

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ЭЛЕКТРОННОМ МОДУЛЕ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ДОМОМ**

### **Рыбаков Д. Г.**

Республика Беларусь, г. Минск  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
студент факультета компьютерного проектирования

### **Беликов А. Н.**

Республика Беларусь, г. Минск  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
студент факультета компьютерного проектирования

Научный руководитель

### **Пискун Г. А.**

Республика Беларусь, г. Минск  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
доцент кафедры проектирования  
информационно-компьютерных систем,  
кандидат технических наук, доцент

Моделирование является эффективным инструментом для достижения целей проектирования, позволяя тестировать проектные решения без больших затрат. В частности, компьютерное моделирование имеет множество преимуществ при разработке радиоэлектронной аппаратуры, благодаря разнообразию программных продуктов, предназначенных для создания и работы с моделями. Это может помочь инженерам визуализировать влияние параметров на результат, систематизировать их и дать точную оценку [1–4].

Очевидным преимуществом использования моделирования при проектировании электронных устройств является возможность получить представление о том, насколько удачно то или иное проектное решение, не прибегая к созданию и испытанию реального опытного образца, что зачастую может быть сопряжено с ощутимыми затратами.

Умный дом – это совокупность технологий, которые позволяют автоматизировать различные процессы и системы в быту, а также облегчить жизнь человека, сделать ее более комфортной, безопасной, освободить человека от повседневных обязанностей типа включения и выключения света в помещениях [5].

Проведем анализ и моделирование распределения тепловой энергии в электронном модуле управления умным домом, схема электрическая принципиальная которого приведена в журнале «Радио» [6, с. 45–49].

Прежде чем начать разработку выбранного устройства, первоначально требуется ознакомиться с технической документацией на компоненты электронного модуля. После этого по геометрическим параметрам сконструировать упрощенные модели корпусов элементов (рис. 1, а) и осуществить дальнейшую сборку компонентов в программе *SolidWorks*. Для этого нужно создать документ, вставить все элементы, входящие в состав проектируемого устройства, расположить их на печатной плате и задать условия сопряжения (рис. 1, б). Это делается для того, чтобы электронные компоненты были привязаны к печатной плате. В противном случае, исследование будет неверным ввиду того, что элементы будут «висеть в воздухе» и не будут зафиксированными. Далее нужно проверить печатную плату на наличие явления интерференции и только после этих действий приступить к моделированию тепловых процессов, происходящих в устройстве.

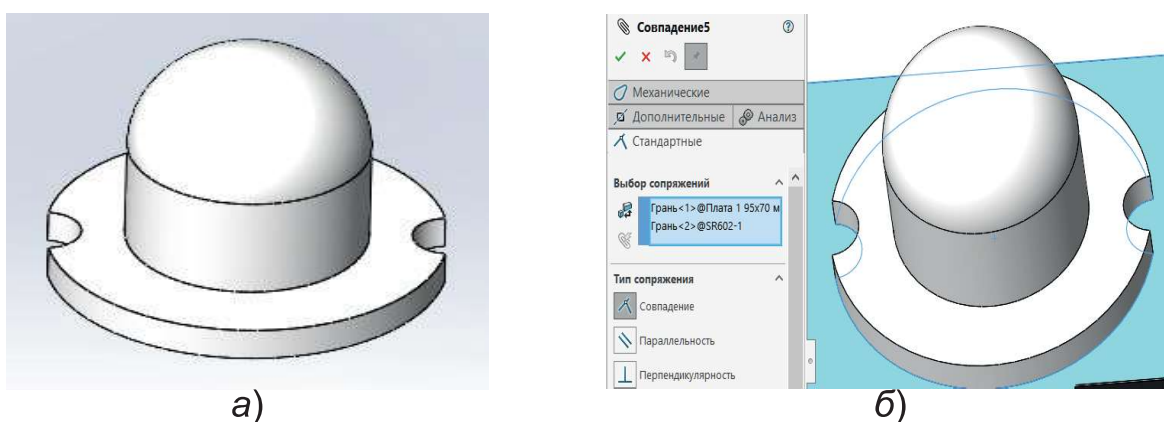


Рисунок 1 – Упрощенная модель пироэлектрического датчика SR602 (а) и условия его сопряжения для движения (б)

Печатная плата с установленными на нее компонентами, спроектированная в программе *SolidWorks*, представлена на рис. 2.

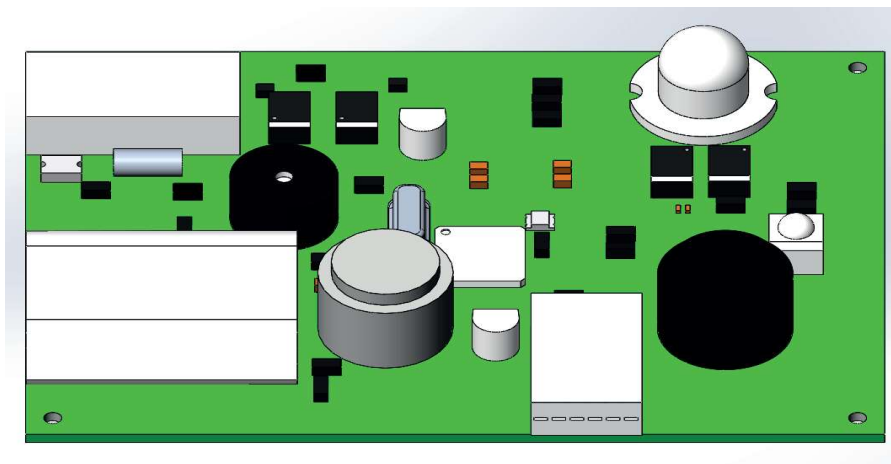


Рисунок 2 – Трехмерная модель электронного модуля управления умным домом

Для возможности создания сетки и уменьшения времени расчета процессов, модели были упрощены. Были удалены некоторые мелкие детали (SMD компоненты в корпусе 0402, 0603, 0804 и 1206), выводы некоторых электролитических конденсаторов и транзисторов. Упрощены мелкие вырезы и пазы на всех элементах. Данные изменения существенно на результаты моделирования не повлияют.

При создании печатной платы было использовано основание размером  $100 \times 50 \times 1,5$  мм. В качестве материала основания был выбран стеклотекстолит FR-4. Соотношение сторон – 2:1. Все крупногабаритные элементы были размещены на краях основания, главные функциональные компоненты – ближе друг к другу в центре. Крепежные отверстия под винты расположены по углам печатной платы.

Исходными данными для проведения моделирования тепловых процессов являются:

- материалы, применяемые к элементам электронного модуля, приведены в табл. 1. Основными характеристиками материалов являются массовая плотность, теплопроводность и теплоемкость;

- температура окружающей среды выбиралась исходя из ГОСТ 15150-69, для климатического исполнения УХЛ 4.2, и составляет 313 К [7];

- коэффициент конвективной теплоотдачи окружающей среды –  $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [8];

- рассеиваемые мощности элементов: пирозлектрический датчик движения SR602 = 0,2 Вт, приемник ИК-сигналов TSOP 2136 = 0,2 Вт [9], оптроны PC817 = 0,07 Вт [10], микроконтроллер ATmega32A-AU = 0,15 Вт [11], транзисторы S8550 = 0,5 Вт [12].

Таблица 1 – Свойства материалов [13]

Материал	Свойства	Компоненты
Сплав алюминия 1060	Массовая плотность: 2700 кг/м <sup>3</sup> Теплопроводность: 200 W/(м·К) Удельная теплоемкость: 900 J/(кг·К)	Кварцевый резонатор
Стеклотекстолит FR4	Массовая плотность: 1900 кг/м <sup>3</sup> Теплопроводность: 0,32 W/(м·К) Удельная теплоемкость: 1369 J/(кг·К)	Печатная плата
Керамика фарфор	Массовая плотность: 2000 кг/м <sup>3</sup> Теплопроводность: 0,1 W/(м·К) Удельная теплоемкость: 470 J/(кг·К)	Конденсаторы, предохранитель
ABS	Массовая плотность: 1020 кг/м <sup>3</sup> Теплопроводность: 0,23 W/(м·К) Удельная теплоемкость: 1386 J/(кг·К)	Датчики, кнопки, резисторы, разъемы, оптрона, светодио- д пьезоизлучатель, тран- зисторы микроконтроллер
Медь	Массовая плотность: 8900 кг/м <sup>3</sup> Теплопроводность: 390 W/(м·К) Удельная теплоемкость: 390 J/(кг·К)	Катушки индуктивности

Для моделирования тепловых процессов в SolidWorks используется добавление Simulation. Для начала моделирования тепловых процессов создается термическое исследование. Далее в дереве исследования для каждого компонента задается материал. Затем к модели необходимо применить коэффициент конвективной теплоотдачи и установить температуру окружающей среды 313 К. Далее устанавливаются тепловые мощности для элементов.

После задания начальных и граничных условий можно переходить к расчету исследования. По завершению расчетов была построена эпюра распределения тепловой энергии по печатной плате (рис. 3).

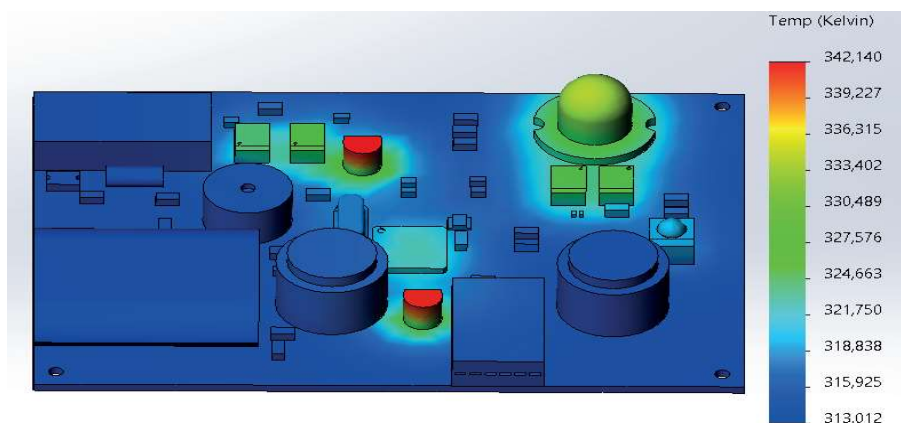


Рисунок 3 – Результат моделирования распределения тепла в электронном модуле управления умным домом

Исходя из полученной термической эпюры можно сделать вывод, что больше всего нагреву подвержены транзисторы S8550, однако их максимальные значения (+69,1 °C) не превышают максимально допустимые (+85 °C) для данного компонента. Дополнительной системы охлаждения не требуется.

#### *Список цитированных источников*

1. Моделирование распределения температуры в токоведущих элементах интегральных микросхем в результате воздействия электростатических разрядов / Г. А. Пискун [и др.] // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4 (82). – С. 16–22.
2. Моделирование джоулева нагрева в среде COMSOL Multiphysics / В. Ф. Алексеев [и др.] // Доклады БГУИР. – 2018. – № 7 (117). – С. 90–91.
3. The impact of ESD on microcontrollers / G. A. Piskun [et al.]. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p.
4. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный – М. : Сов. радио, 1976 – 230 с.
5. Для чего нужен умный дом? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sila.by/news/article/e9722fe2>. – Дата доступа: 13.05.2023.
6. Антонов, М. С. Модернизация «умного дома» / М. С. Антонов // Радио. – 2020. – № 1. – С. 45–49.
7. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» [Электронный ресурс] // Электрон. фонд правовой инф. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320>. – Дата доступа: 13.05.2023.

8. Справка по SolidWorks [Электронный ресурс] // Dassault Systèmes. – Режим доступа: [https://help.solidworks.com/2012/Russian/solidworks/cworks/Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](https://help.solidworks.com/2012/Russian/solidworks/cworks/Convection_Heat_Coefficient.htm). – Дата доступа: 13.05.2023.

9. TSOP 2136 datasheet [Электронный ресурс] // Alldatasheet.com. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=TSOP%202136>. – Дата доступа: 13.05.2023.

10. PC817 datasheet [Электронный ресурс] // Alldatasheet.com. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PC817>. – Дата доступа: 13.05.2023.

11. ATmega32A AU datasheet [Электронный ресурс] // Alldatasheet.com. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=ATmega32A-AU>. – Дата доступа: 13.05.2023.

12. S8550 datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/onsemiFairchild/SS8550DTA?qs=sGAEpiMZZMutXGli8Ay4kHKRdIvtrnJvmCDUUBw2FRY%3D>. – Дата доступа: 13.05.2023.

13. Справка по SolidWorks [Электронный ресурс] // Dassault Systèmes. – Режим доступа: [https://help.solidworks.com/2022/russian/SolidWorks/cworks/c\\_Materials\\_Fundamentals.htm](https://help.solidworks.com/2022/russian/SolidWorks/cworks/c_Materials_Fundamentals.htm). – Дата доступа: 13.05.2023.