

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

Факультет Электромеханический

Кафедра Электроснабжение транспорта

Специальность 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

Допускается к защите  
Заведующий кафедрой  
к.т.н., доцент Ковалев А.А.

« 08 » июня 2017 г.

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема: Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги  
в коммутационных аппаратах

(пояснительная записка)

23.05.05.22.ПД.СОэ512.01.ПЗ

(шифр документа)

Разработал: студент СОэ-512 [подпись] 24.05.17 Друзь С.А.  
(студент-дипломник) (группа) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Руководитель: доцент, к.т.н. [подпись] 25.05.17 Шумаков К.Г.  
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Консультанты: доцент, к.т.н. [подпись] 24.05.17 Афанасьева Н.А.  
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

доцент, к.т.н. [подпись] 24.05.17 Закирова А.Р.  
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Н. контролер: доцент, к.т.н. [подпись] 05.06.17 Штин А.Н.  
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Рецензент: ЭУЗ-13 [подпись] 13.06.17 Ковалев А.А.  
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Екатеринбург

2017

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

Факультет Электромеханический Кафедра Электроснабжение транспорта

Специальность 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

« 14 » 03 2017 г.

**Задание**

**на дипломный проект студенту**

Друзь Степану Александровичу

(фамилия, имя, отчество)

- 1 Тема проекта Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги в коммутационных аппаратах  
утверждена приказом по университету от «29» марта 2017 г. № 626-со
- 2 Срок сдачи студентом законченного проекта 25.05.17
- 3 Исходные данные к проекту приведены в подразделе 1.1
- 4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) 1. Проект модернизации транзитной тяговой подстанции постоянного тока «Д»  
2. Исследование электрической дуги в коммутационных аппаратах  
3. Оценка экономической эффективности модернизации тяговой подстанции  
4. Безопасность жизнедеятельности
- 5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, не включая слайды презентации) 1. Схема главных электрических соединений транзитной тяговой подстанции постоянного тока после модернизации  
2. Модель дуги Майра: дифференциальное уравнение (а), параметры (б), схема тестовой цепи (в)  
3. Модель дуги Кэсси: дифференциальное уравнение (а), параметры (б), схема тестовой цепи (в)  
4. График тока дуги моделей Майра и Кэсси  
5. График напряжения дуги моделей Майра и Кэсси  
6. Экономическая эффективность замены масляного выключателя на вакуумный выключатель  
7. Эксплуатационная схема (а) и технологическая карта (б) для вывода в ремонт разъединителя

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

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Экономическая часть	Афанасьева Н.А.	 15.03.2017	 15.03.2017
Безопасность жизнедеятельности	Закирова А.Р.	 15.03.2017	 15.03.2017

7 Дата выдачи задания 30.01.17

Руководитель  (подпись) Шумяков /

Задание принял к исполнению студент  (подпись) /

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Отметка руководителя
Утверждение тем ВКР	22.02.17	
Сбор исходных данных для выполнения ВКР	28.02.17	
Постановка целей и задач ВКР, написание введения	01.03.17	
Разработка основной части ВКР	17.03.17	
Разработка специальной части ВКР	07.04.17	
Разработка раздела по экономической части ВКР	21.04.17	
Разработка раздела по БЖД	28.04.17	
Подготовка графической части ВКР	01.05.17 – 10.05.17	
Оформление ВКР	10.05.17 – 12.05.17	
Подписание ВКР у консультантов	15.05.17 – 19.05.17	
Подписание ВКР у руководителя	22.05.17 – 25.05.17	
Проверка ВКР на плагиат	02.06.17-06.06.17	
Нормоконтроль ВКР	06.06.17 – 09.06.17	
Утверждение ВКР у заведующего кафедрой	13.06.17 – 16.06.17	
Сдача ВКР на кафедру	19.06.17	
Получение рецензии на ВКР	07.06.17 - 16.06.17	
Защита ВКР	26.06.17 – 05.07.17	

Руководитель  студент - дипломник 

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий кафедрой  
«Электроснабжение транспорта»

*к.т.н., доцент Ковалев А.А.*

«18» марта 2017 г.

**Задание  
на специальный раздел ВКР  
(дипломный проект)**

Студент Друзь Степан Александрович Группа СОЭ-512  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Оценка экономической эффективности модернизации тяговой подстанции  
(название специального раздела)

1. Тема Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги  
в коммутационных аппаратах  
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «29» марта 2017 г. № 626-со

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к. т. н., доцент Шумаков К.Г.

(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела к. т. н., доцент Афанасьева Н.А.

