

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВМЕСТИМОСТИ МЕХАНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Механическая совместимость космического аппарата (КА) с механо-технологическим оборудованием (МТО) технического комплекса (ТК) (далее по тексту – механическая совместимость) – это эксплуатационно-техническая характеристика (ЭТХ) космического комплекса (КК), принадлежащая к классу ЭТХ, определяющих совместимость КА с сопрягаемыми объектами эксплуатации в составе КК, в том числе: радиочастотную, электромагнитную, химическую и др.

Основной целью задания требований по ЭТХ «механическая совместимость» является достижение высокого уровня приспособленности КА к наземной эксплуатации на ТК при безусловном выполнении требований к его тактико-техническим характеристикам.

В настоящее время актуальной проблемой наземной эксплуатации КА на ТК является проблема создания моделей, имитирующих на ранних этапах проектирования КА (в том числе, на этапе разработки технического задания на проектирование КА) воздействие МТО на КА. Для создания таких моделей нужна методология (комплекс методов, моделей и т.д.), увязывающая процесс структурного и параметрического синтеза КА и процесс обеспечения его механической совместимости с МТО в единый процесс системного проектирования, в рамках которого выполняются требования по обеспечению устойчивости и безотказного функционирования КА на основе полного учета условий эксплуатации КА.

Один из вариантов подобной методологии излагается в [1, 2].

В [1] излагается общая концепция метода формального описания (МФО) механической совместимости. МФО рассматривает ЭТХ «механическая совместимость» как системную характеристику, которой может обладать подсистема «КА + МТО» в составе КК в целом, но не могут обладать ни КА, ни МТО, если их рассматривать отдельно друг от друга. Чтобы КА и МТО могли образовать систему, они должны иметь в своем составе компоненты более высоких уровней иерархии, с помощью которых обеспечивается их механическая совместимость друг с другом.

ЭТХ «механическая совместимость» имеет следующие особенности:

-- это характеристика, которая не поддается непосредственному наблюдению и количественному измерению;

-- это характеристика, определяемая и исследуемая только при помощи анализа, при этом такого анализа, который охватывает подсистему «КА + МТО» в рамках системы более высокого уровня иерархии и организации;

-- это характеристика, которая может иметь только качественную (например, «механическая совместимость имеется» - «механическая совместимость отсутствует») меру оценки.

МФО сводит механическое взаимодействие между КА и МТО в подсистеме «КА + МТО» к взаимодействию ограниченного количества элементарных кинематических пар (ЭКП), в которых одно звено принадлежит КА, а другое - МТО. В каждой ЭКП звенья сопрягаются между собой по сопряжениям типа «отверстие - вал», «гайка - винт» и т.д., которые могут быть формально описаны при помощи ограниченного множества элементарных размерных цепей (ЭРЦ). Все ЭРЦ являются кратчайшими (состоят из двух звеньев и замыкающего звена), а замыкающий параметр в каждой ЭРЦ отражает характер сопряжения.

В качестве исходной единицы анализа оценки механической совместимости в подсистеме «КА + МТО» вводится понятие «элементарная механическая совместимость» (ЭМхС). ЭМхС рассматривается как функциональная зависимость между двумя сопрягаемыми параметрами в ЭРЦ, в которой параметр КА выступает в роли аргумента, а параметр МТО в роли значения функции по заданному аргументу. В общем случае, ЭМхС представляет собой характеристику качественного («да - нет») типа, мерой оценки которой является однозначное соответствие или несоответствие значений двух сопряженных между собой параметров, один из которых принадлежит КА, а другой - МТО, заданному характеру сопряжения (значению замыкающего звена ЭРЦ). Значения параметров КА и замыкающего звена ЭРЦ определяются результатами процесса параметрического синтеза КА и задаются в виде конкретных конструктивных размеров, выраженных в метрической форме. Значение параметра МТО, входящего в ЭРЦ, вычисляется с помощью составления и решения уравнения из трех членов, в котором значения двух членов известны, а третий член является результатом вычисления уравнения.

Таким образом, МФО позволяет:

понимать под механической совместимостью в системе «КА + МТО» некоторую интегральную характеристику качественного («да - нет») типа, отражающую факт одновременного наличия всех ЭМхС, которые могут иметь место в системе «КА + МТО» во время проведения процесса наземной подготовки КА на ТК;

формально представить механическую совместимость в виде системы разрешимых уравнений или в виде таблиц с поименованными столбцами, которые легко обрабатываются средствами вычислительной техники с помощью простых стандартных процедур.

