

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент

Заведующий кафедрой КиПР

_____/_____/

_____/_____/ Н.И. Войтович

« ____ » _____ 2020 г.

« ____ » _____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ К
МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-11.04.03.2020.590.00 ПЗ ВКР

Консультант

Руководитель от предприятия

_____/_____/

инженер-конструктор 2 категории

" ____ " _____ 2020 г.

_____/_____/ Дьяков Р.Е.

" ____ " _____ 2020 г.

Руководитель от кафедры КиПР

старший преподаватель

_____/_____/ Суворов П.В.

" ____ " _____ 2020 г.

Автор работы

студент группы КЭ-224

_____/_____/ Гиниятов А.Р.

" ____ " _____ 2020 г.

Нормоконтролер

аспирант кафедры КиПР

_____/_____/ Юнгайтис Е.М.

" ____ " _____ 2020 г.


Челябинск 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Гиниятов А.Р., Разработка методики анализа печатных узлов к механическим воздействиям – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2020, 45 с., 34 ил., библиогр. список – 30 наим., 2 прил.

В данной выпускной квалификационной работе произведена разработка методики анализа устойчивости печатных узлов к механическим воздействиям.

В ходе работы над проектом были произведены расчеты на устойчивость печатного узла к внешним механическим воздействиям по группе М25 ГОСТ 30631-99, а также с превышением параметров. Для автоматизации процесса проектирования был использован программный пакет SOLIDWORKS.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Гиниятов			Разработка методики анализа устойчивости печатных узлов к механическим воздействиям	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Дьяков					6	45
Пров.		Суворов				ЮУрГУ Кафедра КиПР		
Н. Контр.		Юнгайтис						
Утв.		Войтович						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	9
1.1 Постановка задачи проектирования.....	9
2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.....	13
3.1 Выбор системы САЕ.....	13
3.1.1 Формулировка требований к системе САЕ.....	13
3.1.2 Выбор и обоснование систем САЕ.....	15
3.2 Разработка инструкции по анализу устойчивости печатного узла к механическим воздействиям.....	22
3.2.1 Описание исходных данных.....	22
3.2.2 Формулировка задачи	23
3.2.3 Расчёт в системе САЕ.....	24
3.2.3.1 Синусоидальная вибрация по группе М25 ГОСТ 30631-99.....	31
3.2.3.2 Синусоидальная вибрация с превышением параметров по группе М25 ГОСТ 30631-99.....	32
3.2.3.3 Одиночный удар по группе М25 ГОСТ 30631-99.....	34
3.2.3.4 Одиночный удар с превышением параметров по группе М25 ГОСТ 30631-99.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	40
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Методика анализа устойчивости печатных узлов к механическим воздействиям.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Презентация. Разработка методики анализа устойчивости печатных узлов к механическим воздействиям.....	45

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни радиоэлектронные и радиотехнические средства занимают важную позицию во многих отраслях науки и техники. Большое внимание уделяется развитию изделий как военной, так и гражданской тематики.

АО «НПО «Электромашина» – одно из крупнейших предприятий, специализирующихся на качественном производстве и ремонте электрооборудования с применением инновационных технологий и методик с использованием современных САД и САЕ.

Основными требованиями к изделиям АО «НПО «Электромашина» являются: соответствие назначению, высокая производительность, обеспечение высокого уровня качества, надежности и ремонтпригодности. В целях повышения качества и надежности продукции, большое внимание уделяется анализу на устойчивость к механическим воздействиям (вибростойкость, ударопрочность и т.д.).

Анализ изделий с помощью систем САЕ позволяет сократить расходы ресурсов (денежных и материальных) на проектирование испытательных стендов и дорогостоящих опытных образцов.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.

1.1. Постановка задачи проектирования.

В данной работе необходимо произвести расчет механических нагрузок печатных плат с помощью современных систем САЕ.