Кафедра, ведущая специальный раздел Экономика транспорта

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 15.06.2017

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Расчет затрат для масляных выключателей

2 Расчет затрат для вакуумных выключателей

3 Расчет годового экономического эффекта и срока окупаемости

6. Название демонстрационно-графического(их) материал(ов) Экономическая  
эффективность замены масляного выключателя на вакуумный выключатель

7. Дата выдачи задания 15.03.2017 Консультант Н.А.Афанасьева  
(подпись)

Согласовано: 15.03.17 Шумаков К.Г. Шумаков  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 15.03.17 Друзь С.А. Друзь  
(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:  
Заведующий кафедрой  
«Электроснабжение транспорта»

*А.А. Ковалев*  
к. т. н., доцент Ковалев А.А.

«15» марта 2016 г.

**Задание  
на специальный раздел ВКР  
(дипломного проекта)**

Студент Друзь Степан Александрович Группа СОэ-512  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности  
(название специального раздела)

1. Тема Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги  
в коммутационных аппаратах  
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от « 29 » марта 2017 г. № 626-со

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к. т. н., доцент Шумаков К.Г.  
(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела к. т. н., доцент Закирова А.Р.

Кафедра, ведущая специальный раздел Техносферная безопасность

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 15.06.2017

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Безопасность выполнения работ при выводе в ремонт разъединителя

2) Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности  
жизнедеятельности

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) Эксплуатационная схема и  
технологическая карта для вывода в ремонт разъединителя

7. Дата выдачи задания 15.03.2017 Консультант *А.Р. Закирова* А.Р. Закирова  
(подпись)

Согласовано: 15.03.17 *Шумаков К.Г.* К.Г. Шумаков  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 15.03.17 *Друзь С.А.* С.А. Друзь  
(дата и подпись студента-дипломника)

## РЕФЕРАТ

В данном дипломном проекте всего: стр. 76, рис. 19, табл. 25, использованных источников 24 назв., чертежей и плакатов 7 листов.

**ТРАНЗИТНАЯ ТЯГОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ПОСТОЯННЫЙ ТОК, МОДЕРНИЗАЦИЯ, КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА, МОДЕЛЬ КЭССИ, МОДЕЛЬ МАЙРА, MATLAB SIMULINK, МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАПИТАЛЬНЫЕ ВЛОЖЕНИЯ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

**TRANSIT TRACTION SUBSTATION, DIRECT CURRENT, MODERNIZATION, SWITCHING DEVICES, SHORT CIRCUIT CURRENT, ELECTRIC ARC, CASSIE MODEL, MAYR MODEL, MATLAB SIMULINK, SIMULATION, CAPITAL INVESTMENTS, PAYBACK PERIOD, SAFETY ENGINEERING**

Объектом исследования является транзитная тяговая подстанция постоянного тока.

В дипломном проекте поставлена цель – модернизация тяговой подстанции и исследование электрической дуги в коммутационных аппаратах.

Дано описание электрической дуги, ее основных свойств и типов моделей дуги. Подробно рассмотрены модели Майра и Кэсси, а также их реализация в пакете программ *Matlab Simulink*. В результате моделирования получены графики напряжения и тока дуги в процессе работы выключателя и при его отключении. С целью уточнения влияния гармонических искажений и перенапряжений при проектировании выключателей, приводится дополнительный расчет модели.

Произведен расчет показателей оценки экономической эффективности замены масляных выключателей на вакуумные, в том числе рассчитан срок окупаемости капитальных вложений в модернизацию.

Рассмотрено опасное воздействие электрического тока на организм человека и организационные и технические мероприятия. Разработаны эксплуатационная схема и технологическая карта для обеспечения безопасности выполнения работ при выводе в ремонт разъединителя. Выполнена экспертиза проекта на соответствие требованиям безопасности жизнедеятельности.

<b>23.05.05.22.ПД.СОэ512.01.ПЗ</b>					
Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата.	
Разраб.		Друзь С.А.		24.05.17	
Пров.		Шумаков К.Г.		25.05	
Т. контр.					
Н. контр.		Штин А.Н.		21.06.17	
Утв.		Ковалев А.А.			
Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги в коммутационных аппаратах					
			Лит.	Лист	Листов
			У	5	76
ФГБОУ ВО УрГУПС кафедра Электроснабжение транспорта					

## ОТЗЫВ

на работу по дипломному проектированию студента  
**Друзь** Степана Александровича  
«Модернизация тяговой подстанции с исследованием электрической дуги в коммутационных аппаратах»

В дипломном проекте выполнена модернизация транзитной тяговой подстанции постоянного тока: рассчитаны токи короткого замыкания на шинах распределительных устройств и определены рабочие максимальные токи. На основании этих расчетов произведен выбор оборудования. Даны предложения по выбору релейной защиты.

