определению нагрузок, расчетной проверке прочности, экспериментальной отработке прочности, контролю и подтверждению прочности на этапах экспериментальной отработки, летных испытаний и эксплуатации АКА.

Требования настоящего стандарта распространяются на конструкцию АКА, сборочно-защитные блоки и разгонные блоки для АКА, их составные части и отдельные элементы.

Требования настоящего стандарта не распространяются на конструкцию многоразовых АКА.

Настоящий стандарт не распространяется на готовые изделия — двигатели, аппаратуру, приборы, входящие в состав АКА, прочность которых отрабатывают в соответствии с требованиями ТЗ и нормативно-технических документов на них.

При модификациях АКА вопрос о применении настоящего стандарта решает предприятие-разработчик по согласованию с Головным предприятием отрасли по прочности.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.417 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры

ГОСТ 24346 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ Р 2.105 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ Р 2.106 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы

ГОСТ Р 8.568—97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

АКА — автоматический космический аппарат;
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика;
ГО — головной обтекатель;
ДУ — двигательная установка;
ЖРД — жидкостный ракетный двигатель;
ЗВИ — зачетные вибропрочностные испытания;
ЗИ — завод-изготовитель;
ЗС — заправочная станция;
КГЧ — космическая головная часть;
КД — конструкторская документация;
КДИ — конструкторско-доводочные испытания;
КК — космический комплекс;
КЭМ — конечно-элементная модель;
ЛИ — летные испытания;
МИК — монтажно-испытательный корпус;
ОТК — отдел технического контроля;
ОИСЗ — орбита искусственного спутника Земли;
ПГ — план-график;
ПЗ — представитель заказчика;
ПМИ — программа-методика испытаний;
ПУ — пусковое устройство;
РДТТ — ракетный двигатель на твердом топливе;
РН — ракета-носитель;
РКН — ракета космического назначения;
СА — спускаемый аппарат;
СИ — система измерений;
СК — стартовый комплекс;
ТЗ — техническое задание;
ТК — технический комплекс;
ТТЗ — тактико-техническое задание;
ТУ — технические условия.

4 Общие положения

4.1 Нормы прочности представляют совокупность требований к определению нагрузок, расчетной проверке прочности, объему и методам экспериментальной отработки прочности для всех этапов испытаний и эксплуатации АКА и устанавливают коэффициенты безопасности.

4.2 В случае необходимости для более полного учета специфики конструкции изделия и его нагружения разрабатывают частные нормы прочности на основании настоящего стандарта.

4.3 Под нагрузками понимают инерционные силы и моменты, силовые факторы от работы ДУ и управляющих органов, аэродинамические силы, вибрационные и акустические воздействия, ударные воздействия от срабатывания пиротехнических систем, силы тяги управляющих двигателей, внешние и внутренние усилия и давления, действующие на конструкцию АКА, а также внутренние силовые факторы, действующие на элементы АКА (отсеки, агрегаты, узлы).

4.4 Под эксплуатационной нагрузкой понимают максимальное (минимальное) значение нагрузки и режим нагружения (зависимость нагрузок от времени), реализуемые в рассматриваемом случае нагружения в процессе эксплуатации.

4.5 Испытательные нагрузки на АКА и его элементы должны имитировать в лабораторных условиях все расчетные по прочности случаи нагружения.

4.6 Случай нагружения — комбинация нагрузок, действующих на конструкцию в процессе ее работы на различных этапах эксплуатации.

4.7 Несущую способность конструкции характеризуют системой нагрузок при заданном режиме нагружения, в результате действия которых происходит разрушение конструкции или потеря устойчивости ее элементов.

4.8 Запас прочности элемента конструкции определяют по формуле

$$\eta = \frac{N_{пред}}{N^{р}} \quad (1)$$

или

$$\eta = \frac{\sigma_{пред}}{\sigma^{р}}, \quad (2)$$

где $N_{пред}$ — величина предельной нагрузки (несущей способности);

$N^{р}$ — расчетная нагрузка;

$\sigma_{пред}$ — предельное напряжение;

$\sigma^{р}$ — эквивалентное расчетное напряжение.

Под предельным напряжением $\sigma_{пред}$ понимается либо предел прочности материала $\sigma_{в}$, либо величина критических напряжений.

Запас по пределу текучести определяют по пределу текучести по отношению к эксплуатационным напряжениям по формуле

$$\eta_{т} = \frac{\sigma_{т}}{\sigma^{э}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{т}$ — предел текучести;

$\sigma^{э}$ — эксплуатационное напряжение.

В отдельных случаях запас прочности элемента конструкции определяют как отношение допустимой деформации к расчетной.

4.9 Расчетным по прочности следует понимать такой случай нагружения, при котором в каком-либо элементе или расчетном сечении конструкции достигаются максимальные (минимальные) значения нагрузок или их комбинаций в соответствии с выбранным критерием прочности или устойчивости формы равновесия.

4.10 Конструкция удовлетворяет требованиям прочности, если ее несущая способность при действии расчетных нагрузок и режимов нагружения подтверждена согласно требованиям настоящего стандарта.

4.11 Прочность при статическом нагружении обеспечена, если при одноразовом нагружении:

- запас прочности $\eta \geq 1$;
- запас по пределу текучести $\eta_{т} \geq 1$.

4.12 Расчетную нагрузку ($N^{р}$) определяют умножением эксплуатационной нагрузки на коэффициент безопасности по формуле

$$N^{р} = N^{э} \cdot f, \quad (4)$$

где $N^{р}$ — эксплуатационная нагрузка;

f — коэффициент безопасности.

4.13 Коэффициент безопасности f учитывает неточность теоретического и экспериментального определения нагрузок и несущей способности, а также случайный разброс этих нагрузок.

4.14 За основу нормирования ресурсной (усталостной) прочности принято обеспечение достаточного запаса по числу циклов эксплуатации или нагружения.

4.15 Расчетное число циклов определяют как эксплуатационное число циклов, умноженное на коэффициент безопасности по циклам f_{n}.

Коэффициент безопасности по циклам f_{n} учитывает неточность определения нагрузок и несущей способности (предельного состояния), случайный характер нагрузок, разбросы прочностных характеристик и несущей способности при циклическом нагружении (см. 9.2.8).

5 Требования к отработке прочности

5.1 Конструкция должна быть отработана на прочность до начала ЛИ для всех случаев нагружения, установленных для конкретного АКА в соответствии с разделом 7.

5.2 При отработке прочности АКА проводят:

- определение режимов квазистатического и динамического нагружений АКА в целом и его отдельных узлов;
- нормирование расчетных нагрузок для основных случаев нагружения, указанных в разделе 7;
- расчеты на прочность узлов и отсеков конструкции АКА для всех расчетных по прочности случаев на стадии эскизного проектирования и разработки рабочей КД;
- установление расчетных случаев по прочности и испытательных режимов нагружения;
- испытания на прочность при КДИ узлов и отсеков конструкции (при необходимости) — статические, теплостатические, криогенно-статические, динамические (низкочастотная динамика, отработка раскрываемых элементов-механизмов), вибрационные, ударные, целью которых является выявление их несущей способности и выбор оптимальной силовой схемы, отработка КД до начала проведения зачетных испытаний;
- зачетные прочностные испытания — статические (включая квазистатические), динамические, вибропрочностные, ударные, ресурсные, на длительную прочность, теплостатические, криогенно-статические, акустические, испытания раскрываемых элементов при повышенных (пониженных) температурах;
- испытания на прочность при МВИ, при которых проводят проверку прочности совместно работающих частей АКА, разрабатываемых предприятиями различных отраслей промышленности;
- транспортировочные испытания;
- экспериментальную оценку ударных нагрузок и режимов нагружения узлов изделия от срабатывания функциональных систем разделения и при посадке в условиях наземных испытаний;
- экспериментальную проверку режимов квазистатического и динамического (вибрационного) нагружения конструкции при ЛИ.

Конкретный состав зачетных и межведомственных испытаний определяет предприятие — разработчик АКА по согласованию с Головным предприятием отрасли по прочности и ПЗ при них.

Примечания

1 Отработка прочности в ряде случаев нагружения при отсутствии надежных теоретических методов расчета, в частности при действии вибрационных и ударных нагрузок, срабатывании пиротехнических средств и механических систем, в случаях нагружения теплозащитных покрытий, при подтверждении ресурсной, акустической, длительной прочности, может осуществляться экспериментальным путем в условиях, максимально приближенных к реальным.

2 Отработку прочности заимствованных с других изделий узлов не проводят, если в новой конструкции расчетные нагрузки не превышают тех, на которые узел отработан.

3 Объем КДИ определяет предприятие — разработчик АКА.

4 Отработка прочности может включать контрольно-выборочные испытания (КВИ) и контрольно-технологические испытания (КТИ) наиболее ответственных элементов конструкции на заводе-изготовителе.

5.3 Документация при выполнении зачетных прочностных испытаний должна соответствовать ГОСТ Р 2.105.

5.4 Дополнительные зачетные испытания проводят:

- при организации производства на другом предприятии;
- при существенном изменении технологии изготовления конструкции АКА;
- при проведении конструктивных доработок, оказывающих влияние на прочность конструкции;
- при выявлении новых, не предусмотренных настоящим стандартом расчетных по прочности случаев и режимов нагружения.