В качестве исходных данных выступают:

- а) конструкторская документация на печатный узел;
- б) 3D файла печатного узла в формате STEP.

Расчет производится согласно механическим воздействиям для группы М25 ГОСТ 30631-99 [23].

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Для разработки методики анализа устойчивости печатного узла к механическим воздействиям были проанализированы нормативные документы (ЕСКД, ГОСТы и прочие), а также изучены инструкции по работе в программных пакетах [1].

Были изучены методические пособия и статьи по обеспечению устойчивости к механическим нагрузкам, а также расчетов на максимально допустимые нагрузки на изделия и их составные части.

В статьях [2] и [3] описываются расчеты на устойчивость к статическим механическим воздействиям различных материалов.

В статье [4] производилось исследование шарика припоя на срез из-за механического воздействия на печатный узел.

В книге Вершинина О.Е. описываются основные элементы печатного узла (резисторы, конденсаторы и т.д.), способы их установки, для повышения их устойчивости к механическим, электрическим прочим воздействиям [6].

В книге Ненашева А.П. описываются виды и источники механических воздействий, влияние таких воздействий на РЭС, а также способы защиты РЭС от механических воздействий [7].

В книге Фрумкина Г.Д. описываются формулы для расчетов: коэффициента виброизоляции, собственной резонансной частоты и жесткости амортизатора. Также описываются типы амортизаторов [8].

В пособии Леухина В.Н. указаны обобщенные параметры механических воздействий на РЭС [9].

В пособии Пудовкина А.П. описываются расчеты параметров печатного монтажа [10].

В работе Парфенова Е.М. производится расчет печатной платы на механические воздействия согласно условиям эксплуатации [11].

В пособии Тупика В.А. описываются технологические и конструкторские особенности производства ПП [12].

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

В книге Шахнова В.А. описываются расчеты прочности конструктивных элементов и срока службы конструкции РЭС [13].

В пособии Кольтюкова Н.А. описываются требования к несущим конструкциям РЭА и способы их оценки по прочности и жесткости [14].

В работе Шишкова А.Н. описываются основные типы механических воздействий [15].

В пособии Муромцева Д.Ю. описываются требования к электронным модулям нулевого уровня по устойчивости к механическим и климатическим воздействиям [16].

В пособии Федотова А.В. описываются параметры надежности и требования по устойчивости РЭА к механическим воздействиям [17].

В учебнике Шишмарева В.Ю. как и в пособии Федотова, описываются параметры надежности и требования по устойчивости РЭА к механическим воздействиям [18].

В пособии Барановой А.В. описываются параметры надежности и требования по устойчивости РЭА к механическим воздействиям [19].

В 4 выпуске журнала Радиолобитель за 1992 г. описывается влияние механических факторов на КВ-излучатели [20].

В пособии Белоусова О.А. описываются расчеты механических нагрузок РЭС [21].

В статье Апарникова А.Н. описывается анализ воздействия вибраций в Ansys [22].

В пособии Бруяка В.А. представлена инструкция по работе в Ansys [23].

В пособии Пироговой Е.В. представлены требования по устойчивости ПП к климатическим и механическим воздействиям [24].

В пособии Муромцева Д.Ю. описывается обеспечение защиты РЭС от механических воздействий и факторов внешней среды [25].

Также были рассмотрены 5 патентов необходимых для повышения эффективности ПУ к внешним воздействиям (вибрации и ударам).

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Патент на устройство для испытания изделий на случайные вибрации Аскарова Р.Р., Закировой А.Б., который рассматривает вибрацию как воздействие внешней среды [26].

Патент на устройство измерения виброперемещений Ивашова Е.Н., Федотова К.Д. Данная модель относится к области машиностроения. Устройство содержит неподвижное основание, пьезопривод и подложкодержатель для крепления подложки. Применение предлагаемого устройства измерения виброперемещений обеспечивает возможность измерения их амплитуды [27].

