

МЕТОД КОНТРОЛЯ НАД ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ТОЧНОСТИ ЕДИНСТВА БАЗ ИЗДЕЛИЙ КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

© 2020

В. Д. Еленев доктор технических наук, профессор кафедры космического машиностроения, директор института авиационной техники, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;
elenev.vd@ssau.ru

Ю. П. Шупляк сотрудник кафедры космического машиностроения; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва;
yuashuplyak@mail.ru

Рассмотрено обеспечение точности единства баз изделий космического комплекса (изделий) на различных этапах проектирования. Показано, что основная проблема заключается в том, что точность единства баз изделий в составе комплекса обеспечивается в рамках внутренней структуры изделия. Предложен метод контроля над обеспечением точности единства баз изделий в составе комплекса на различных этапах проектирования в рамках их внешних структур. Метод реализуется с помощью введения системы координат комплекса в схему комплекса изделий, выполняющих взаимосвязанные эксплуатационные функции. В рамках метода вводятся понятия и определения, с помощью которых становится возможным формально представлять точность единства баз изделий в виде множества пар точек, на которые замыкаются соответствующие аннотированные размеры. Показана графическая интерпретация метода на этапах разработки технических заданий изделий. Приведён пример возможной реализации метода на этапе разработки конструкторской документации.

Космический комплекс; базы; идентификация; интерфейс; аннотированный размер формализованный; геометрический элемент первичный; геометрическая форма первичная; система координат комплекса.

Цитирование: Еленев В.Д., Шупляк Ю.П. Метод контроля над обеспечением точности единства баз изделий космического комплекса при их совместном функционировании на различных этапах проектирования // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2020. Т. 19, № 1. С. 28-40. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-1-28-40

Введение

Настоящая работа относится к проблематике обеспечения единства баз изделий космического комплекса (КК) на этапах разработки технического задания (ТЗ) и конструкторской документации (КД).

Известно, что все изделия космического комплекса (ИКК) на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) вступают во взаимодействие друг с другом. При взаимодействии ИКК образуют друг с другом систему, которая (если отбросить специфику космической тематики) представляет собой «комплекс», рассматриваемый в ГОСТ 2.101-2016 «ЕСКД. Виды изделий» [1] как: «Два и более специфицированных изделия, не соединённые на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций». В то же время разработка КД на комплекс не предусмотрена никакими стандартами. Как следствие схема совместного функционирования двух ИКК при выполнении ими взаимосвязанных эксплуатационных функций может официально присутствовать только в рамках ТЗ

на их разработку или в виде проектных документов, не имеющих статуса нормативных документов.

Характерной особенностью любого ИКК как составной части (СЧ) в составе КК является наличие у него внешней и внутренней структур. С точки зрения методов функционального подхода, рассматриваемого в монографии [2], внешняя структура определяет функцию ИКК как элемента в составе системы более высокого уровня иерархии (комплекса), проявляющую себя через призму его отношений к другим ИКК в составе комплекса. Однако реализовать эту функцию ИКК может только в рамках своей внутренней структуры. В этом заключается принцип единства функции и структуры любой сложной технической системы типа КК.

Актуальность проблемы обеспечения единства баз ИКК заключается в следующем. В настоящее время все известные методы обеспечения единства баз изделий на различных этапах ЖЦ рассматриваются в рамках их внутренних структур. Поэтому они являются недостаточно объективными. Необходима разработка новых методов, обеспечивающих на этапах разработки ТЗ и КД единство баз ИКК в рамках их внешних структур. Работа посвящена разработке метода контроля над обеспечением точности единства баз изделий в составе комплекса на различных этапах проектирования в рамках их внешних структур (метода).

Постановка задачи

Под обеспечением единства баз в настоящей работе будем понимать обеспечение точности, с которой происходит взаимная стыковка двух ИКК друг с другом в составе комплекса на этапах разработки ТЗ и КД. Основным критерием оценки единства баз будем рассматривать точность линейных размеров, по которым эти базы стыкуются друг с другом и размещаются в пространстве относительно друг друга (далее по тексту – точность).

Нормативно-техническая документация (НТД) рассматривает много определений точности. В настоящей работе под точностью будем рассматривать следующее определение: «Точность геометрического параметра – степень приближения действительного значения геометрического параметра к его номинальному значению».

Основная проблематика вопросов, рассматриваемых при разработке метода обеспечения единства баз ИКК на этапах разработки ТЗ и КД в рамках внешних структур (метода), заключается в следующем.

В настоящее время разработка всех ИКК ведётся в рамках методологии нисходящего проектирования с использованием компьютерных технологий. В соответствии с НТД для каждого ИКК разрабатываются электронные модели изделий (ЭМИ). Однако требованиями ГОСТ 2.052-2015 «ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения» [3] определяются требования к разработке ЭМИ только в рамках собственных систем координат и внутренней структуры ИКК. С точки зрения требований по точности стандарт на разработку ЭМИ предполагает внесение этих требований в ЭМИ в виде множества аннотированных размеров (АР), которые вносятся в ЭМИ в ручном режиме для каждого отдельно рассматриваемого размера. Любой АР, вводимый в ЭМИ, ассоциируется с гранями, поверхностями, осями и т.д. номинальной геометрии ЭМИ и автоматически становится просто номинальным размером (размером без допусков). Аннотированным же размер становится только после того, как в результате индивидуальной процедуры к его номинальному значению искусственно добавляются допуски. При этом вся вручную введённая в состав ЭМИ информация по допускам становится недоступной для аналитической обработки компьютерными средствами, а сам АР не становится объектом автоматической корректировки в составе ЭМИ в случае её корректировки.

