

УДК 621.3.087.42

*Фам Лэ Куок Хань, С.У. Увайсов, В.В. Черноверская*

## Разработка метода ударной диагностики для выявления дефектов электронных средств

*Рассмотрен метод ударной диагностики дефектов электронных средств посредством генерации тестовых ударных воздействий. Проанализированы существующие проблемы диагностирования конструкций электронных средств и обоснована актуальность проводимого исследования. Представлена экспериментальная установка и проведено исследование на конкретном объекте.*

*Ключевые слова: диагностика дефектов, ударное воздействие, электронные средства, механические дефекты, искусственная нейронная сеть*

### Об авторах

**Фам Лэ Куок Хань** – аспирант 3-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail*: kxanhmtak45@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.

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

Современные электронные средства выполняют сложные и важные задачи в различных сферах деятельности человека и в промышленности, поэтому возникновение внезапных отказов эксплуатируемых устройств неизбежно приводит к убыткам, связанным с необходимостью вложения финансовых, временных и человеческих ресурсов в устранение форс-мажорных ситуаций. Современные электронные средства — это сложные технические комплексы, в которых могут присутствовать скрытые дефекты с длительным латентным периодом. Для обнаружения сложных дефектов разработаны различные методы диагностики [2; 3]. На рис. 1 представлена диаграмма распределения отказов РЭС по разным видам дефектов.

Из рисунка видно, что чаще всего дефекты в конструкциях появляются вследствие механических воздействий. Для диагностики механических дефектов наиболее часто

применяются методы вибродиагностики. Однако накопленный опыт исследований в этой области показывает, что не все механические дефекты являются чувствительными к вибрации. В представленной работе поставлена задача улучшить, развить и дополнить метод вибродиагностики методом ударной диагностики.

### Состояние проблемы диагностирования конструкций

При испытаниях и на стадии эксплуатации из-за высоких механических нагрузок в электронных средствах возникают различные механические конструктивные дефекты, что приводит к изменению механических параметров устройства [1]. В работах Н.И. Каленковича и В.Б. Карпушина показано влияние механических воздействий на показатели надежности электронных средств. На рис. 2 перечислены основные типы дефектов, характерных для электронных средств, выявление которых возможно при анализе на основе ударных воздействий.

В части выявления механических де-



Рис. 1. Распределение отказов радиокомпонентов по видам дефектов

фектов, вызывающих неисправность электронных средств, получены теоретические и прикладные результаты, позволяющие оценивать технические электронные средства [1].

### Экспериментальная часть

Диагностируемый объект устанавливается на вибростенде винтовыми креплениями, затем на нем фиксируется датчик. Вибростенд имеет два интерфейса взаимодействия с персональным компьютером (ПК). Управление стендом осуществляется через задающий генератор (управляющий интерфейс), а сбор информации от датчика осуществляется через блок обрабатываемых данных (интерфейс данных). При подготовке натурного эксперимента особое внимание было уделено определению местоположения датчика на коммутационном поле печатного узла. Первые опыты, проведенные в рамках исследования, показали, что на поверхности печатного узла присутствуют «слепые» зоны, попадая в которые, датчик не может корректно воспринимать реакцию объекта на создаваемое воздействие. Чтобы исключить экспериментальные ошибки и определить зону наилучшей чувствительности датчика, было проведено сеточное моделирование монтажно-коммутационного пространства печатного узла путем формирования непрерывно-дискретных областей, размер которых немного превышал площадь чувствительной поверхности датчика  $S$ , и пошагового анализа этих областей. Из дискретных областей, разрешенных для размещения датчика

(в которых отсутствуют установленные электрорадиоэлементы, крепежные отверстия и технологические ограничения), в «слепую» зону попали области, лежащие в окрестности точки пересечения главных диагоналей, а также зоны вблизи этих диагоналей. Последовательное исследование дискретного монтажного пространства печатного узла позволило определить область наибольшей чувствительности датчика, в которую он и был зафиксирован для проведения дальнейших опытов. На рис. 3 представлена установка для диагностики на основе ударных воздействий.

Для проведения испытаний на ударное воздействие используется специализированное программное обеспечение, устанавливаемое на ПК, которое позволяет генерировать серии ударов с заданными временными параметрами, заполненные шумом в определенном диапазоне частот. Состояние в процессе возбуждающего воздействия отображается в окне программы и может быть сохранено для дальнейшего анализа. Для проведения эксперимента в качестве объекта исследования был выбран печатный узел делителя напряжения.