Патент на устройство для испытания на ударные нагрузки Колгановой В.Ю. и Паршутинной Е.В. Данное изобретение относится к испытательной технике. Изобретение может быть применено в устройствах для испытания изделий на воздействие ударных ускорений в большом диапазоне параметров удара, как при единичном, так и циклическом ударах [28].

Патент на стенд для ударных испытаний Мельника А.В., Крот М.Р., который способствует проверке устойчивости изобретений к внешним воздействиям на примере единичного удара [29].

А также нами был рассмотрен стенд для динамических испытаний Тупикова К.Н., Никонова М.Г. который может быть использован для контроля качества пластмассовых деталей интерьера салона для динамических испытаний на излом [30].

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.

3.1. Выбор системы САЕ.

3.1.1. Формулировка требований к системе САЕ.

Современные РЭС являются высоко сложными изделиями, способными работать в тяжелых условиях эксплуатации, а также подвергаться влиянию интенсивных внешних механических воздействий, что сказывается на конструкции и методах проектирования РЭА. Практически на всех этапах разработки изделий широко применяется машинное моделирование и компьютерный инженерный анализ.

Около половины отказов РЭА происходит из-за внешних механических воздействий, к числу которых относится вибрация и одиночный удар. Важным моментом при разработке конструкций является выбор такой компоновки, которая обеспечит наибольшую устойчивость печатного узла к внешним механическим воздействиям, а значит, главными параметрами будет вибростойкость и ударопрочность готового изделия.

Любые механические воздействия на ПУ приводят к изменению свойств полупроводников, нарушению электрических контактов, наводкам и изменению параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей, а также деформации элементов и другим отрицательным последствиям. Поэтому целесообразно производить анализ на устойчивость к механическим воздействиям до постановки изделий в производство, чтобы своевременно выявить недостатки и, по возможности, внести необходимые коррективы.

Можно выделить следующие виды процессов, которые могут возникать в конструкции при внешних механических воздействиях: удары и вибрации.

Под ударом понимается кратковременный переходный процесс движения точек конструкции вследствие приложения внешних воздействий. После удара в конструкции может возникнуть процесс затухающей вибрации. Вибрацией считается достаточно длительный процесс распространения по конструкции

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

упругих волн, это периодические колебания, возникающие при контакте с источником волн. Таким образом, задача анализа устойчивости РЭА к механическим воздействиям сводится к определению процессов, происходящих в конструкции РЭА.

К основным задачам анализа механических характеристик можно отнести:

- задачи расчета ударопрочности;
- задачи расчета вибростойкости;
- задачи расчета надежности печатного узла.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

3.1.2. Выбор и обоснование системы САЕ.

Использование компьютерного моделирования позволяет достичь высоких результатов в различных областях промышленности, в том числе при проектировании и изготовлении РЭС.

Существуют две основные группы программных комплексов: *CAD* и *CAE*.

CAD представляет собой программные комплексы, предназначенные для автоматизации процесса проектирования.

Основная цель таких систем – оптимизация и повышение эффективности проектирования, а также возможность использования наборов инструментов и технологий для подготовки КД и 3D-моделей. Примерами *CAD*-систем являются такие продукты, как Autodesk Inventor, SOLIDWORKS, КОМПАС-3D и др.

CAE предназначены для моделирования и анализа разнообразных физических процессов. Использование *CAE*-систем позволяет предприятиям существенно экономить материальные и временные затраты на натурных испытаниях макетов изделий, а главное – повышать качество выпускаемой продукции.

Часто *CAD* и *CAE* используются совместно как дополняющие друг друга этапы проектирования. Именно поэтому разработчики стремятся объединить в одном программном комплексе свойства обеих систем или создать механизмы взаимодействия, интеграции и обмена данными между ними.

Наиболее известными *CAE*-комплексами, являются ANSYS, Autodesk, NASTRAN, ABAQUS и т.д.