Необходимость и объем дополнительных испытаний определяет предприятие — разработчик АКА по согласованию с Головным предприятием отрасли по прочности и ПЗ.

5.5 Заключение о прочности АКА и его допуске к ЛИ дают на основании всей проведенной экспериментально-теоретической отработки, включая результаты всех прочностных испытаний с указанием минимальной величины запасов прочности в расчетных случаях.

5.6 При оценке прочности и определении нагрузок необходимо учитывать влияние температурных полей и факторов космического пространства на механические характеристики материалов АКА и его напряженно-деформированное состояние в течение всего времени эксплуатации АКА.

Определение температурных напряжений в элементах конструкции следует проводить с учетом максимально возможных перепадов температуры в конструкции АКА и ее неравномерного распределения.

5.7 Изменение механических характеристик применяемых в конструкции материалов при длительном влиянии факторов космического пространства и воздействующих факторов на орбите искусственного спутника Земли (цикличности температурных воздействий, ионизирующего и радиационного излучения, вакуума) должно быть учтено при разработке конструкции, исходя из времени, определяемого условиями эксплуатации.

5.8 Требования к функционированию агрегатов, узлов и приборов АКА, а также требования к обеспечению герметичности отсеков (при их наличии), емкостей, баков, трубопроводов и т.д. регламентируют в КД.

5.9 Оснастка для проведения испытаний по 9.1—9.4 при необходимости должна учитывать жесткость смежных отсеков.

6 Требования к определению нагрузок

6.1 Значения нагрузок определяют расчетом или экспериментально в лабораторных условиях и уточняют при ЛИ.

6.2 Нагрузки представляются в виде эксплуатационных или расчетных (с указанием коэффициентов безопасности) значений воздействия внешних сил на конструкцию АКА, а также в виде перегрузок, внутренних усилий и моментов, действующих на элементы конструкции КА, и в виде давлений по внутренним и внешним поверхностям отсеков и емкостей.

6.3 Исходные данные для определения эксплуатационных нагрузок следует принимать с вероятностью непревышения 0,993, с доверительной вероятностью 0,8 к каждому виду одновременно действующих внешних возмущающих воздействий.

6.4 Определение нагрузок следует проводить с учетом разбросов исходных данных за исключением случаев, указанных в настоящем стандарте и частных нормах прочности.

6.5 Характеристики двигательных установок, систем управления, средств разделения, двигателей мягкой посадки и др. принимают в соответствии с требованиями ТЗ на их разработку (до начала их экспериментальной отработки). По мере проведения экспериментов характеристики уточняют.

При наличии экспериментальных данных значения характеристик следует принимать с вероятностью непревышения 0,993 при доверительной вероятности 0,8.

6.6 Эксплуатационные значения внутреннего избыточного давления герметичных отсеков и давления наддува топливных баков и баллонов со сжатым газом принимают равными:

- при расчетах на прочность — давлению настройки предохранительного клапана или максимальному рабочему давлению, увеличенным с учетом допуска по КД;
- при расчетах на устойчивость от осевого сжатия — минимальному и максимальному давлению с учетом допуска.

6.7 Эксплуатационное значение внешнего избыточного давления герметичных отсеков для проверки устойчивости определяют как максимально возможное значение перепада наружного и внутреннего давлений.

6.8 Эксплуатационное значение внешнего или внутреннего избыточного давления негерметичных отсеков определяют как максимально возможное значение перепада наружного и внутреннего давлений.

6.9 Параметры атмосферы Земли необходимо принимать по ГОСТ 4401, кроме случаев, указанных в настоящем стандарте, в которых учитывают отклонения параметров атмосферы от номинальных значений.

6.10 Условия эксплуатации и эксплуатационные нагрузки в рассматриваемых случаях нагружения, указанных в 7.4, предварительно принимают по «Справочнику пользователя» для соответствующей РН. Уточнение нагрузок для расчетных случаев нагружения проводят путем совместного динамического анализа нагружения связки КГЧ — РН с использованием динамических моделей КГЧ и РН.

6.11 Если на условия эксплуатации АКА, работу отдельных систем и агрегатов введены ограничения, то нагрузки следует определять с учетом этих ограничений.

6.12 Параметры демпфирования принимают на основании результатов экспериментальных исследований разрабатываемой конструкции АКА или прототипов. При отсутствии экспериментальных данных относительное демпфирование (см. ГОСТ 24346) принимают равным от 0,01 до 0,02 (от 1,0 % до 2,0 %).

6.13 Результаты расчета нагрузок должны быть представлены в объеме, достаточном для выбора режимов прочностных испытаний и определения несущей способности конструкции АКА.

6.14 При наличии достаточного объема статистических данных о нагружении вместо приведенных в разделах 6, 7 уровней нагрузок допускается применять в частных нормах прочности значение эксплуатационной нагрузки как экстремальное значение с нормативной вероятностью непревышения $P = 0,99$ при доверительной вероятности 0,5.

В случаях, когда прочность не регламентируют, при нештатной эксплуатации нормативную вероятность устанавливает предприятие-разработчик по согласованию с ПЗ при нем.

6.15 При определении вероятностных характеристик нагрузок в условиях недостаточности исходной информации необходимо использовать предположения, которые идут в запас прочности.

В случае отсутствия вероятностных характеристик отдельных параметров необходимо использовать их предельные значения, соответствующие наихудшему с точки зрения прочности варианту расчета.

6.16 Определение вероятностных характеристик исходных данных по результатам экспериментов следует проводить при доверительной вероятности 0,8.

6.17 Документация по нагрузкам для каждого расчетного случая должна содержать:

- величины внешних нагрузок;
- величины избыточных давлений;
- температурные поля;
- число циклов нагружения.

Воздействующие факторы должны быть увязаны по времени.

7 Случаи нагружения и коэффициенты безопасности

7.1 Этапы эксплуатации

В зависимости от целевого назначения эксплуатация АКА или его блоков включает следующие этапы:

- наземную автономную эксплуатацию и эксплуатацию в составе КГЧ;
- наземную эксплуатацию АКА, КГЧ в сборе с РН;
- выведение АКА на рабочую орбиту;
- эксплуатацию на орбите и полет по межпланетной траектории;
- стыковку (отстыковку) с орбитальной станцией;
- эксплуатацию в составе станции;
- автономный спуск на планеты (включая Землю);
- автономную посадку на поверхность планеты (включая Землю), пребывание на ней и старт;
- спуск и посадку на Землю с помощью орбитальных транспортных средств.

7.2 Наземная автономная эксплуатация

7.2.1 Наземная автономная эксплуатация АКА и КГЧ включает следующие случаи нагружения:

- транспортирование АКА и его блоков трехкратно с ЗИ до космодрома в соответствии с указанным в ТТЗ (ТЗ) видом транспорта (железнодорожным, водным, авиа- или автотранспортом);
- транспортирование и технологические операции на техническом комплексе (ТК), заправочной станции (ЗС);
- операции при сборке и транспортировании КГЧ, стыковке КГЧ с РН;
- транспортирование РКН на СК;
- спасательно-такелажные работы после посадки;
- нагружение герметичных отсеков внешним избыточным давлением при хранении и транспортировании вследствие изменения термобарических условий среды, при вакуумной заправке баков ДУ.

Допускается требования по условиям нагружения при проведении работ на ЗИ устанавливать в КД.

7.2.2 Нагрузки при наземной эксплуатации определяют с учетом сил тяжести, приземного ветра, давления в емкостях и динамического взаимодействия АКА, КГЧ с РН, транспортными, транспортно-пусковыми средствами и агрегатами наземного обслуживания.

7.2.3 Эксплуатационные нагрузки для случаев транспортирования по железной дороге определяют с учетом динамического нагружения, обусловленного дальностью и скоростью транспортирования,

динамическими характеристиками системы «железнодорожное полотно — транспортный железнодорожный агрегат — транспортный контейнер с АКА».

7.2.4 Значения перегрузок и их частотный спектр принимают максимальными в соответствии с ТЗ на разработку транспортных (включая специализированные) средств и с учетом результатов транспортировочных испытаний.

В случае транспортирования в специализированных вагонах значения перегрузок и их частотный спектр принимают в соответствии с техническими требованиями соответствующих вагонов к перевозимым ими грузам.

В случае отсутствия результатов испытаний при транспортировании на платформах или в вагонах общего назначения следует проводить статический расчет конструкции на перегрузки (действуют совместно), приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Режим движения	Эксплуатационная перегрузка		
	$n_x^э$	$n_y^э$	$n_z^э$
Трогание, торможение, спуск с горки	±3	+1 ±1	±0,8
При движении вследствие овальности колес, боковых ударов их ободов о рельсы, колебаний рельсов, толчков на стыках рельсов, а также изменения скорости движения	±1	+1 ±1,25	±1

Примечания

1 В таблице 1 и 7.2.4 перегрузки заданы в правой системе координат транспортного средства. Ось *OX* направлена по направлению движения транспортного средства, ось *OY* — вверх в продольной плоскости транспортного средства.

2 При транспортировании в пассажирском вагоне в составе пассажирского поезда перегрузки при трогании, торможении, спуске с горки, указанные в таблице 1, не учитывать.

7.2.5 В случае транспортирования на открытых платформах учитывают внешние ветровые воздействия для элементов, не закрытых специальной каркасной конструкцией, при температуре окружающей среды от 323 до 223 К (от плюс 50 °С до минус 50 °С) с учетом скорости движения состава и средней скорости ветра до 20 м/с на высоте 10 м с десятиминутным осреднением, если последние не оговорены в ТТЗ.

