

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы	
<b>Оценка влияния несинусоидальных токов преобразователей частоты на нагрев силовых кабелей</b>	

УДК 621.315.2 .016.2:621.314.24.017.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Ведякин Алексей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шуликин Сергей Николаевич			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова Маргарита Николаевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		



	5. Схема замещения тепловая
--	-----------------------------

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова Маргарита Николаевна
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шуликин Сергей Николаевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Ведякин Алексей Сергеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 76 с., 15 рис., 15 табл., 9 источников.

Ключевые слова: кабель, преобразователь частоты, потери, гармоника, температура.

Объектом исследования является силовой кабель предназначенный для питания электроприемников преобразующих частоту.

Цель работы – оценка влияния несинусоидальных токов преобразователей частоты на нагрев силовых кабелей.

В процессе выполнения работы проводились изучение появления высших гармоник и их влияние на нагрев кабеля, выбор кабеля для расчетов, составление тепловой схемы замещения, расчеты температуры нагрева.

В результате исследования было установлено превышение температуры при наличии высших гармоник для кабеля с медными и алюминиевыми жилами.

## Оглавление

Введение.....	1
1. Силовые кабели применяемые для питания преобразователей частоты.....	9
2. Преобразователи частоты.....	10
2.1. Преобразователи частоты с непосредственной связью.....	11
2.2. Выпрямительно – инверторные преобразователи частоты .....	15
3. Потери в силовых кабелях.....	20
4. Тепловой расчет силового кабеля.....	21
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	33
5.1. SWOT – анализ.....	34
5.2. Планирование научно – исследовательских работ.....	42
5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	43
5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	45
5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	46
5.3. Бюджет научно – технического исследования (НТИ).....	50
5.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы.....	51
5.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	55
5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды.....	55
5.3.4. Накладные расходы.....	56
5.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	57
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	58
6. Социальная ответственность.....	62

6.1. Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды.....	62
6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	68
6.2.1. Охрана окружающей среды.....	69
6.2.2. Защита в чрезвычайных ситуациях.....	70
6.3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	72
Заключение.....	75
Список использованных источников.....	76

## Введение

Электроприёмники с нелинейной вольтамперной характеристикой потребляют ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной. А протекание такого тока по элементам электрической сети создаёт на них падение напряжения, отличное от синусоидального, это и является причиной искажения синусоидальной формы кривой напряжения.

Типичными электроприемниками с нелинейной вольтамперной характеристикой являются полупроводниковые преобразователи, дуговые сталеплавильные и индукционные печи, сварочные установки, газоразрядные и диодные осветительные приборы, офисная и бытовая техника и т.д.

Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования:

- Фронты несинусоидального напряжения воздействуют на изоляцию кабельных линий электропередач, — учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Аналогично кабелю, пробиваются конденсаторы.
- В электрических машинах, включая трансформаторы, возрастают суммарные потери.
- Возрастает недоучёт электроэнергии, вследствие тормозящего воздействия на индукционные счётчики гармоник обратной последовательности.
- Неправильно срабатывают устройства управления и защиты.

Питание этих преобразователей осуществляется экранированными кабелями. Это связано с тем, что высшие гармоники протекающие в одном кабеле, могут негативно влиять на форму кривой напряжения в другом кабеле. Однако, данные кабели не учитывают термическое воздействие высших гармоник.

Цель работы – определить как влияет несинусоидальный сигнал на нагрев силового кабеля.

## 1. Силовые кабели применяемые для питания преобразователей частоты

Силовые кабели, применяемые для питания преобразователей частоты изготавливаются с целью обеспечения электромагнитной совместимости, т.е. должно соблюдаться функционирование с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим электротехническим средствам. Помимо этого силовой кабель должен сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех.

Для питания преобразователей частоты широко используются следующие виды кабелей, удовлетворяющие требованиям электромагнитной совместимости:

- 1) Кабель трехфазный с заземляющим проводником. Жилы выполнены из скрученной меди покрытой слоем олова. Изолированы они друг от друга сшитым полиэтиленом. Изоляция обернута фольговым экраном, который покрыт оплеткой из луженой меди.