В России также получили распространение, основанные на МКЭ, комплексы КОМПАС, SCAD и Лира, а также развивается ПК FiDesys для моделирования задач механики деформируемого тела.

Приведем краткую характеристику некоторых САПР, позволяющих провести моделирование механических воздействий на печатный узел.

SCAD – вычислительный комплекс для прочностного анализа конструкций с помощью МКЭ. Программный комплекс позволяет проводить расчет напряженно-деформированного состояния конструкций из различных

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

материалов, включая стержневые, пластинчатые, твердотельные и комбинированные конструкции.

Рисунок 1 – Пример прочностного анализа в ПК SCAD

SCAD содержит библиотеку конечных элементов для моделирования различных типов конструкций, модулей анализа устойчивости, а также формирования расчетных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния элементов конструкций по различным теориям прочности, определения усилий взаимодействия отдельных элементов с основной конструкцией.

Несомненное преимущество данного комплекса для российских проектировщиков заключается в его локализации в соответствии с российскими стандартами проектирования и наличие русскоязычной версии.

Еще одним программным комплексом является *ABAQUS* – универсальная система общего назначения, применяемая для проведения многоцелевого, инженерного, междисциплинарного анализа в областях общей механики, машиностроения, электроники и металлургии. Данный пакет используется на всех этапах проектирования и создания изделий, а также практически всеми расчетными, проектными и технологическими службами предприятия. *ABAQUS* может взаимодействовать практически со всеми CAD-системами.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

Рисунок 2 – Пример прочностного анализа в ПК *ABAQUS*

Программный комплекс *ABAQUS* состоит из двух модулей-решателей – *ABAQUS/Standard* и *ABAQUS/Explicit*, постпроцессора *ABAQUS/CAE* и дополнительных модулей. *ABAQUS/CAE* – модуль пре- и постпроцессора программного комплекса *ABAQUS*, предназначенный для моделирования и визуализации результатов расчёта. Расчет может включать различные типы анализа: статический анализ напряжений/перемещений, динамический анализ напряжений/перемещений, сопряженный анализ тепло-механика и др.

При проектировании РЭС широко применяются программы пакета *Creo Parametric*. *PTC Creo* – система автоматизированного проектирования, являющаяся настраиваемой средой под задачи конкретного пользователя.

Рисунок 3 – Пример анализа прочности в ПК *Creo Parametric*

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

Creo Mechanica позволяет выполнить статический анализ для расчёта напряжений и перемещений, включая контактные нелинейные задачи.

Кроме того, разработчики изделий могут самостоятельно выполнять комплексный анализ РЭА, при котором результаты теплового анализа используются в качестве нагрузки для статического анализа.

ПК ANSYS – это многоцелевой пакет программ для численного моделирования физических процессов и явлений в области прочности, теплофизики, электромагнетизма и динамики. В ПК ANSYS применяется центральная база данных, включающая в себя информацию о модели и результатах численного анализа. Также в ANSYS решена проблема интеграции отдельных программных компонентов различных инженерных анализов в единую расчетную среду для полного раскрытия всех возможностей междисциплинарного анализа конструкций

Рисунок 4 – Пример анализа прочности в ANSYS

Программа состоит из препроцессорной части, процессора решения и двух постпроцессоров. Сведения о модели записываются в базу данных на стадии препроцессорной подготовки. На стадии работы процессора определяются тип численного анализа, граничные и начальные условия, а затем производится решение системы уравнений выбранным методом. Данные, полученные в результате расчета, записываются постпроцессором и могут быть проанализированы пользователем. В зависимости от физики рассматриваемой

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

задачи требуется выбрать подходящий программный модуль, в котором реализована необходимая математическая модель, а также численные методы ее решения.

Таким образом, ANSYS является одним из лидеров в области CAE-продуктов конечно-элементного анализа, который охватывает практически все виды инженерного анализа.

