

# Современные тенденции создания испытательных стендов целевой аппаратуры космических аппаратов и проблемные вопросы их проектирования

## Дробышев С. В.

*Дробышев Сергей Викторович / Drobyshev Sergey Viktorovich – инженер,  
Открытое акционерное общество корпорация «Комета», г. Москва*

**Аннотация:** экспериментальная отработка блоков и узлов аппаратуры космического аппарата является важнейшим этапом его создания, определяющим длительность его жизненного цикла. В статье приведено обоснование необходимости проведения различных видов экспериментальной отработки целевой аппаратуры. Показаны роль, место испытательных стендов в составе экспериментальной отработки, описаны возможные способы построения таких стендов, рассмотрены проблемные вопросы их создания.

**Ключевые слова:** космический аппарат, целевая аппаратура, испытательный стенд, экспериментальная отработка, проектирование испытательной техники.

УДК 623.48

Космические аппараты (КА), предназначенные для выполнения целевых задач в околоземном орбитальном пространстве, представляют собой комплекс взаимосвязанных агрегатов (систем), в которых происходят разнообразные процессы: гидрогазодинамики, тепломассообмена и термомеханики. Также космический аппарат в процессе эксплуатации подвергается воздействию комплекса (комбинации) дополнительных факторов – факторов космического пространства [1].

Аппаратура, применяемая в качестве полезной нагрузки КА, имеет ряд особенностей. Многие ее блоки и элементы невозможно дублировать, а после начала эксплуатации практически невозможно отремонтировать. Спроектированная аппаратура должна быть работоспособной на всех этапах эксплуатации. Поэтому экспериментальной отработке блоков и узлов целевой аппаратуры КА уделяется исключительное внимание.

Экспериментальная отработка, подтверждение надежности и отказоустойчивости функционирования элементов целевой аппаратуры требует больших затрат времени и финансовых ресурсов. Основным условием проведения экспериментальной отработки является наличие комплекса испытательных стендов, испытательной техники, методов и методик проведения испытаний и квалифицированного персонала.

Системные, комплексные подходы к решению научных и прикладных проблем, доминирующие в настоящее время в различных областях науки и техники, безусловно, реализуются и при создании современных испытательных систем. Создание элементов целевой аппаратуры требует проведения большого объема как расчетно-проектных работ, так и экспериментальных исследований КА и его систем в стендовых и летных условиях. Поэтому успех создания КА во многом определяется надежностью и безопасностью эксплуатации испытательных комплексов. При наземных испытаниях применяют сложное оборудование для имитации полетных условий эксплуатации, воздействующих факторов космического пространства и обеспечения безопасности подготовки и проведения испытаний. Надежность работы целевой аппаратуры КА во многом определяется применяемыми схемными и конструктивными решениями, а также используемыми материалами и технологиями изготовления и испытаний объектов исследования [2].

Испытательный стенд – это техническое устройство для установки объекта испытания в заданное положение, создания воздействий, сбора информации и осуществления управления процессом испытаний и объектом испытаний.

Испытательные стенды обычно состоят из трех частей:

- исполнительной, в которую входят объект испытания и системы, обеспечивающие воздействие различных эксплуатационных факторов;
- информационно-управляющей, в которую входят системы управления и измерительные системы, информирующие о параметрах объекта испытания и стенда;
- систем электропитания.

Проектирование испытательных стендов – сложный процесс, включающий в себя разработку технического задания, проектных предложений, эскизного и технического проектов, разработку функциональных и принципиальных схем, расчет элементов и систем стенда, выбор компоновочной схемы стенда, обеспечивающей заданные проектные параметры, и окончательную разработку рабочей документации на стенд.

Существуют различные подходы к проектированию испытательных стендов. При индивидуальном подходе решаются в основном частные задачи создания стенда, которые возникают на том или ином предприятии в связи с необходимостью контроля определенных параметров КА или его узла.

При комплексном (системном) подходе вопросы проектирования стендов решаются исходя из комплексных задач обеспечения заданного уровня качества КА. В этом случае предусматривается создание системы взаимосвязанных стендов, необходимых для отработки, испытания и контроля систем создаваемого КА на всех стадиях его жизненного цикла: проектирования, производства и эксплуатации.