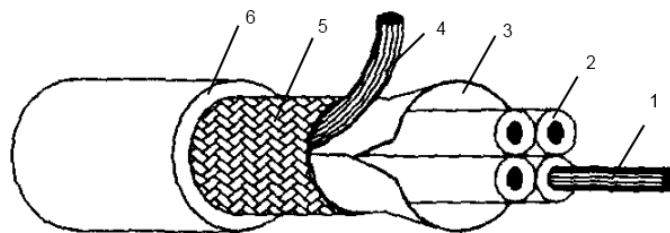


Рисунок 1 – Конструкция первого вида кабеля:

- 1 – токопроводящая жила; 2 – изоляция жилы; 3 – экран; 4 – заземляющий проводник; 5 - экран ; 6 – оболочка кабеля.
- 2) Отличительной особенностью второго вида кабеля, является использование в качестве изоляции проводников поливинилхлорида с нейлоновым покрытием.

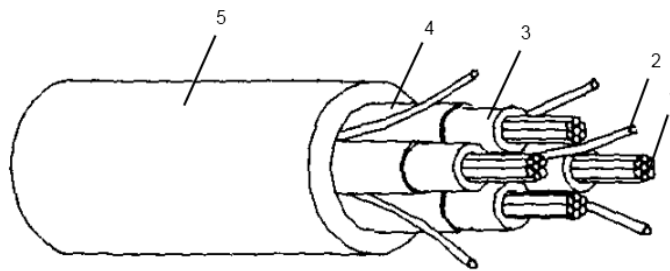


Рисунок 2 – Конструкция второго вида кабеля:

1 – токопроводящая жила; 2 – внутреннее заполнение ; 3 – изоляция жилы;  
4 – полупроводящий экран ; 5 – Оболочка кабеля

3) Третий вид кабеля использует в своей конструкции (сваренную) непроницаемую алюминиевую металлическую оболочку и является предпочтительным для использования с преобразователями частоты. Изоляция жил выполнена сшитым полиэтиленом.

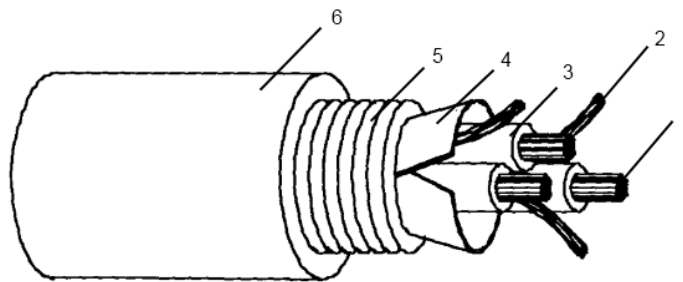


Рисунок 3 – Конструкция третьего вида кабеля:

1 – токопроводящая жила; 2 – внутреннее заполнение; 3 – изоляция жилы; 4 – экран; 5 – гофрированная металлическая оболочка ; 6 – оболочка кабеля

Перечисленные выше типы кабелей хорошо удовлетворяют условиям электромагнитной совместимости, однако, они не предусматривают защиты от термического действия высших гармоник. Каждая гармоника приводит к дополнительным потерям, в связи с чем повышается температура кабеля, что негативно сказывается на сроке эксплуатации.

## 2. Преобразователи частоты

Одним из наиболее распространенных способов преобразования электроэнергии по частоте и величине напряжения является применение

статических преобразователей частоты (СПЧ), выполненных на основе полупроводниковых приборов. Основными достоинствами СПЧ являются: широкий диапазон частот преобразованного напряжения с возможностью его плавной регулировки; высокий КПД преобразования; надежность и хорошие эксплуатационные качества. По способам преобразования первичной электроэнергии СПЧ разделяются на преобразователи со звеном постоянного тока, или выпрямительно-инверторные, и на преобразователи с непосредственной связью питающей сети и нагрузки (НПЧ). НПЧ могут выполняться как с естественной коммутацией вентилей (ЕК), так и с искусственной коммутацией (ИК).

