

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

Механический факультет  
Кафедра «Мехатроника»  
Направление подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Допускается к защите  
Зав. кафедрой Тарасян В.С.  
доцент, канд. физ.-мат. наук  
*Тарасян*  
« 07 » 06 2018г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: «Разработка программного обеспечения для  
моделирования электронных устройств на базе алгоритма  
SPICE»

**15.03.06.07.ВКР.МР414.12.ПЗ**

(обозначение документа)

Разработал: студент	МР-414	<i>А.С. Харитонов</i>	28.05.2018	Харитонов А.С.
(студент-дипломник)	(группа)	(подпись)	(дата)	(ф.,и.,о.)
Руководитель: доцент, к.ф.-м.н.		<i>Г.Л. Штрапелин</i>	28.05.2018	Штрапелин Г.Л.
(должность, звание)		(подпись)	(дата)	(ф.,и.,о.)
Консультанты: доцент, к.э.н.		<i>Т.В. Попп</i>	28.05.18	Попп Т.В.
(должность, звание)		(подпись)	(дата)	(ф.,и.,о.)
доцент		<i>О.А. Шерстюченко</i>	28.05.2018	Шерстюченко О.А.
(должность, звание)		(подпись)	(дата)	(ф.,и.,о.)
Нормоконтролер: доцент, к.т.н		<i>В.М. Таугер</i>	04.06.2018	Таугер В. М.
(должность, звание)		(подпись)	(дата)	(ф.,и.,о.)

Екатеринбург  
2018



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Механический факультет

Кафедра «Мехатроника»

Специальность 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

В. С. Тарсян В. С. Тарсян

« 20 » 02 2018 г.

**Задание**

на выпускную квалификационную работу студента-дипломника

Харитонов Антон Сергеевич

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта (работы) Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма SPICE

утверждена приказом по университету от «18» 04 2018г. № 855-00

2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы) \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к проекту (работе) \_\_\_\_\_

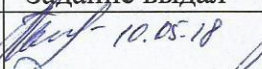
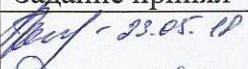
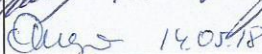
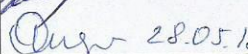
Собираются в период преддипломной практики

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) (см. календарный план)

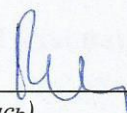
5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)



6. Консультанты по проекту (работе, с указанием относящихся к ним разделов)

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
1. Экономическая часть	Попп Т. В.	 10.05.18	 23.05.18
2. БЖД	Шерстюченко О.А.	 14.05.18	 28.05.18

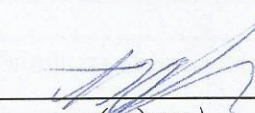
7. Дата выдачи задания 20.02.18

Руководитель \_\_\_\_\_  (подпись)

Задание принял к исполнению студент-дипломник \_\_\_\_\_  (подпись)

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Примечание
1.	Постановка задачи, обзор литературы	20.02 – 16.03	10%
2.	Анализ алгоритма SPICE.NET	17.03 – 28.03	10%
3.	Написание подпрограммы-конструктора	29.03 – 09.04	10%
4.	Программирование инструментов для анализа	10.04 – 24.04	10%
5.	Написание конструктора моделей	25.04 – 13.05	15%
6.	Экономическое обоснование эффективности затрат	14.05 – 17.05	10%
7.	Разработка раздела «БЖД»	17.05 – 21.05	10%
8.	Оформление пояснительной записки и графического материала	21.05 – 29.05	25%

Студент-дипломник \_\_\_\_\_  (подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_  (подпись)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Тарасян В. С. *Тарасян*

« 14 » 05 20 18 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на специальный раздел ВКР**

Обучающийся Харитонов Антон Сергеевич Группа МР-414  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности  
(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Разработка программного обеспечения для моделирования  
электронных устройств на базе алгоритма SPICE  
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от « 18 » 04 2018 г. № 855-СД  
Выпускающая кафедра Мехатроника

Руководитель проекта Штрапенин Г. Л., доцент, к.ф.-м.н  
(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела Шерстюченко О.А., доцент кафедры ТБ  
(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел Техносферная безопасность

3. Исходные данные ГОСТ 50923-96, ГОСТ 22269-76, СанПин 2.2.2/2.4.1340-03,  
Шумилин В. К., Елин А. М., Литвак И. И. «Безопасная работа на компьютере»

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 28.05.2018

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1. Требования к рабочем месту оператора ЭВМ, 2. Параметры рабочего места  
оператора ЭВМ, 3. Обеспечение микробиологической безопасности при  
эксплуатации персонального компьютера, 4.Профилактика  
микробиологической безопасности при эксплуатации персонального  
компьютера.

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) Основные меры  
микробиологической безопасности при работе с персональным компьютером

7. Дата выдачи задания 14.05.18 Консультант *Шерстюченко О.А.*  
(подпись)

Согласовано: *Штрапенин Г.Л.*  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 14.05.2018  
(дата и подпись студента-дипломника)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Тарасян В. С.