### Результаты

В рамках рассматриваемого исследования проведена серия опытов, в которой искусственно были созданы дефекты — отсутствие шайбы в разных местах крепления печатного узла. На рис. 4 показан ход проведения опыта.

В результате исследования было выявлено, что для разных дефектов формируются разные ударные спектры. Результаты экс-



Рис. 2. Типы механических дефектов, выявляемые по ударным воздействиям

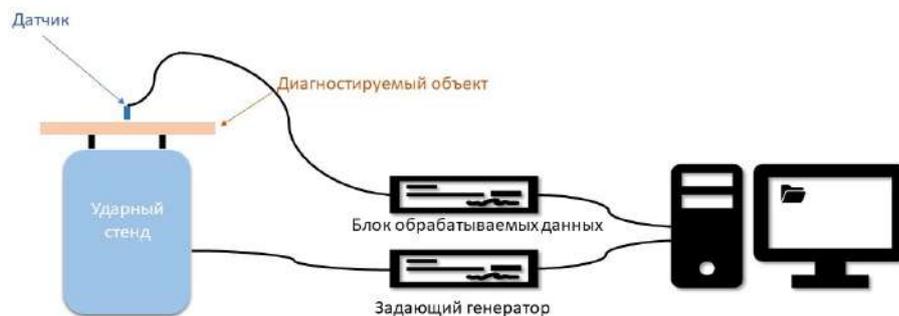


Рис. 3. Установка для диагностики на основе ударных воздействий

периментального исследования представлены на рис. 5–8.

Дальнейший анализ полученной информации позволит структурировать ее и создать базу данных неисправностей, которая в свою очередь послужит основой для создания и обучения нейронной сети, дающей возможность однозначно идентифицировать дефекты электронного средства.

#### Создание базы неисправностей и разработка искусственной нейронной сети

Следующим важным этапом исследовательской работы является создание базы данных неисправностей электронных средств. Разрабатываемая база будет содержать численные значения характеристик и парамет-

ров, а также графическую и визуальную информацию о дефектах, выявленных в результате натурального эксперимента и выполненных с помощью моделирования в специализированных программных средах (*Solidworks*, *АСОНИКА-М* и др.). Этот этап является весьма трудоёмким, поскольку требует описания большого количества возможных дефектов, диагностируемых на вибростенде и создаваемых в среде моделирования, но от степени структурированности и детальности создаваемой базы неисправностей напрямую зависит качество обучения разрабатываемой нейронной сети, возможность классификации и кластеризации данных, грамотное применение методов статистического анализа и механизмов работы с большими данными. Со-