## 2.1. Преобразователи частоты с непосредственной связью

НПЧ с естественной коммутацией вентилей позволяют преобразовывать переменный ток одной частоты в переменный ток другой - более низкой. Обычно для процесса преобразования электроэнергии с высокими энергетическими показателями отношение первичной частоты  $f_1$  к входной частоте  $f_2$  должно быть не менее 4-5.

Одна из классических трехфазно-трехфазных схем НПЧ с естественной коммутацией вентилей приведена на рисунке 4.

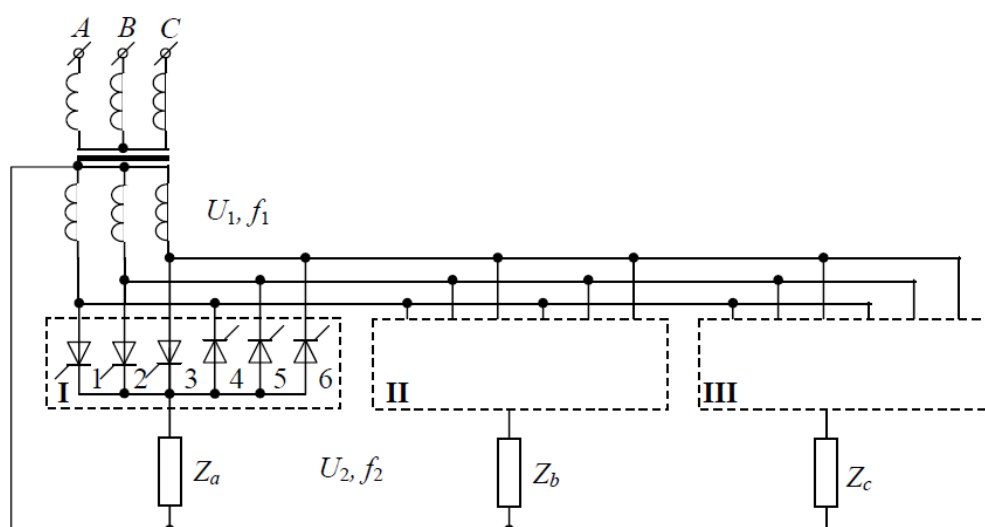
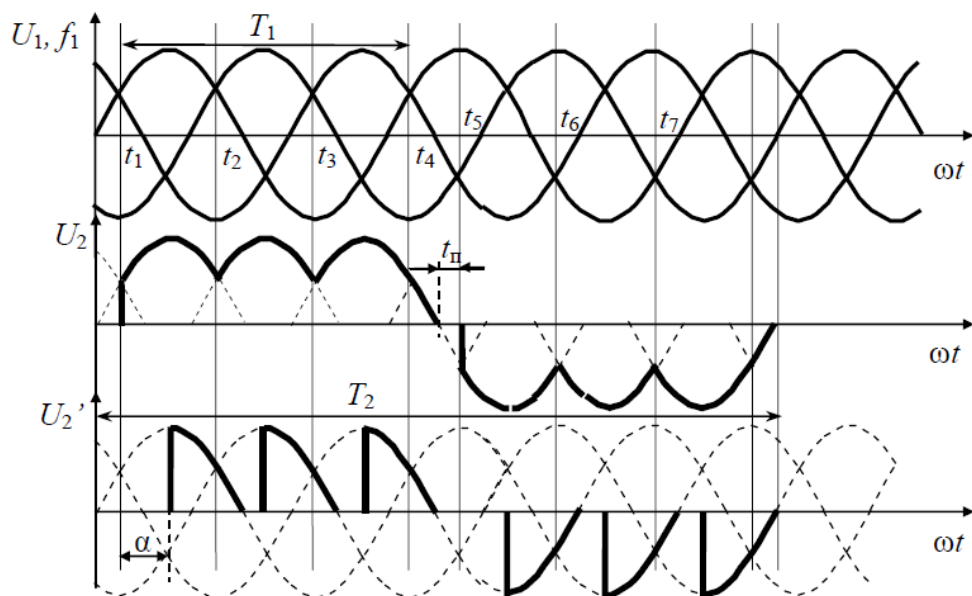


Рисунок 4 – Силовая схема трехфазно – трехфазного НПЧ ЕК на основе нулевых преобразовательных схем.