Наличие совершенных экспериментальных средств – специальных стендов – является обязательной предпосылкой, обеспечивающей эффективность космических исследований, а постоянное совершенствование экспериментальной базы – непременным условием прогресса космической техники [2].

Проектирование и создание большинства экспериментальных средств, предназначенных для исследований и испытаний современной целевой аппаратуры КА, требует крупных капиталовложений и значительного времени. Большинство из экспериментальных стендов являются в той или иной степени уникальными, не имеющими конструктивных аналогов. Программы исследований и испытаний экспериментального оборудования согласовываются с требованиями к разрабатываемым комплексам аппаратуры КА. Создание и применение испытательных стендов осуществляется с учетом технико-экономических критериев эффективности:

- эксплуатационных (надежность, обеспечение заданных параметров, информативность);
- экономических (стоимость разработок, эффективность эксплуатации);
- данных технической реализации (техническая осуществимость, возможность модернизации).

Цели и задачи экспериментальных исследований блоков целевой аппаратуры определяют состав и последовательность подачи на аппарат воздействий, имитирующих в наземных условиях различные эксплуатационные факторы, состав, содержание и последовательность выполнения операций по контролю измеряемых параметров, вид и количество применяемой контрольно-измерительной аппаратуры, оборудования и переходных устройств.

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий [3].

Функциональные элементы испытательного стенда характеризуются следующими основными независимыми параметрами:

- точностью измерения и управления режимами испытательных средств;
- степенью автоматизации исследований;
- уровнем математического обеспечения экспериментов.

Сложность испытательных стендов постоянно возрастает. Это объясняется многими причинами: увеличением состава и сложности отдельных элементов КА и, следовательно, необходимостью контроля все большего числа параметров, характеризующих качество аппарата, увеличением уровня, длительности приложения и усложнением спектра нагрузок, которые действуют на аппарат в полете и которые необходимо имитировать в процессе наземных исследований; стремлением к одновременному воспроизведению нагрузок различной физической природы с целью приближения условий наземных испытаний к полётным. Обычно сложность испытательных стендов сопоставима со сложностью испытываемых систем, а иногда и превосходит их.

К главным проблемам в области проектирования стендов можно отнести следующие [2, 4-8]:

1. Создание комплексов и систем взаимосвязанных стендов, обеспечивающих воспроизводимость результатов испытаний при повторных испытаниях аппарата на различных этапах экспериментальной отработки. Решение этой проблемы направлено на обеспечение единства испытаний при многократных испытаниях одних и тех же блоков целевой аппаратуры.

2. Создание на базе теории физического моделирования и теории подобия имитаторов эксплуатационных нагрузок, максимально приближающих условия наземных испытаний изделий к эксплуатационным. Решение этой проблемы направлено на повышение эффективности экспериментальной отработки.

3. Создание средств измерения, средств оценки и регистрации параметров изделия, а также воздействий, воспроизводимых стендами эксплуатационных нагрузок, контролируемых в процессе экспериментальной отработки.

4. Повышение точности воспроизведения эксплуатационных факторов и точности измерений контролируемых параметров испытываемых изделий. Решение этой проблемы направлено на повышение точности бортовых систем аппарата, которая является одним из основных критериев, определяющих их качество.

5. Автоматизация проектирования стендов на базе конструкторского опыта и математического моделирования с использованием вычислительной техники для выбора оптимальных компонентов стендов. Решение этой проблемы направлено на повышение качества проектов и сокращения времени изготовления стенда.

6. Создание стендов, максимально удовлетворяющих требованиям биологической, антропометрической, психофизической, информационной и энергетической совместимости возможностей человека-испытателя с характеристиками испытательных стендов и условий работ. Решение этой проблемы направлено на обеспечение психофизиологического комфорта деятельности человека в процессе испытаний, повышение качества испытаний.

7. Создание средств автоматизации стендов, включаемых в контур управления, что существенно повышает качество и технико-экономическую эффективность исследовательских работ.

Автоматизация стендов обеспечивает:

- повышение эффективности и качества научных исследований на основе получения и уточнения с помощью средств вычислительной техники явлений или процессов;
- получение количественно новых научных результатов, достижение которых принципиально невозможно без использования автоматизации;
- сокращение сроков и уменьшение трудоёмкости экспериментального цикла за счет ускорения подготовки и проведения эксперимента; повышения оперативности получения, обработки и использования информации о качестве и надёжности; использование результатов экспресс-анализа; не доведения элементов конструкции до преждевременного разрушения; уменьшения числа ошибок при измерении и обработке;
- увеличение точности результатов экспериментальных данных и их достоверности;
- повышение информативности эксперимента за счет увеличения числа измерительных каналов, датчиков и более полной обработки данных;
- усиление контроля за ходом эксперимента и возможности его оптимизации;
- сокращение участников эксперимента, особенно в случаях повышения опасности проведения эксперимента;
- оперативное получение результатов испытаний в наиболее удобной форме (например, графической).

Процесс проектирования, состоящий из взаимосвязанной и целесообразно организованной последовательности принятия технических решений, можно представить в виде системы проектирования, в которой элементами являются конструкторские решения, принимаемые на различных стадиях и этапах проектирования, а связи между элементами выражаются в виде потока документов, который содержит материалы с конструкторскими решениями и вспомогательные документы, используемые при организации и управлении.

Укрупнено процесс разработки можно представить в виде четырёх стадий принятия конструкторских решений, каждая из которых имеет определённый выход, а именно: прогнозирование и планирование разработки; проектирование и моделирование; конструирование; изготовление, аттестация и внедрение [9].

Системный подход к проблемам проектирования получил развитие в организации проектирования и научно обоснованной выработке решений, а также в их взаимной увязке с целью достижения максимального эффекта. Организация проектирования заключается в создании модели процесса проектирования, основанной на концепции управления. Проектные процедуры подразделяются на процедуры анализа и синтеза. Синтез заключается в создании описания испытательного стенда, а анализ – в определении свойств и исследовании работоспособности стенда по его описанию, т. е. при синтезе создаются, а при анализе оцениваются проекты испытательных стендов [10].

Резюмируя, следует отметить, что ни один из рассмотренных подходов не позволяет полностью учесть все особенности проведения испытаний целевой аппаратуры. Также следует учитывать, что на определенной стадии эксплуатации КА происходит расширение решаемых задач, что требует их конструкторских изменений. Это приводит к соответствующей модернизации испытательных стендов и созданию новых подходов к их разработке.

### *Литература*

1. Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований / Под ред. Г. М. Полищука и К. М. Пичхадзе. М.: Изд-во МАИ ПРИНТ, 2010.
2. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (II Козловские чтения), г. Самара, 2011. С. 124–127.
3. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 декабря 1981 г. N 5297 Переиздание. Март 1991 г.

4. *Захаров Ю. В., Гришко Н. К., Мукеев Т. Т.* // Моделирование в наземных условиях активного этапа полета летательных аппаратов// Конструирование и технология изготовления космических приборов. М.: Наука, 1988. С. 8–13.
5. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование / О. П. Глудкин, А. Н. Енгальчев, А. И. Коробов, Ю. В. Трегубов; Под редакцией А. И. Коробова. М.: Радио и связь, 1987. 272 с.
6. Испытательная техника: Спр. в 2-х кн. / под ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1982. кн. 1. 528 с., кн. 2. 560 с.
7. Основы испытаний летательных аппаратов: Учебник для вузов / Е. И. Кринецкий, Л. Н. Александровская, В. С. Мельников, Н. А. Максимов; Под ред. Е. И. Кринецкого. М.: Машиностроение, 1989.
8. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др.: Уч. пос. М.: Логос, 2003. 278 с.
9. *Ткаченко С. И., Ткаченко О. А., Самсонов В. Н.* Методы экспериментальной отработки прочности конструкций летательных аппаратов. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007.
10. Эксплуатация испытательных комплексов ракетно-космических систем / А. Г. Галеев, А. А. Золотов, А. Н. Перминов, В. В. Родченко. Под ред. д-ра техн. наук А. Н. Перминова. М.: Изд-во МАИ, 2007.