Для проведения прочностного анализа изделий также можно использовать SOLIDWORKS. Этот программный комплекс предназначен для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Он обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Система включает программные модули собственной разработки, а также сертифицированное ПО от специализированных разработчиков.

SOLIDWORKS Simulation – CAE модуль, основанный на методе конечных элементов и предназначенный для проведения прочностного анализа.

Рисунок 5 – Пример прочностного анализа в ПК SOLIDWORKS Simulation

Анализ, как и в других САПР, сводится к настройке материала конструкции или изделия, установке способов крепления, определению сил и нагрузок, а также генерации конечно-элементной сетки и запуску расчета.

Следует отметить еще одну систему – КОМПАС-3D компании АСКОН, которая является в России одним из ведущих разработчиков систем для автоматизации предприятий, широко применяющихся в машиностроении,

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

приборостроении, строительстве и энергетике. Принципиальным отличием КОМПАС-3D является использование отечественного математического ядра и параметрических технологий, полностью разработанных специалистами АСКОН. Компания АСКОН и компания НТЦ АПМ, российские лидеры разработчиков систем конечно-элементного анализа, объединили усилия для создания программного продукта, который помимо геометрического моделирования позволяет выполнить комплексный инженерный анализ, как отдельных деталей, так и сборок целиком.

В результате совместной работы, в среде КОМПАС-3D появилась САЕ библиотека, реализующая решения инженерных задач методом конечных элементов (КЭ). Подготовка геометрической 3D-модели и задание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D. С помощью *APM FEM* можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет. При этом процедура генерации конечных элементов проводится автоматически. В настоящее время инструменты *APM FEM* являются составной частью единой среды проектирования и анализа, обеспечивающей ассоциативную связь с геометрической моделью, единую библиотеку материалов и общий с КОМПАС-3D интерфейс.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Рисунок 6 – Пример прочностного анализа в КОМПАС-3D

Встроенный в КОМПАС-3D модуль прочностного анализа АРМ FEM позволяет провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет.

Таким образом, кратко проанализировав существующие САПР, можно сказать, что для проведения анализа механических характеристик подходят машиностроительные системы, имеющие встроенные модули для проведения прочностного расчета. Далее в работе будет использована программная система SOLIDWORKS.

3.2. Разработка инструкции по анализу устойчивости печатного узла к механическим воздействиям.

3.2.1. Описание исходных данных.

В качестве исходных данных для проведения расчета предоставлена 3D модель печатного узла.

Рисунок 7 – Исходная модель печатного узла.

В данном ПУ используются элементы только объемного монтажа:

- 5 резисторов;
- 2 керамических конденсатора;
- подстроечный резистор;
- потенциометр;
- клемма для подключения внешнего питания;
- управляющая микросхема;
- N-P-N транзистор;
- 3 светодиода, для индикации.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

3.2.2. Формулировка задачи.

По группе M25 ГОСТ 30631-99 [23, с.21] необходимо обеспечить устойчивость к синусоидальной вибрации с частотой от 0,5 до 100Гц с максимальной амплитудой ускорения 1g, а также одиночный механический удар с пиковым ударным ускорением 3g длительностью от 2 до 20мс.

Рисунок 8 – Требования к группе M25 по ГОСТ 30631-99

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

3.2.3. Расчёт в системе САЕ.

Для проведения расчёта необходимо упростить 3D модели элементов.

Для этого необходимо:

1. Убрать крепёжные элементы;
2. Исключить лишние вырезы, фаски, скругления;
3. Исключить острые кромки.

Также необходимо исключить интерференции.

Так как 3D модель ПУ была выдана в формате STEP, то была выявлена невозможность полного редактирования элементов. Поэтому было принято решение создания 3D моделей этих элементов заново.

Рисунок 9 – Упрощённая 3D модель.

После упрощения 3D модели каждому элементу был присвоен материал.