7.2.6 В случае транспортирования АКА воздушным транспортом нагрузки на его элементы должны соответствовать нормальным условиям полета и посадки, нагрузки на элементы крепления АКА в контейнере и контейнера с АКА в грузовой кабине самолета — аварийным условиям посадки. Значения перегрузок принимают по техническим требованиям соответствующих видов воздушного транспорта к перевозимым ими грузам.

7.2.7 В случае транспортирования АКА серийным автотранспортом значения перегрузок устанавливают в частных нормах прочности в соответствии с условиями транспортирования предприятием — разработчиком АКА на основании опыта эксплуатации и результатов испытаний транспортных средств.

При отсутствии данных по перегрузкам следует проводить статический расчет при транспортировании АКА по дорогам переходного типа со скоростью движения до 40 км/ч на перегрузки:

$$n_x^э \pm 2{,}0;\ n_y^э = 1 \pm 2{,}0;\ n_z^э = \pm 1{,}25 \text{ (действуют совместно).}$$

При транспортировании АКА по дороге с грунтовым покрытием со скоростью до 20 км/ч и по дороге с асфальтовым покрытием со скоростью до 40 км/ч следует проводить статический расчет на совместное действие перегрузок:

$$n_x^э \pm 2{,}0;\ n_y^э = 1 \pm 1{,}0;\ n_z^э = \pm 0{,}6.$$

7.2.8 В случае транспортирования АКА на специальных автомобильных агрегатах эксплуатационные нагрузки принимают в соответствии с ТЗ (ТУ) на агрегат с учетом динамического нагружения, обусловленного дальностью, скоростью транспортирования и типом дорог, а также динамическими характеристиками системы «автомобильный агрегат — транспортный контейнер с изделием», с подтверждением результатами транспортных испытаний.

7.2.9 Значения перегрузок для случаев транспортирования на ТК принимают по ТЗ на разработку технологического оборудования с учетом экспериментальных данных, внешних ветровых воздействий

при температуре окружающей среды от 323 до 223 К (от плюс 50 °С до минус 50 °С) и с учетом скорости движения состава и средней скорости ветра до 20 м/с на высоте 10 м с десятиминутным осреднением, если последние не оговорены в ТТЗ.

При отсутствии данных по перегрузкам следует проводить статический расчет на перегрузки:

$$n_x^э \pm 1,5;\ n_y^э = 1 \pm 0,5;\ n_z^э = \pm 0,3 \text{ (действуют совместно).}$$

7.2.10 Значения перегрузок для случаев технологических операций и при сборке КГЧ, АКА, КГЧ с РН принимают по ТЗ на разработку технологического оборудования и с учетом результатов экспериментальных исследований.

При отсутствии данных по перегрузкам для случаев технологической сборки значения перегрузок следует принимать в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Случай эксплуатации	Эксплуатационная перегрузка	Направление действия перегрузки	
		АКА	Узлы
Подъем кранами	1,5	По линии подъема	В конусе с углом полураствора при вершине 10°
Кантование	1,5		
Укладка	1,2	По линии подъема	
Примечание — Значение перегрузки для кранов с микроприводом не превышает 1,2 (по линии подъема).			

7.2.11 Значения перегрузок для случаев спасательно-такелажных работ с СА после проведения ЛИ определяют по ТЗ на разработку приспособлений для эвакуации СА. При отсутствии в ТЗ подобных требований величины перегрузок принимают в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3

Случай эксплуатации	Эксплуатационная перегрузка	Направление действия перегрузки
Подъем вертолетом или корабельным краном с поверхности суши или воды	2,5	В конусе с углом полураствора при вершине 15°
Кантование	2,0	

7.2.12 Нагрузки на транспортно-такелажные узлы определяют при наиболее невыгодных для каждого узла сочетаниях допусков на массу и положение центра тяжести АКА.

7.2.13 Эксплуатационное значение внешнего избыточного давления на элементы герметичных отсеков для проверки устойчивости определяют с учетом давления и температуры газа при заправке, исходя из возможных изменений атмосферного давления и температуры в районах транспортирования и хранения. Допускается принимать диапазоны изменения давления p_a = (931 – 1064) ГПа [(700 – 800) мм рт.ст.)] и температуры воздуха от 323 до 223 К (от плюс 50 °С до минус 50 °С), если последние не оговорены в ТТЗ на космический комплекс.

7.3 Наземная эксплуатация АКА, КГЧ в сборе с РН

7.3.1 Наземная эксплуатация АКА, КГЧ в сборе с РН включает следующие случаи нагружения:
- операции сборки КГЧ, РКН в монтажно-испытательном корпусе;
- транспортирование АКА в составе РКН на СК;
- установку на пусковое устройство и эвакуацию;
- нахождение на СК не заправленной РКН;
- нахождение на СК полностью заправленной РКН.

Примечание — Случаи нагружения уточняют в соответствии с принятой технологией работ на СК.

7.3.2 Условия эксплуатации, эксплуатационные нагрузки в случаях, приведенных в 7.3.1, принимают по частным нормам прочности РН с учетом требований, обусловленных общими техническими условиями на комплекс с РН.

7.4 Выведение АКА на рабочую орбиту

7.4.1 Выведение АКА на рабочую орбиту включает:

- старт;
- нагружение конструкции при полете в плотных слоях атмосферы (с учетом ветровых воздействий);
- нагружение элементов конструкции поверхностным давлением, в том числе акустическое воздействие;
- полет с максимальной продольной перегрузкой;
- разделение ступеней РН;
- начало работы ступеней РН;
- конец работы ступеней РН;
- сброс ГО;
- отделение сбрасываемых отсеков и баков;
- отделение попутных полезных нагрузок;
- отделение АКА.

7.4.2 Нагрузки при совместной эксплуатации с РН на участке выведения определяют с учетом сил тяжести, аэродинамических сил от набегающего потока, ветровых воздействий, усилий, развиваемых ДУ (включая взаимодействие струй с конструкцией), работы органов системы управления, давления в емкостях, изменения условий связи со стартовыми устройствами, между ступенями и блоками при их разделении.

7.5 Эксплуатация на орбите и полет по межпланетной траектории

7.5.1 Эксплуатация на орбите включает:

- срабатывание пиротехнических устройств, раскрытие подвижных элементов конструкции (антенн, солнечных батарей и др.);
- нагружение герметичных отсеков и топливных баков избыточным давлением;
- маневрирование на орбите, коррекция траектории;
- полет по траектории с учетом продолжительности времени действия космической радиации и лучистого нагрева, внутреннего давления и внешнего вакуума;
- отделение исследовательских, десантируемых, спускаемых аппаратов и малых станций;
- стыковку (отстыковку) с орбитальной станцией;
- эксплуатацию в составе станции.

7.5.2 Нагрузки на орбитальном участке и в полете по межпланетной траектории определяют с учетом избыточного давления в емкостях, взаимодействия с другими объектами, разделения отсеков АКА, действия энергетических установок, воздействий управляющих органов, раскрытия подвижных и выносных элементов.

7.5.3 Эксплуатационные нагрузки определяют при максимальных значениях перегрузок, силовых воздействий управляющих органов (одновременно в плоскостях тангажа, крена и рыскания) и избыточного давления.

7.5.4 Эксплуатационные нагрузки для случаев стыковки и расстыковки аппаратов определяют на стыковочные узлы (при ударе), на отсеки (продольные и поперечные нагрузки), на раскрывающиеся и выносные элементы.

7.5.5 Эксплуатационные нагрузки на элементы конструкции и узлы крепления подвижных элементов (антенн, солнечных батарей и их приводов) определяют теоретически с учетом упругости конструкции, силовых или кинематических характеристик приводов, параметров, характеризующих начальные и конечные конфигурации подвижных элементов, параметров движения АКА в момент начала их раскрытия, циклограмм раскрытия и характеристик сил сопротивления с учетом избыточных давлений, обусловленных воздействием факела струй управляющих двигателей.

Уточненный расчет нагрузок на крупногабаритные антенны, солнечные батареи и их приводы проводят с использованием верифицированных по результатам модальных (или частотных) испытаний динамических моделей антенн и СБ.

7.6 Автономный спуск на планеты

7.6.1 Автономный спуск на планеты (в том числе Землю) включает следующие случаи нагружения:

- вход СА в плотные слои атмосферы;
- разделение аппарата на отсеки;

- отстрел некоторых элементов СА (крышек люков, парашютных систем, теплозащитных экранов и др.);

- ввод парашютных систем.

7.6.2 Нагрузки при спуске в атмосфере планеты определяют с учетом сил притяжения, аэродинамических воздействий, угловых колебаний конструкции АКА, разделения на отсеки, отстрела элементов, ввода парашютных систем.

7.6.3 Эксплуатационные нагрузки в случае входа СА в плотные слои атмосферы, параметры которой для Земли принимают по ГОСТ 4401, для моментов, соответствующих максимальным значениям скоростного напора и перегрузок с учетом угловых колебаний и возможных разбросов массовых и аэродинамических характеристик СА. Нагрузки определяют для случаев максимальных продольных и поперечных перегрузок.

Для элементов конструкции, прочность которых обусловлена совместным воздействием силовых факторов и температур, определяют соответствующие случаи нагружения, характеризующиеся наихудшими сочетаниями этих воздействий.