Силовая схема состоит из трех комплектов вентилях (I,II,III), каждый из которых представляет собой две встречно-параллельно включенные нулевые схемы. Каждый комплект формирует фазное напряжение  $U_2$  на соответствующей ему нагрузке  $Z_a$ ,  $Z_b$  или  $Z_c$ , с частотой  $f_1$ . Каждая из фаз преобразователя работает независимо от других. Принцип действия НПЧ поясняется временными диаграммами, представленными на рисунке 5. Если в моменты времени  $t_1, t_2, t_3$  открывать тиристоры 1, 2, 3, а к моменту времени  $t_4$  снять импульсы управления, то на нагрузке сформируется положительная полуволна выходного напряжения  $U_2$ . Открывая тиристоры 4, 5, 6 в моменты времени  $t_5, t_6, t_7$ , формируется отрицательная полуволна выходного напряжения.

Таким образом, регулирую с помощью системы управления количество полупериодов первичного напряжения  $U_1$  в полупериоде выходной частоты  $f_2$ , можно дискретно регулировать выходную частоту. Интервал дискретизации соответствует полупериоду напряжения питающей сети  $U_1$ .



### Рисунок 5. – Временные диаграммы НПЧ с ЕК

Для осуществления плавного регулирования частоты применяется регулируемая пауза ( $t_n$ ) между включением и отключением катодной и анодной групп вентильного комплекта.

Для регулирования величины выходного напряжения управляющие импульсы на тиристоры подаются с запаздыванием относительно точек естественной коммутации ( $t_1, t_2, t_3 \dots$ ) на угол  $\alpha$  ( $U_2$  на рисунке 5).

К основным недостаткам НПЧ ЕК могут быть отнесены следующие:

- высокий КПД благодаря однократному преобразованию электроэнергии;
- возможность двухстороннего обмена электрической энергией между питающей сетью и нагрузкой, что позволяет преобразователю работать на любой тип нагрузки;
- относительная простота силовых схем преобразования;
- естественная коммутация вентилей.

В качестве наиболее существенных недостатков данного типа преобразователей является низкий коэффициент мощности и ограничение верхнего предела частоты выходного напряжения.

Введение искусственной коммутации позволяет расширить диапазон выходных частот и повысить энергетические показатели преобразователя частоты с непосредственной связью.

Одним из наиболее эффективных способов формирования выходного напряжения с помощью полностью управляемых статистических преобразователей частоты является циклическое подключения через равные интервалы времени фаз источника к фазам нагрузки. В этом случае в выходном напряжении гармоники отсутствуют субгармоники в широком диапазоне изменений частот генератора и коммутации. Система управления

преобразователя получается сравнительно простой благодаря тому, что не требуется получать и использовать информацию и первичном напряжении.

Вариант НПЧ ИК показан на рисунке 6.