Одной из главных причин является отсутствие средств формализованного представления АР. Необходимо знать уравнения поверхностей соответствующих базовых элементов для каждого АР, что является достаточно проблематичным.

Далее необходимо остановиться на том факте, что согласно общим техническим требованиям в составе КК вводится разделение ИКК на две группы:

- объекты эксплуатации (ОЭ) одноразового использования;
- технические средства эксплуатации (ТСрЭ) многократного использования, предназначенные для совместной эксплуатации с соответствующей группой ОЭ.

С точки зрения требований по точности единства баз:

- каждый экземпляр ОЭ, серийно изготовленный на заводе-изготовителе, имеет собственные действительные размеры, выполненные в пределах назначенных допусков;

- ТСрЭ, совместно эксплуатируемое с любым серийным ОЭ, изготавливается один раз и имеет собственные действительные размеры, выполненные в пределах своих допусков.

Из этого следует, что при рассмотрении вопросов совместного функционирования ИКК в составе комплекса (с учётом разделения их на группы ОЭ и ТСрЭ) единство баз совместно функционирующих ОЭ и ТСрЭ должно рассматриваться не для одного конкретного сочетания их допусков, а с учётом всего возможного диапазона допусков.

Все эти проблемы необходимо учитывать при разработке метода. Для их решения необходимо создавать новый понятийный и методический аппарат, в котором все вводимые понятия и определения исключают возможность их неоднозначного понимания; не вступают в противоречие друг с другом; не противоречат существующей НТД.

Формализация аннотированного размера

Дадим краткую нотацию (описание структуры) понятию «размер», поскольку все требования по точности (в том числе – на этапах разработки ТЗ и КД) реализуются именно через это понятие. В общем случае любой размер, проставляемый на чертеже или любом графическом документе, будем рассматривать как систему атрибутов, которая включает в себя:

- «размерное число», которое определяет величину изображённого изделия или его СЧ;

- «размерную линию», которая (при нанесении размера прямолинейного отрезка) проводится параллельно измеряемому прямолинейному отрезку и с обоих концов ограничивается стрелками;

- две «выносные линии», которые проводят перпендикулярно к «размерной линии».

Любой размер включает в себя все перечисленные выше атрибуты, причём атрибутами «размерная линия» и «выносные линии» свободно манипулируют в зависимости от места расположения рассматриваемого размера на чертеже. В то же время атрибут «размерное число» остаётся неизменным, поскольку представляет собой количественную характеристику конкретно рассматриваемого размера. Поэтому размерное число является отличительным признаком данного размера от других размеров и представляет собой числовое значение линейной величины в выбранных единицах измерения.

При нанесении размеров на ЭМИ размерные линии ассоциативно связываются с какими-либо гранями, поверхностями, осями или точками ЭМИ и тянутся вслед за выносными линиями в зону плоскости обозначений и указаний, в рамках которой располагаются все негеометрические атрибуты ЭМИ. При этом расстояние между стрелками

размерной линии автоматически отражает только номинальное значение расстояния между соответствующими гранями, поверхностями и т.д.

Как показал анализ НТД, имеющиеся средства представления точности ИКК на этапе разработки КД позволяют описывать точность ИКК с помощью обычных АР, но этих средств недостаточно для того, чтобы описывать точность ИКК на этапе разработки ТЗ.

Введём понятие о геометрическом элементе первичном (ГЭП). В качестве ГЭП будем рассматривать идентифицированную точку. Будем считать, что ГЭП как точка представляет собой абстрактный «нульмерный» объект, не имеющий ни частей, ни измерительных характеристик. Благодаря таким качествам в одной и той же точке пространства может размещаться не одна, а множество идентифицированных точек.

Рассмотрим трёхмерное пространство, на котором определена система, состоящая из двух идентифицированных ГЭП. Введём прямоугольную систему координат и расположим её в пространстве таким образом, чтобы линия, соединяющая два идентифицированных ГЭП, являлась параллельной двум её координатным плоскостям, а на третьей координатную плоскость она проецировалась бы в точку. Зафиксируем координаты каждой идентифицированной ГЭП относительно введённой системы координат.

Назовём такую систему из двух взаимосвязанных идентифицированных ГЭП, положение каждого из которых определяется тремя координатами относительно введённой прямоугольной системы координат, геометрической формой первичной (ГФП).

Введём в рассмотрение понятие об «аннотированном размере формализованном», которому дадим следующую интерпретацию: «Аннотированный размер формализованный (АРФ) – это размер, замыкающийся своими выносными линиями на ГФП, у которого:

- размерная линия параллельна линии, соединяющей точки, принадлежащие ГФП;
- размерное число имеет нормированное значение;
- структуру размерного числа можно формально записать в виде кортежа из трёх атрибутов, в котором первый атрибут представляет собой значение номинального размера, а второй и третий – значения допусков (верхнего и нижнего)».

Отметим, что АРФ может быть определён только для конкретной ГФП, соответствующим образом размещённой в рамках прямоугольной системы координат.