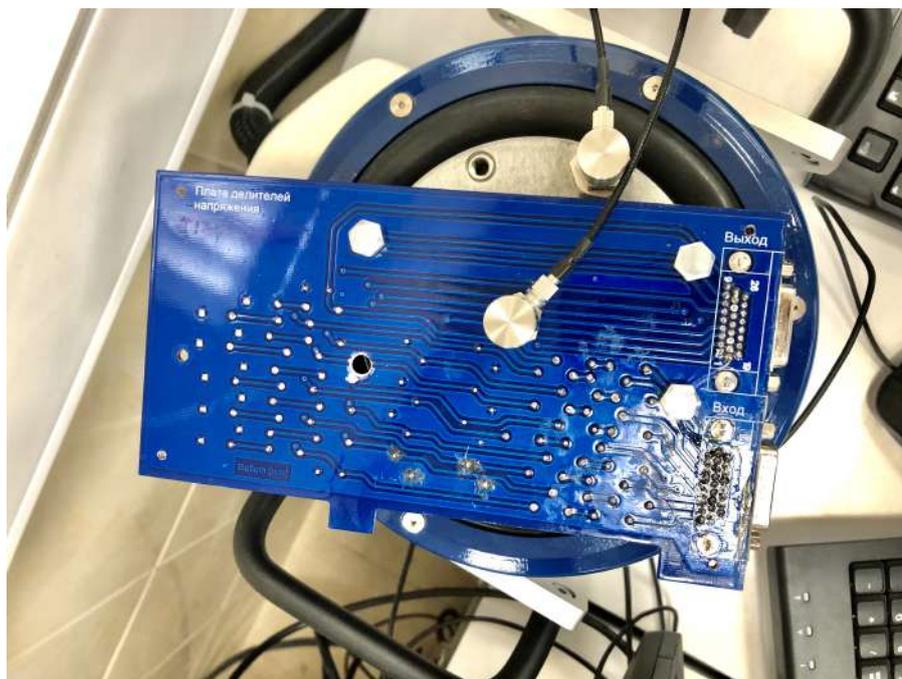


Рис. 4. Эксперимент на печатном узле делителя напряжения

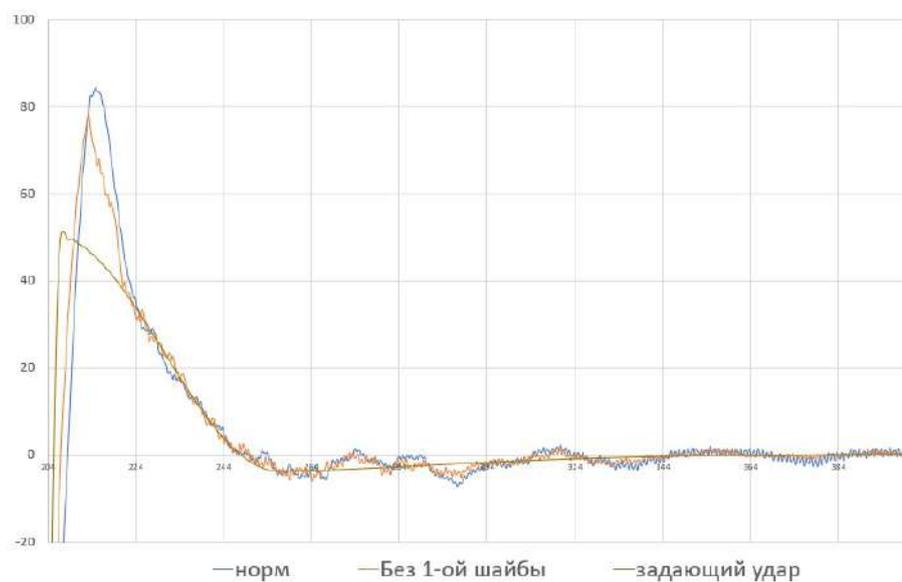


Рис. 5. Моделирование дефекта без 1-й шайбы

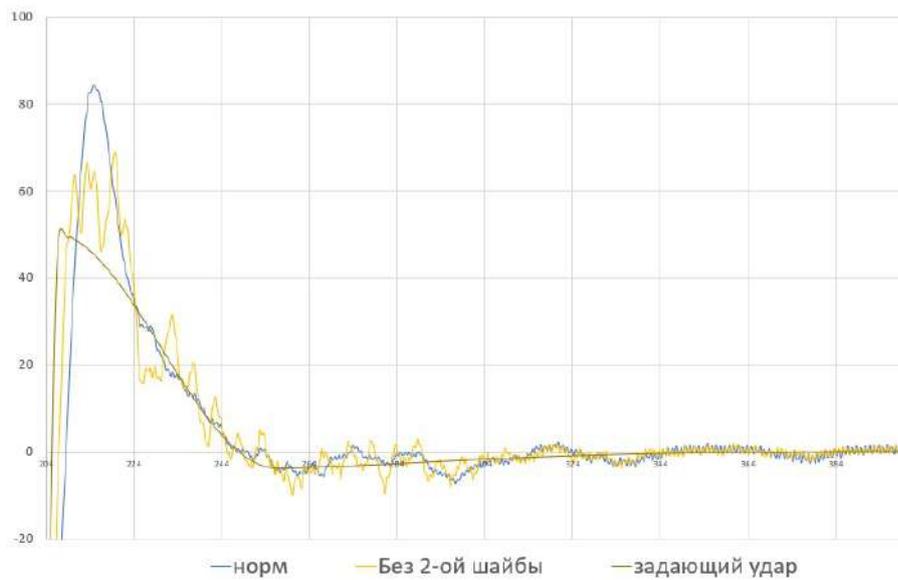


Рис. 6. Моделирование дефекта без 2-й шайбы

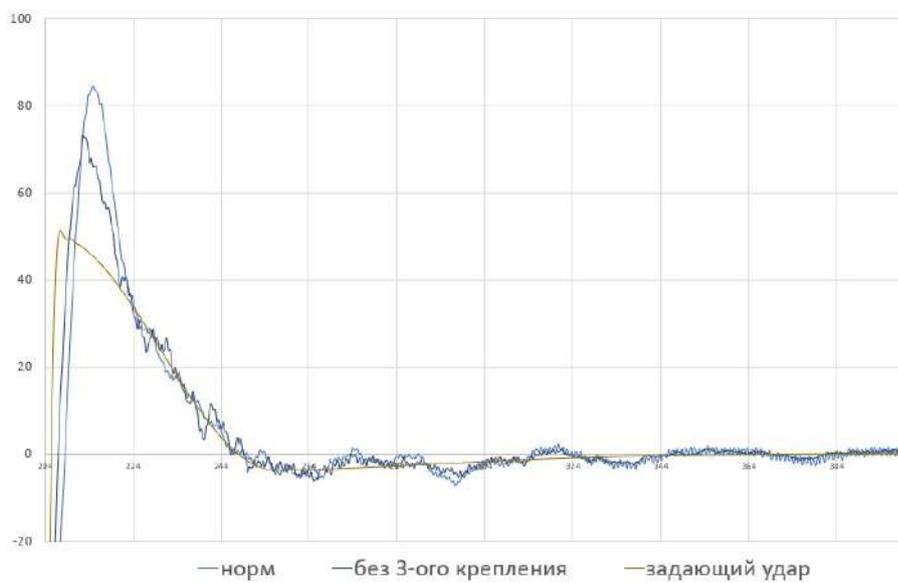


Рис. 7. Моделирование дефекта без 3-го крепления

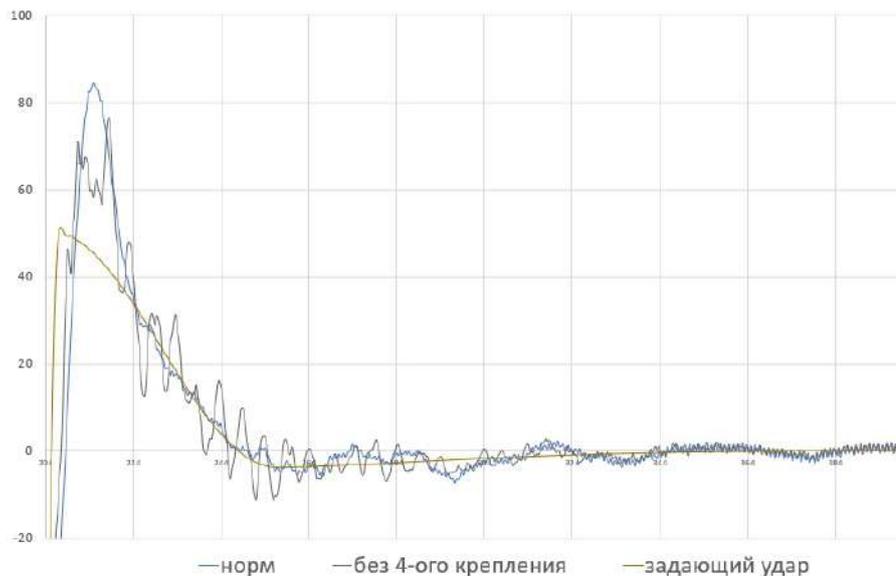


Рис. 8. Моделирование дефекта без 4-го крепления

зданная база неисправностей станет инструментом для обучения нейронной сети, а после завершения этого процесса даст ей возможность выявлять дефекты электронного средства и однозначно идентифицировать их (или отнести к некоторому классу существующих дефектов), что в свою очередь позволит определить отказавший элемент и его координаты на печатном узле.

Решение применить аппарат нейронных сетей для распознавания дефектов электронных средств на основе ударных воздействий основывалось, с одной стороны, на его универсальности и возможности применения в различных областях исследований, а с другой – на признании того факта, что информация, полученная в результате проводимых испытаний и моделирования, может быть трудно формализуемой и сложной для анализа ввиду присутствия в ней нечетких данных, которые трудно оценить с помощью стандартных математических инструментов. В подобной ситуации искусственная нейронная сеть имеет большое преимущество, поскольку её можно использовать в качестве функции аппроксимации, которая «учится» на основе имеющихся данных [4]. Схема предлагаемого процесса обучения нейронной сети показана на рис.

9, а на рис. 10 – пример регрессионного анализа на основе известной линейной функции  $y = ax + b$ .