7.6.4 Эксплуатационные нагрузки для случаев разделения СА на отсеки, отстрела элементов (крышек люков, парашютных систем и др.) определяют с учетом динамичности нагружения, разбросов усилий от пиротолкателей и неодновременности их срабатывания, а также неодновременности раскрытия замков стыка.

7.6.5 Эксплуатационные нагрузки в случае ввода парашютных систем определяют с учетом динамичности нагружения. Для элементов крепления парашютных систем коэффициент динамичности принимают $K_д = 2$.

Узлы крепления парашютов проверяют на прочность с учетом возможного углового отклонения продольной оси СА от направления вектора скорости. Если угол отклонения не превышает 30°, узлы крепления проверяют на прочность при следующем распределении нагрузок:

при двух стренгах усилия:

$$P_1 = 1/4\ P_\Sigma, \quad P_2 = 3/4\ P_\Sigma, \tag{5}$$

при трех стренгах :

$$P_1 = 0, \quad P_2 = 1/3\ P_\Sigma, \quad P_3 = 2/3\ P_\Sigma, \tag{6}$$

где P_1, P_2, P_3 — нагрузки на стренгах;

P_Σ — суммарная нагрузка на стренги.

Максимальные эксплуатационные перегрузки, действующие на СА, определяют расчетом либо принимают по ТЗ на разработку парашютных систем.

Суммарную нагрузку P_Σ на стренги парашюта принимают по ТЗ на разработку парашютных систем.

7.7 Автономная посадка на поверхность планеты, пребывание на ней и старт

7.7.1 Автономная посадка на поверхность планеты (включая Землю), пребывание на ней и старт включают следующие случаи нагружения:

- включение двигателей мягкой посадки;

- амортизируемая посадка на поверхность планеты;

- атмосферное (силовое, тепловое и др.) нагружение СА в период функционирования на поверхности планеты;

- старт.

7.7.2 Нагрузки на конструкцию АКА и ее элементы при посадке на поверхность планеты, пребывании на ней и старте определяют с учетом сил притяжения, атмосферных воздействий, включения двигателей мягкой посадки и двигателей, обеспечивающих старт, взаимодействия амортизирующих элементов с поверхностью планеты, раскрытия подвижных и откидных элементов, действия приводов, в том числе обеспечивающих передвижение по поверхности.

7.7.3 Эксплуатационные нагрузки в случае включения двигателей мягкой посадки определяют с учетом разбросов тяги и градиента ее нарастания, приводящих к наибольшему нагружению элементов конструкции.

7.7.4 Расчетные условия для определения эксплуатационных нагрузок на СА в случае амортизируемой посадки устанавливают, исходя из заданных в ТТЗ параметров движения аппарата (угловое его

положение, вертикальная и горизонтальная скорости посадки) и рельефа посадочной площадки (угол склона, кратеры, выступы и др.).

7.7.5 При наличии статистических материалов по условиям посадки выбирают обоснованные по вероятности возникновения и сочетания комбинации возмущающих факторов и возможных физических характеристик посадочной поверхности (рельеф местности, плотность грунта).

При отсутствии данных расчетные условия посадки на Землю устанавливают следующими:

- горизонтальная скорость не более 10 м/с;
- вертикальная скорость и отклонение оси аппарата от вертикали определяют из расчета систем приземления (спуск на парашютах, работа двигателей мягкой посадки);
- угол склона посадки не более 15°;
- прочность грунта 20 кгс/м^2.

Случаи удара аппарата об искусственные и естественные преграды при посадке считают нерасчетными.

Допускается деформация и разрушение только таких элементов корпуса и амортизирующей системы, которые не приводят к потере научной информации, не влияют на дальнейшую работу при выполнении программы исследований.

7.7.6 Эксплуатационные нагрузки на элементы аппарата в условиях атмосферного нагружения определяют с учетом максимальной и минимальной моделей атмосферы планеты.

7.7.7 Эксплуатационные нагрузки на случай приводнения аппарата определяют из условия пятибалльного волнения водной поверхности.

Максимальную перегрузку в центре масс аппарата по направлению нормали к поверхности воды определяют по формуле

$$n_{max} = K_y \frac{4 \cdot \rho \cdot \overline{p} \cdot V_n^2 \cdot R^2}{G}, \quad (7)$$

где $K_y = 2$ — коэффициент поправки на гидроупругое взаимодействие при ударе аппарата о воду и на упругость конструкции самого корпуса;

ρ — плотность воды;

$$\overline{p} = 0{,}346 + 1{,}4 \cdot (\overline{h} - 0{,}05) - 30 \cdot (\overline{h} - 0{,}05)^2 \text{ при } 0{,}03 \le \overline{h} \le 0{,}07; \quad (8)$$

$$\overline{h} = \frac{h}{r};$$

h — глубина погружения аппарата;

R — радиус кривизны днища;

V_n — скорость приводнения (соударения) аппарата

$$V_n = V_{верт} \cdot \cos \alpha + V_{гор} \cdot \sin \alpha; \quad (9)$$

$V_{верт}$ ($V_{гор}$) — вертикальная (горизонтальная) скорость (определяют из расчета снижения аппарата, при этом скорость ветра не более 10 м/с);

α — угол волнового склона не более 20°;

G — вес аппарата.

В случае приводнения должна быть обеспечена герметичность корпуса на воде.

Примечание — Максимальные перегрузки в центре масс аппарата могут быть определены по другим методикам с учетом экспериментальной отработки на приводнение.

7.7.8 Спуск и посадка на Землю с помощью орбитальных транспортных средств

Случаи нагружения, эксплуатационные нагрузки при спуске с помощью орбитальных транспортных средств определяют в соответствии с нормами прочности орбитальных транспортных средств или техническими требованиями к перевозимым грузам.

Нагрузки при возвращении на Землю с помощью орбитальных транспортных средств определяют с учетом сил тяжести и динамического взаимодействия со средствами транспортирования.

7.8 Коэффициенты безопасности

7.8.1 Коэффициенты безопасности на значение внутреннего избыточного давления герметичных отсеков и давления наддува топливных баков ЖРД принимают равными:

f = 1,5, если эксплуатационное давление принимают равным максимальному рабочему по КД (с учетом допуска);

f = 1,3, если эксплуатационное давление принято по давлению настройки предохранительного клапана (с учетом допуска);

f = 1,0 — при проверке устойчивости цилиндрических элементов конструкции (в том числе баллонов высокого давления);

на величину внутреннего избыточного давления для баллонов высокого давления, находящихся:

- под давлением до 5 лет — f = 2,00;
- под давлением до 10 лет — f = 2,25;
- под давлением более 10 лет — f = 2,60.

Коэффициент безопасности на значение внутреннего избыточного давления при проверке прочности корпуса ракетного двигателя на твердом топливе принимают f = 1,3.

7.8.2 Коэффициенты безопасности на значения усилий, изгибающих моментов, гидростатического давления в топливных баках, избыточного давления по поверхности отсеков, внутреннего давления негерметичных отсеков принимают в соответствии с таблицей 4, за исключением нагрузок, увеличивающих запас прочности (продольные силы, избыточное давление), для которых принимают f = 1,0.

Таблица 4

Случай нагружения	Коэффициент безопасности	Примечание
Наземная эксплуатация АКА и КГЧ при подготовке на ТК	1,5	
В других случаях наземной эксплуатации, в т.ч. при проверке прочности: - на нагрузку от веса; - на динамические добавки; - при проверке устойчивости	 1,5 2,0 1,5	
Наземная эксплуатация АКА в сборе с РН	1,5	
Нахождение на СК	1,5	
Старт и полет на участке выведения	1,3	
Полет на орбите	1,5	
Раскрытие подвижных элементов на орбите	1,3	
Полет по межпланетной траектории Стыковка и расстыковка (исключая стыковочные узлы) Стыковка и расстыковка (для стыковочных узлов)	1,5 2,0 1,5	
Случай стыковки/расстыковки с орбитальной станцией	1,5	
Случай орбитального транспортного обслуживания	1,5	
Спуск в атмосфере планет (включая Землю)	1,3	
Посадка на поверхность планет (кроме Земли), пребывание на ней и старт	1,3	
Посадка на поверхность Земли: - работа систем мягкой посадки; - приводнение; - приземление	 1,3 1,3 —	 Коэффициент безопасности не регламентируют; оценку прочности проводят с учетом результатов экспериментальной отработки
Монтажное усилие от затяжки болтов, замков и других устройств	1,5	Монтажное усилие от затяжки болтов, замков и других устройств

Окончание таблицы 4

Случай нагружения	Коэффициент безопасности	Примечание
Усилия, возникающие от перепада температур	1,5	Усилия, возникающие от перепада температур

Примечания

1 При транспортировании АКА воздушным транспортом значения коэффициентов безопасности принимают по техническим требованиям соответствующих видов воздушного транспорта к перевозимым ими грузам.

2 Для случая совместной эксплуатации с РН допускается принимать коэффициенты безопасности в соответствии с частными нормами прочности РН.

3 Коэффициент безопасности при спуске и посадке с помощью орбитальных транспортных средств принимают в соответствии с нормами прочности транспортных средств или техническими требованиями их разработчика к доставляемым грузам.