Концепция метода

Метод предполагает выведение всей неграфической (атрибутивной) информации, связанной с точностью, за рамки ЭМИ (проектной или конструкторской). За рамками номинальной геометрии такую информацию становится возможным подвергать аналитической обработке, используя с этой целью вновь введённые понятия, а также существующий математический аппарат и возможности и средства современных компьютерных технологий.

Концепция рассматривает единство баз ИКК в составе комплекса в рамках единства внешней и внутренней структур ИКК при условии, что требования по точности обеспечения единства баз назначаются на этапе разработки ТЗ в рамках его внешней структуры, а реализуются эти требования на этапе разработки КД в рамках его внутренней структуры.

Под комплексом далее будем понимать систему «базовое ИКК + функционально зависимое ИКК», в которой роль базового ИКК исполняет ОЭ, а роль функционально зависимого ИКК – соответствующее ТСрЭ. Проблему обеспечения единства баз комплекса будем решать за счёт создания ТСрЭ, для которого в ТЗ на базовое ИКК опреде-

лена функция. Функцию ТСрЭ будем рассматривать как реализацию требований по обеспечению единства баз, назначенных в ТЗ на базовое ИКК в виде множества АР.

Разработка частного ТЗ (ЧТЗ) на создание соответствующего функционально зависимого ИКК (ТСрЭ) рассматривается как этап внешнего проектирования ТСрЭ, на котором все требования, предъявляемые к нему со стороны базового ИКК, включаются в ЧТЗ как множество аргументов. Реализация требований ЧТЗ на этапе разработки КД рассматривается как этап внутреннего проектирования ТСрЭ.

Геометрическая интерпретация метода показана на рис. 1, а, б, в.

