

УДК 621.378.001

*Дао Ань Куан, С.У. Увайсов, В.В. Черновверская*

## Разработка метода теплового диагностирования РЭС с применением искусственной нейронной сети

*Современный уровень развития науки и технологий позволяет говорить о высоком качестве и стабильной работе электронных устройств, применяемых в обрабатывающей промышленности, что, в свою очередь, обеспечивает соблюдение технологических требований и снижение производственных издержек.*

*Ключевые слова: диагностирование, тепловая модель, латентный дефект, термограмма, радиоэлектронная аппаратура, тепловая модель*

### Об авторах

**Дао Ань Куан** – аспирант 2-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail*: anhqvan.hvu@gmail.com. 119454, ЦФО, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78.

**Увайсов Сайгид Увайсович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

**Черновверская Виктория Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

В процессе производства и эксплуатации электронных устройств ошибки неизбежны, поэтому диагностика и анализ ошибок являются неотъемлемой и важной задачей, которую необходимо решать и исследовать.

Для детектирования ошибки, полученной в печатном узле, в настоящее время используют методы неразрушающего контроля и испытаний. Одним из наиболее эффективных методов является метод, основанный на тепловидении для диагностики.

Изменение температуры приводит к изменению не только показателей надежности, но также электрических и механических характеристик. Так как нарушение теплового режима в устройстве может быть вызвано наличием дефектов, то их можно выявлять по значению температуры. Поэтому разработка метода диагностирования РЭС на основе анализа температурных характеристик является актуальной научной задачей. Анализ техни-

ческого состояния радиоэлектронных средств при поиске неисправностей является одним из наиболее сложных процессов. На сегодняшний день распространенным методом диагностирования элементов РЭС является анализ электрических параметров [1; 2].

Тепловой контроль — один из видов неразрушающего контроля, основанный на фиксации и преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр. Тепловой метод применяется во всех отраслях промышленности, где по неоднородности теплового поля можно судить о техническом состоянии контролируемых объектов.

Тепловые методы неразрушающего контроля дают хорошую визуализацию того, как физические принципы обнаружения дефектов оказались реализованными на практике лишь после создания быстродействующей аппаратуры для дистанционного анализа инфракрасного (ИК) излучения.

Таким образом, процесс диагностирования переживает качественно новый скачок, что выражается в совместном использовании

современных технических средств измерения (чувствительные тепловизионные камеры, сопрягаемые с компьютером) и применении программного обеспечения для задач моделирования [3].

Для измерения температуры на плате используются следующие методы.

*Контактные методы* измерения температуры находят достаточно широкое применение в виду простоты и доступности их использования. Наибольшее распространение получили термопары, термокраски, всевозможные термометры.

*Бесконтактные методы* измерения температуры, основанные на свойстве тел излучать электромагнитную энергию, пропорциональную их температуре [4].

Целью данного исследования является разработка метода теплового диагностирования радиоэлектронных средств на основе измерения температуры элементов конструкции и разработка тепловой диагностической модели РЭС на основе применения нейронной сети для выявления и диагностики дефектов печатного узла.

В качестве задач, которые необходимо решить в ходе данного исследования, можно выделить:

- анализ существующих методов и средств выявления дефектов в РЭС и обоснование возможности решения задач автоматизированного диагностирования радиотехнических устройств по тепловым характеристикам;
- разработка метода теплового диагностирования РЭС для обнаружения и локализации производственных дефектов;
- разработка тепловой диагностической модели РЭС;
- разработка методики теплового диагностирования с помощью искусственной нейронной сети;
- проведение экспериментальных исследований с целью подтверждения достоверности результатов работы и раз-

работанных программно-методических средств;

- внедрение результатов исследования в практику производства РЭС.

Структурная схема метода теплового диагностирования РЭС по температурным показателям приведена на рис. 1.