7.8.3 При расчетах на прочность допускается введение дополнительного коэффициента безопасности, являющегося множителем к коэффициенту безопасности:

- для ответственных элементов крепления $K = 1,25$;
- при использовании материалов, имеющих повышенный разброс прочностных характеристик или обладающих существенной анизотропией (конструкционные пластмассы и др.) $K \geq 1,20$.

7.8.4 В случае определения эксплуатационных нагрузок в соответствии с 6.3 и наличия достаточного объема статистических данных по несущей способности допускается уточнять в частных нормах прочности значение коэффициента безопасности, исходя из требований по вероятности неразрушения.

При этом для каждого случая штатной эксплуатации вероятность неразрушения следует принимать не ниже 0,99995.

Допускается уточнять нормативное значение вероятности неразрушения в соответствии с принимаемой для конкретного АКА моделью отказов его конструкции.

В случаях, когда прочность не регламентируют, при нештатной эксплуатации вероятность неразрушения устанавливает предприятие — разработчик АКА по согласованию с ПЗ при нем.

7.8.5 Вероятностные характеристики несущей способности необходимо определять на основе обработки результатов зачетных статических или контрольно-выборочных испытаний изделий-прототипов при доверительной вероятности 0,8 с учетом возможности снижения несущей способности в процессе длительной эксплуатации, а также объема зачетных, контрольно-выборочных и контрольно-технологических испытаний разрабатываемого АКА.

7.8.6 При уточнении коэффициента безопасности необходимо учитывать возможные отличия вероятностных характеристик несущей способности от соответствующих значений, которые будут достигнуты при изготовлении изделия.

7.8.7 В случае недостаточности исходной информации по несущей способности необходимо делать предположения, которые идут в запас прочности.

7.8.8 Уточнение требований, установленных в разделах 6 и 7, проводят в частных нормах прочности на основании специальных теоретических и экспериментальных исследований.

8 Требования к расчетной проверке прочности

8.1 Задача расчетов на прочность состоит в теоретическом определении напряженно-деформированного состояния, разрушающих нагрузок (несущей способности) или предельных напряжений и запаса прочности конструкции АКА.

8.2 Расчеты на прочность проводят по расчетным нагрузкам для всех расчетных по прочности случаев нагружения, установленных для АКА в соответствии с разделом 7. Если это необходимо для обоснованного выбора расчетных случаев, прочностной расчет проводят и для других случаев нагружения.

8.3 Расчетные материалы по прочности должны содержать:

- анализ условий нагружения;
- перечень расчетных случаев нагружения;
- эксплуатационные значения нагрузок и коэффициенты безопасности;
- геометрические параметры конструкции;
- физико-механические характеристики конструкционных материалов;

- расчетные схемы элементов конструкции и их обоснование;
- критерии прочности конструкционных материалов;
- указание на метод расчета или используемое программное обеспечение.

Конечно-элементные методы расчета на прочность и устойчивость должны содержать описание математической модели объекта.

При расчетах на устойчивость должны быть рассчитаны значения критических напряжений или сил, по отношению к которым вычисляются коэффициенты запаса устойчивости. В случае действия нескольких сил вычисляется критический параметр $K_{кр}$, являющийся множителем ко всему комплексу внешних нагрузок, при котором происходит потеря устойчивости.

Расчеты на прочность и устойчивость следует проводить по минимальным, а расчеты на жесткость по номинальным размерам конструкции, указанным в КД.

8.4 В расчетных материалах по прочности следует использовать экспериментальные данные, подтверждающие результаты расчетов.

8.5 В расчетах принимают минимальные значения механических характеристик материалов и максимальные значения перепадов температур.

8.6 Допустимость пластических деформаций более 0,2 % от действия эксплуатационных нагрузок определяют применительно к каждой конкретной конструкции.

8.7 Прочность конструкции АКА достаточна, если запас прочности $\eta \geq 1$ для всех расчетных случаев.

9 Требования к экспериментальной отработке прочности

9.1 Требования к отработке статической прочности

9.1.1 При заводских испытаниях проводят пневмогидравлические опрессовочные испытания герметичных отсеков АКА, топливных отсеков АКА, топливных емкостей и трубопроводов внутренним и внешним давлением. Давление пневмогидравлических опрессовочных испытаний следует принимать равным эксплуатационному $p_{эксп}$, умноженному на коэффициент опрессовки $K_{оп}$. Значение коэффициента опрессовки назначает предприятие-разработчик. При этом значение давления опрессовки не должно достигать значения расчетного давления и должно быть не менее значения эксплуатационного давления для данной конструкции.

В отдельных случаях (при необходимости) должна быть проведена обтяжка узлов из композиционных материалов, клеевых соединений, соединений конденсаторной сваркой и т.п.

9.1.2 Число и состав экспериментальных сборочных единиц, необходимых для проведения зачетных статических испытаний, определяют из условия исчерпывающей проверки прочности конструкции при нагружении до уровня не ниже расчетных значений нагрузок или до разрушения во всех расчетных случаях по прочности, установленных для АКА.

9.1.3 Требования к документации объектов испытаний — по ГОСТ Р 2.105.

Силовые элементы конструкции, входящие в сборку для статических испытаний, должны быть выполнены в соответствии со штатной документацией и по штатной технологии. Допускается не устанавливать узлы и агрегаты, не влияющие на прочность АКА.

Наименования и число деталей и сборочных единиц, не устанавливаемых на экспериментальный АКА, определяют решением предприятия-разработчика, согласованным с ПЗ при нем.

В случае проведения статических испытаний на центрифуге испытательная сборка должна быть полностью укомплектована штатным оборудованием или натурными габаритно-массовыми макетами с соблюдением общей массы сборки.

При подготовке к испытаниям необходимо проанализировать влияние жесткости оснастки. При необходимости оснастка должна имитировать жесткостные характеристики смежных отсеков. В случае невозможности такой имитации необходимо провести расчеты с использованием конечно-элементной модели сборки совместно с оснасткой и при необходимости откорректировать испытательные нагрузки.

9.1.4 Испытательные нагрузки $N_{исп}$ при зачетных статических испытаниях должны имитировать эксплуатационные и расчетные нагрузки, действующие на АКА в соответствующих расчетных случаях:

- по распределению нагрузок в контрольных сечениях сборки;
- по значениям сосредоточенных нагрузок в узлах;
- по изменению нагрузок в расчетных режимах нагружения.

9.1.5 Прочность конструкции АКА достаточна, если запас прочности $\eta \geq 1$. Запас прочности определяют по формуле

$$\eta = \frac{N_{разр}}{N^{р}}, \quad (10)$$

где $N_{разр}$ — разрушающая или предельная нагрузка (несущая способность конструкции), определяемая с учетом результатов статических испытаний;

$N^{р}$ — расчетная нагрузка в конкретном расчетном случае.

Для подтверждения прочности конструкции во всех расчетных случаях достаточно воспроизвести в сечениях изделия значения внутренних силовых факторов не менее расчетных. В отдельных случаях допускается проводить испытания до 90 % расчетных значений нагрузок с обязательным подтверждением несущей способности конструкции расчетным путем.

9.1.6 При отсутствии возможности проведения статических испытаний узлов крепления оборудования АКА общую прочность конструкции и узлов крепления оборудования допускается подтверждать испытаниями на центрифуге, на динамическом стенде или виброиспытаниями в низкочастотной области.

9.1.7 Допускается в отдельных случаях (например, при сохранении общей силовой схемы, материалов, технологии изготовления, динамических характеристик и т.д.) по согласованию с заказчиком не проводить дополнительные испытания в подтверждение прочности элементов конструкции, а подтвердить их прочность проведением расчетов с использованием КЭМ при условии, что полученный запас прочности $\eta \geq 2$.

9.2 Требования к отработке ресурсной прочности

9.2.1 Необходимость отработки ресурсной прочности и порядок ее проведения устанавливает разработчик конструкции на основании частных норм прочности, где должен быть указан критерий усталостной прочности.

9.2.2 Элементы конструкции, подвергаемые ресурсным испытаниям, должны быть выполнены по штатным чертежам и штатной технологии. Подвижные (раскрываемые) элементы с учетом закрепленных на них агрегатов по массовым характеристикам и конструктивному исполнению узлов поворота (учитывая элементы установки кабелей в зоне поворота) должны соответствовать штатным. В случае применения систем обезвешивания последние не должны существенно влиять на условия раскрытия. Время раскрытия должно соответствовать расчетному с учетом допуска, определяемого КД.

9.2.3 Эксплуатационные режимы нагружения при отработке ресурсной прочности следует устанавливать на основании теоретического или экспериментального определения нагрузок как функций времени для всех этапов эксплуатации изделия.

9.2.4 При определении эксплуатационных режимов допускается сведение нагружения к эквивалентным циклам нагружения задаваемого числа уровней, а также пересчет числа циклов и значений соответствующих им уровней, исходя из условия эквивалентности повреждаемости конструкции.

9.2.5 При наличии статистических данных допускается устанавливать режимы нагружения, исходя из вероятностных характеристик нагрузок и их повторяемости. При этом в случае недостаточности информации по отдельным параметрам нагружения следует делать предположения, которые идут в запас по ресурсу.

9.2.6 Повторяемость режимов нагружения и их последовательность в течение этапа эксплуатации принимают на основании требований ТТЗ (ТЗ).

9.2.7 Последовательность этапов эксплуатации (цикл эксплуатации), а также число циклов эксплуатации устанавливают в соответствии с требованиями ТТЗ (ТЗ).