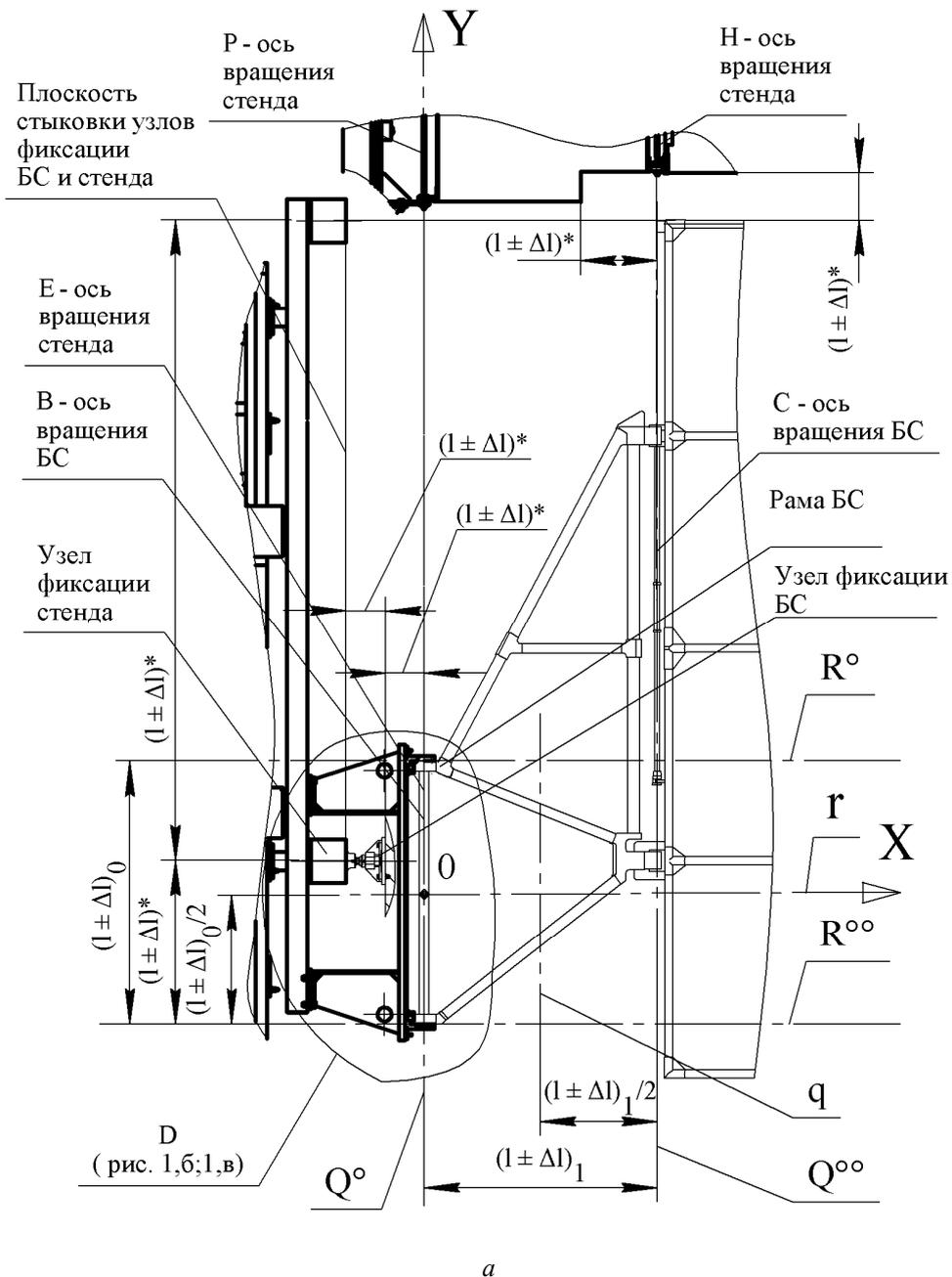
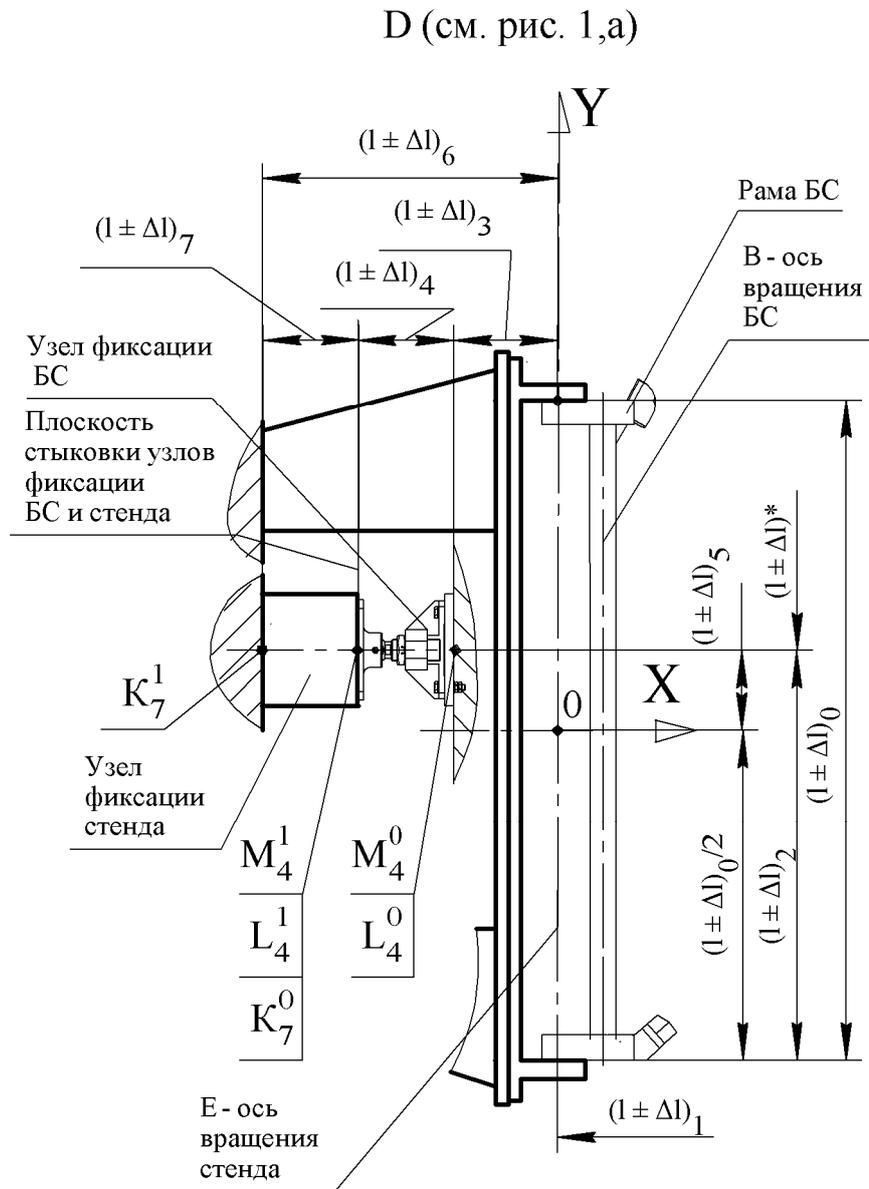