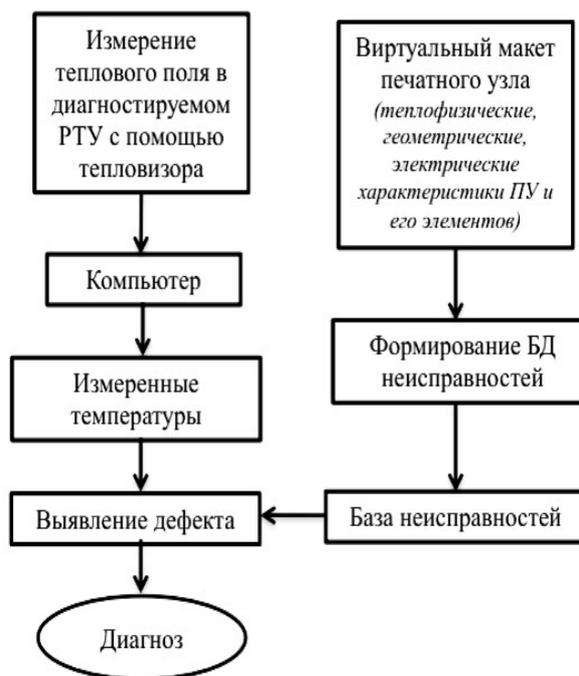


Рис. 1. Схема метода теплового диагностирования РЭС

Схема состоит из двух «ветвей». Первая ветвь — это результаты измерения параметров диагностируемого РЭС, выполненные на специализированном оборудовании, вторая — характеристики РЭС, полученные в результате моделирования в САПР *SolidWorks*. По идентичности параметров, полученных на измерительном оборудовании, и результатов моделирования можно судить о корректности разработанной тепловой модели РЭС и высокой степени достоверности полученных результатов. При проведении моделирования был выполнен предварительный анализ электрической принципиальной схемы диагностируемого РЭС в среде *Multisim*. Его результаты представлены на рис. 2.

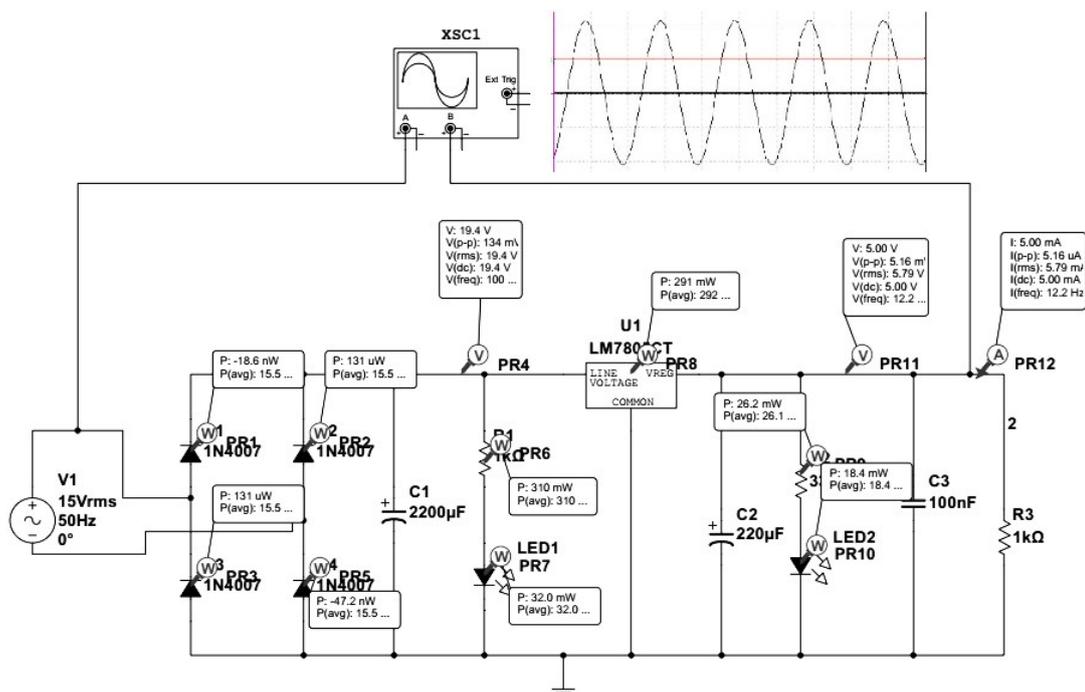


Рис. 2. Синтез электрической принципиальной схемы РЭС в среде *Multisim* и анализ сигналов в схеме