Специальная часть дипломного проекта посвящена изучению электрической дуги. Для чего был выполнен ретроспективный анализ зарубежных и отечественных источников литературы. Разработана модель электрической дуги и выполнено моделирование процессов в программном продукте Simulink. Предложено уточнение модели. Сделаны соответствующие выводы.

В экономической части выполнена оценка экономической эффективности модернизации тяговой подстанции от замены выключателей.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» рассмотрен вопрос опасное воздействие электрического тока на организм человека, организационные и технические мероприятия.

Во время работы над дипломным проектом Друзь С. А. показал себя специалистом, разбирающимся в работе коммутационных аппаратов, добросовестно относящейся к порученному ему делу.

Пояснительная записка выполнена в соответствии со стандартом предприятия.

Считаю, что работа над дипломным проектом заслуживает оценки **«ОТЛИЧНО»**, а Друзь Степан Александрович – звания инженера путей сообщения.

Руководитель дипломного проекта:  
к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение транспорта»

**К.Г. Шумаков**

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

## РЕЦЕНЗИЯ

о дипломном проекте студента факультета Электромеханического  
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

Студент Брузь Степан Александрович  
Рецензент Э43-13 Ковязин Николай  
Лениндович

(ученая степень, ученое звание, должность, место работы, фамилия, имя, отчество)

Тема дипломного проекта: Модернизация ГЛВБВТ подстанции  
с исследованием электрической дуги в коммутационных  
аппаратах

Дипломный проект посвящен актуальной задаче модернизации  
(актуальность и социально-экономическая значимость темы)  
ГЛВБВТ подстанции, а также моделированию электрической  
дуги

Основные результаты Выполнена модернизация трансформаторной ГЛВБВТ  
подстанции посткабинного типа, в которой рассмотрены возможности замыкания  
на шинах распределительных устройств, на основании которых дана выработка  
оборудования. В специальной части произведен анализ существующих моделей  
дуги и области их применения. Произведено моделирование в Matlab Simulink,  
также выполнен расчет экономической эффективности модернизации подстанции

Новизна и оригинальность идей, положенных в основу работы, а также  
методы ее выполнения При выполнении дипломного проекта использовался  
пакет программ Matlab Simulink. Оригинальность работы в соответствии со  
справкой о проверке на плагиат составила 73%.

Практическая значимость работы перспективе по модернизации является  
одной из основных задач ОАО «РЖД». Модель электрической дуги позволяет  
исследовать коммутационные процессы в высоковольтных на этапе проектирования  
(возможность внедрения результатов работы в практику, ожидаемый эффект)

Анализ обоснованности выводов и предложений Предложенной в дипломном проекте мне модернизация тепловой электростанции выполнена на основании проведенных расчетов токов короткого замыкания, максимальной рабочей токов и соответствующих проверок электрического оборудования.

Качество оформления Техническая записка и графическая часть дипломного проекта полностью соответствует стандарту предприятия, а также требованиям ЕСКД и ГОСТов

Недостатки работы (замечания) Недостатков в ходе проверки работы выявлено не было

Изложенное позволяет считать, что рецензируемый дипломный проект студента Брусь Сергея Александровича был выполнен качественно, поставленная задача была решена, и поэтому он заслуживает оценки „ОТЛИЧНО“.



Кобелев И.А.  
(подпись)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте рассмотрены следующие вопросы:

1. Выполнен проект модернизации транзитной тяговой подстанции «Д» с питающим напряжением 110 кВ. Выполнен расчет ее трансформаторной мощности, токов короткого замыкания и максимальных рабочих токов всех распределительных устройств. Произведен выбор коммутационного оборудования и проверка его на термическую и электродинамическую стойкость, в частности: элегазовых выключателей ВГБУ-110-40/2000 У1, ВГБЭ-35И-12,5/630 У1, вакуумных выключателей ВВПЭ-10-20/1000(630) У1; разъединителей РГ.2(1)-110/1000 УХЛ1, РГ.2(1)-35/1000 УХЛ1. Разработаны схема главных электрических соединений распределительных устройств тяговой подстанции в соответствии с произведенной заменой оборудования.

2. В специальной части данного дипломного проекта было рассмотрено явление электрической дуги и ее основные свойства. Приведены основные группы дуговых моделей и области их применения. Подробно рассмотрены модели дуги Кэсси и Майра и их построение в пакете программ *Matlab Simulink*. В ходе моделирования были получены графики изменения напряжения и тока дуги в процессе работы выключателя и при размыкании контактов. Полученные результаты совпадают с теоретическим описанием моделей. Модель дуги Майра больше подходит для моделирования токов вблизи нуля, а модель Кэсси – при больших токах. Также было приведен дополнительный расчет модели для того, чтобы учесть влияние гармонических искажений и перенапряжений при проектировании и тестировании выключателей.

3. Была произведена оценка экономической эффективности модернизации тяговой подстанции от замены в РУ-10 кВ масляных выключателей на вакуумные. Капитальные вложения на закупку нового оборудования составили 2090,88 тысяч рублей. Суммарная годовая экономия эксплуатационных расходов составила 349,91 тысяч рублей. Годовой экономический эффект 308,02 тысяч рублей. Срок окупаемости капитальных вложений в модернизацию равен 6 годам. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что данная замена является экономически выгодной.

4. В разделе «Безопасность жизнедеятельности» рассмотрено опасное воздействие электрического тока на организм человека, организационные и технические мероприятия. Также разработаны эксплуатационная схема и технологическая карта с целью обеспечить безопасность выполнения работ при выводе в ремонт разъединителя на тяговой подстанции.

5. Проведена экспертиза дипломного проекта на соответствие нормам по охране труда при эксплуатации электроустановок и действующим требованиям, и стандартам безопасности жизнедеятельности, в том числе экологичности и пожарной безопасности. В итоге был сделан вывод, что проект удовлетворяет всем рассмотренным требованиям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 "О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года" // [официальный сайт ОАО «РЖД»] // URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer\\_id=5104&#5455](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer_id=5104&#5455) (дата обращения 10.04.2017)
- 2 Штин А. Н., Несенюк Т. А. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанции: учеб.-метод. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. – 88 с.
- 3 Кузнецова Г. С., Штин А. Н. Расчет трехфазных коротких замыканий в распределительных устройствах тяговых и трансформаторных подстанций. – Екатеринбург, издательство УрГУПС, 2001. – 68с.
- 4 Несенюк Т. А., Штин А. Н. Выбор оборудования распределительных устройств тяговых и трансформаторных подстанций. – Екатеринбург, издательство УрГУПС, 2002. – 84с.
- 5 Васильев И.Л., Неугодников И.П. Релейная защита тяговых подстанций: метод. Указания к выполнению курсового проекта. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 86 с.
- 6 ГОСТ Р 12.1.009-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 60 с.
- 7 Энергетика. Общие сведения // [Open Library - открытая библиотека учебной информации] // URL: <http://oplib.ru/random/view/1255946> (дата обращения 10.05.2017)
- 8 P.H. Schavemaker and L. Van Der Sluis, "The arc model blockset", June 25-28, 2002, Crete, Greece
- 9 A.M. Cassie, "Arc Rupture and Circuit severity: A New Theory", Rapport CIGRE 102, pp. 508-608, 1939.
- 10 Mayr, O.: "Über die Theorie des Lichtbogens und seiner Löschung", Elektrotechnische Zeitschrift, Jahrgang 64, Heft 49/50, pp. 645-652, 16 Dezember 1943.
- 11 P. Schavemaker and L. Sluis, " An Improved Mayr- Type Arc Model Based on Current-Zero Measurements", IEEE Trans. Power delivery, Vol. 15, pp.580-584, 2000.
- 12 Теория и конструкции выключателей / Пер. с англ. А.Г. Рабкина, под ред. В.В. Афанасьева; Под ред. Чарльза Х. Флершейма. - Л.: Энергоиздат, 1982. – 496 с.
- 13 Y. Varetsky. Transient Overvoltages During Filter Circuit Switching-off/, Proceedings of Modern Electric Power Systems 2010 symposium, Wroclaw, Poland, 2010
- 14 Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6-35 кВ – М: Энергоатомиздат, 1982 г. - 376с.
- 15 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2015. – 176 с.

- 16 Буралев Ю.В., Павлова Е.И. Безопасность жизнедеятельности на транспорте. – М.: Транспорт, 1999. – 130 с.
- 17 ГОСТ 12.0.002-2014 ССБТ. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.
- 18 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 10 с.
- 19 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах: САНПИН 2.2.4.3359-16; утвержден постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 21.06.2016 N 81.
- 20 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 88 с.
- 21 Правила устройства электроустановок (ПУЭ), издание 7, 2002 г.
- 22 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006. – 154 с.
- 23 Электроэнергетика. Разъединители РНДЗ-110, руководство. URL: <http://forca.ru/spravka/razediniteli-i-otdeliteli/rndz-110-razediniteli-rukovodstvo.html> (дата обращения 20.04.2017)
- 24 Безопасность и экологичность при проектировании и эксплуатации электроустановок. Методическое пособие для подготовки раздела при дипломном проектировании / С.О. Белинский, К.Б. Кузнецов – Екатеринбург, УрГУПС, 2006. – 35 с.