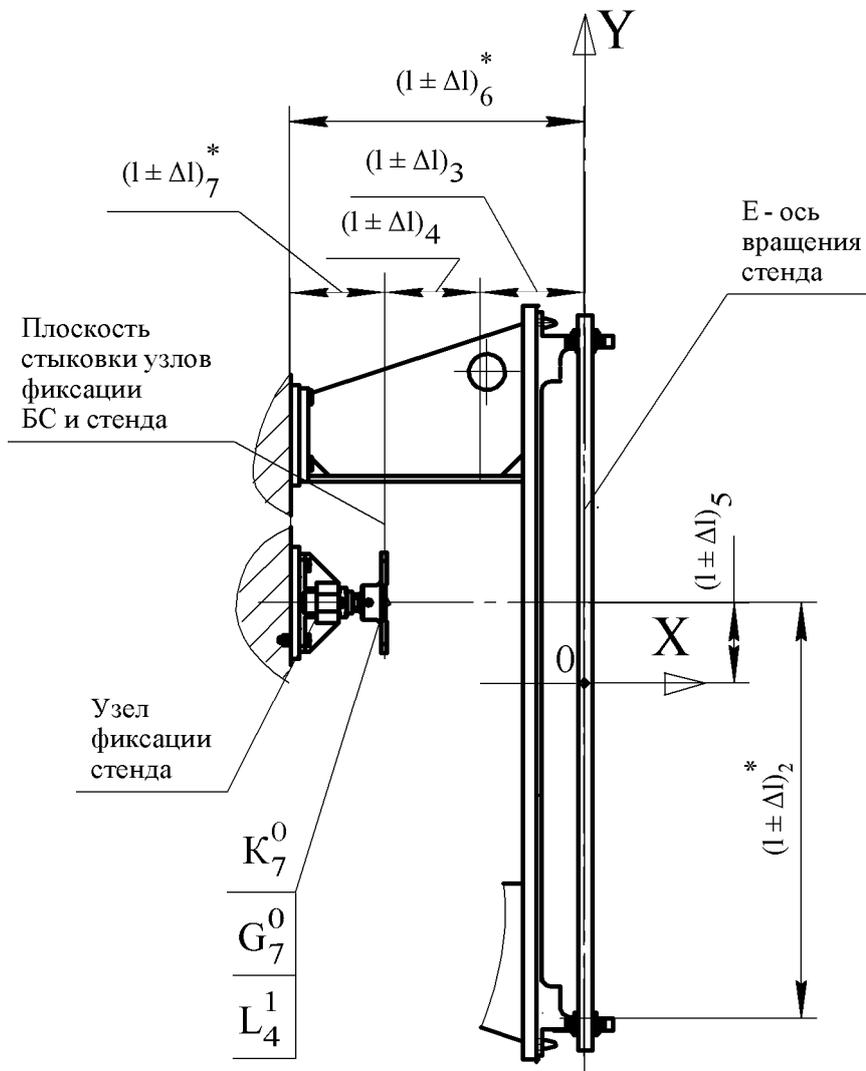
Рис. 1. Геометрическая интерпретация метода на различных этапах проектирования:
 а – идентификация абсолютной системы координат комплекса «БС+Стенд» на этапах разработки ТЗ на БС и ЧТЗ на стенд (см. также с. 33 и 34)



б

Рис. 1. Продолжение: б – идентификация ГЭП БС, стенда и интерфейса в составе комплекса «БС+Стенд» на этапе разработки ТЗ на стенд

D (см. рис. 1,а)



в

Рис. 1. Окончание: в – пример реализации метода на этапе разработки КД на стенд

На рис. 1, а показана ЭМИ схемы совместного функционирования ИКК в составе комплекса «базовое ИКК + функционально зависимое ИКК» (далее по тексту – схемы), взятая из ТЗ на базовое ИКК. В составе комплекса в качестве базового ИКК рассматривается панель батареи солнечной (БС), а в качестве функционально зависимого ИКК – стенд раскрытия БС. Данная схема подробно рассмотрена в [4].

Далее ЭМИ схемы, показанной на рис. 1, будем рассматривать как ЭМИ схемы в составе комплекса «БС + Стенд» на этапах разработки ТЗ и КД. На всех рисунках ЭМИ БС изображается тонкими линиями, а ЭМИ стенда – основными.

Предполагается, что ЭМИ стенда и БС, рассматриваемые отдельно друг от друга, выполнены в рамках собственных систем координат, но в рамках схемы они показаны в рамках системы координат комплекса, ориентация которой в пространстве соответствует требованиям ГОСТ 2.052-2015 [3]. В рассматриваемом случае ориентация системы координат комплекса, показанная на рис. 1, *a*, такова, что схема проецируется на экран монитора (на плоскость рисунка) в натуральную величину в плоскости координат комплекса XOY .

Отметим, что показанные на рис. 1 графические материалы являются соответствующими фрагментами ЭМИ схемы и приведены исключительно для наглядности текста с целью сокращения его объёма. Они не являются чертежами и не предполагают полноты предоставляемой информации. С целью упрощения излагаемых материалов и сокращения объёма графических материалов все материалы рассматриваются в рамках двумерной системы координат.

Требования по точности представлены на рис. 1, *a* в форме АР типа $(l \pm \Delta l)^*$, которые относятся к БС. Это далеко не все АР, отражающие требования по точности исполнения БС в составе комплекса «БС + Стенд». По этой причине все показанные на схеме АР типа $(l \pm \Delta l)^*$ обезличены. В дальнейшем часть этих размеров будет идентифицироваться. При этом каждый вновь идентифицированный номер размера далее сохраняется на всех последующих рисунках, а другие размеры типа $(l \pm \Delta l)^*$ считаются реально существующими размерами.

Идентифицируем на рис. 1, *a* систему координат комплекса «БС + Стенд». Вариантов идентификации может быть много, рассмотрим один из них. Согласно НТД представим ЭМИ в качестве полного ГЭ, определённого чертежом. В этом случае начало системы координат комплекса можно рассматривать в качестве центра, который произведён от нескольких полных ГЭ. Идентификацию системы координат комплекса выполним следующим образом.

На множестве размеров типа $(l \pm \Delta l)^*$ идентифицируем относительно баз БС размеры $(l \pm \Delta l)_0$ и $(l \pm \Delta l)_1$ как это показано на рис. 1, *a*. В рамках вспомогательной геометрии (ГОСТ 2.052-2015 [3]) ЭМИ схемы выполним следующие действия. На противоположных концах оси B панели БС, замыкающихся на идентифицированный аннотированный размер $(l \pm \Delta l)_0$, построим две вспомогательные параллельные плоскости R° и R° , проецирующиеся на плоскость рисунка в виде двух горизонтальных параллельных прямых. Через оси вращения E , D стенда и B панели БС, а также через оси вращения H стенда и C панели БС соответственно построим две вспомогательные параллельные плоскости Q° и Q° , проецирующиеся на плоскость рисунка в виде двух вертикальных параллельных прямых.

