Анализируя графики (рис. 2 и 3) для образца $\text{NaNO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ с размером пор 70 нм, можно сделать вывод, что значения диэлектрической проницаемости практически не меняются в при последовательных циклах нагрев – охлаждение, но существенно отличаются от значений цикла, измеренного ранее (за шесть месяцев). Это может быть связано с несколькими факторами: 1) с уменьшением концентрации NaNO_2 в порах Al_2O_3 как следствие вытеснения нитрита натрия из пор благодаря его абсорбирующей способности; 2) с постепенным окислением нитрита натрия, когда часть его превращается в нитрат натрия. Эти изменения наблюдаются как при нагреве, так и при охлаждении. Температурный максимум диэлектрической проницаемости, соответствующий фазовому переходу, не изменяется, но по сравнению с первым проходом при дальнейших циклах измерения происходит его постепенное размытие, что также может свидетельствовать о частичном окислении нитрита натрия. Таким образом, можно сделать вывод, что на эволюцию диэлектрических свойств нитрит натрия большее влияние оказывает временной фактор в порах оксида алюминия, имеющий сильную зависимость от времени.

Для образца нитрита натрия, внедренного в поры 100 нм, наблюдаются аналогичные процессы: значительное изменение величины диэлектрической проницаемости от времени и незначительное изменение величины диэлектрической проницаемости от последовательных проходов.

Таким образом, для нитрита натрия, внедренного в матрицу пористого оксида алюминия, эволюция диэлектрических свойств при последовательных циклах нагрев – охлаждение практически не наблюдается по сравнению с нитритом натрия в матрицах на основе оксида кремния [2, 3]. Следовательно, на эволюцию диэлектрических свойств может оказывать влияние материал матрицы внедрения.

1. Барышников, С.В., Чарная, Е.В., Стукова, Е.В., Michel, D., Tien, C., Милинский, А.Ю. Эволюция NaNO_2 в пористых матрицах // ФТТ. – 2004. – Т. 46, № 12. – С. 2224.

2. Барышников, С.В., Стукова, Е.В., Чарная, Е.В., Cheng, Tien, Lee, M.K., Böhlmann, W., Michel, D. Диэлектрические и ЯМР-исследования нанопористых матриц, заполненных нитритом натрия // ФТТ. – 2006. – Т. 48. – С. 551-557.

3. Барышников, С.В., Чарная, Е.В., Стукова, Е.В., Michel, D., Адриянова, Н.П., Tien, C. Диэлектрические параметры мезопористых решеток заполненных NaNO_2 // ФТТ. – 2007. – Т. 49, № 4. – С. 751-755.

4. Барышников, С.В., Чарная, Е.В., Стукова, Е.В., Michel, D., Tien, C., Милинский, А.Ю. Диэлектрические свойства смешанных сегнетоэлектриков $\text{NaNO}_2\text{--KNO}_3$ в нанопористых силикатных матрицах // ФТТ. – 2009. – Т. 51, № 6. – С. 1772-1776.

УДК 62-7

Огородников Александр Александрович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: aleksandrogorodnikov123@gmail.com

Ogorodnikov Alexander Alexandrovich

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: aleksandrogorodnikov123@gmail.com

Фомин Дмитрий Владимирович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: e-office@yandex.ru

Fomin Dmitrii Vladimirovich

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: e-office@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРПУСА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ
МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В САПР «КОМПАС-3D»

DESIGNING THE PAYLOAD HOUSING OF A SMALL SPACECRAFT
IN THEIN CAD «KOMPAS-3D»

Аннотация. В работе представлена методика проектирования корпуса полезной нагрузки (ПН) на примере ПН «Фотон-Амур 2.0» в системе автоматического проектирования (САПР) «Компас-3D». Корпус создавался в качестве системы пассивного терморегулирования и экранирования от внешних электромагнитных полей, а также с целью продления срока службы ПН. При разработке корпуса ПН малого космического аппарата были учтены массогабаритные требования, а также технологичность производства устройства. Из трех представленных вариантов исполнения корпуса ПН, после проведенного анализа их параметров был выбран оптимальный. Показано, что САПР «Компас-3D» позволяет эффективно решать задачи проектирования конструкций малых космических аппаратов.