В [2] рассматривается магематическая модель структурного и параметрического синтеза механической совместимости МТО ТК и КА.

В качестве объекта исследования рассматривается модель системы эксплуатации (СЭ) КК U_T как системы более высокого уровня иерархии и организации по отношению к подсистеме «КА + МТО».

$$U_T = \langle X_T, A_T, Y_T, R_T \rangle,$$

где X_T – комплекс многоцелевых задач (МЦЗ), определяемых ТЗ;

A_T – КА типа A_T как объект эксплуатации (ОЭ) в составе U_T , формально рассматриваемый как множество ресурсов типа A_T , привлекаемых к выполнению МЦЗ X_T ;

Y_T – совокупность сопрягаемых с КА ОЭ в составе U_T , определяющая многообразие целей и формально рассматриваемая как множество ресурсов типа Y_T , привлекаемых к выполнению МЦЗ X_T ;

R_T – система структурных отношений, определяющих взаимодействие между X_T , A_T и Y_T в составе U_T (в том числе – отношения механического взаимодействия и механической совместимости между A_T и Y_T).

В системе U_T имеют место следующие функциональные зависимости:

$$X_T = f_0(A_T, Y_T, R_T); A_T = f_1(X_T, Y_T, R_T); Y_T = f_2(X_T, A_T, R_T); R_T = f_3(X_T, A_T, Y_T).$$

Математическая модель СЭ КК представляет собой алгебраическую систему

$$Z_T = \langle M_{Z_T}, \Omega_{Z_T} \rangle,$$

в которой M_{Z_T} – основное множество системы Z_T ,

$$M_{Z_T} = \langle X_T, A_T, Y_T, R_T \rangle,$$

Ω_{Z_T} – система операций (сигнатура), определенных на основном множестве M_{Z_T} .

Операция представляет собой основной инструмент, в соответствии с которым осуществляется структурный и параметрический синтез элементов системы на всех уровнях иерархии ее структуры. Сигнатура Ω_{Z_T} также предусматривает композицию операций, представляющую собой основной инструмент, в соответствии с которым в системе «КА + МТО» осуществляется моделирование отношений, интерпретирующих механическое взаимодействие и механическую совместимость между элементами системы на всех уровнях иерархии ее структуры.

Декомпозиция подсистемы «КА + МТО» в составе системы U_T формально сводится к выполнению комплекса операций, определяемых сигнатурой Ω_{Z_T} , в результате чего в составе системы Z_T выделяется некоторая подсистема Z_T , эквивалентная исходной системе Z_T в рамках отношений механической совместимости:

$$Z_T = \langle M_{Z_T}, \Omega_{Z_T} \rangle, Z_T \subseteq Z_T,$$

$$M_{Z_T} = \langle X_T, A_T, Y_T, R_T \rangle, M_{Z_T} \subseteq M_{Z_T},$$

X_T, A_T, Y_T, R_T – компоненты подмножества M_{Z_T} , определяющие механическую совместимость между КА и МТО в составе подсистемы «КА + МТО»,

$$X_T \subseteq X_T, A_T \subseteq A_T, M_{Z_T} \subseteq M_{Z_T}, M_{Z_T} \subseteq M_{Z_T}.$$

Основное множество M_{Z_T} представляет собой трехуровневую иерархическую систему множеств, а сигнатура Ω_{Z_T} допускает проведение на основном множестве M_{Z_T} заданных операций на всех уровнях иерархии. Поэтому становится возможным:

- проникнуть вглубь структуры подсистемы «КА + МТО» и исследовать условия, при которых в ней в зависимости от уровня иерархии структуры возникают механическое взаимодействие и механическая совместимость между ее составными частями;
- объединить в рамках единой математической модели процессы структурного и параметрического синтеза механической совместимости между составными частями подсистемы «КА + МТО» в составе СЭ КК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шуляк Ю.П. Метод формального описания совместимости механо-технологического оборудования технических комплексов с космическими аппаратами //Сборник научных трудов ФГУП ИИРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». – Самара, 2004. – С. 99-106.
2. Шуляк Ю.П. Математическая модель структурного и параметрического синтеза совместимости механо-технологического оборудования технических комплексов с космическими аппаратами //Сборник научных трудов ФГУП ИИРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». – Самара, 2004. – С. 106-115.