Согласно НТД будем рассматривать:

– плоскости R° и R° – как размерный элемент (РЭ) типа «две параллельные плоскости» (типа «П»), который обозначим как РЭ R типа «П», который:

а) определяется «местным» размером $(l \pm \Delta l)_0$;

б) имеет производный геометрический элемент (ПрГЭ) – плоскость симметрии r , которая проецируется на плоскость рисунка в виде горизонтальной прямой и делит значение местного размера $(l \pm \Delta l)_0$ пополам;

– плоскости Q° и Q° – как РЭ Q типа «П», который:

а) определяется местным размером $(l \pm \Delta l)_1$;

б) имеет ПрГЭ – плоскость симметрии q , которая проецируется на плоскость рисунка в виде вертикальной прямой, делящей значение местного размера $(l \pm \Delta l)_1$ пополам.

Идентифицируем на ЭМИ схемы систему координат комплекса «БС + Стенд» для этапов разработки ТЗ и КД следующим образом.

Введём в модельном пространстве ЭМИ схемы некоторую прямоугольную правостороннюю систему координат $0(X, Y, Z)$ и разместим таким образом, чтобы её положение соответствовало положению, показанному на рис. 1 (ГОСТ 2.052-2015 [3]), т.е. плоскостью XOY , расположенной в плоскости экрана монитора (рисунка). Рассмотрим точку пересечения ПрГЭ r с плоскостью Q° , которые пересекаются друг с другом под прямым углом. Определим данную точку в качестве начала системы координат. Переместим начало системы координат $0(X, Y, Z)$ в эту точку пересечения ПрГЭ r с плоскостью Q° , сохранив её первоначальную ориентацию. Теперь оси B , E и P будут находиться на оси OY , а ось OX будет находиться в плоскости симметрии p .

Примем точку пересечения ПрГЭ r с плоскостью Q° за начало отсчёта системы координат и дадим ей название «абсолютная система координат комплекса» (АСК) $0(X, Y, Z)$.

Далее положение АСК $0(X, Y, Z)$ сохраняется для всех последующих этапов работы, а все АР типа $(l \pm \Delta l)^*$ на ЭМИ схемы могут быть пересчитаны относительно неё.

На рис. 1, б показан фрагмент схемы комплекса «БС + Стенд», на котором идентифицирована АСК $0(X, Y, Z)$, скопированный из ТЗ на БС и введённый в состав ЧТЗ на стенд. Все требования по точности относятся к БС и соответствуют требованиям, показанным на рис 1, а. Помимо размеров $(l \pm \Delta l)_0$, $(l \pm \Delta l)_1$ идентифицируем относительно баз БС размеры $(l \pm \Delta l)_2$, $(l \pm \Delta l)_3$, $(l \pm \Delta l)_4$ и $(l \pm \Delta l)_5$.

На рис. 1, б в первую очередь интересуют конкретные точки, принадлежащие комплектам баз (КБ) БС и стенда, которые можно идентифицировать и однозначно определить их координаты относительно АСК $0(X, Y, Z)$.

Здесь и далее под КБ будем понимать две сопряжённые друг с другом базы, одна из которых принадлежит БС, а другая – стенду.

Так рама БС и кронштейн стенда сопрягаются друг с другом по двум КБ, расположенным на расстоянии $(l \pm \Delta l)_0$ друг от друга и образуют между собой подвижную кинематическую пару. При этом каждый КБ пересекается осями B панели БС и E стенда в точке пространства, в которой одновременно находятся две сопряжённые друг с другом точки, одна из которых принадлежит БС, а другая – стенду. На рис. 1, б показан КБ, у которого базы узлов фиксации БС и стенда состыкованы и образуют друг с другом неразъёмное соединение. Данный КБ пересекается осевой линией, проходящей через оси узлов фиксации БС и стенда, и образует в другой точке пространства две другие сопряжённые друг с другом точки, одна из которых принадлежит БС, а другая – стенду.

Для обоих видов КБ отметим следующее:

– в одной точке пространства может находиться множество сопряжённых точек, рассматриваемых как ГЭП и имеющих одинаковые координаты относительно АСК $0(X, Y, Z)$;

– ГЭП принадлежат соответствующим базам БС и стенда и (в условиях номинальной геометрии) являются объективной характеристикой этих баз, что позволяет замыкать на них соответствующий размер без потери информации по базам.

В работе рассмотрим только КБ, у которого базы узлов фиксации БС и стенда состыкованы и образуют друг с другом неразъёмное соединение.

Выполним для данного КБ идентификацию ГЭП для точек пересечения с осевыми линиями. Сама идентификация точек проводится с учётом ассоциированности базы с соответствующими АР.

Введём в рассуждения множество пар точек типа M_i^b , определяющих БС, в котором для каждой из точек:

– нижний индекс i указывает на индекс идентифицированного размера типа $(l \pm \Delta l)_i$;

– верхний индекс b указывает на порядковый номер (0 или 1) точки относительно места её размещения относительно размера типа $(l \pm \Delta l)_i$ (с разных сторон размера).