Пример, представленный на рис. 10, показывает формирование линии тренда (или линии наилучшего соответствия) – инструмента для прогнозирования, получившего широкую популярность за свою простоту понимания и вычисления и активно применяющегося в обучении искусственных нейронных сетей.

Для дискретного набора данных (точки) необходимо найти зависимость (линия, задаваемая уравнением прямой  $y = ax + b$ ), которая будет наиболее точно отражать взаимосвязь между аргументом  $x$  и значением функции  $y$ .

Как только эта зависимость найдена (в нашем случае – подобраны коэффициенты  $a$  и  $b$ ), нейронная сеть сможет выполнять прогнозирование относительно новых данных, поступающих в систему, и максимально точно идентифицировать их. Для получения более точной характеристики исходного набора дискретных данных могут вводиться коэффициенты регрессии, коэффициенты корреляции, применяется метод градиентного спуска. Для предупреждения возможного пере-



Рис. 9. Процесс обучения нейронной сети

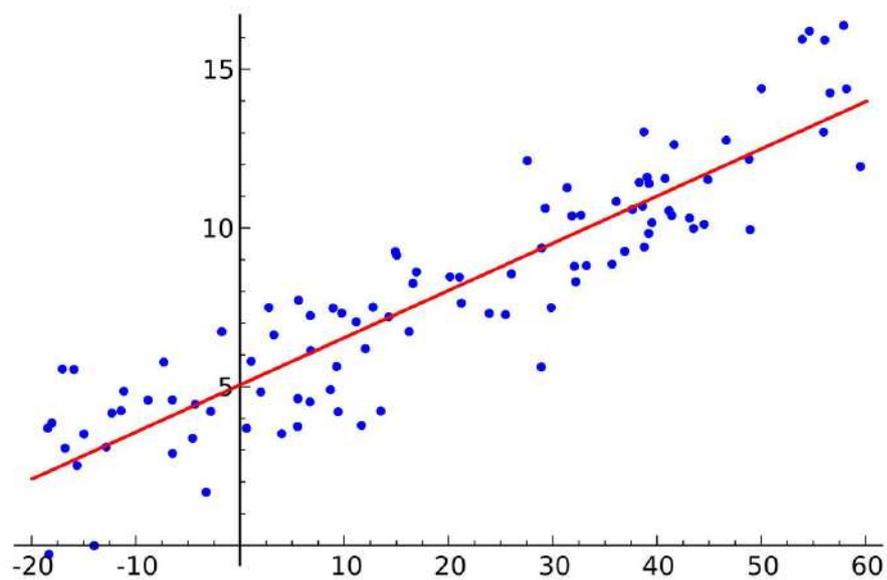


Рис. 10. Набор точек и график функции  $y = ax + b$  для представления взаимосвязи между переменными  $x$  и  $y$

обучения нейронной сети может применяться процедура валидации (оценка того, насколько точно модель предсказывает новые данные).

Аналогично, по созданной базе неисправностей будет обучаться искусственная нейронная сеть, которая сможет идентифицировать различные типы дефектов на основе сопоставления характеристик для дальнейшего прогнозирования. Чем больше обучающих примеров будет предоставлено искусственной нейронной сети, тем точнее она будет решать в дальнейшем поставленную задачу.

### Выводы

В данной работе представлены результаты научного исследования для задачи диагностирования дефектов электронных средств методом генерации ударных воздействий на объект исследования. Оборудованием для исследования являлся вибростенд, имеющий два интерфейса взаимодействия с ПК – управляющий и для передачи данных. Все проводимые испытания параллельно моделировались в среде *SolidWorks*, что позволило говорить об адекватности и правдоподобности полученных результатов. Дальнейшим направлением исследования является разработка на основе проведенных испытаний базы неисправностей и дефектов электронных средств, которая, в свою очередь,

станет основой для обучения искусственной нейронной сети. По окончании обучения нейронная сеть станет инструментом для обнаружения и идентификации дефекта электронного средства, позволяющим с высокой степенью достоверности выявить отказавший электронный компонент и определить его местоположение на печатном узле.

### Библиографический список

1. Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 1. С. 60–62.
2. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
3. Ланин В.Л., Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. 2010. № 2. С. 137–142.
4. Станкевич Л.А. Интеллектуальные системы и технологии. М.: Юрайт, 2019. 397 с.

---

*Поступила в редакцию  
06.05.2020*