« 10 » 05 20 18 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на специальный раздел ВКР**

Обучающийся Харитонов Антон Сергеевич Группа МР-414  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Расчет показателей экономической эффективности проекта  
(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма SPICE  
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от « 18 » 04 2018 г. № 855-СД  
Выпускающая кафедра Мехатроника

Руководитель проекта Штрапенин Г. Л., доцент, к.ф.-м.н  
(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела Попп Т. В., доцент к.э.н.  
(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел Экономика транспорта

3. Исходные данные Текущие затраты предприятия. Методические рекомендации: Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах Попп Т. В.

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 23.05.2018

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1. Целесообразность внедрения проекта, 2. Единовременные затраты, 3. Текущие расходы до внедрения проекта, 4. Текущие расходы после внедрения проекта, 5. Годовая экономия текущих издержек, 6. Расчет оценочных показателей проекта.

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) Сравнение текущих затрат до и после внедрения продукта

7. Дата выдачи задания 10.05.18 Консультант Попп Т. В.  
(подпись)

Согласовано: Штрапенин Г. Л.  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 10.05.2018  
(дата и подпись студента-дипломника)



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Применение программного обеспечения для моделирования электронных процессов .....	7
1.1 Применение программного обеспечения для моделирования электронных процессов в промышленности. ....	7
1.2 Применение программного обеспечения для моделирования электронных процессов в образовательных целях. ....	7
2 Постановка Задачи .....	9
3 Анализ существующих решений моделирования электронных процессов	11
4 Анализ вариантов программного обеспечения .....	15
4.1 <i>LTspice</i> .....	15
4.2 <i>NI Multisim</i> .....	16
4.3 <i>TINA TI</i> .....	17
5 Разработка программного обеспечения .....	19
5.1 ВЫБОР СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....	19
5.2 Методологическая схема <i>IDEF0</i> создаваемого программного обеспечения .....	20
6 Руководство по эксплуатации программного обеспечения .....	26
6.1 Интерфейс конструктора .....	26
6.2 Интерфейс осциллографа .....	29
6.3 Интерфейс анализа по переменному току .....	30
6.4 Интерфейс анализа по постоянному току .....	32
6.5 Интерфейс конструктора моделей .....	33
7 Примеры использования созданной программы .....	34

					15.03.06.07.ВКР.МР414.12.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2



7.1	Получение временной и передаточной характеристик диода <i>1N5712</i> .....	34
7.2	Проверка работы дифференцирующей цепи и построение амплитудно – частотной характеристики гс фильтра.....	37
8	Расчет показателей экономической эффективности проекта.....	41
8.1	Целесообразность внедрения проекта .....	41
8.2	Единовременные затраты .....	42
8.3	Текущие расходы до внедрения проекта .....	43
8.4	Текущие расходы после внедрения проекта.....	47
8.5	Годовая экономия текущих издержек.....	48
8.6	Расчет оценочных показателей проекта .....	49
8.6.1	Чистый доход .....	49
8.6.2	Чистый дисконтированный доход .....	50
8.6.3	Срок окупаемости .....	51
9	Безопасность жизнедеятельности .....	53
9.1	Требования к рабочему месту оператора эвм.....	53
9.2.	Параметры рабочего места оператора эвм .....	55
9.3	Обеспечение микробиологической безопасности при эксплуатации персонального компьютера .....	59
9.4	Профилактика микробиологической безопасности при эксплуатации персонального компьютера.....	61
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма *SPICE*» содержит 65 страниц текстового документа, 5 таблиц, 22 рисунка и 16 использованных источников.

### ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА *IDEF0*, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, *SPICE*, АНАЛИЗ

Целью работы является создание экспериментального варианта программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма *SPICE*.

В ходе данной работы была подробно изучена техническая документация, проанализировано существующее программное обеспечение для моделирования работы электронных устройств и сформулированы специфические требования к программной среде, отвечающей заданным условиям, а именно – открытость архитектуры, возможность модификации, доступность и легкость освоения. Создана модель разрабатываемой программной среды в соответствии с методологией функционального проектирования *IDEF0* и разработано программное обеспечение для моделирования электронных процессов с применением алгоритмов *SPICE*. Написано руководство по эксплуатации программного обеспечения, позволяющее пользователю быстро и легко начать работу, приведены примеры использования созданного продукта в образовательных целях. Все поставленные цели реализованы.

<b>15.03.06.07.ВКР.МР414.12.ПЗ</b>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
Разраб.		Харитонов А.С.		28.05	
Пров.		Штрапенин Г.Л.		28.05	
Конс.					
Н. Контр.		Таугер В.М.		04.06	
Утв.		Тарасян В.С.		05.06	
Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма <i>SPICE</i>					
			Лит.	Лист	Листов
				1	65
УрГУПС Механический факультет Кафедра «Мехатроника»					



**Отзыв руководителя  
на выпускную квалификационную работу студента Харитонов А.С.  
«Разработка программного обеспечения для моделирования  
электронных устройств на базе алгоритма SPICE»**

Компьютерное моделирование электронных устройств широко используется как в процессе их разработки, так и для подготовки специалистов различных специальностей. К настоящему времени зарубежными и отечественными фирмами предлагается более десятка различных программ компьютерного моделирования электронных схем, часть которых являются разделами пакетов автоматизированного проектирования, другие разработаны специально для схемотехнического моделирования. Практически все эти программы используют одни и те же типовые SPICE алгоритмы и модели и ориентированы на выполнение широкого круга различных задач.

Недостатком существующих программ является, как ни странно, их универсальность и, следовательно, невозможность оптимального применения для решения конкретных узкопрофессиональных задач, которые могут возникнуть в различных ситуациях. Вследствие чего Харитонову А.С. была предложена тема ВКР по разработке собственной оригинальной программной среды, основанной на общедоступных SPICE алгоритмах, с широкими возможностями ее адаптации. Подразумевалось, что создаваемое программное обеспечение должно иметь открытую архитектуру, что даст возможность пользователю самостоятельно провести его модернизацию с целью расширения функциональности и максимальной автоматизации операций, требующих в ином исполнении значительных временных затрат.

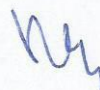
Поставленная задача была успешно решена – разработано программное обеспечение для моделирования электронных процессов с применением алгоритмов SPICE с использованием методологии функционального проектирования IDEF0, составлено руководство по его эксплуатации, позволяющее пользователю быстро и легко начать работу с программой, а также приведены примеры ее применения в образовательных целях. Все программные модули написаны самостоятельно. В перспективе с целью расширения возможностей моделирования процессов в электронных устройствах, целесообразна дальнейшая модернизация созданного продукта, включающая добавление новых видов анализа и моделей элементной базы.

В процессе выполнения работы студент продемонстрировал достойный уровень знаний по базовым и специальным дисциплинам, умение работать с технической литературой и создавать объемные и сложные компьютерные программы.

Оформление работы соответствует нормам, установленным ГОСТами ЕСКД, и таким образом, Харитонов А.В. может быть допущен к защите выпускной квалификационной работы.

Рекомендуемая оценка – «отлично».

Руководитель выпускной квалификационной работы  
доцент кафедры «Электрические машины» УрГУПС,  
кандидат физ.-мат наук



Г.Л.Штрапенин



## Рецензия

### на выпускную квалификационную работу студента специальности «Мехатроника и робототехника» УрГУПС Харитонов А.С. «Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма SPICE»

На рецензию представлена выпускная квалификационная работа студента Харитонов А.С. «Разработка программного обеспечения для моделирования электронных устройств на базе алгоритма SPICE», представляющая самостоятельно разработанную программную среду для моделирования различных электронных устройств. Следует отметить, что в настоящее время использование программ компьютерного моделирования очень распространено, причем кроме универсальных достаточно сложных и дорогих off-line программ, все большее распространение получают on-line программы, которые вообще не требуют установки на компьютер.

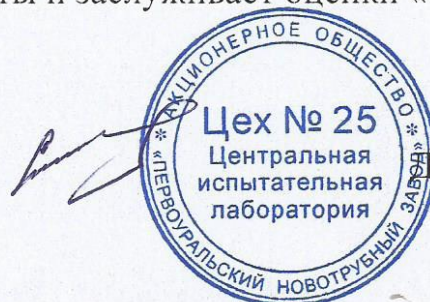
Судя по пояснительной записке, главным отличием программного обеспечения, разработанного в ходе выполнения работы, является его открытая архитектура и возможность модернизации и адаптации с целью расширения функциональности и автоматизации операций, требующих в существующих программах значительных временных затрат.

Заслуживает внимания применяемый при разработке программной среды системный подход, основанный на методологии функционального проектирования IDEF0, который позволяет легко и удобно спроектировать и описать систему как совокупность взаимосвязанных подсистем, рассматриваемых в нескольких уровнях приближения. Согласно поставленной задаче, к системе предъявляются определенные требования, а именно: наличие моделей типовых электротехнических элементов и источников напряжения и тока, возможность выполнения классических для SPICE симулятора видов анализа и удобный пользовательский интерфейс. В качестве механизмов реализации поставленной задачи выбран язык программирования высокого уровня C# и вычислительные алгоритмы SPICE.

В заключительной части описана методика работы с программой и несколько примеров, позволяющих оценить ее возможности, откуда следует, что поставленная задача в целом выполнена.

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к бакалаврской выпускной квалификационной работе, включая экономические расчеты и вопросы охраны труда, оформление работы соответствует ЕСКД ГОСТ. Таким образом, студент А.С.Харитонов может быть допущен к защите выпускной квалификационной работы и заслуживает оценки «отлично».

Рецензент:  
Начальник центральной  
испытательной лаборатории



Л. Селиванов

05.06.2018г.