Как видно из рис. 1, б, после проведения идентификации имеем множество точек БС $\{M_4^0, M_4^1\}$, которые, в совокупности, можно рассматривать как ГФП. Для каждого ГЭП данной ГФП можно однозначно определить координаты относительно АСК $0(X, Y, Z)$. В свою очередь, ГФП замыкается на соответствующий АР и приобретает статус АРФ.

Введём в рассуждение понятие об «интерфейсе» как «общей границе» между двумя отдельными системами, через которую эти системы взаимодействуют друг с другом.

Будем считать, что в каждом КБ идентифицированные ГЭП, имеющие одинаковые координаты, не сливаются между собой в одну точку, а замыкаются друг на друга через интерфейс, сохраняя при этом свою уникальность.

Будем рассматривать интерфейс только в качестве компонента, ограничивающего в пространстве АСК $0(X, Y, Z)$ зону среды (в рассматриваемом случае – БС) с её внешней стороны. Это означает, что сначала определяются крайние точки баз БС, а затем к этим точкам с внешних сторон приписываются точки интерфейса. При этом точки БС и интерфейса будут иметь одинаковые координаты, а ни одна из точек, принадлежащих БС или стенду, не будет иметь возможности пересечь пространство через точку интерфейса.

Введём множество ГЭП, определяющих интерфейс. Это будет множество ГЭП типа L_i^b , в котором индексация ГЭП соответствует индексации точек БС. Как видно из рис. 1, б, это будет множество ГЭП $\{L_4^0, L_4^1\}$.

ГЭП M_4^0 и L_4^0 как точки, замыкающиеся на базу БС, далее не рассматриваются.

Определим координаты ГЭП M_4^1 L_4^1 относительно АСК $0(X, Y, Z)$. Это будут ГЭП с координатами $(-((l \pm \Delta l)_3 + (l \pm \Delta l)_4), 0)$.

Как видно из рис. 1, б, в рамках АСК $0(X, Y, Z)$:

– все АР и все базовые точки, ранее идентифицированные относительно баз БС, сохранили своё положение в пространстве, но теперь они стали идентифицированными относительно баз станда;

– все введённые ранее в рамках ТЗ на БС понятия о ГЭП, ГФП и АРФ сохраняются;

– на схеме появились дополнительные АРФ, связанные с введением требований по точности непосредственно к станду, которые идентифицированы как $(l \pm \Delta l)_6$, $(l \pm \Delta l)_7$.

Как видно из рисунка, система проставленных на нём размеров переопределена, т.е. на ней имеются размеры, которые с точки зрения правил нанесения размеров являются лишними, поскольку могут быть получены из других размеров (например – размер $(l \pm \Delta l)_7$).

Отметим, что настоящая работа не является методикой простановки размеров.

В данном случае $(l \pm \Delta l)_6$ и $(l \pm \Delta l)_7$ отсчитываются от разных баз станда, хотя они и находятся в одной плоскости. Размер $(l \pm \Delta l)_6$ является сборочным и относится к сборке кронштейнов станда, а размер $(l \pm \Delta l)_7$ относится к узлу фиксации станда.

Введём на рис. 1, б идентификацию ГЭП станда типа K_i^b , где нижний индекс i и верхний индекс b ГЭП соответствуют индексации для ГЭП типа M_i^b . Как видно из рис. 1, б, это будет множество ГЭП станда $\{K_7^0, K_7^1\}$.

Как и в отношении ГЭП БС M_4^0 и L_4^0 , ГЭП станда K_7^1 далее не рассматривается.

Определим координаты ГЭП K_7^0 относительно АСК $0(X, Y, Z)$: $(-((l \pm \Delta l)_3 + (l \pm \Delta l)_4), 0)$. Как видно из рис. 1, б, они совпадают с координатами ГЭП M_4^1 и L_4^1 .

Введём АСК $0(X, Y, Z)$, ГЭП M_4^1 , L_4^1 , K_7^0 и их координаты в ЧТЗ на станд.

Реализация метода на этапе разработки конструкторской документации

Реализацию представления точности единства баз на этапе разработки КД рассмотрим на примере, приведённом на рис. 1, в. С целью сокращения числа рисунков пример рассмотрим на совмещённом рисунке.

На рис. 1, в показан тот же самый, что и на рис. 1, б, фрагмент ЭМИ схемы, реализованный в соответствии с НТД в варианте КД на «узел» на этапе разработки КД на станд.

Известно, что действующая технология нисходящего проектирования предусматривает копирование номинальной геометрии ИКК из ТЗ в КД на ИКК (в том числе – на «узел») только по частям в контексте «сборки».

При этом:

– происходит автоматическое копирование в контексте «сборки» номинальной геометрии «узла» станда в рамках собственной системы координат станда;

– не предполагается копирования элементов БС.

По этой причине на рис. 1, в элементы БС (в том числе базы) отсутствуют.

Как видно из рис. 1, в, АР $(l \pm \Delta l)_2^*$, $(l \pm \Delta l)_6^*$ и $(l \pm \Delta l)_7^*$ сохранили своё значение, но теперь они стали идентифицированными относительно баз станда. Знак «*» при

каждом размере означает, что ему в соответствии с правилами нанесения размеров присваивается статус «присоединительного» размера. Вместе с тем, к перечисленным выше размерам не просто добавилась звёздочка.

