



УДК 629.78.08

**С. Н. Лозовенко, А. В. Цайтлер,  
Е. Н. Головёнкин, А. И. Антипов**

*АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнёва»,  
г. Железногорск, Красноярский край, Россия*

## ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

*Предметом работы является проблема транспортирования автоматических космических аппаратов без снижения требуемых показателей надёжности. Рассмотрены возможные варианты конструктивного исполнения и особенности специализированных контейнеров, разработанных в АО «ИСС». Представлены пути решения поставленной задачи в зависимости от требований к условиям транспортирования автоматических космических аппаратов. Описаны результаты практического применения полученных результатов.*

*Ключевые слова: специализированный контейнер, амортизационная платформа, герметичность, теплоизоляция.*

**S. N. Lozovenko, A. V. Tsaitler,  
E. N. Golovenkin, A. I. Antipiev**

*JCS «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems»,  
Zheleznogorsk, Russian Federation*

## POSSIBLE VARIANTS OF PROTECTION OF AUTOMATIC SPACECRAFT FROM INFLUENCE OF NEGATIVE FACTORS DURING THEIR TRANSPORTATION

*The article deals with possible variants of alternate design and features of the specialized containers, manufactured by JSC «ISS». The subject of this work is a problem of transportation of the automatic spacecraft without reducing of the required reliability. Solutions depending on environment of transportation of the automatic spacecraft are presented. Results of practical application of the received results are reviewed.*

*Key words: specialized container, amortization platform, hermetically sealed, thermal isolation.*

Автоматический космический аппарат (далее – АКА) в современном виде – сложное наукоемкое изделие, направленное на выполнение целевой задачи в течение гарантированного

(10 лет и более) срока активного существования в условиях космического пространства.

Производителям космической техники необходимо принять ряд мер, направленных на обеспечение заданных характеристик АКА на всех этапах его жизненного цикла, в том числе наземного.

Одним из наиболее критичных этапов жизненного цикла АКА является транспортирование от завода-изготовителя до технического комплекса космодрома запуска, так как в процессе транспортирования АКА находятся в условиях воздействия негативных факторов окружающей среды (температура, влажность, пыль) и динамических нагрузок (вибрации, ударные нагрузки, акустические колебания).

В целях защиты АКА от воздействия негативных факторов окружающей среды и динамических нагрузок транспортирование АКА на космодром запуска выполняется в специализированном контейнере (далее – СК), в котором обеспечиваются комфортные условия для АКА по температуре, влажности и чистоте воздуха и по динамическим нагрузкам.

В общем случае при транспортировании АКА требуется обеспечить следующие комфортные условия:

- температура воздуха от плюс 5 до плюс 35 °С;
- относительная влажность не более 60 %;
- чистота воздуха, соответствующая классу чистоты 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002;
- минимизированное воздействие динамических нагрузок.

Для поддержания комфортных условий в СК предусмотрены различные системы, функционирование которых обеспечивает нахождение требуемого параметра в заданном диапазоне.

Рассмотрим возможные варианты защиты АКА от воздействия негативных факторов, возникающих в процессе транспортирования АКА.

Требуемый температурный диапазон поддерживается системой обеспечения температурного режима (далее – СОТР) СК, включающей в себя активную и пассивную части.

Активная часть содержит исполнительные воздухонагревательные и воздухоохладительные устройства, которые конструктивно располагают внутри СК, блок управления ими и компрессорно-конденсаторный блок воздухоохладительного устройства, располагаемые снаружи СК. Такое решение позволяет эффективно использовать внутреннее пространство СК и обеспечивает удобство при его эксплуатации. В целях повышения надёжности активная часть СОТР, как правило, включает в себя основную и дублирующую схемы, при этом дублирующая схема находится в горячем резерве.

Под пассивной частью подразумеваются конструктивные решения, обеспечивающие заданные теплофизические характеристики СК. Для обеспечения заданных теплофизических характеристик СК разработки АО «ИСС» использовались теплоизолирующие материалы, наклеиваемые на внутренние поверхности СК. Недостаток данного метода – высокие требования к качеству оклеиваемой поверхности и качеству адгезионного слоя теплоизолирующего материала.

В настоящее время отдаётся предпочтение теплоизоляционным панелям. В общем случае теплоизоляционная панель представляет собой раму, выполненную из металлического профиля, на которой закрепляется обшивка из алюминиевых листов, при этом внутреннее пространство заполняется теплоизоляционным материалом с низким коэффициентом теплопроводности.

Данное конструктивное решение имеет ряд ключевых преимуществ:

- высокая жёсткость конструкции СК;
- низкая теплопроводность;
- долговечность.

Требуемая влажность и чистота воздуха, соответствующая классу чистоты 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002, изначально обеспечиваются упаковыванием АКА в подготовленный к транспортированию герметичный СК в помещении с классом чистоты воздуха не хуже 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002, при этом в процессе транспортирования в конструкции СК для поддержания требуемой влажности и чистоты воздуха могут быть предусмотрены следующие решения:

- укладка подготовленного силикагеля внутри СК. Данный вариант положительно направлен на поддержание требуемой влажности внутри СК, однако является нерациональным в связи с тем, что использование силикагеля требует применения тканых пыленепроницаемых материалов, обеспечивающих удержание летучих частиц силикагеля и удовлетворяющих требованиям по воздухопроницаемости;
- поддержание в СК избыточного давления, препятствующего проникновению внутрь посторонних частиц. Данный вариант предусматривает использование в конструкции СК блока баллонов, что влечёт за собой увеличение массы СК, уменьшение зоны полезного груза внутри СК или увеличение габаритных размеров СК, а так-

же существует риск израсходования всего объёма воздуха из блока баллонов в случае значительного увеличения времени транспортирования из-за каких-либо непредвиденных обстоятельств;

- применение специального наружного отсека с системой фильтрации воздуха на базе высокоэффективных фильтрующих элементов, сообщаемого с внутренним объёмом СК. Данный вариант подразумевает размещение в конструкции СК блока, содержащего, как правило, отсек с силикагелем и фильтры с различными параметрами адсорбции и одновременно обеспечивающего необходимую пропускную способность. Принцип работы основан на использовании естественной конвекции воздуха и включает в себя три стадии:

1-я стадия – адсорбция силикагелем влаги, содержащейся в воздухе;

2-я стадия – адсорбция угольным фильтром летучих и полуметучих газообразных органических соединений;

3-я стадия – тонкая очистка воздуха НЕРА-фильтром классом не ниже 14 (рис. 1).

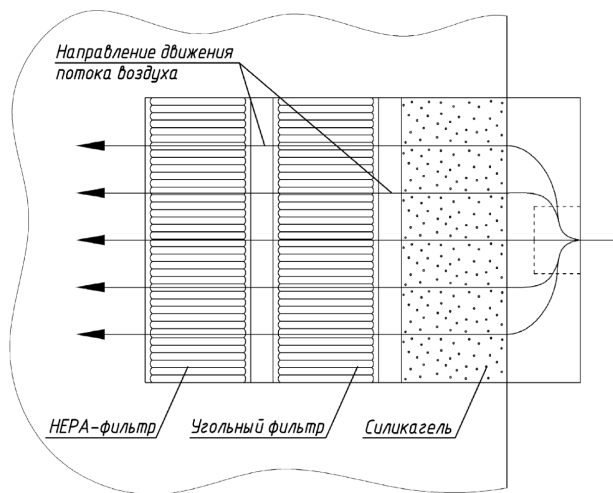


Рис. 1. Вариант системы фильтрации воздуха на базе высокоэффективных фильтрующих элементов

Вариант системы фильтрации воздуха на базе высокоэффективных фильтрующих элементов имеет ряд преимуществ:

- высокая степень очистки воздуха;
- не требуется обслуживание во время транспортировки;
- простота реализации и высокая надёжность [1].

Для обеспечения максимальной герметичности СК при многократном его открытии/закрытии и, соответственно, поддержания высокой чистоты воздуха внутри СК при транспортировании в нём АКА создан узел герметизации стыка крышки с основанием СК (рис. 2, 3), состоящий из основного монолитного уплотнителя и дополнительного полого уплотнителя, при этом крышка однозначно позиционируется относительно основания посредством предусмотренных в нём позиционирующих элементов [2]. Узел герметизации стыка крышки с основанием СК защищён патентом России № 2530195.

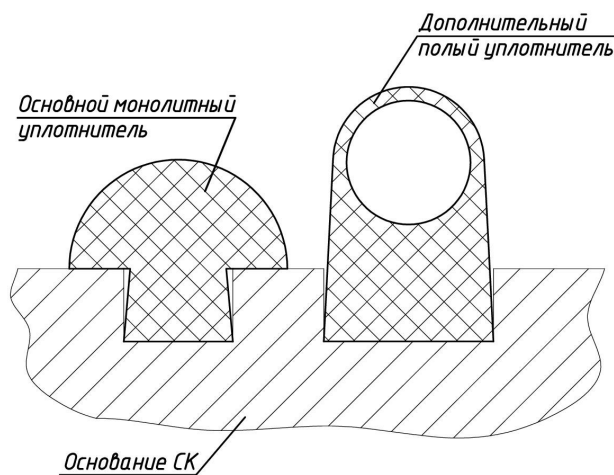


Рис. 2. Узел герметизации в нерабочем состоянии

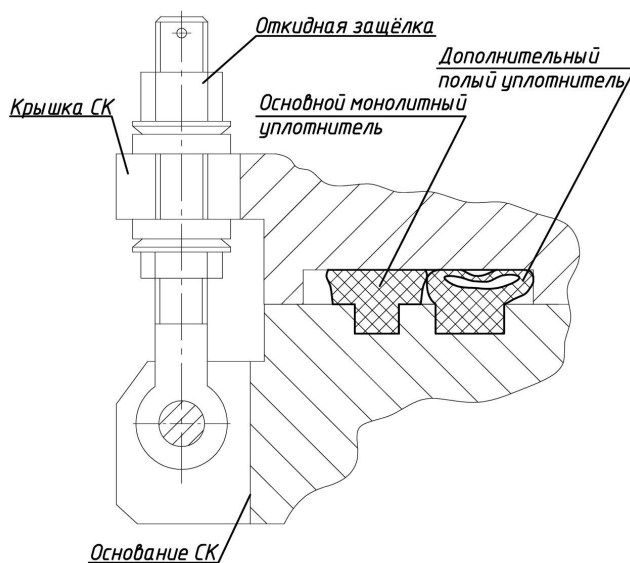


Рис. 3. Узел герметизации в рабочем состоянии

Защита АКА от воздействия динамических нагрузок обеспечивается соблюдением заданного скоростного режима (например, автомобильным транспортом по дорогам I–III категорий со скоростью не более 60 км/ч и (или) по дорогам IV–V категорий со скоростью не более 20 км/ч) или применением в конструкции СК виброзащитных средств, например, амортизационной платформы. Размещение амортизационной платформы внутри СК является оптимальным, так как в случае использования внешней системы амортизации увеличивается масса изолируемого объекта и, как следствие, требуется увеличение несущей способности системы амортизации, также сужается спектр возможных вариантов крепления СК на транспортных средствах.

Наиболее эффективным способом защиты АКА от негативного воздействия динамических нагрузок, возникающих при транспортировании, является применение в конструкции СК амортизационных платформ на базе тросовых амортизаторов (рис. 4) с низкой собственной частотой (5–20 Гц). Применение

тросовых амортизаторов в системе амортизации СК является оптимальным решением и выбрано по ряду преимуществ:

- эффективное демпфирование динамических нагрузок в диапазоне частот до 12 Гц;
- высокая надежность.

Отработанные в АО «ИСС» алгоритмы создания систем амортизации обеспечивают получение стабильных параметров и показателей надёжности и качества для систем с несущей способностью одного тросового амортизатора до 250 кг [3].

Оптимальным вариантом конструктивного исполнения амортизационных платформ является расположение тросовых амортизаторов с каждой боковой стороны амортизационной платформы для компенсации и равномерного распределения сил, действующих на систему амортизаторов. Конструктивная особенность амортизационных платформ заключается в том, что тросовые амортизаторы закреплены на раме и основании СК таким образом, что угол между линией, проходящей через точки крепления, равен  $45^\circ$  относитель-

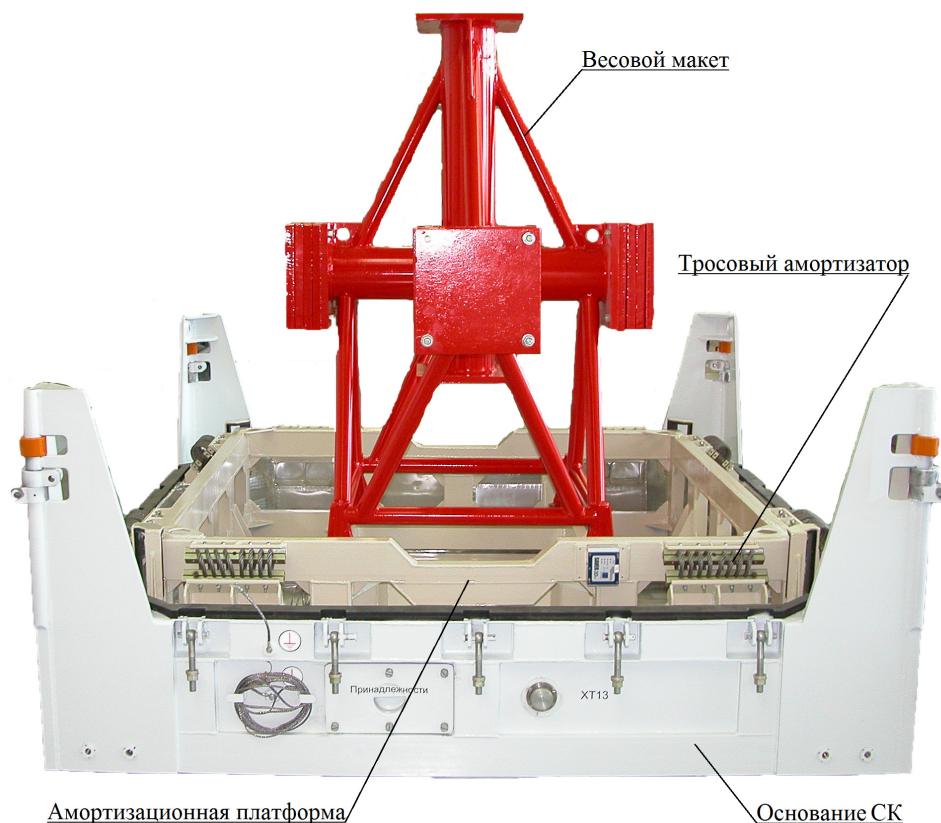


Рис. 4. Общий вид амортизационной платформы

но вертикальной оси, для более эффективно-го демпфирования динамической нагрузки по трём взаимно перпендикулярным направлениям за счёт увеличения рабочей области канатов тросовых амортизаторов [4].

Таким образом, предпочтительный вариант конструктивного исполнения СК включает в себя:

- корпус, выполненный из теплоизоляционных панелей;
- исполнительные устройства СОТР, размещенные внутри СК;
- пассивную систему фильтрации воздуха на базе высокоэффективных фильтрующих элементов;
- внутреннюю амортизационную платформу на базе тросовых амортизаторов.

Описанный вариант конструктивного исполнения СК соответствует современному уровню развития техники и позволяет создавать СК любых размеров в короткие сроки. Данный вариант конструктивного исполнения СК обеспечивает заданные комфортные условия для АКА в течение длительного воздействия негативных факторов окружающей среды.

## Библиографические ссылки

1. Обеспечение требуемого класса чистоты воздуха внутри транспортных контейнеров в процессе транспортирования и хранения космических аппаратов / А. В. Цайтлер [и др.] // Решетнёвские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. Красноярск, 2014. С. 445–447.
2. Узел герметизации стыка разъёмных соединений : патент № 2530195 РФ / С. Н. Лозовенко [и др.]. М. : ФИПС, 2013. 8 с.
3. О создании амортизационных платформ для защиты космических аппаратов от воздействия динамических нагрузок в процессе их транспортирования / С. Н. Лозовенко [и др.] // Материалы XXXVIII Академических чтений по космонавтике ; МВТУ им. Баумана. М., 2014. С. 348–349.
4. Некоторые аспекты конструктивного исполнения, технологии изготовления, испытаний и эксплуатации амортизационных платформ для закрепления автоматических космических аппаратов в транспортном контейнере / С. Н. Лозовенко [и др.] // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнёва. Спец. вып. 6 (52). Красноярск, 2013. С. 173–179.

*Статья поступила в редакцию  
06.08.2015 г.*