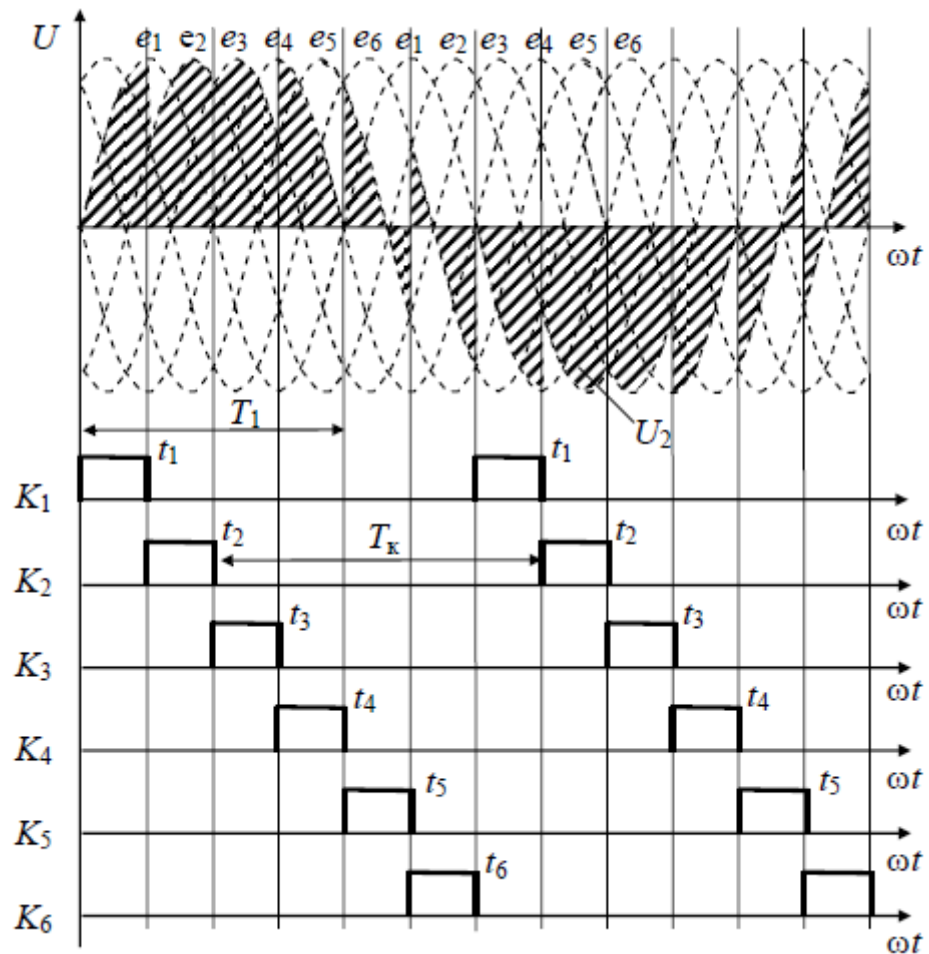


Рисунок 6. – Схема и временные диаграммы НПЧ ИК

Система питающих напряжений представляет собой  $m$  групп трехфазных систем. Минимальное значение  $m = 2$ , с увеличением количества трехфазных обмоток качество выходного напряжения преобразователя улучшается при одновременном ухудшении использования мощности первичного источника электропитания. Ключи  $K_1, K_2, \dots, K_m$  – полностью управляемые.

Если в течение времени  $\Delta t = t_1 - t_0$  замкнут первый ключ  $K_1$ , а остальные разомкнуты, то к фазам нагрузки будут приложены фазные напряжения  $U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}$ . В момент времени  $t_1$  замыкается следующий ключ и

размыкается предыдущий. На интервале  $t_2 - t_1$  напряжение на нагрузке формируется из напряжений следующей группы обмоток:  $U_{a2}, U_{b2}, U_{c2}$ , сдвинутых относительно  $U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}$  на угол  $2\pi/m$ .

Таким образом, в результате переключения обмоток источника полупроводниковыми ключами  $K_1, K_2, \dots, K_m$  в нагрузке формируется переменное напряжение с частотой  $f_2$ , отличной от частоты питающего источника  $f_1$ . На рисунке 6 показано напряжение одной из фаз нагрузки  $U_2$  при количестве групп обмоток  $m = 6$ . Напряжение двух других фаз формируется аналогично и сдвинуты относительно первой на  $2\pi/3$  и  $4\pi/3$  радиан выходного напряжения частоты  $f_2$ .

Из принципа действия преобразователя следует, что выходное напряжение формируется из многофазного напряжения первичной сети. Функция НПЧ сводится к переключению групп трехфазных обмоток в определенной последовательности.

Использование полностью управляемых вентилях улучшает характеристики преобразователей частоты с непосредственной связью и естественной коммутацией вентилях.