Теперь эти размеры качественно изменились, поскольку они:

– из «неделимых» размеров в ТЗ на стенд в процессе разработки КД трансформируются в сборочные размеры;

– отсчитываются от других баз стенда в рамках его внутренней структуры;

– определяются в системе отсчёта собственной системы координат стенда.

Как видно из рис. 1, в, в процессе разработки КД все рассматриваемые на предыдущих рисунках части стенда приобретают собственные структуры. В рамках этих структур каждая входящая в соответствующую сборку деталь имеет собственные размеры с допусками. Поэтому все перечисленные выше «присоединительные» размеры представляют собой не размеры, подтверждающие единство баз БС и стенда, а размеры, накладывающие ограничения на соответствующие сборочные размерные цепи в рамках внутренней структуры стенда.

Эти ограничения могут быть либо подтверждены, либо не подтверждены, но о подтверждении единства баз БС и стенда здесь речи идти не может.

Теперь рассмотрим вариант обеспечения единства баз на этапе разработки КД с использованием предложенного метода.

На ЭМИ «узла» в ручном режиме идентифицируем АСК $0(X, Y, Z)$, ГЭП L_4^1 и K_7^0 , а также их координаты, перенеся их из ЧТЗ на стенд. Далее идентифицируем на ЭМИ «узла» ГЭП G_7^0 , который является базой для стыковки с БС в составе КБ.

Теперь остаётся сравнить координаты ГЭП G_7^0 с координатами ГЭП K_7^0 и L_4^1 .

В случае подтверждения единства баз номинальные значения координат ГЭП G_7^0 должны совпасть с соответствующими номинальными значениями координат ГЭП K_7^0 и L_4^1 , а все допуски деталей размеров стенда должны охватывать диапазон допусков для ГЭП K_7^0 и L_4^1 .

Заключение

Предложенный метод не противоречит требованиям НТД и не требует какой-либо адаптации к ней.

Введение АСК $0(X, Y, Z)$ и нового понятийного аппарата позволяет ввести элементы внешней структуры базового ИКК в состав КД на разрабатываемое функционально зависимое ИКК в форме нейтральных точек интерфейса. При наличии соответствующей методики обеспечения единства баз метод позволит осуществить контроль над обеспечением единства баз не только заинтересованными сторонами, но и третьей (аудиторской) стороной.

Предложенный метод требует разработки специальной методики идентификации точек (по типу методики простановки размеров). Метод предлагает проведение соответствующего размерного анализа точности обеспечения единства баз.

Библиографический список

1. ГОСТ 2.101-2016. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды изделий (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.
2. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании. Новосибирск: Наука, 1982. 255 с.

3. ГОСТ 2.052-2015. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

4. Шупляк Ю.П., Сороколетов В.И. Экспериментальное подтверждение заданных характеристик батареи солнечной на этапах изготовления и наземной эксплуатации // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 4 (35). С. 124-133.

CONTROL OVER MAINTAINING ACCURACY OF INTEGRITY OF REFERENCE SURFACES OF SPACECRAFT COMPONENTS IN THEIR JOINT FUNCTIONING AT VARIOUS STAGES OF DESIGN

© 2020

V. D. Yelenev Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Space Engineering, Director of the Institute of Aeronautical Engineering; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; elenev.vd@ssau.ru

Yu. P. Schuplyak Staff Member of the Department of Space Engineering; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; yuashuplyak@mail.ru

The paper deals with ensuring the accuracy of integrity of spacecraft components' reference surfaces at various stages of design. It is shown that the main problem consists in the fact that the accuracy of integrity of the reference surfaces of the components making up the complex is maintained in the framework of the internal structure of a part. We propose a method of control over ensuring the accuracy of integrity of spacecraft components' reference surfaces at various stages of design in the framework of their external structures. The method is implemented by introducing the coordinate system of the complex into the scheme of the complex of components that perform interrelated service functions. Concepts and definitions are introduced in the framework of the method that make possible formal representation of accuracy of integrity of the components' reference surfaces in the form of a set of pairs of points the appropriate annotated dimensions are fixed on. Graphical interpretation of the method at the stages of development of technical requirements for the components is presented. An example of potential implementation of the method at the stage of design documentation development is given.

Space complex; reference surfaces; identification; interface; annotated formalized size; primary geometric primitive; primary geometric form; coordinate system of the complex.

Citation: Yelenev V.D., Schuplyak Yu.P. Control over maintaining accuracy of integrity of reference surfaces of spacecraft components in their joint functioning at various stages of design. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020. V. 19, no. 1. P. 28-40. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-1-28-40

References

1. GOST 2.101-2016. Unified system for design documentation. Types of products. Moscow: Standartinform Publ., 2018. 10 p. (In Russ.)

2. Markov Yu.G. *Funktsional'nyy podkhod v sovremennom nauchnom poznanii* [Functional approach in modern scientific knowledge]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1982. 255 p.

3. ГОСТ 2.052-2015. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с. (In Russ.)

4. Schuplyak Yu.P., Sorokoletov V.I. Experimental verification of the specified characteristics of a solar battery at the stages of production and ground operation. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2012. No. 4 (35). P. 124-133. (In Russ.)