### Моделирование тепловых процессов с использованием программного обеспечения *SolidWorks*

Когда электрический ток протекает через электронное устройство (активное или пассивное), часть энергии рассеивается в виде тепла. Если тепловой режим, в котором эксплуатируется РЭС, выходит за рамки рабочих характеристик, т.е. присутствуют перегревы отдельных элементов узла, то его производительность и надежность серьезно снижаются, что является причиной возникновения отказов и уменьшения срока службы РЭС в целом. Из практики известно, что все силовые электронные элементы выделяют большое количество тепла при нормальной работе. Это тепло необходимо отводить из рабочего объема узла во избежание выхода его из строя.

Согласно законам физики, количество тепла  $Q$ , рассеиваемое электронными устройствами в единицу времени  $t$ , пропорционально площади поверхности для теплообмена.

Основываясь на этих принципах и используя современные пакеты топологического

проектирования (*Altium Designer*) и инженерного анализа (*SolidWorks Flow simulation*), была создана тепловая модель РЭС. Упрощенная схема этого процесса представлена на рис. 3, а на рис. 4–6 показаны этапы создания тепловой модели РЭС.

Следующим этапом стало моделирование и исследование работы узла, когда в схему вносятся различные неисправности. При этом параметры и характеристики схемы детально описываются для всех смоделированных дефектов. Этот этап отражен на рис. 7–10.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов стали исходной информацией для формирования базы данных возможных дефектов схемы. Наполнением этой базы стали значения параметров схемы, а также визуальные данные в виде карт температурных полей для каждого конкретного случая, т.е. были созданы «шаблоны дефектов», с которыми можно сравнивать реальные случаи, обнаруженные при тепловизионной диагностике РЭС. Для обработки такой информации применение традиционных вы-

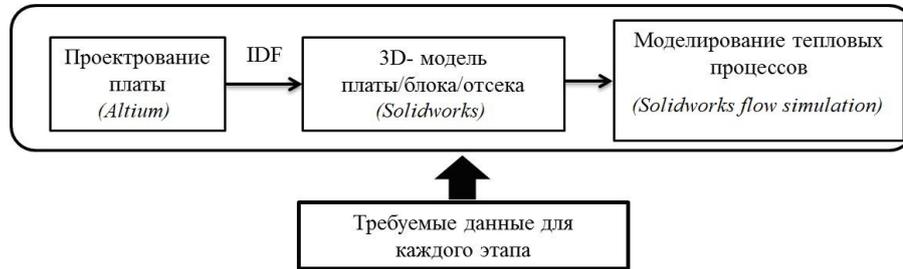


Рис. 3. Схема разработки тепловой модели РЭС с использованием программного обеспечения *Solidworks*

