

УДК 004.94:621.396.6:536.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ УПРАВЛЯЕМОГО СЕТЕВОГО КОНЦЕНТРАТОРА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ SOLIDWORKS И ANSYS

Насанович М.В.

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

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследованы методы оценки теплового режима сетевого концентратора с электронными компонентами в программных пакетах *SolidWorks* и *ANSYS*. Установлено, что результаты моделирования теплового режима в программе *SolidWorks* и в программе *ANSYS* различаются. Сделан вывод о необходимости использования каждой из программ для решения определенных инженерных задач в зависимости от входных данных.

Ключевые слова: *SolidWorks*, *ANSYS*, печатная плата, инженерное моделирование, тепловой режим.

Введение. Современные электронные устройства, такие как сетевые концентраторы, требуют высокой надежности при различных нагрузках. Тепловой режим печатных плат определяет, в основном, надежность всего устройства. Ключевым аспектом обеспечения тепловой устойчивости электронного модуля является анализ теплового режима, предотвращающий явление перегрева электронных компонентов [1–10].

В данной статье автором показано, что каждый программный комплекс – *SolidWorks* и *ANSYS* – имеет свои преимущества и недостатки, а также разные подходы к решению инженерных задач, что обеспечивает минимальную погрешность результатов в сравнении друг с другом.

Техническая значимость теплового моделирования печатных плат сетевого оборудования. Управляемые сетевые концентраторы (коммутаторы) относятся к классу ответственных радиоэлектронных средств (РЭС), непрерывно функционирующих в течение длительного времени. Типичный срок службы такого оборудования составляет 5–10 лет при круглосуточном режиме работы. Одним из ключевых факторов, определяющих надежность и безотказность сетевых устройств, является тепловой режим печатной платы, на которой размещены активные компоненты – микроконтроллеры, РНУ-микросхемы, преобразователи питания и память.

Современные тенденции развития сетевого оборудования характеризуются увеличением плотности монтажа компонентов на печатной плате; повышением тактовых частот и, как следствие, ростом удельной мощности рассеяния; миниатюризацией корпусов, что ограничивает возможности естественного охлаждения; требованием к пассивному охлаждению (без вентиляторов) для обеспечения бесшумной работы в офисных помещениях.

В этих условиях недооценка тепловых нагрузок на этапе проектирования может привести к локальному перегреву компонентов, выходу их за пределы допустимых температурных режимов и, как следствие, к преждевременному отказу устройства. По данным статистики отказов электронных компонентов, повышение температуры на 10 °С сверх допустимого значения сокращает срок службы полупроводниковых приборов в 2–3 раза (эмпирическое правило Аррениуса) [6–10].

Недостатки традиционных подходов к оценке тепловых режимов. Традиционные методы обеспечения тепловых режимов РЭС базируются на: приближенных аналитических расчетах (метод эквивалентной тепловой схемы); натурных испытаниях опытных образцов в

термокамерах; эмпирических рекомендациях, основанных на опыте проектирования аналогичных устройств.

Каждый из этих подходов имеет существенные ограничения. Аналитические расчеты, основанные на сосредоточенных параметрах, не позволяют выявить локальные зоны перегрева на печатной плате и учесть сложную конфигурацию размещения компонентов. Натурные испытания требуют значительных временных и материальных затрат (изготовление опытного образца, проведение измерений), а также не дают возможности оперативно оценить влияние конструктивных изменений на тепловой режим. Кроме того, выявление тепловых проблем на этапе испытаний готового изделия приводит к дорогостоящим доработкам конструкции и затягиванию сроков вывода продукта на рынок.

Преимущества и проблемы компьютерного моделирования тепловых процессов. Системы автоматизированного инженерного анализа (CAE) позволяют перенести оценку тепловых режимов на ранние этапы проектирования, когда внесение конструктивных изменений требует минимальных затрат. Современные программные комплексы, такие как SOLIDWORKS Flow Simulation и ANSYS (включая модули Steady-State Thermal, Iserpak и др.), предоставляют широкие возможности для трехмерного моделирования теплопроводности, конвекции и излучения.

Актуальность сравнительного анализа для управляемого сетевого концентратора. Печатная плата управляемого сетевого концентратора обладает рядом особенностей, делающих ее тепловой анализ особенно важным:

- наличие высокоскоростных интерфейсов Ethernet (Gigabit), требующих применения РНУ-микросхем с повышенным тепловыделением;
- наличие микроконтроллера управления с активной вычислительной нагрузкой;
- компактные габариты корпуса с пассивным охлаждением;
- необходимость обеспечения работоспособности в диапазоне температур 0...40 °С, что является типичным для офисного оборудования.

В открытых источниках отсутствуют систематические исследования, посвященные сравнительному анализу теплового моделирования печатных плат сетевых коммутаторов в различных CAE-средах. Не определены количественные оценки расхождений между результатами, полученными в SOLIDWORKS Flow Simulation и ANSYS, не выявлены факторы, вносящие наибольший вклад в эти расхождения. Отсутствуют рекомендации по выбору программного комплекса для теплового анализа данного класса устройств в зависимости от поставленных задач (оценочный расчет, уточненный анализ, оптимизация).

Основная часть. Сравнительный анализ *SolidWorks* и *ANSYS* в контексте моделирования теплового режима печатных плат выявляет ключевые различия между этими программами при решении инженерных задач. *SolidWorks* выигрывает за счет простоты использования и интуитивного интерфейса для твердотельного моделирования, но уступает в глубине детального инженерного анализа. *ANSYS*, напротив, предлагает высокую точность расчетов, хотя и требует больше времени на освоение из-за менее удобного интерфейса [2, 3].

Для проведения сравнительного анализа было выбрано современное устройство с высокой плотностью элементов на плате (рисунок 1). Первоначально в *SolidWorks* была построена твердотельная геометрическая модель сетевого концентратора, включая все электронные компоненты.

С помощью модуля «Simulation» программного комплекса *SolidWorks* был создан новый проект с типом исследования «Тепло». Для каждого электронного компонента был задан свой материал, как и для печатной платы. Граничными условиями в виде фиксированной геометрии являются крепежные отверстия по углам платы. Создание сетки данной модели позволило завершить настройку проекта и перейти к расчету [4]. Результат моделирования представлен на рисунке 2.

По результатам выполненного моделирования в программе *SolidWorks* максимальная температура печатной платы сетевого концентратора ов с электронными компонентами на ней составила 411 °К.

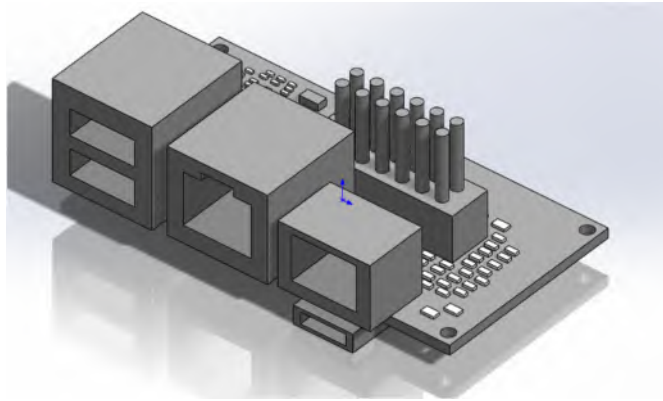


Рисунок 1 – Геометрическая модель платы сетевого концентратора

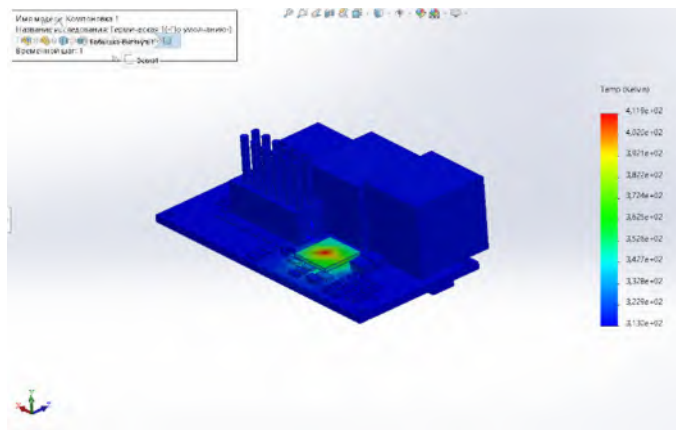


Рисунок 2 – Результат моделирования в программе *SolidWorks*

ANSYS является интегрированной средой моделирования, позволяющей использовать геометрические модели из других популярных *CAD*-систем, таких как, например, *SolidWorks*. Используя уже готовую твердотельную модель печатной платы с электронными компонентами на ней с помощью модуля «*Steady State Thermal*» и типа исследования «*Heat*», был создан новый проект. По аналогии с настройкой моделирования в *SolidWorks* для каждого элемента, включая печатную плату, были заданы материалы и создана сетка. Граничные условия в виде фиксированной геометрии не изменились. Результат моделирования представлен на рисунке 3.

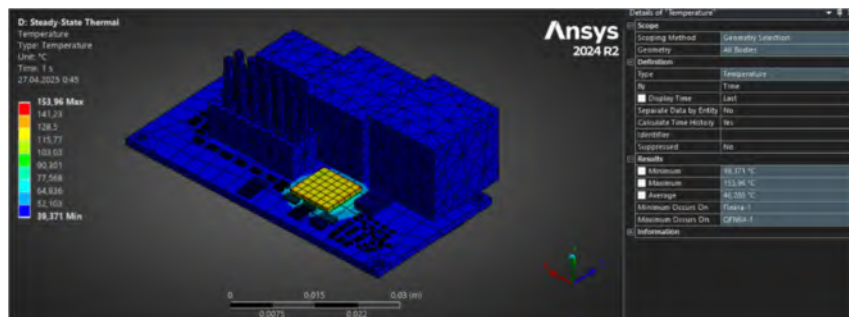


Рисунок 3 – Результат моделирования в программе *ANSYS*

По результатам проведенного моделирования в программе *ANSYS* максимальная температура печатной платы сетевого концентратора с электронными компонентами на ней составила 426 °K.

Заключение. Сравнительный анализ моделирования тепловых режимов печатной платы сетевого концентратора в программных комплексах *SolidWorks* и *ANSYS* показал различия в подходах и результатах.

Различия в математических моделях – разные программные комплексы реализуют различные подходы к решению уравнений теплопереноса (конечно-объемный метод в *SOLIDWORKS* Flow Simulation, конечно-элементный метод в *ANSYS* Steady-State Thermal).

Специфика задания граничных условий – способы учета естественной конвекции, теплообмена излучением и контактных тепловых сопротивлений могут существенно различаться.

Алгоритмы построения сетки – методы дискретизации расчетной области (гексаэдрическая, тетраэдрическая, гибридная сетка) влияют на точность и сходимость решения.

Упрощения геометрии – подходы к моделированию тонких слоев (медная фольга, паяльные соединения) могут различаться, что сказывается на итоговом распределении температур.

Следствием этих различий является вариативность результатов моделирования, полученных в разных программных комплексах для одной и той же конструкции. Без критической оценки сходимости результатов и понимания причин расхождений использование САЕ-средств может привести к принятию неверных конструкторских решений.

SolidWorks обеспечивает простоту использования и интуитивно понятный интерфейс, что делает его удобным для базового проектирования и анализа. *ANSYS*, в свою очередь, предлагает более высокую точность и гибкость в решении сложных инженерных задач, что делает его предпочтительным выбором для детализированного моделирования. Использование *ANSYS* позволило получить более детальные и точные результаты, несмотря на более сложный и настраиваемый интерфейс.

По результатам исследования тепловой режим платы сетевого концентратора с электронными компонентами на ней составила 411 °K в программном комплексе *SolidWorks* и 426 °K – в программном комплексе *COMSOL*. Погрешность результатов друг относительно друга составила 3,5 %.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что *SolidWorks* является программой, предназначенной в первую очередь для твердотельного моделирования, но способной справляться с простыми инженерными задачами наравне с более сложными и специализированными программными продуктами. Примером такого программного продукта может служить *ANSYS*. Эта программа имеет более сложный интерфейс и не предназначена для твердотельного моделирования, однако более оптимизирована для решения инженерных задач любой сложности.

Кроме того, геометрическая модель может быть создана средствами программы *SolidWorks*, а численное моделирование проведено средствами *COMSOL*. Данное решение является наиболее оптимальным для решения инженерных задач любого вида и сложности.

Список литературы

1. Amy, R Reliability analysis of electronic equipment subjected to shock and vibration / R Amy, G Aglietti, G Richardson // *Shock and Vibration*. – 2009. – № 16. – С. 45-59
2. Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в *SolidWorks* / Д. В. Зиновьев. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.
3. Введение в *ANSYS* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.ANSYS.com/doc/5.4/IntroductionToANSYS.ru_RU.pdf. – Дата доступа: 20.03.2026.
4. Тепловой анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://help.solidworks.com/2021/Russian/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm – Дата доступа: 27.03.2025.
5. G.A. Dymov, V.P. Belichenko. The main structural element of a reinforced concrete support: mathematical modeling of mechanical vibrations // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021.
6. Рыбаков, Д. Г. Применение метода конечных элементов при анализе физических процессов, протекающих в системе мониторинга окружающей среды в программе *SolidWorks Simulation* / Д. Г. Рыбаков, А. Н. Беликов, В. Ф. Алексеев // *Электронные средства и системы управления : материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции, Томск, 15–17 ноября, 2023 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*. – Томск : В-Спектр, 2023. – С. 132–134.
7. Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пускун // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical*

Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform. – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : <https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021>.

8. Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / 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. 282–286.

9. 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.

10. Оптимизация теплового режима приемно-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Г. А. Пискун [и др.] // *Znanstvena misel journal*. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.

UDC 004.94:621.396.6:536.2

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL REGIME SIMULATION OF THE PRINTED CIRCUIT BOARD OF A MANAGED NETWORK SWITCH IN SOLIDWORKS AND ANSYS SOFTWARE PACKAGES

Nasanovich M.V.

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

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. Experimental studies were conducted on methods for evaluating the thermal regime of a network switch with electronic components using the SolidWorks and ANSYS software packages. It was found that the results of thermal regime modeling in SolidWorks and ANSYS differ. A conclusion is drawn about the necessity of using each of the software packages for solving specific engineering problems depending on the input data.

Keywords: SolidWorks, ANSYS, printed circuit board, engineering simulation, thermal regime.