9.2.8 Коэффициенты безопасности по циклам f_n устанавливают в пределах $f_n = 4 – 10$ в частных нормах прочности с учетом полноты и точности информации о величинах и повторяемости нагрузок, объема экспериментальной отработки ресурса, точности воспроизведения режимов нагружения при испытаниях.

9.2.9 Допускается устанавливать различные коэффициенты безопасности по циклам для различных этапов эксплуатации и режимов нагружения.

9.2.10 При наличии достаточной статистической информации о нагрузках и их повторяемости, а также о выносливости элементов конструкции допускается проводить уточнение коэффициентов безопасности по циклам на основании требований по вероятности неразрушения конструкции в целом, которую следует принимать не ниже $P_n = 0{,}9995$.

Допускается уточнять нормативное значение вероятности неразрушения в соответствии с принимаемой для конкретного АКА моделью отказов его конструкции.

9.2.11 При теоретическом исследовании ресурсной прочности накопленные при расчетных режимах нагружения повреждения не должны превышать допустимых пределов.

9.2.12 Предельную повреждаемость следует устанавливать на основании экспериментальных данных.

9.2.13 Ресурсная прочность обеспечена, если способность конструкции выдержать расчетные режимы нагружения подтверждена ресурсными испытаниями.

9.2.14 Допускается подтверждать ресурсную прочность на основании расчетов при следующих условиях:

- запас статической прочности (но не устойчивости) элемента, продемонстрированный расчетом и подтвержденный экспериментально, должен быть не менее 1,0 при коэффициенте безопасности 2,5;
- эксплуатационные напряжения с учетом предварительного натяга, мембранных составляющих и изгибных составляющих или концентрации не превышают $\sigma_{0,2}$ / 1,5;
- запас ресурсной прочности по расчету не менее 10,0;
- свойства материалов определены на основе предварительных испытаний конструкционной прочности с учетом конструктивно-технологических особенностей.

9.2.15 Допускается уточнение ресурса конкретных отсеков, узлов и элементов конструкции АКА на основе анализа фактических данных о действовавших на них в процессе эксплуатации нагрузках.

9.3 Требования к отработке вибропрочности при зачетных испытаниях

9.3.1 Вновь разрабатываемые или модернизируемые АКА (или их отдельные блоки и отсеки) должны быть отработаны на вибропрочность на все случаи эксплуатации по 7.1 путем проведения ЗВИ.

9.3.2 ЗВИ проводят по программе — методике испытаний (ПМИ).

ПМИ определяет цели, задачи, виды, объем, порядок и условия испытаний, а также режимы и методику нагружения АКА. ПМИ разрабатывает предприятие, проводящее испытания, в соответствии с требованиями ТЗ предприятия — разработчика конструкции, в котором должны быть определены режимы нагружения испытываемого АКА.

При отсутствии у предприятия — разработчика конструкции обоснованных режимов испытаний они могут назначаться из числа типовых, приведенных в нормах вибропрочности на АКА.

9.3.3 ЗВИ на случай полета должны предшествовать испытания на транспортное вибронагружение, осуществляемое натурным транспортированием изделия или имитацией его в лабораторных условиях на расстояние, указанное в ТЗ на разработку изделия. В случае натурного транспортирования оно должно осуществляться тем видом транспорта, который предусмотрен ТЗ или ПМИ по маршруту, максимально имитирующему штатный.

9.3.4 Перед началом транспортных испытаний АКА следует установить в штатный транспортировочный контейнер, закрепить его на столе вибростенда с помощью штатного переходного устройства и технологической оснастки. При этом АКА должен занимать рабочее положение, типичное для данного этапа эксплуатации.

9.3.5 Испытания на вибропрочность на все случаи эксплуатации, предусмотренные в настоящем стандарте, необходимо проводить на одной материальной части. Очередность нагружения изделия может быть изменена по согласованию с ПЗ при предприятии-разработчике и ПЗ при предприятии, проводящем испытания.

При необходимости при динамических испытаниях сборок оснастка должна имитировать ответные части конструкции.

9.3.6 АКА должны испытываться на вибропрочность при различных уровнях заполнения баков компонентами топлива или его имитаторами в зависимости от времени полета, а также допустимом (по условиям безопасности) наддуве. Необходимость проведения испытаний с заполнением баков изделия топливом определяется предприятием — разработчиком конструкции по согласованию с ПЗ при нем и отражается в ПМИ.

9.3.7 В процессе или после проведения ЗВИ могут быть проведены дополнительные испытания. Необходимость их проведения определяет совместное решение предприятия — разработчика конструкции и Головного предприятия отрасли по прочности, которое согласовывают с ПЗ при этих предприятиях.

9.3.8 Виброиспытаниям подвергают АКА в сборе или его отдельные отсеки и блоки, изготовленные по КД, укомплектованные штатными бортовыми системами, агрегатами и приборами (или их габа-

ритно-массовыми макетами), принятые отделом технического контроля предприятия — изготовителя конструкции и ПЗ при нем с заключением главного конструктора и ПЗ при нем о допуске его к зачетным испытаниям.

Примечание — Вместо габаритно-массовых макетов также допускается использовать нефункционирующие приборы и агрегаты, соответствующие штатным по габаритно-массовым характеристикам.

Оснастка для испытаний должна имитировать жесткостные характеристики смежных отсеков.

9.3.9 Испытания АКА на вибропрочность проводят последовательно по трем взаимно перпендикулярным осям, одна из которых совпадает с его продольной осью.

В случае если при возбуждении колебаний испытуемого объекта при виброиспытаниях на случай транспортирования по одной из осей реализуются колебания с необходимыми уровнями по другой оси, то испытания по этой оси разрешается не проводить. Суммарное время испытаний при этом по каждой из осей возбуждения должно быть не менее продолжительности воздействия вибраций на изделие в соответствующем случае эксплуатации. Решение об отмене испытаний по какой-либо оси должно быть согласовано с предприятием — разработчиком АКА и ПЗ при нем.

9.3.10 При подготовке АКА к виброиспытаниям на конструкции в наиболее критических точках должен быть установлен комплект виброизмерительных преобразователей.

Число виброизмерительных преобразователей определяется возможностями измерительного комплекса и ПМИ.

Места установки виброизмерительных преобразователей определяют ПМИ на основании предварительных расчетов и в зависимости от целей испытаний: только контроль основных уровней вибрационного нагружения конструкции или, дополнительно, идентификация собственных форм колебаний в процессе нагружения.

9.3.11 Вибропрочностные испытания АКА на полетные случаи нагружения проводятся на гармоническую вибрацию (в диапазоне частот от 5 до 20 Гц) и на случайную вибрацию (в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц).

Допускается замена испытаний случайной вибрацией на эквивалентную гармоническую вибрацию.

Если ПМИ предусмотрены акустические испытания АКА, то вибропрочностные испытания проводятся только на гармоническую вибрацию на частотах до 100 Гц.

9.3.12 Испытания по определению амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) изделия

С целью определения резонансных частот АКА и его комплектующих, а также для подтверждения сохранности (неразрушения) конструкции в процессе вибропрочностных испытаний (по критерию отсутствия сдвига резонансных частот), до и после проведения вибропрочностных испытаний по каждой из осей изделия проводят вибрационные нагружения гармонической вибрацией малого уровня — испытания по определению АЧХ.

9.3.13 Вибропрочностные испытания АКА на гармоническую вибрацию

Вибропрочностные испытания АКА на гармоническую вибрацию обычно проводят методом контроля по комплектующим.

Режим нагружения задается в местах крепления изделия к столу вибростенда (к переходному приспособлению при его наличии) таким образом, чтобы в диапазоне низших резонансных частот максимальные амплитуды виброускорений в основных контрольных точках соответствовали принятым в расчете нагрузок нормативным значениям (обычно определяются по результатам совместного с РН анализа нагрузок).

Если не проводятся статические испытания, то виброиспытаниями в низкочастотной области необходимо подтвердить общую прочность основной силовой конструкции, т. е. реализовать расчетные значения силовых факторов (максимальные силы и моменты) в основных сечениях конструкции АКА.

В других точках контроля режима у мест крепления основной аппаратуры при виброиспытаниях необходимо реализовать уровень перегрузок на резонансных частотах конструкции АКА не ниже максимального заданного уровня в ТЗ на данную аппаратуру.

Указанные выше условия нагружения АКА при виброиспытаниях должны быть обеспечены специальным подбором режима на стыке с вибростендом (по результатам анализа АЧХ), либо, если позволяет система управления, аппаратурными средствами контроля режима по группе установленных виброизмерительных преобразователей.

9.3.14 Испытания на случайную вибрацию

Вибропрочностные испытания АКА на случайную вибрацию могут быть проведены как методом контроля заданной вибрации по интерфейсу, так и методом контроля по комплектующим.

Режим вибропрочностных испытаний на случайную вибрацию прогнозируется на основании предварительных испытаний на случайную вибрацию с уровнями (–12) дБ и (–6) дБ от нормированных для отработки бортовой аппаратуры АКА.

Режим вибропрочностных испытаний на случайную вибрацию задается по стыку с приспособлением таким образом, чтобы значения спектральной плотности виброускорений в контрольных точках основной силовой конструкции или на интерфейсе были не ниже нормативных. Если позволяет система управления, то такое нагружение обеспечивается аппаратурными средствами контроля.