Для присвоения материала элементу необходимо действовать по алгоритму:

1. Открыть элемент
2. Выбрать команду «редактировать материал»
3. Выбрать необходимый материал из предложенного перечня

Рассмотрим присвоение материала на примере одного из пяти резисторов.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

Рисунок 10 – Исходные данные

Рисунок 11 – Редактирование материала

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

Рисунок 12 – Задание материала

В результате элементам были присвоены следующие материалы:

- 5 резисторов – АЛ8Т4 ГОСТ 1583-93;
- 2 керамических конденсатора – BeO;
- подстроечный резистор – ABS пластмасса;
- потенциометр – Окись алюминия;
- клемма для подключения внешнего питания – ABS пластмасса;
- управляющая микросхема – ABS пластмасса;
- N-P-N транзистор – Окись алюминия;
- 3 светодиода, для индикации – стекло;
- ПП – Гетинакс.

Для повышения точности расчетов были заданы условия сопряжения элементов и ПП.

Для предварительных расчётов необходимо произвести пробное наложение сетки с различной плотностью, чтобы определить, какие параметры

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

сетки эффективнее в данном случае, ведь чем выше плотность сетки, тем точнее результат расчета.

Рисунок 13 – Параметры первоначальной сетки

Рисунок 14 – Наложение первоначальной сетки

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

Рисунок 15 – Наложение сетки с параметрами плотности 25%

Рисунок 16 – Наложение сетки с параметрами плотности 50%

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

Рисунок 17 - Наложение сетки с параметрами плотности 75%

Рисунок 18 – Наложение сетки с параметрами плотности 100%

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

3.2.3.1. Синусоидальная вибрация
по группе М25 ГОСТ 30631-99.

Для произведения расчета необходимо:

1. Проверить модель на наличие интерференции

Рисунок 19 – Исходная модель ПУ

2. Задать параметры произведения расчета

Рисунок 20 – Задание параметров расчёта устойчивости ПУ к
синусоидальной вибрации

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

3. Наложить расчетную сетку

Рисунок 21 – Наложение расчётной сетки

4. Произвести расчет.

Рисунок 22 – Результаты исследования на устойчивость к синусоидальной вибрации по группе M25 ГОСТ 30631-99

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

3.2.3.2. Синусоидальная вибрация с превышением параметров
по группе М25 ГОСТ 30631-99.

1. Проверить модель на наличие интерференции

Рисунок 23 – Проверка модели на наличие интерференции

2. Задать параметры произведения расчета

Рисунок 24 – Задание параметров произведения расчёта устойчивости ПУ
к синусоидальной вибрации с превышением параметров

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

3. Наложить расчетную сетку

Рисунок 25 – Наложение расчётной сетки

4. Произвести расчет.

Рисунок 26 – Результаты исследования на устойчивости к
синусоидальной вибрации с превышением параметров по группе
М25 ГОСТ 30631-99

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

3.2.3.2. Одиночный удар по группе М25 ГОСТ 30631-99.

1. Проверить модель на наличие интерференции

Рисунок 27 – Проверка модели на наличие интерференции

2. Задать параметры произведения расчета

Рисунок 28 – Задание параметров произведения расчёта устойчивости ПУ
к одиночному удару

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

3. Наложить расчетную сетку

Рисунок 29 – Наложение расчётной сетки

4. Произвести расчет.

Рисунок 30 – Результаты расчетов на устойчивость к одиночному удару
по группе М25 ГОСТ 30631-99

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35

3.2.3.4. Одиночный удар с превышением параметров
по группе М25 ГОСТ 30631-99.

1. Проверить модель на наличие интерференции

Рисунок 31 – Проверка модели на наличие интерференции

2. Задать параметры произведения расчета

Рисунок 32 – Задание параметров произведения расчёта устойчивости ПУ
к одиночному удару с превышением параметров

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

3. Наложить расчетную сетку

Рисунок 33 – Наложение расчётной сетки

4. Произвести расчет.