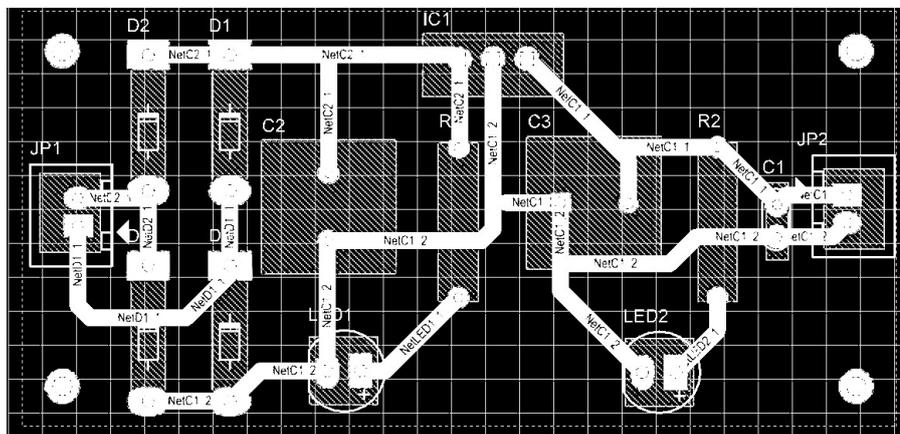


Рис. 4. Проектирование топологии печатного узла в САПР *Altium Designer*

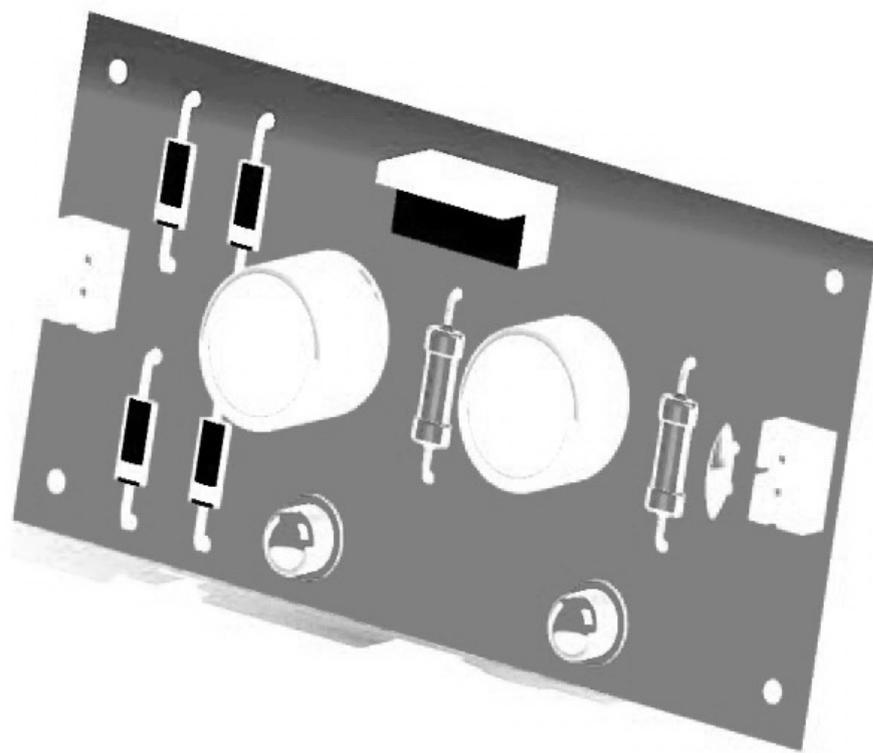


Рис. 5. Разработка 3D-модели печатного узла в САПР *SolidWorks*

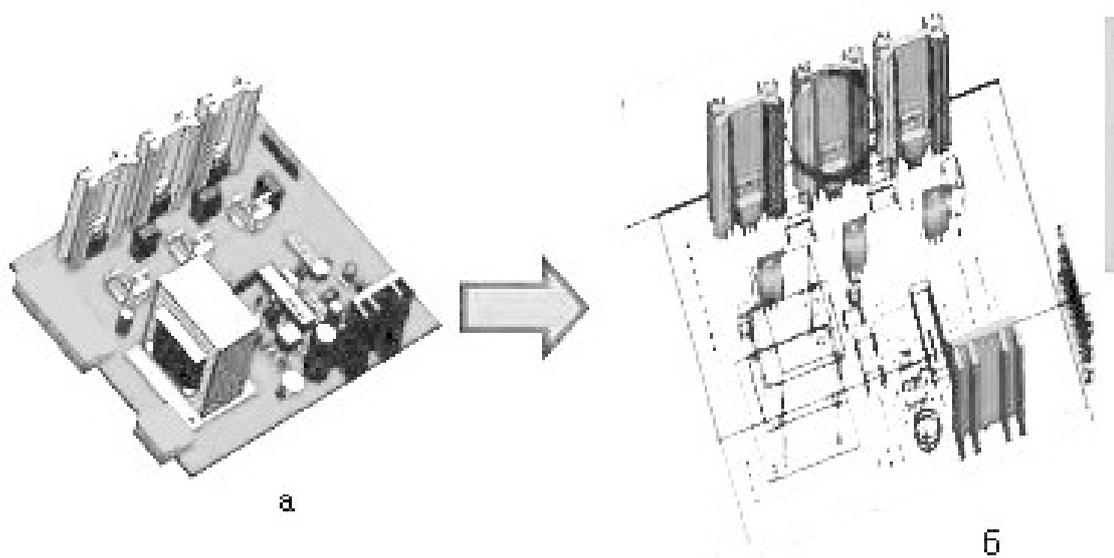


Рис. 6. Примеры термического анализа на электронных платах с использованием программного обеспечения *SolidWorks*: а) 3D-модель платы; б) температура твердых тел

