

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА В ГЕРМЕТИЧНОМ И ПЕРФОРИРОВАННОМ КОРПУСАХ ДЛЯ ПЛАТЫ USB-UART АДАПТЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS

Мерзляков Д. П.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ моделирования в программном комплексе SolidWorks (модуль Flow Simulation) теплового режима печатной платы USB-UART адаптера, размещённой в герметичном и перфорированном корпусах. Рассматриваются особенности формирования тепловых потоков в замкнутом объёме и при естественной конвекции через перфорационные отверстия, а также влияние конструктивных параметров корпуса на максимальную температуру элементов. На основе результатов теплового моделирования предлагаются рекомендации по выбору типа корпуса и граничных условий при вычислительном эксперименте для обеспечения допустимого теплового режима печатной платы USB-UART адаптера.

Ключевые слова: SolidWorks, печатная плата, инженерное моделирование, герметичный корпус, перфорированный корпус, движение потоков воздуха, тепловой режим.

Введение. Современные интерфейсные устройства, такие как USB-UART адаптеры, широко применяются в составе измерительных, коммуникационных и встраиваемых систем, что предъявляет повышенные требования к их надёжности и устойчивости к тепловым воздействиям. Для электронных модулей малой мощности перегрев компонентов, вызванный ограниченным теплоотводом, может приводить к снижению ресурса, дрейфу параметров и отказам в условиях длительной эксплуатации [1–7].

В настоящей работе показано сравнение тепловых режимов для двух типов корпусов, описан шаблон постановки и проведения моделирования, а также даны рекомендации по выбору типа корпуса для устройств схожих по габаритам и выделяемой мощности.

Основная часть. Целью исследования является сравнение карт распределения температур на печатной плате USB-UART адаптера в двух вариантах исполнения: герметичный корпус и перфорированный корпус. Основными интересующими параметрами являются максимальная температура наиболее нагруженных элементов и температура нагретой зоны.

В физическую модель теплового процесса включена теплопроводность в твёрдых телах (плата, электронные компоненты, корпус) и конвективный теплообмен между твёрдыми телами и воздухом. Само моделирование будет проводиться с учетом движения воздушных потоков. В качестве источников тепла рассматриваются объёмные тепловыделения нагруженных элементов, задаваемые в соответствии с электрической мощностью нагрузки USB-UART адаптера [1].

Для проведения моделирования создается новый проект во вкладке Flow Simulation. Далее происходит настройка размерности величин, определяется тип задачи – внутренняя, выбираются процессы, которые будут учитываться при решении, а именно течение жидкости/газа, теплопроводность в твердых телах и гравитация [2].

Материал печатной платы задаётся как стеклотекстолит с медными проводящими слоями, при этом в большинстве инженерных постановок допускается использование эквивалентных изотропных свойств с усреднённой теплопроводностью. Материалы корпусов элементов выбираются в соответствии с конструктивным вариантом (пластик, керамика, алюминий), материал корпуса – ABS пластик [3–4].

Для моделирования тепловых процессов в устройстве, температура окружающей среды будет равна максимально допустимой рабочей температуре – 40°C . Такое решение позволяет убедиться в работоспособности РЭУ при самых неблагоприятных условиях.

По итогам моделирования устройства в герметичном корпусе была получена картина теплового поля, представленная на рисунке 1.

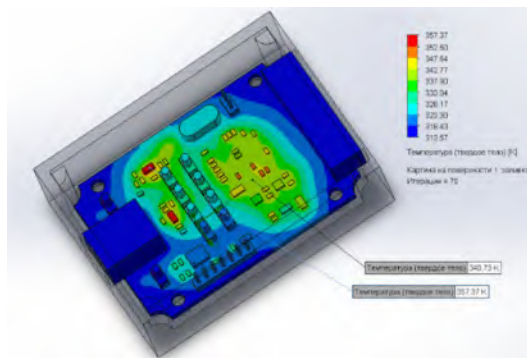


Рисунок 1 – Тепловая карта ПП в герметичном корпусе

По итогу проведенного моделирования максимальная температура на поверхности платы достигла 357K (83°C), а примерная температура нагретой зоны – 340K (66°C). Перегрев соответственно составил 43°C и 26°C . Движение потоков воздуха имело вид, представленный на рисунке 2.

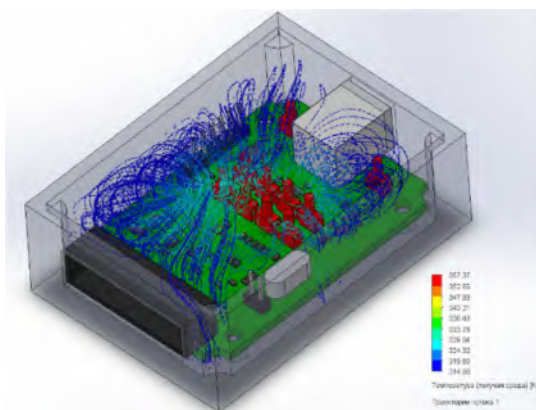


Рисунок 2 – Движение потоков воздуха в герметичном корпусе

На данном изображении можно увидеть, что примерно в центре ПП формируется восходящий поток перегретого воздуха, который охлаждается у верхней поверхности корпуса и, после остывания, расходится по краям устройства.