Рисунок 34 – Результаты расчета на устойчивость к одиночному удару
с превышением параметров по группе М25 ГОСТ 30631-99

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы была разработана методика анализа устойчивости печатного узла к внешним механическим воздействиям.

Для работы был произведен тщательный анализ современных САД и САЕ, а именно их достоинства и недостатки. Исходя из данных результатов, была выбрана система SOLIDWORKS, как наиболее эффективная и доступная для решения данной проблемы.

В качестве основного источника была использована группа М25 ГОСТ 30631-99, в которой представлены точные значения, характерные для синусоидальной вибрации (диапазон часто от 0,5 до 100Гц при максимальной амплитуде ускорения $10\text{мс}^{-2}\text{g}$) и одиночного удара (пиковое ударное ускорение 30мс^{-2} с длительностью действия ударного ускорения от 2 до 20мс).

Но для повышения эффективности устойчивости РЭА к внешним механическим воздействиям были рассмотрены не только минимальные значения синусоидальной вибрации и одиночного удара, но и результаты с превышением данных параметров.

Анализ изучения печатного узла на устойчивость к внешним механическим воздействиям осуществляется поэтапно в соответствии с алгоритмом, предоставленном в приложении А.

Также для повышения эффективности устойчивости печатного узла и РЭА в целом были сформулированы следующие рекомендации:

1. При моделировании в системах САЕ нет возможности жестко связать ЭК между собой, так как на собранном ПУ это выполняется с помощью лакирования.
2. Собранный ПУ можно усилить рамой по контуру ПП.
3. При установке ПУ в корпус блока можно использовать гроверы, резиновые шайбы и прочие амортизаторы.

Таким образом, в ходе исследования выявлена целесообразность методики анализа устойчивости печатного узла к механическим воздействиям с

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

применением современных CAD и CAE программ и технологий, рассмотренных на примере SOLIDWORKS.

В качестве обобщения полученных результатов предложена методика анализа устойчивости печатного узла к механическим воздействиям.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Апарников, А.Н. Молодёжный научно-технический вестник / А.Н. Апарников. – 2015. - <http://ainsnt.ru/issue/757795.html>
2. Баранова, А.В. Основы надёжности электронных средств / А.В. Баранова, Н.П. Ямпурин. - Нижний Новгород: НГТУ, 2005. – 97с.
3. Belyaev, V.M. / V.M.Belyaev, A.A.Zurilin, S.O.Chercasov // On the Strength Calculation of the Rotating parts. - Procedia Chemistry, 2014.- №10, pp. 151-157.
4. Бруяка, В.А. Инженерный анализ в ANSYS – 2010. - <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxyYWR1bGxra3hneDoxYzc4MDUyOTVmYWE3Yzlh>
5. Вершинин, О.Е. Монтаж радиоэлектронной аппаратуры и приборов / О.Е. Вершинин, И.Г Мироненко. – М.: «Высш. шк.», 1991 г. – 208 с.
6. Гормаков, А.Н. Конструирование и технология электронных устройств и приборов. Печатные платы / Н.А. Воронина, А.Н. Гормаков. - Томск: ТПУ, 2006. - 164с.
7. Kim, J.W. / J.W. Kim, S.B. Jung // Reexamination of the solder ball shear test for evaluation of the mechanical joint strength. International Journal of Solids and Structures, 2006. - №43.
8. Кольтюков, Н.А. Основные конструкторские расчеты в РЭС: Учебное пособие / О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, А.Н. Грибков. – Тамбов: ТГТУ, 2009.
9. Леухин, В.Н. Проектирование радиоэлектронного узла на печатной плате/ В.Н. Леухин. Е.П. Павлов. –Марий-Эл: МарГТУ, 2003. -115с.
10. Муромцев, Д.Ю. Основы проектирования электронных средств / Д.Ю. Муромцев. – Тамбов: ТГТУ, 2011.
11. Муромцев, Д.Ю. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств. Курсовое проектирование. Учебное пособие. / Д.Ю. Муромцев, В.М. Балыбин, ЛП. Орлова. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 88с.
12. Ненашев, А.П. Конструирование радиоэлектронных средств / А.П. Ненашев. – М.: «Высш. шк.», 1990. – 432с.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