9.3.15 Раскрываемые элементы АКА (антенны, солнечные батареи, штанги магнитометров, бленды и др.) должны быть испытаны в транспортном положении и в раскрытом положении на режимах соответствующего этапа эксплуатации. Необходимость и методы испытания в раскрытом положении определяется ПМИ.

9.3.16 Суммарное время испытаний АКА в каждом из направлений должно быть не менее продолжительности его полета при реальной эксплуатации в условиях воздействия вибрации.

9.3.17 Испытательное оборудование, средства контроля и анализа должны быть метрологически аттестованы по ГОСТ Р 8.568 и обеспечивать получение, регулирование и поддержание в течение установленного времени виброрежимов в соответствии с требованиями норм и ПМИ.

9.3.18 После окончания виброиспытаний проводят визуальный осмотр и контрольные проверки АКА и его элементов (в т.ч. контрольные раскрытия). АКА считают выдержавшим испытания, если после их проведения контрольными проверками не обнаружены:

- механические повреждения испытуемого изделия;
- отклонения контрольных параметров от уровней, указанных в ТУ и ПМИ;
- нарушения герметичности испытуемых систем и гермоотсеков.

9.3.19 Результаты виброиспытаний АКА должны быть оформлены отчетными документами (протоколами, экспресс- и техническими отчетами).

Окончательным документом о результатах испытаний служит согласованный ПЗ итоговый технический отчет, в котором дают заключение о вибропрочности АКА и допуске его к последующим испытаниям.

9.4 Требования к отработке на длительную прочность

9.4.1 Отработку на длительную прочность следует проводить для элементов, которые длительное время находятся под нагрузкой, квазистационарная по времени составляющая которой существенно больше переменной составляющей.

Изделие или агрегат, подвергающиеся акустическим испытаниям, должны иметь полную комплектацию по установленному оборудованию и кабельной сети. Допускается применение натурных габаритно-массовых макетов оборудования.

Элементы конструкции, подвергаемые испытаниям на длительную прочность, должны быть выполнены по штатным чертежам и штатной технологии.

Необходимость проведения, объем и порядок отработки на длительную прочность устанавливают в частных нормах прочности.

9.4.2 За основу нормирования длительной прочности принято обеспечение достаточного запаса по времени, которое конструкция выдерживает под нагрузкой без повреждений, недопустимых с точки зрения эксплуатации.

9.4.3 Эксплуатационное значение квазистационарной нагрузки $N_{сэ}$ следует принимать максимально возможным из значений, приведенных в разделе 6.

9.4.4 Эксплуатационное значение времени нагружения $T^э$ принимают в соответствии с требованиями заказчика и КД.

9.4.5 Расчетное время нагружения определяют по формуле

$$T^р = f_т \cdot T^э, \qquad (11)$$

где $f_т$ — коэффициент безопасности по длительной прочности;

$T^э$ — эксплуатационное значение времени нагружения.

9.4.6 Коэффициент безопасности $f_т$ учитывает неточность определения и разбросы нагрузок, разбросы несущей способности конструкции в части предельного времени выдержки без разрушений, неточность ее определения при ограниченном числе испытаний, возможность профилактических осмотров, проверок и замены элементов.

Значение $f_т$ устанавливают в частных нормах прочности не ниже, чем $f_т = 5 – 10$, в зависимости от точности информации о нагрузках, объеме экспериментальной отработки, точности воспроизведения нагрузок при испытаниях, достоверности характеристик материала по длительной прочности.

9.4.7 При теоретическом обосновании длительной прочности принятая мера повреждаемости не должна превышать за время $T^{р}$ предельно допустимых значений.

9.4.8 Предельно допустимые значения повреждаемости следует устанавливать на основе экспериментальных данных.

9.4.9 При проведении испытаний на длительную прочность конструкция должна быть нагружена квазистационарной нагрузкой $N_{сэ}$ в течение расчетного времени $T^{р}$.

9.4.10 Допускается проведение форсированных испытаний на нагрузку

$$N_{сф} = K_{ф} \cdot N_{сэ} \quad (12)$$

при пониженном значении $f_{т}$.

Коэффициент форсирования $K_{ф} > 1$ устанавливают в частных нормах прочности или ПМИ, исходя из эквивалентности повреждений, получаемых конструкцией при обычных и форсированных испытаниях.

9.4.11 Если предыстория нагружения и переменные составляющие нагрузок оказывают влияние на рост деформации, это следует учитывать при отработке длительной прочности.

9.4.12 Длительная прочность обеспечена, если при дефектации после проведения эксперимента в течение времени $T^{р}$ не обнаружено недопустимых с точки зрения эксплуатации повреждений.

9.4.13 Допускается подтверждение длительной прочности на основании расчета. При этом напряжения в элементах не должны превышать предела выносливости при действии квазистационарной нагрузки $N_{сэ}$ и величины $\sigma_{0,2}$ при действии эксплуатационных нагрузок.

9.5 Требования к отработке акустической прочности

9.5.1 Необходимость проведения, объем и порядок отработки акустической прочности устанавливают в комплексной программе экспериментальной отработки и в ПМИ. При проведении испытания высокочастотной вибрацией по 9.3 испытания на акустическую прочность АКА в целом и его составных частей не являются обязательными. Автономные испытания компактных, жестких блоков и агрегатов предпочтительно проводить на случайную вибрацию, поскольку нагружающим фактором для блоков является именно вибрация, порождаемая полем акустического давления. Высокочастотное нагружение полем акустического давления более предпочтительно для элементов конструкции, имеющих большие поверхности при относительно малой массе (элементы, прямо возбуждаемые акустикой).

9.5.2 Элементы конструкции, находящиеся в поле акустических давлений, возникающем от реактивных струй двигательной установки РН на старте, начальном участке полета, при приземлении в случае работы двигателей мягкой посадки, а также от аэродинамического шума, создаваемого турбулентным пограничным слоем при полете в зоне максимальных скоростных напоров, проверяют на акустическую прочность.

9.5.3 Экспериментальную отработку акустической прочности следует проводить в специальных акустических камерах по методикам экспериментальной отработки акустической прочности, согласованным с Головным предприятием отрасли по прочности и ПЗ при нем.

Изделие или агрегат, подвергающиеся акустическим испытаниям, должны иметь полную комплектацию по установленному оборудованию и кабельной сети. Допускается применение натурных габаритно-массовых макетов оборудования.

9.5.4 В процессе экспериментальной отработки акустической прочности проводят следующие испытания (натурные и модельные):

- испытания по воспроизведению наиболее неблагоприятных режимов акустического нагружения на старте или участке выведения в зоне действия максимальных скоростных напоров;
- испытания элементов конструкции с целью подтверждения их акустической прочности, определение режимов вибраций в местах крепления различных приборов, агрегатов и систем при совместной проверке их прочности и работоспособности с имитацией реальных условий акустического нагружения.

Испытания на этапе ЛИ должны предусматривать регистрацию данных по спектральным плотностям и общим уровням акустических нагрузок, действующих на АКА, а также измерения вибраций на основных этапах акустических воздействий.

9.5.5 Окончательное заключение по акустической прочности составляют с учетом результатов натурных и модельных испытаний, а также данных ЛИ.

9.6 Требования к отработке ударной прочности

9.6.1 Отработку ударной прочности АКА отсеков, элементов конструкции, навесного оборудования, узлов крепления проводят на случаи срабатывания пиротехнических средств (при отделении АКА

от РН, разделении отсеков АКА, отстрелах крышек парашютных люков, раскрытии антенн, солнечных батарей), динамических нагрузок при старте РН, стыковке, отстыковке, посадке и др.

9.6.2 Изделия и макеты, поступающие на испытания, должны удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать штатным объектам по массовым, центровочным и жесткостным характеристикам или моделировать их;
- кабели, соединяющие бортовую аппаратуру с наземной контрольно-проверочной аппаратурой и регистрирующими приборами, не должны вносить возмущения в движение испытываемых макетов сверх допустимого предела;
- допускается частичная замена бортовых приборов габаритно-массовыми макетами с обязательным сохранением штатной амортизации и узлов их крепления;
- стык отсека должен иметь штатное оформление. Интерьер отсека, который функционирует после разделения или отстыковки, должен быть сохранен полностью. Интерьер отсека, который не функционирует после разделения или отстыковки, должен имитироваться только в непосредственной близости от исследуемого стыка. Если при данных испытаниях не функционирующий после испытаний отсек не отрабатывают, допускается его интерьер и массу не имитировать.

До начала всех испытаний должна быть проведена проверка раскрытия раскрываемых элементов (солнечные батареи, антенны, штанги магнитометров и т.д.) при их переводе из транспортного положения в рабочее. Также должна быть проведена проверка раскрытия раскрываемых элементов при нормальном и граничных значениях температуры.

9.6.3 Методы и режимы испытаний объекта и его элементов на стадии отработки устанавливает предприятие — разработчик изделия по согласованию с ПЗ при нем.

9.6.4 Отработка ударной прочности АКА на случай срабатывания пиротехнических средств должна проводиться экспериментально в условиях, максимально приближенных к реальным, с использованием штатных пиротехнических средств или специальных устройств, имитирующих ударное воздействие от пиротехнических средств разделения.