Abstract. The paper presents a methodology for designing the payload housing (PN), using the example of the PN «pHoton-AMUR 2.0», in the automatic design system (CAD) «Compass-3D». The case was created as a system of passive thermal regulation and shielding from external electromagnetic fields, as well as in order to extend the service life of the PN. When developing the PN body of a small spacecraft, the weight and size requirements were taken into account, as well as the manufacturability of the device. Of the three presented variants of the PN housing, after analyzing their parameters, the optimal one was selected. It is shown that the cOmpass-3D CAD system makes it possible to effectively solve the problems of designing the structures of small spacecraft.

Ключевые слова: полезная нагрузка, система автоматического проектирования, корпус, массогабаритные характеристики, разработка, «Компас-3D».

Key words: payload, computer-aided design system, casing, weight and size characteristics, development, «KOMPAS-3D».

DOI: 10.22250/jasu.95.5

Введение

В данное время популярными и распространенными в России являются системы автоматизированного проектирования (САПР) «Компас-3D» и «SolidWorks», также широко используемые в Амурском государственном университете.

«Компас-3D» – программное обеспечение, являющееся частью семейства САПР, принадлежащего компании «Аскон», которая обладает всеми возможностями оформления документации по стандартам единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и системы проектной документации для строительства (СПДС).

Удобной функцией САПР является то, что все стандартные виды строятся автоматически и в проекционной связи. Между надписью на чертеже и данными о 3D-модели существует синхронизация, поэтому такие вещи как обозначения, масса, название ставятся автоматически. Также есть связь модели и спецификации, поэтому оформление документации становится значительно проще.

Система «Компас-3D» предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей (в том числе формируемых из листового материала путем его гибки) и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе проектированного ранее прототипа. В «Компас-3D» имеется и библиотека стандартных изделий.

Помимо того «Компас-3D» включает: систему трехмерного моделирования, систему автоматизированного проектирования, модуль формирования спецификаций, собственное математическое ядро [1].

SolidWorks — это система гибридного параметрического моделирования, предназначенная для проектирования деталей и сборок в трехмерном пространстве с возможностью осуществления различных видов экспресс-анализа, а также оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД.

Отличительными особенностями SolidWorks являются: твердотельное и поверхностное параметрическое моделирование; полная ассоциативность между деталями, сборками и чертежами; богатый интерфейс импорта/экспорта геометрии; экспресс-анализ прочности деталей и кинематики механизмов; специальные средства по работе с большими сборками; простота в освоении и высокая функциональность; гибкость и масштабируемость; 100-процентное соблюдение требований ЕСКД; русскоязычные интерфейс и документация [2].

В SolidWorks можно одинаково удачно работать как с твердыми телами, так и с поверхностями. Как правило, деталь представляет собой твердое тело, поверхность или сочетание твердого тела и набора поверхностей. Процесс построения 3D-модели основывается на создании элементарных геометрических примитивов и выполнении различных операций между ними. Подобно конструктору LEGO, модель набирается из стандартных элементов (блоков) и может быть отредактирована путем либо добавления (удаления) этих элементов, либо изменения характерных параметров блоков [2].

3D-модель содержит наиболее полное описание физических свойств объекта (объем, масса, моменты инерции) и дает проектанту возможность работать в виртуальном 3D-пространстве, что позволяет на самом высоком уровне приблизить компьютерную модель к облику будущего изделия, исключая этап макетирования [2].

Сравнивая две данные САПР, видим, что наиболее интуитивно понятным интерфейсом обладает «Компас-3D». Помимо того, программы семейства «Компас» автоматически генерируют ассоциативные виды трехмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже, что значительно упрощает оформление итоговых чертежей.