13. Парфёнов, Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры / Е. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачёв. – М.: Радио и связь, 2006.
14. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат / Е.В. Пирогова. – М.: Изд-во «Высш.обр-е», 2005. – 560с.
15. Пудовкин, А.П. Проектирование РЭС: Учебное пособие / А.П. Пудовкин, Н.А. Малков. – Тамбов.: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. -160 с.
16. Тупик, В.А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры / В.А. Тупик. – СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. – 144с.
17. Федотов, А.В. Основы теории надежности и технической диагностики / А.В. Федотов, Н.Г. Скабкин. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2010. - 64с.
18. Фрумкин, Г.Д. Расчёт и конструирование радиоэлектронной аппаратуры / Г.Д. Фрумкин. – М.: «Высш.шк.», 1989.
19. Hopson, M. V. / M.V.Hopson, S.L.Bartyczak, C.M. Scott // Statistical Strength Measurements of Steel as Applied to Computational Statistically Compensated Fracture and Fragmentation Calculations. - Procedia Engineering, 2017. - №204, pp. 186-193.
20. Шахнов, В.А. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / В.А. Шахнов. - М.: Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002.
21. Шишков, А.Н. Основы конструирования и технологии производства РЭС / А.Н. Шишков. - М.: Изд-во М. авиац. ин-та, 2012.
22. Шишмарёв, В.Ю. Надёжность технических систем / В.Ю. Шишмарёв. – М.: Академия, 2010. - 304 с.
23. ГОСТ 30631-99. Группа Т51. Межгосударственный стандарт. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 33 с.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

24. Статический анализ детали напряжения. -
<https://cadregion.ru/solidworks-simulation/staticheskij-analiz-detali-napryazheniya.html>

25. Журнал «Радиолобитель» – 4/92 г. - <http://www.radioman-portal.ru/magazin/radiolubitel/1992/4.php>

26. Пат.155816 Российская Федерация, МПК₅₁G01M 7/02. Устройство для испытания изделий на случайные вибрации / Р.Р. Аскарров. - №2015111861/28; заявл. 01.04.15; опубл.20.10.15, Бюл. №29. – 2с.

27. Пат.171692 Российская Федерация, МПК₅₁G01M 7/02. Устройство измерения виброперемещений / Е.Н. Ивашов. - №2016116331; заявл.26.04.16; опубл.09.06.17, Бюл. №16. -5с.

28. Пат.2546844 Российская Федерация, МПК₅₁G01M 7/08. Устройство измерения на ударные нагрузки / В.Ю. Колганов. -№2013151528/28; заявл.19.11.13; опубл.10.04.15, Бюл. №10. -8с.

29. Пат.153459 Российская Федерация, МПК₅₁G01M 7/08. Стенд для ударных испытаний / М.Р. Крот. - №2014146358/28; заявл.18.11.14; опубл.20.07.15, Бюл. №20. -1с.

30. Пат.178709 Российская Федерация, МПК₅₁G01M 7/08. Стенд для динамических испытаний / К.Н. Тупиков. - №2017135911; заявл.09.10.17; опубл.17.04.18, Бюл. №11. -8с.

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ПП – печатная плата

ПУ – печатный узел

САЕ – Computer-Aided Engineering

РЭА – радиоэлектронная аппаратура

РЭС – радиоэлектронная система

ЭК – электронные компоненты

САПР – система автоматизированного проектирования

CAD – Computer-Aided Design

КД – конструкторская документация

ПК – программный комплекс

ПО – программное обеспечение

МКВ – метод конечных элементов

КВ – коротковолновый

					11.04.03.2020.590.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43