Отработку ударной прочности АКА на случай срабатывания пиротехнических средств допускается, по согласованию с ПЗ при предприятии-разработчике, проводить испытания на воздействие механического удара или испытаниями на воздействие виброударных нагрузок на режимах, обеспечивающих в точках контроля режима ударный спектр отклика ускорений, эквивалентный ударному спектру отклика при срабатывании пиротехнических средств.

9.6.5 Ударную прочность стыковочных узлов для случая стыковки следует проверять испытаниями по специальным программам.

9.6.6 При испытаниях на ударную прочность должны быть проведены измерения деформаций и перегрузок в сечениях силового корпуса, наиболее опасных с точки зрения прочности, а также в местах крепления аппаратуры в количестве, необходимом для оценки нагрузок и соответствия их исходным данным, на которые аппаратура отрабатывалась.

9.6.7 После испытаний на ударную прочность должна быть проведена контрольная проверка по обнаружению механических повреждений конструкции, проверка объекта испытаний и комплектующих его элементов по специальным программам, разработанным предприятием — разработчиком АКА, согласованным предприятиями — разработчиками комплектующих систем и ПЗ при них.

9.6.8 Отработку прочности АКА и комплектующих его систем на случаи посадки на грунт или приводнения следует проводить при копровых и бросковых испытаниях или с имитацией штатной посадки. ПМИ должна предусматривать обоснованные по вероятности возникновения и сочетания комбинации возмущающих факторов, либо наихудшие (с точки зрения нагружения) комбинации параметров штатной или аварийной посадки аппарата и возможные физические характеристики посадочной площадки (рельеф местности, плотность грунта) или водной поверхности (параметры волнения).

При вероятностном подходе определения нагрузок копровые испытания проводят на условия, соответствующие перегрузке для принятого уровня вероятности непревышения.

Допускаются деформации и разрушение элементов, не влияющих на последующую работоспособность и сохранность образцов и научной информации. Характер допустимых деформаций и разрушений должен устанавливаться в процессе испытаний.

9.6.9 Конструкцию АКА считают выдержавшей зачетные копровые, бросковые испытания, если после их проведения выполнены требования по 9.6.8.

9.6.10 Конструкцию отсеков АКА и его элементов, навесное оборудование, узлы крепления считают выдержавшими зачетные испытания на ударную прочность, если полученные механические повреждения и параметры, измеряемые в процессе и после воздействия заданных нагрузок, находятся в пределах установленных допусков, оговоренных в ТЗ на испытание и в ПМИ.

10 Требования к контролю и подтверждению прочности на этапах летных испытаний и эксплуатации

10.1 Контроль параметров механических нагружений при транспортировании

Транспортирование АКА проводится в транспортировочном контейнере. С завода-изготовителя на космодромы транспортирование осуществляется автомобильным, железнодорожным, водным или воздушным транспортом.

На космодромах транспортирование АКА на ТК и ЗС (автономно и в составе КГЧ) осуществляется железнодорожным либо автомобильным транспортом. Транспортирование АКА на СК в составе РКН осуществляется железнодорожным транспортом.

В процессе транспортирования необходимо проводить регистрацию эксплуатационных нагрузок. Максимальные значения ударных нагрузок и виброперегрузок, измеренных при всех видах транспортирования, не должны превышать нормированных значений.

По результатам транспортирования для каждого АКА необходимо выпускать экспресс-отчеты с графиками наиболее характерных моментов нагружения и суммарной оценкой максимальных достигнутых уровней виброперегрузок.

10.2 Контроль параметров механического нагружения на участке выведения

Параметры механического нагружения АКА и акустического поля внутри головного обтекателя на участке выведения контролировать по данным бортовой телеметрической системы.

При запусках проводить контроль:

- линейных перегрузок и низкочастотной вибрации (до 125 Гц);
- высокочастотной вибрации (до 2000 Гц);
- акустического давления в диапазоне частот до 2000 Гц.

Места установки виброизмерительных преобразователей для контроля:

- низкочастотных виброизмерительных преобразователей — различные линейно-протяженные (консольные) элементы конструкции АКА, переходные отсеки и адаптеры;
- высокочастотных виброизмерительных преобразователей — конструкция АКА (места крепления аппаратуры), переходных отсеков и адаптеров;
- акустических виброизмерительных преобразователей (наружные и внутренние) — на конструкции СЗБ и АКА.

Суммарные уровни акустического давления под СЗБ, а также уровни в отдельных частотных диапазонах, не должны превышать нормативных значений, принятых для полезных нагрузок выводимых РН.

Уровни измеренных в полете квазистатических и низкочастотных ускорений должны быть ниже расчетных и нормативных значений.

Среднеквадратичные уровни случайной вибрации и спектральная плотность в отдельных частотных диапазонах должны быть ниже нормативных уровней.

10.3 Конкретный состав измеряемых параметров нагружения определяет предприятие — разработчик АКА, исходя из возможностей регистрации их в реальных условиях на этапах ЛИ в эксплуатации.

Приложение А
(справочное)

Порядок разработки и оформления расчета на прочность

А.1 Общие положения

А.1.1 Расчет на прочность является документом, подтверждающим прочность изделия в целом и отдельных его отсеков, узлов и агрегатов.

А.1.2 Расчет на прочность служит одним из документов, на основании которого изделие допускается к летным испытаниям, и должен быть выпущен до начала наземных прочностных испытаний.

А.1.3 Целью расчета на прочность является:

- теоретическое подтверждение прочности изделия и его составных частей;
- определение напряженно-деформированного состояния конструкции;
- определение жесткостных характеристик и перемещений конструкции (в случае необходимости);
- определение несущей способности и запасов прочности;
- теоретическое определение частот и форм собственных колебаний (при выполнении расчета на прочность с учетом действия на конструкцию динамических нагрузок).

А.1.4 Исходной для расчета является следующая документация:

- исходные данные на изделие;
- расчет нагрузок и температурных режимов;
- конструкторская документация.

А.2 Содержание расчета на прочность

А.2.1 Расчет на прочность должен содержать следующие данные:

- анализ условий нагружения изделий;
- описание конструкции;
- описание конечно-элементной модели (КЭМ) (силовой схемы) и геометрические характеристики силового набора;
- расчетные случаи нагружения и эксплуатационные нагрузки;
- температуры, возникающие в конструкции в процессе эксплуатации;
- коэффициенты безопасности;
- краткое описание методики расчета;
- механические характеристики материалов конструкции, рассматриваемой в расчете.

А.2.2 Расчет на прочность должен состоять из следующих разделов:

- введение;
- исходные данные;
- расчетные случаи нагружения и нагрузки;
- КЭМ (силовая схема);
- расчет отсеков (агрегатов, узлов);
- заключение.

А.2.3 Во «Введении» указывается основное назначение расчета на прочность и приводятся особенности объекта расчета.

А.2.4 Раздел «Исходные данные» содержит перечень источников, из которых взяты данные для проведения расчета.

А.2.5 В разделе «Расчетные случаи нагружения и нагрузки» приводят перечень расчетных случаев, эксплуатационные нагрузки и температуры, действующие в этих случаях, коэффициенты безопасности.

А.2.6 В разделе «КЭМ (силовая схема)» приводят краткое описание принятой КЭМ (силовой схемы).

А.2.7 В разделе «Расчет на прочность» приводят определение напряжений в конструкции от расчетных нагрузок и температур, а также частот и форм собственных колебаний (при выполнении расчета с учетом действия на конструкцию динамических нагрузок).

А.2.7.1 Расчет на прочность выполняется по составным частям изделия, отсекам, агрегатам, узлам или по ансамблю перечисленных конструктивных элементов.

А.2.7.2 Расчет на прочность составной части изделия, каждого отсека, агрегата, узла должен последовательно содержать:

- наименование и обозначение отсека, агрегата, узла в соответствии с основным конструкторским документом;
- материал, из которого изготовлен отсек, агрегат, узел, и его механические характеристики;
- описание и графическое изображение рассчитываемого элемента (отсека, агрегата, узла);
- расчетные для рассчитываемого элемента случаи нагружения и расчетные нагрузки;

- краткое описание схемы или методики расчета с приведением расчетных формул и КЭМ;
- вычисление напряжений по расчетным формулам и с использованием КЭМ;
- полученные в результате расчета на прочность запасы прочности.

А.2.8 В разделе «Заключение» делаются выводы о прочности конструкции и приводятся значения минимального запаса прочности.

А.3 Оформление расчета на прочность

А.3.1 Расчет оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 2.105, ГОСТ Р 2.106, ГОСТ 8.417.

А.3.2 В расчетах применяются единицы величин международной системы единиц (СИ). Допускается применение других внесистемных единиц величин. При этом наименования внесистемных единиц величин применяются совместно с указанием их соотношений с основными и производными единицами СИ.

А.3.3 Для расчетных формул и методик необходимо указать литературу, из которой они заимствованы.

А.3.4 Содержание расчетных формул должно быть раскрыто с указанием обозначения каждой входящей в нее величины непосредственно после записи формулы.

А.3.5 Все иллюстрации, сопровождающие проводимый расчет на прочность, выполняются в соответствии с ГОСТ Р 2.105.

УДК 529.78: 006.354 ОКС 49.140

Ключевые слова: нормы прочности АКА, прочность, расчет прочности, запас прочности, коэффициент безопасности, автоматический космический аппарат

Редактор *Е.И. Мосур*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 08.10.2019. Подписано в печать 05.11.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,60.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru