

Применение параметра дефекта позволяет достаточно просто по результатам ограниченного эксперимента получить стандартные кривые усталости материала с коррозионными язвами произвольных размеров. Усталостные долговечности элемента конструкции с коррозией при нагружении по эксплуатационному спектру могут быть определены по результатам испытаний, например, по программе типового полета или расчета по кривым усталости. В испытаниях более корректно и рационально фиксировать долговечности по моменту зарождения трещины, так как коррозионный дефект имеет определяющее значение на первой стадии усталости, а для оценки дальнейшего развития разрушения в конструкции могут приме-

няться методы механики трещин. В этом случае экспериментальные исследования могут быть выполнены на элементарных фрагментах конструкции.

#### Библиографические ссылки

1. Паутов В. Н. Коррозия металлов и защита от коррозии / НГТУ. Новосибирск, 2005.
2. Оперативный критерий оценки коррозионного состояния воздушных судов / М. В. Антонова [и др.] // Вестн. МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 59–67.
3. Попов Ю. А. Теория взаимодействия металлов и сплавов с коррозионно-активной средой. М. : Наука, 1995.

A. V. Katsura, V. A. Lavrenov, A. A. Pyabin

#### CRITERIA OF AIRFRAME CORROSIVE DAMAGE

*From the analysis of tasks caused by necessity to mitigate and prevent effects of corrosion during scheduled service, the most important one is to define the boundary parameters of corrosion damage.*

*Keywords: corrosion damage, corrosion resistance, corrosion fatigue life.*

© Кацура А. В., Лавренев В. А., Рябин А. А., 2011

УДК 629.7.001

М. И. Кислицкий

#### КОНЦЕПЦИЯ ДВОЙНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Двойное использование (ДИ) космических аппаратов (КА) является эффективным способом получения дополнительного выходного эффекта от средств, ранее вложенных в создание КА, при минимальных затратах. Приведены принципы ДИ, концептуальная схема и формализация концепции ДИ КА.*

*Ключевые слова: космический аппарат, двойное использование, концепция.*

Решение целевых задач в космосе требует больших затрат, так как для выведения космических аппаратов на орбиты и обеспечения функционирования целевой аппаратуры в условиях космического полета необходимы создание и эксплуатация сложных дорогостоящих технических средств. В связи с этим возникает настоятельная потребность в выявлении путей повышения целевого эффекта  $W_{\text{осн}}^{\text{э}}$ , получаемого от вложения финансовых средств в создание и эксплуатацию космических средств (КС).

Одним из таких путей является двойное использование КА. Под двойным использованием будем понимать применение КА для решения в космосе иных целевых задач в дополнение к штатным, для выполнения которых изначально создавался КА. Иначе говоря, двойное использование КА может быть определено как способ получения дополнительного выходного эффекта  $W_{\text{доп}}^{\text{э}}$  в ходе целенаправленного процесса функционирования КА, реализуемый путем обеспечения решения дополнительных целевых задач за счет более эффективного использования технических

возможностей КА  $A_{\text{ТХ}}$  наряду с выполнением космическим аппаратом возложенных на него штатных целевых задач.

Таким образом, при ДИ КА выходной эффект  $W_{\Sigma}^{\text{э}}$  будет представлять собой величину

$$W_{\Sigma}^{\text{э}} = W_{\text{осн}}^{\text{э}} + W_{\text{доп}}^{\text{э}}. \quad (1)$$

В космической технике широко используются КА двойного назначения. Под КА двойного назначения понимаются КА, изначально спроектированные для решения их целевой аппаратурой целевых задач в интересах военного и гражданского ведомств. КА двойного использования, в отличие от КА двойного назначения, изначально спроектированы для решения только штатной целевой задачи (ЦЗ). Решение об их двойном использовании принимается, как правило, после проведения летных испытаний КА и сдачи данного типа КА в эксплуатацию.

Здесь рассматривается концепция двойного использования КА серии «Космос». Возможны следующие

щие основные способы реализации двойного использования КА:

- получение дополнительного целевого эффекта с использованием штатного бортового целевого комплекса КА и всей совокупности штатных технических средств космической системы;

- размещение на КА дополнительной целевой аппаратуры (ДЦА) иного, по сравнению с штатным, назначения и обеспечение ее функционирования в качестве дополнительной полезной нагрузки (ДПН) КА за счет использования технических резервов последнего.

Двойное использование КА, реализуемое *первым способом*, сталкивается с рядом серьезных проблем:

1. Поскольку для решения дополнительной ЦЗ применяется штатная целевая аппаратура (ЦА), такое ДИ может быть обеспечено лишь в тех случаях, когда требования, предъявляемые к выходному продукту КС разными заказчиками (МО РФ, ФКА и др.), тождественны или весьма близки. Это возможно только для ограниченного круга задач (связь, навигация, гидрометеобеспечение и т. п.). По другим целевым задачам требования различных заказчиков либо существенно различаются, либо вообще не имеют ничего общего. В связи с этим решение подобных задач одной и той же штатной целевой аппаратурой КА невозможно.

2. Получение информации от бортовых целевых комплексов КА серии «Космос» иными потребителями способно раскрыть их охраняемые технические характеристики.

3. Использование штатных закрытых радиолиний сброса целевой информации для передачи ее иным, кроме штатных, потребителям не санкционировано.

4. Технический ресурс бортовой ЦА ограничен, в связи с чем ее использование в интересах других потребителей сталкивается с сопротивлением основного заказчика космического аппарата.

Наличие этих проблем существенно ограничивает сферу возможного применения первого способа двойного использования КА.

*Второй способ* предусматривает размещение на борту КА дополнительной целевой аппаратуры иного назначения в качестве ДПН за счет использования имеющихся резервных технических возможностей КС. Практика космической деятельности показывает, что действующие КС, как правило, имеют неиспользуемые технические резервы. Эти резервы могут быть использованы для решения дополнительных целевых задач в космосе. При втором способе ДИ снимаются отмеченные выше проблемы, так как здесь использование штатных специальных средств для решения целевых задач ДЦА не является необходимым.

В условиях ограниченного финансирования космической деятельности ДИ КА приобретает особенно важное значение, так как позволяет дать дополнительный целевой эффект при сравнительно небольших дополнительных затратах ресурсов на реализацию ДИ. Это объясняется следующим. Дополнительная целевая аппаратура, создаваемая по государст-

венным программам, имеет госбюджетный статус. В России при реализации ДИ космических средств, создаваемых по госбюджетным программам, в интересах также госбюджетных программ не взимается плата за выведение ДЦА на орбиту и за использование ресурсов бортовых систем КА, обеспечивающих функционирование ДЦА. Вышеуказанные статьи расходов составляют весьма значительную долю затрат на реализацию космических проектов, что и объясняет относительно низкий уровень затрат на реализацию ДИ.

Рассматривается задача ДИ КА, находящихся в штатной эксплуатации, т. е. серийно изготавливаемых и эксплуатируемых в плановом порядке. Сложность задачи ДИ таких КА обусловлена следующими причинами:

- при создании этих КА возможность ДИ не предусматривалась, т. е. КА изначально технически не приспособлены для двойного использования;

- какие-либо серьезные доработки данных КА недопустимы, так как это нарушило бы график их изготовления и целевого использования.

Введение ДЦА в состав КА оказывает сложное системное влияние на его характеристики и функционирование через изменение массы и момента инерции аппарата, положения центра масс и центров давления аэродинамической силы и силы светового давления, магнитного момента КА, параметров электрического и магнитного полей, через возможное затенение солнечных батарей, антенно-фидерных устройств, радиаторов, датчиков ориентации, изменение механических нагрузок, плеч двигателей ориентации, кинетического момента КА; возможно также возникновение проблем по обеспечению электромагнитной совместимости бортовых технических средств и т. д. Все эти влияния должны быть учтены при разработке проектов ДИ КА и количественно определена степень изменения технических характеристик КА.

В целом внедрение ДЦА на КА в рамках выявленных технических резервов КА и ракеты-носителя с выполнением требований, предъявляемых со стороны ДЦА, и без снижения качества решения основной целевой задачи, с учетом вышеуказанных неизбежных влияний на технические характеристики аппарата представляет собой сложную научно-техническую задачу.

К настоящему времени имеется лишь ограниченное количество примеров практической реализации ДИ КА серии «Космос»: проект «Зенит-Наука» (1970–1980-е гг., ЦСКБ) и проект «Конус-А» (1990–2000-е гг., КБ «Арсенал»). Одной из важных причин противоречия между высокой эффективностью проектов ДИ КА серии «Космос» и малым количеством реализованных проектов такого рода является сложность научно-технической проблемы обоснования ДИ КС, ее комплексный, междисциплинарный характер и недостаточная проработанность данной проблемы в научном плане. Очевидна необходимость создания научно-методического аппарата, который обеспечил бы научное обоснование ДИ КА и послужил аппаратом поддержки принятия решений в про-

цессе обоснования и реализации проектов ДИ КА. Основой такого аппарата должна быть концепция ДИ КА.

Исходя из сущности и статуса решаемых КА серии «Космос» задач, их важности для государства, были сформированы следующие основные принципы ДИ КА [1].

**Принцип приоритетности:** двойное использование КА не должно приводить к снижению качества решения этими КА целевых задач, ради которых создавались КС. Иначе говоря, основные задачи КА имеют абсолютный приоритет перед дополнительными задачами.

**Принцип конфиденциальности:** двойное использование КА не должно приводить к утечке информации ограниченного доступа.

**Принцип экономичности:** объем доработок штатных КА при реализации их ДИ должен быть минимизирован.

Из принципа приоритетности следует, что ДИ КА предусматривает использование только их свободных технических возможностей. Под свободными техническими возможностями понимается та часть технически возможного объема предоставляемых космическими средствами видов обеспечения, которая не используется при выполнении штатной целевой задачи КА.

Принцип конфиденциальности предполагает, что для ДЦА недопустимо использование штатных

средств хранения и передачи целевой информации. В связи с этим ДЦА должна иметь в своем составе собственные, не связанные со штатными, средства хранения и передачи информации на наземные пункты приема. Кроме того, должно быть обеспечено отсутствие утечек информации из штатной целевой аппаратуры в ДЦА.

Принцип экономичности, учитывая планомерный характер штатной эксплуатации КА, требует минимизации объема доработок космического аппарата и других составных частей космического комплекса до такого уровня, при котором проведение доработок не приводит к существенной корректировке графика запусков КА.

Реализация ДИ КА в соответствии с этими принципами гарантирует отсутствие какого-либо ущерба для решения тех задач, ради которых создавался КА, а также космический комплекс (КК) и космическая система, составной частью которой он является.

Концептуальная схема двойного использования КА приведена на рисунке.

Рассмотрим формализованное представление концепции ДИ в соответствии с рисунком.

Любой КА можно представить как совокупность двух частей:

- бортовой целевой комплекс (БЦК);
- служебная часть – бортовые обеспечивающие системы (БОС) КА.



Концептуальная схема двойного использования КА

Бортовой целевой комплекс решает задачи в соответствии с предназначением КА. Бортовые обеспечивающие системы КА предназначены для обеспечения необходимых условий функционирования БЦК и представляют собой совокупность бортовых служебных систем (электропитания, обеспечения теплового режима, управления движением, телеметрического контроля, аппаратура радиуправления) и несущей конструкции. Как правило, современные БОС изначально создаются как унифицированный модуль, способный обеспечивать функционирование различных видов БЦК без существенных изменений его облика (космическая платформа).

Условия, необходимые для функционирования БЦК, описываются требованиями, предъявляемыми БЦК к БОС по параметрам обеспечения  $A_{ТХ}$ :

- параметры ориентации и стабилизации  $a_{СОС}$ ;
- параметры электропитания  $a_{СЭС}$ ;
- параметры обеспечения теплового режима  $a_{СОТР}$ ;
- параметры комплекса приема и передачи информации  $a_{КПИ}$ ;
- масса обслуживаемого БЦК  $a_m$ ;
- габариты обслуживаемого БЦК  $a_{l \times d}$ ;
- параметры орбиты  $a_{орб}$ ;
- параметры пространственной зоны, свободной от затенения элементами конструкции КА  $a_{зат}$ ;
- параметры управления функционированием БЦК  $a_{упр}$ ;
- параметры обеспечения информацией о текущем положении КА в пространстве и текущем времени  $a_{коорд}$ ;
- параметры телеметрического контроля функционирования БЦК  $a_{тел}$ .

Данная совокупность параметров определяет типовые условия размещения и функционирования бортового целевого комплекса КА и текущее состояние условий функционирования БЦК.

Эти параметры имеют количественные характеристики. Тогда множество  $A_{ТХ}$  представляет собой совокупность значений параметров обеспечения БЦК бортовыми обеспечивающими системами КА:

$$A_{ТХ} \equiv \{a_{СОС}, a_{СЭС}, a_{СОТР}, a_{КПИ}, a_m, a_{l \times d}, a_{орб}, a_{зат}, a_{упр}, a_{коорд}\}. \quad (2)$$

Выходной эффект  $W_{осн}^{\Delta}$  определяется количеством и качеством поставляемой КА целевой информации. Инструментом получения в космосе целевого эффекта является БЦК КА. Необходимым условием выполнения БЦК своих задач является обеспечение условий его нормального функционирования бортовыми обеспечивающими системами КА:

$$W_{осн}^{\Delta} = W_{осн}^{\Delta}(A_{ТХ}). \quad (3)$$

Потребность потребителей результатов космической деятельности в получении целевого эффекта от

функционирования КА с течением времени постоянно растет, т. е. справедливо неравенство

$$W_{осн}^{\Delta} < W_{осн}^{\Delta_{треб}}, \quad (4)$$

где  $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$  – значение параметра  $W_{осн}^{\Delta}$ , характеризующее требуемый уровень количества и качества получаемого космического целевого эффекта.

Очевидно, что существует постоянная потребность в максимальном приближении  $W_{осн}^{\Delta}$  к  $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$ .

Стоимость получения космического целевого эффекта определяется затратами на разработку, изготовление, выведение КА на орбиту и эксплуатацию всех составных частей космической системы. При этом весьма значительная доля затрат приходится на разработку КА – главного звена при решении поставленных перед космической системой целевых задач.

Достижимый уровень технических характеристик КА  $A_{ТХ}$  существенно зависит от располагаемого объема финансовых средств, выделяемых на его создание и эксплуатацию  $C_{фин}$ .

Совокупность выходных параметров бортового целевого комплекса  $A_{ТХ}^{БЦК}$  характеризует технический уровень КА, т. е. способность его решать поставленную целевую задачу в соответствии с требуемым качеством  $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$ . Тогда справедливо

$$W_{осн}^{\Delta_{треб}} \equiv A_{ТХ}^{БЦК} \cup C_{фин}. \quad (5)$$

Достижимый при проектировании КА его технический уровень определяется двумя факторами:

- существующим в период разработки КА уровнем развития науки и техники;
- располагаемым объемом финансирования, выделяемого на создание и эксплуатацию КА.

Первый фактор определяет теоретический, максимально достижимый в данный период времени технический уровень КА. Второй фактор всегда ограничивает технический уровень произведенного КА, в той или иной мере снижая его по сравнению с уровнем, определяемым первым фактором, так как располагаемый объем финансирования всегда ограничен. В связи с этим именно второй фактор в решающей степени влияет на технический уровень КА. Соответственно, при реальном текущем уровне науки и техники технический уровень КА существенно зависит от располагаемого объема финансирования  $C_{фин}$  на его создание и эксплуатацию

$$W_{осн}^{\Delta_{треб}} = W_{осн}^{\Delta_{треб}}(C_{фин}). \quad (6)$$

Величина  $C_{фин}$  ограничена и определяется экономическими возможностями государства, в связи с чем выходной эффект функционирования КА зависит от располагаемого объема средств.

Таким образом, допустимый уровень финансирования (затрат)  $C_{фин}$  является критическим ограничивающим фактором при получении целевого

эффекта  $W_{\text{осн}}^{\text{э}}$ . Из вышеизложенного вытекает необходимость поиска таких технических и организационных путей увеличения выходного эффекта от штатного функционирования КА, которые обеспечили бы увеличение выходного эффекта при допустимом уровне финансирования  $C_{\text{фин}}$ .

Одним из путей решения поставленного вопроса является использование резервных возможностей КА.

Рассмотрим множество параметров обеспечения БЦК, интерпретируя его как  $n$ -мерное пространство параметров  $\{a_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – число типов параметров обеспечения  $a_i$ . С целью систематизации дальнейших рассуждений введем ряд понятий.

Пусть  $A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}}$  – множество располагаемых значений ресурсов параметров обеспечения КА:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \equiv \{a_i^{\text{расп}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где  $a_i^{\text{расп}}$  – максимальное значение  $i$ -го параметра обеспечения (ресурса), предоставляемого БОС космического аппарата БЦК.

Положим  $A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}}$  – множество используемых значений параметров обеспечения БЦК

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}} \equiv \{a_i^{\text{исп}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где  $a_i^{\text{исп}}$  – максимальное значение  $i$ -го параметра обеспечения, реально (на практике) используемое БЦК при выполнении штатной целевой задачи.

Очевидно, что

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}} \subset A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \subset A_{\text{ТХ}}. \quad (9)$$

Если  $a_i^{\text{исп}} < a_i^{\text{расп}}$ , то на КА имеется неиспользуемый технический резерв по  $i$ -му параметру с величиной, равной  $a_i^{\text{расп}} - a_i^{\text{исп}}$ .

Введем множество резервных ресурсов параметров обеспечения КА:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \equiv \{a_i^{\text{рез}} = a_i^{\text{расп}} - a_i^{\text{исп}}\}, i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Очевидно, что

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} = A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \setminus A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}}. \quad (11)$$

Множество  $A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}}$  есть область неиспользуемых резервов технических параметров обеспечения характеристик в пространстве параметров  $A_{\text{ТХ}}$ .

При наличии у КА неиспользуемых технических резервов

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \neq \emptyset. \quad (12)$$

Вместе с тем не все параметры обеспечения из множества  $A_{\text{ТХ}}$  носят характер ресурсов. Ряд параметров не подлежит изменению при реализации двойного использования, так как это привело бы к невыполнению принципов двойного использования КА. Приведенные рассуждения относятся к параметрам

обеспечения, которые носят характер ресурсов (масса, электропотребление, объем и др.).

Очевидно, что  $A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}}$  представляет собой множество значений параметров обеспечения, которое КА способен предоставить для размещения и обеспечения функционирования ДЦА. При этом

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \subset A_{\text{ТХ}}. \quad (13)$$

Наличие потребности в увеличении выходного эффекта приводит к тому, что существуют или могут быть профинансированы и созданы определенные виды целевой аппаратуры для решения других целевых задач, отличных от штатных целевых задач, решаемых действующими КА, и можно рассматривать их использование в качестве ДЦА на КА. Эта ДЦА предъявляет к КА совокупность дополнительных требований по обеспечению:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{ДЦА}} \equiv \{a_i^{\text{ДЦА}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (14)$$

где  $a_i^{\text{ДЦА}}$  – значение  $i$ -го параметра обеспечения, предоставляемого БОС космического аппарата ДЦА для ее нормального функционирования.

Совместное рассмотрение формул (10) и (14) позволяет записать

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{ДЦА}} \subset A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \quad (15)$$

при условии, что

$$a_i^{\text{ДЦА}} \leq a_i^{\text{рез}}, i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

Требуемые количественные и качественные показатели выходного эффекта штатного КА  $W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}$ , их номенклатура определены в тактико-техническом задании (ТТЗ) на опытно-конструкторскую работу и в технических условиях (ТУ) на космический аппарат. Выполнение этих требований гарантирует получение заданного выходного эффекта  $W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}}$ , т. е.

$$W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}} \equiv \{W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}\}, i = \overline{1, l}. \quad (17)$$

В ходе реализации целевой задачи БЦК КА значения параметров  $W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}}$ , характеризующие выходной эффект, как правило, должны доминировать, т. е.

$$W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}} \succ W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}, \quad (18)$$

где  $\succ$  – знак доминирования.

А с учетом того, что

$$W_{\text{осн}}^{\text{э}} \equiv \{W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}}\}, \quad (19)$$

будет справедливо выражение

$$W_{\text{осн}}^{\text{э}} \succ W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}}. \quad (20)$$

Таким образом, в процессе нормального функционирования КА получаемый целевой эффект должен, по меньшей мере, быть не хуже заложенного в ТТЗ и ТУ.

Функционирование КА после размещения на нем ДЦА без снижения уровня решения основной целевой

задачи (выполнение принципа приоритетности) позволяет получить дополнительный эффект:

$$W_{\text{доп}}^{\text{Э}} = W_{\text{доп}}^{\text{Э}} (A_{\text{ГХ}}^{\text{ДЦА}}). \quad (21)$$

Качество дополнительного выходного эффекта  $W_{\text{доп}}^{\text{Э}}^{\text{треб}}$  в значительной степени определяется уровнем финансирования разработки ДЦА и ее адаптации к конструкции КА:

$$W_{\text{доп}}^{\text{Э}}^{\text{треб}} = A_{\text{ГХ}}^{\text{ДЦА}} \cup C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}, \quad (22)$$

где  $C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}$  – дополнительные финансовые затраты на создание ДЦА, ее адаптацию к конструкции КА и эксплуатацию в составе КА.

Соответственно, общие расходы на разработку, создание и эксплуатацию при ДИ КА будут

$$C_{\text{фин}}^{\Sigma} = C_{\text{фин}} + C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}. \quad (23)$$

Итак, для повышения эффективности решения целевых задач в околоземном космическом пространстве целесообразно оснащать штатные КА дополнительной

целевой аппаратурой за счет использования имеющихся резервов и осуществлять использование космического аппарата в интересах двух и более заказчиков. Двойное использование КА может быть определено как способ получения дополнительного выходного эффекта в ходе целенаправленного процесса функционирования КА, реализуемый путем обеспечения решения дополнительных целевых задач за счет более эффективного использования технических возможностей КС наряду с выполнением космическим аппаратом возложенных на него штатных целевых задач. основополагающими принципами двойного использования КА являются принцип приоритетности, принцип конфиденциальности и принцип экономичности.

#### Библиографическая ссылка

1. Кислицкий М. И. Методика обоснования применения дополнительной целевой аппаратуры на космических аппаратах : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2008.

M. I. Kislitsky

#### DUAL-USE SPACECRAFT CONCEPTION

*Development of dual-use of spacecrafts is very effective for receiving a considerable bonus from the capital that has been invested in spacecraft creation, with the minimal additional investment. Dual use of spacecrafts conceptual scheme, foundations and formalization are given.*

*Keywords: spacecraft, dual-use, conception.*

© Кислицкий М. И., 2011

УДК 629.78.018.3

С. А. Крат

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Рассмотрены вопросы имитации теплового излучения Солнца в процессе тепловакуумной отработки КА и составных частей, дана оценка факторов, влияющих на качество и КПД имитирующих установок. Указаны направления повышения эффективности имитаторов солнечного излучения.*

*Ключевые слова: тепловакуумные испытания, имитатор Солнца, оптическая система, тепловое излучение, эффективность, КПД.*

Существует прямая и весьма сильная связь между надежностью космического аппарата (КА), продолжительностью его штатной эксплуатации и средствами, затраченными на его наземную экспериментальную отработку (НЭО). Чем выше качество и точность имитации условий натурной эксплуатации КА во время НЭО, тем больше вероятность его безотказной работы.

В комплексный план экспериментальной отработки КА включают тепловакуумные испытания, которые подразумевают проверку теплового состояния оборудования и подтверждение расчетных теплофизических характеристик КА.

На тепловое состояние КА оказывают влияние, главным образом, тепловое солнечное излучение и тепловое излучение планет. Следовательно, экспериментальный стенд для наземной тепловакуумной отработки должен обеспечивать, как наиболее influential фактор, воспроизведение теплового солнечного излучения, а именно: устойчивый солнечный спектр в диапазоне длин волн от 200 до 2 100 нм, интенсивность имитации солнечного потока не менее 1 440 Вт/м<sup>2</sup>, неравномерность потока до ± 10 %.

На всех этапах – от проектирования обеспечивающих вышеуказанные условия систем до их технической реализации – необходимо учитывать как рас-