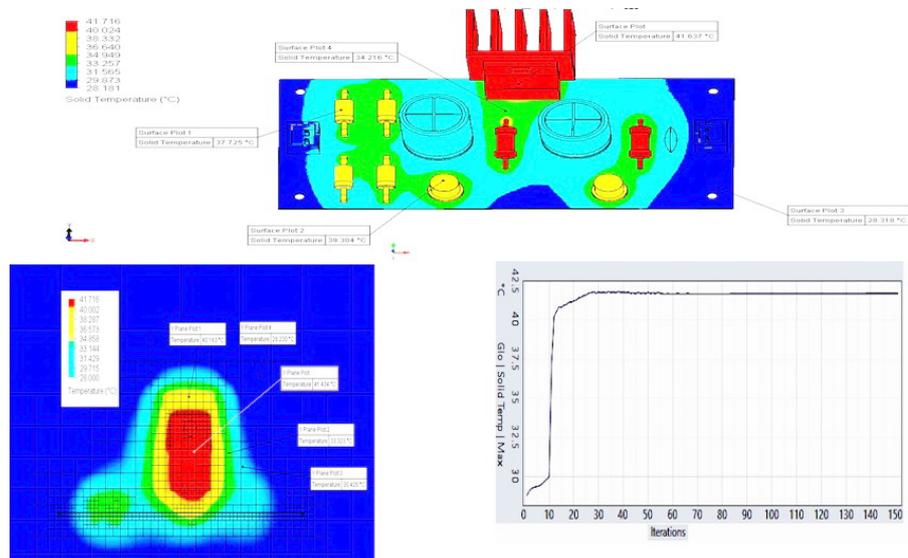


Рис. 7. Схема без дефектов. Образцовый вариант

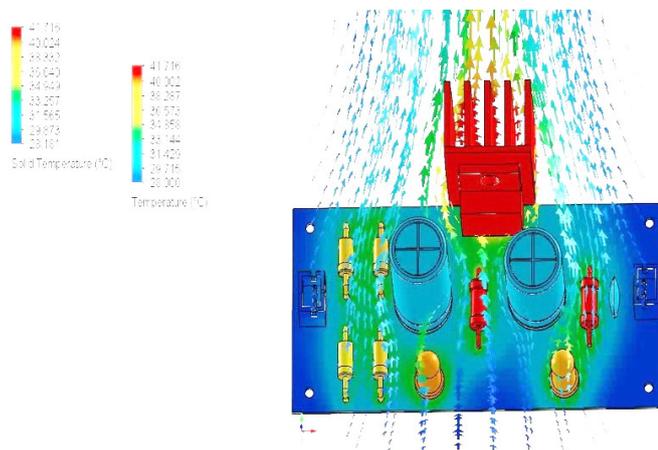


Рис. 8. Моделирование тепловых потоков для образца

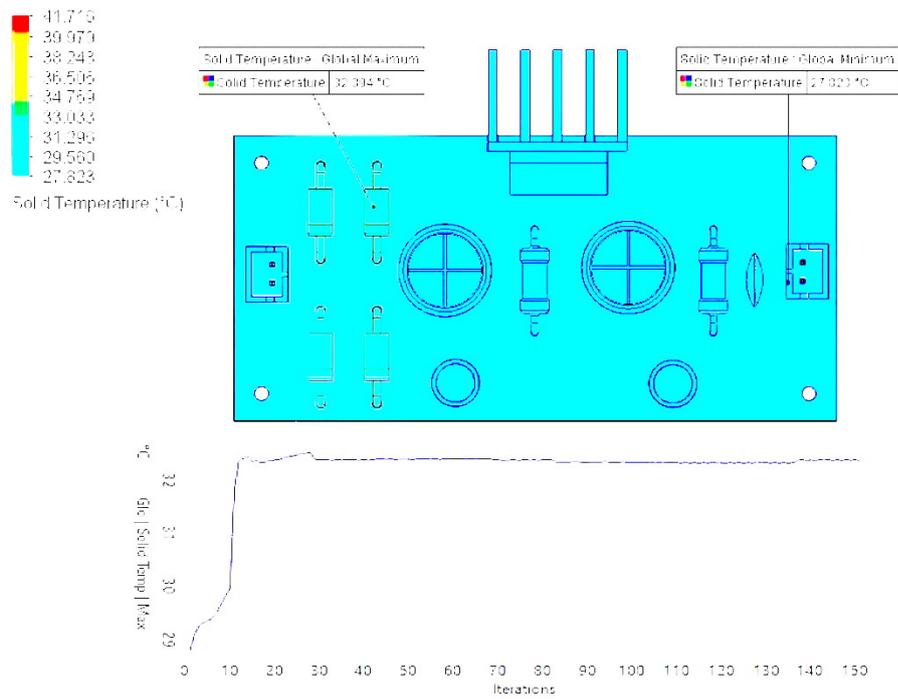


Рис. 9. В схему внесен искусственный дефект – не функционирует ИМС IC 7805

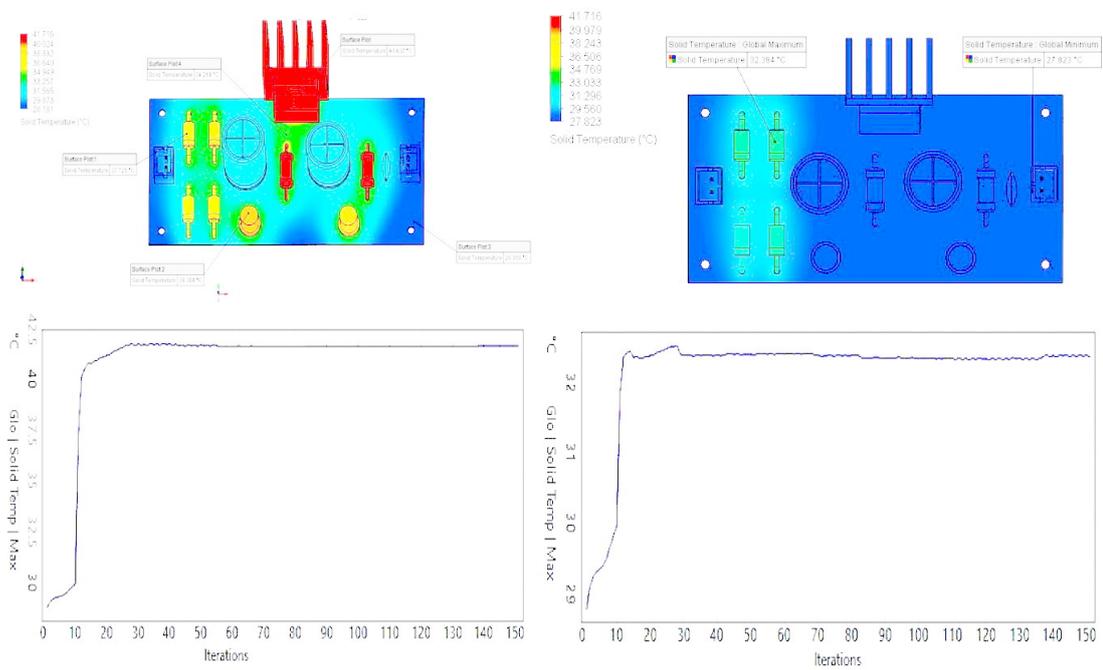


Рис. 10. Сравнительный анализ испытаний двух модельных экспериментов

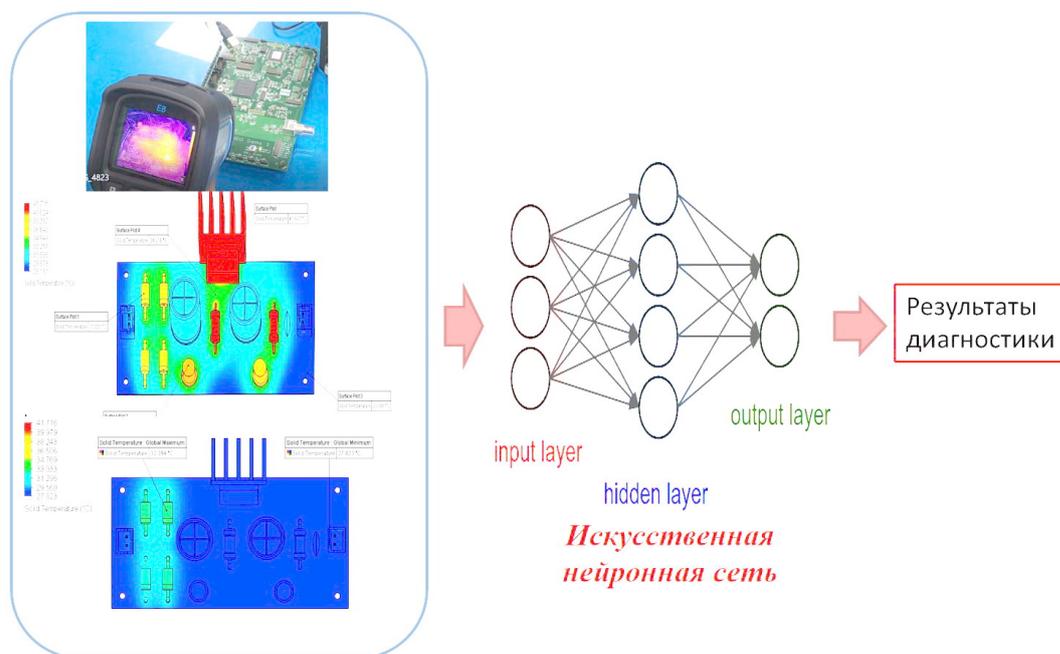


Рис. 11. Формирование базы дефектов на основе тепловизионной диагностики РЭС и обучение нейронной сети

числительных алгоритмов становится недостаточным, поскольку в информационном потоке могут наблюдаться неструктурированные или нечеткие данные. Это может быть связано с характером проводимых измерений (стационарно или на мобильном объекте), физическими особенностями измерительной аппаратуры, ее чувствительностью, погрешностями измерений и др. Несмотря на это, разрабатываемый метод диагностирования должен иметь возможность обнаруживать неисправности интегральных схем, извлекать характеристики из