Методика и результат проектирования корпуса полезной нагрузки в САПР «Компас-3D»

В качестве объекта проектирования была выбрана ПН «Фотон-Амур 2.0» [3,4], созданная в Амурском госуниверситете. Корпус полезной нагрузки должен выполнять роль пассивной терморегулирующей системы, а также обеспечивать экранирование от внешних электромагнитных полей электронных компонентов ПН, что определяет следующие требования к проектируемому устройству: 1) высокая теплопроводность материала корпуса; 2) малая масса; 3) технологичность производства; 4) экранирование электромагнитных помех.

ПН «Фотон-Амур 2.0» представляет собой две платы, размеры которых указаны на рис. 1 и 2.

Учитывая близкое расположение электронных элементов к краю вычислительной платы (что видно на рис. 3) и с целью обеспечить максимальную эффективность теплообмена при минимальной массе, толщину стенок корпуса приняли равной 1,5 мм; из-за особенностей установки ПН «Фотон-Амур 2.0» на платформе CubeSat (ограничения по высоте) высоту корпуса приняли равной 28 мм. В качестве материала был выбран алюминий, обладающий высокой теплопроводностью.

Первым этапом проектирования является создание эскиза, повторяющего контуры вычислительной платы, далее посредством «выдавливания» задается толщина 1,5 мм, итогом становится основание корпуса, которые будет прилегать к плате и участвовать в процессе теплообмена.

Рис. 1. Размеры вычислительной платы и платы фото-резисторов.

Рис. 2. Расположение электронных компонентов на платах ПН.

Затем на плоскости основания чертится эскиз стенок корпуса толщиной 1,5 мм и «выдавливается» на высоту 26,5 мм. После этого на стенки корпуса наносится эскиз отверстия для кабелей, которые далее «вырезаются выдавливанием» на толщину, равную толщине стенок. На верхнюю плоскость стенок наносится эскиз верхней части корпуса и «выдавливается» вниз по оси Z на 1,5 мм. С передней стороны корпуса создается эскиз под крепления платы фоторезисторов, также «выдавливается» на толщину 1,5 мм. Спроектированный корпус должен учитывать сквозные стойки наноспутника, входящего в состав платформы CubeSat. Итог этих действий в САПР «Компас-3D» – готовая 3D-модель корпуса (рис. 3).

Рис. 3. Первый вариант корпуса ПН.

Действуя аналогичным способом, но изменяя геометрические параметры, можно спроектировать второй и третий варианты исполнения корпуса (рис. 4 и 5).

Рис. 4. Второй вариант корпуса ПН.

Рис. 5. Третий вариант корпуса ПН.

Так как корпус должен иметь малую массу, требуется сравнить массогабаритные характеристики корпусов. Благодаря функции *МЦХ модели* можно получить такую информацию как масса, площадь, объем, координаты центра, центр масс. Наименьшую массу (67 г) имеет первый вариант корпуса, поэтому он и был выбран. На рис. 6 представлено окно *МЦХ модели* на примере первого корпуса.

Рис. 6. МЦХ модели.

Заключение

Таким образом, в работе представлена методика проектирования корпуса полезной нагрузки на примере ПН «Фотон-Амур 2.0» в системе автоматического проектирования «Компас-3D». Были учтены основные требования, предъявляемые при проектировании корпусов ПН. Из трех представленных вариантов средствами САПР проведен анализ и выбрано лучшее из устройств. Показано, что САПР «Компас-3D» позволяет эффективно решать задачи проектирования конструкций малых космических аппаратов.

1. «КОМПАС-3D v19. Инструмент создателя»: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://kompas.ru/>. – 25.09.2021.

2. SolidWorks – стандарт трехмерного проектирования. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/6733#:~:text=Базовое%20решение%20SolidWorks%20-%20это%20система,%20соответствии%20с%20требованиями%20ЕСКД.> – 25.09.2021.

3. Универсальная платформа полезной нагрузки для малых спутников стандарта CubeSat / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.С. Герман // Известия вузов. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 5. – С. 185-189.

4. Трехмерные неоднородные тепловые поля электронной платы полезной нагрузки «Фотон-Амур 2.0», разработанной для наноспутников / Д. В. Фомин, М. А. Барулина, А. В. Голиков [и др.] // Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 74-82.