Для создания перфорированного корпуса, на основе (герметичном корпусе) были проделаны прямоугольные отверстия. Для возможности моделирования работы перфорационных отверстий создаются заглушки, перекрывающие все отверстия с каждой из сторон корпуса после чего им присваивается граничное условие «давление», имитирующее внешнюю среду.

По итогам моделирования устройства в герметичном корпусе была получена картина теплового поля, представленная на рисунке 3.

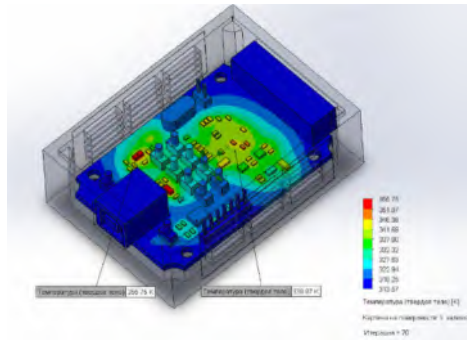


Рисунок 3 – Тепловая карта ПП в перфорированном корпусе

По итогу проведенного моделирования максимальная температура на поверхности платы достигла 355K (81°C), а примерная температура нагретой зоны – 339K (65°C). Перегрев соответственно составил 42°C и 21°C. Движение потоков воздуха имело вид, представленный на рисунках 4 и 5.

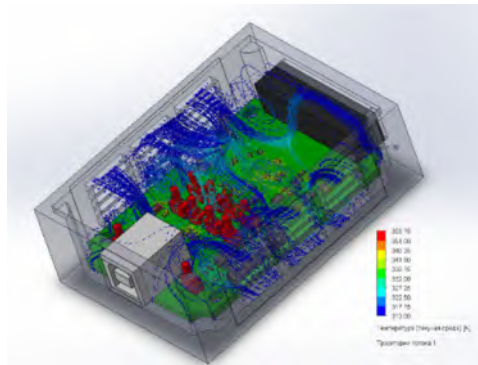


Рисунок 4 – Движение потоков воздуха в перфорированном

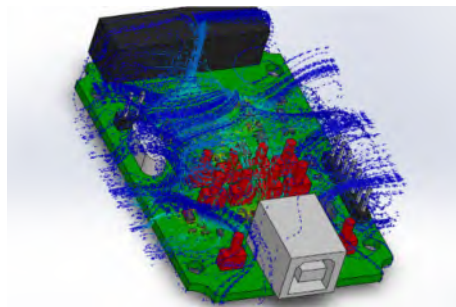


Рисунок 5 – Вид без корпуса

На приведенном выше изображении можно увидеть, что здесь формируется два основных канала прохода воздуха – верхний и нижний. Через нижний канал перегретый воздух покидает устройство, а через верхний канал в устройство поступает холодный воздух.

Заключение. Сравнительный анализ моделирования теплового режима в программном комплексе SolidWorks печатной платы USB-UART адаптера в герметичном и перфорированном корпусах показал несущественные различия в полученных температурах.

По результатам моделирований максимальная и примерная температуры нагретой зоны для герметичного составляют 357K (83°C) и 340K (66°C) соответственно, для перфорированного корпуса – 355K (81°C) и 339K (65°C) соответственно.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что наилучшие результаты показал перфорированный корпус. Максимум температуры в нем на 2 градуса меньше, а температура нагретой зоны – меньше на 1 градус.

Такое снижение максимальной температуры в устройстве не является существенным улучшением, которое могло бы однозначно определить выбор того или иного варианта исполнения корпуса. Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что использование герметичного корпуса является достаточным и вполне оправданным, учитывая полученные результаты моделирования. Используя герметичный корпус можно добиться снижения стоимости устройства по сравнению с перфорированным корпусом и исключить воздействие на устройство пыли и влаги. Обобщая полученные результаты, можно утверждать: для маломощных устройств, помещенных в малогабаритные корпуса нет необходимости использования перфорированных корпусов, так как они не дают существенного уменьшения максимальных температур в устройстве.

Список литературы

1. Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат средствами САЕ анализа / З. Х. М. Аль-Араджи [и др.] // «Надежность и качество». – 2018. – Т. 1. – С. 224-227
2. Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.
3. Ansys Mechanical Expert Review, Pricing and Alternatives – 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worquick.com/post/ansys-review> – Дата доступа: 27.03.2025.
4. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с
5. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. – Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.
6. Моделирование отведения тепловой энергии от процессоров при помощи кулеров воздушного охлаждения=Simulation of Thermal Energy Removal from Processors Using Air Coolers / Г. А. Пискун [и др.] // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 54–62.
7. Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.

UDC 621.396.6:004.94:536.2

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL SIMULATION IN SEALED AND PERFORATED ENCLOSURES FOR A USB-UART ADAPTER BOARD USING THE SOLIDWORKS SOFTWARE SUITS

Merzlyakov D. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This article presents a comparative analysis of thermal simulations performed using SolidWorks (Flow Simulation module) for a USB-UART adapter printed circuit board (PCB) housed in a sealed and perforated enclosure. It examines the formation of heat flows in a closed space and under natural convection through perforations, as well as the influence of the enclosure design parameters on the maximum temperature of the components. Based on the thermal simulation results, recommendations are provided for selecting the enclosure type and boundary conditions for a computational experiment to ensure acceptable thermal performance for the USB-UART adapter PCB.

Keywords: SolidWorks, printed circuit board, engineering modeling, sealed enclosure, perforated enclosure, airflow, thermal management