ИК-изображений, анализировать их и выполнять правильную классификацию неисправностей. Оптимальным инструментом для дальнейшего анализа и интерпретации результатов в этом случае становится аппарат искусственной нейронной сети (ИНС), обученной на шаблонах дефектов из созданной базы данных [5]. Обобщенная схема для обучения нейронной сети представлена на рис. 11.

### Заключение

Диагностика дефектов печатного узла РЭС на основе температурных характеристик

в сочетании с искусственными нейронными сетями — это новый метод, объединяющий в себе высокую точность получаемых результатов, возможность интерпретации нечетких данных, расширение функционала традиционной системы диагностирования. Моделирование тепловых процессов с использованием САПР *Solidworks* и специализированного программного обеспечения *Ansys* дает достаточно точные результаты, согласующиеся с результатами экспериментов на реальном объекте исследования. Это может свидетельствовать об адекватности разработанной модели. Обучение ИНС на шаблонах дефектов, внесенных в базу данных, и дальнейшее ее применение в задачах диагностирования РЭС позволит достичь высокой точности результатов, снизить процент ошибок и необнаружения дефектов в исследуемых объектах.

### Библиографический список

1. Сулейманов С.П., Чернов Н.М., Подкопаев А.А., Долматов А.В. Тепловой метод диагностирования радиоэлектронных средств // Системные проблемы ка-

- чества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. и Рос. науч. шк. М.: ГНПО «Агат», 2001. Ч. 2. С. 36–43.
2. Сулейманов С.П., Долматов А.В., Увайсов С.У. Теплое диагностирование радиоэлектронных устройств // Радиовысотометрия-2004: тр. Первой Всерос. науч. конф. / под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 55–59.
  3. Исаев С.С., Юрков Н.К. Методика тепловизионного контроля неисправностей печатных узлов РЭА на этапе производства. Пенза: Пензенский государственный университет, 2016. С. 94–98.
  4. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика. Томск: Томский политехнический университет, 2007. 104 с.
  5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.

---

*Поступила в редакцию  
06.05.2020*