## **2.2. Выпрямительно – инверторные преобразователи частоты**

Выпрямительно-инверторные преобразователи частоты строятся в соответствии со структурной схемой, показанной на рисунке 7. В этом преобразователе переменное напряжение  $U_1, f_1, m_1$  питающей сети выпрямляется с помощью выпрямителя В, фильтруется фильтром Ф и инвертируется автономным инвертором АИ в выходное напряжение  $U_2$ , имеющее частоту  $f_2$  и количество фаз  $m_2$ . Регулирование частоты выходного напряжения осуществляется инвертором, а величины – управляемым выпрямителем. Иногда обе функции выполняет инвертор, а выпрямитель используется неуправляемый. Управление выпрямителем осуществляется системой управления выпрямителя – СУВ, в инвертора – СУИ.

Данный тип преобразователей проще, чем НПЧ, и позволяет регулировать выходную частоту  $f_2$  в широком диапазоне, как выше, так и ниже частоты питающей сети.

Недостатком выпрямительно – инверторных преобразователей частоты является двойное преобразование энергии, что ухудшает их КПД и приводит к увеличению массы и габаритов.

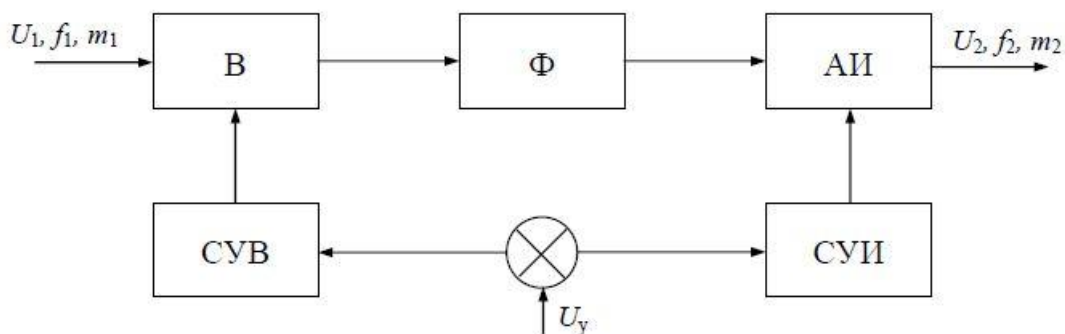


Рисунок 7 – Структурная схема преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока

Важнейшим элементом преобразователей частоты со звеном постоянного тока является автономный инвертор. В отличие от инверторов, ведомых сетью, у автономного инвертора на стороне переменного тока нет источника переменной ЭДС. Поэтому автономный инвертор принципиально нуждается в полностью управляемых вентилях, выполняющих роль ключей, коммутирующих фазы нагрузки к источнику постоянного напряжения.

По характеру протекающих в схеме электромагнитных процессов автономные инверторы подразделяются на инверторы тока и инверторы напряжения (рисунок 8, а, б).

Инверторы напряжения формируют в нагрузке кривую напряжения, а форма тока зависит от характера нагрузки В первом полупериоде ( $0 \leq \theta \leq t_2$ , см. рисунок 8, б) открыты вентили  $VS_1$  и  $VS_2$ , путь тока показан сплошной линией. В момент времени  $\theta = t_2$ , вентили  $VS_1$  и  $VS_2$  закрываются, а вентили  $VS_3$  и  $VS_4$  открываются. Так как нагрузка имеет активно – индуктивный

характер, в первый момент после переключения вентилей ( $t_2 \leq \theta \leq t_3$ ) ток в нагрузке за счет ЭДС самоиндукции сохраняет свое направление, а ток в цепи источника питания меняет знак. В этот промежуток времени запасенная в нагрузке энергия возвращается в источник питания.

При активно – индуктивной нагрузке реактивный ток  $i_n$ , замыкается на источник постоянного напряжения  $U_d$ , через диоды обратного выпрямителя  $VD_1 - VD_4$  (пунктирная линия на рисунке 8, б). Если инвертор питается от выпрямителя, то для обеспечения проводимости источника постоянного напряжения в обратном направлении на входе ставится конденсаторная батарея  $C$ , которая одновременно выполняет и функции фильтра высших гармоник. Инвертор напряжения характеризуется жесткой внешней характеристикой, может работать в режиме, близком к холостому ходу. Нагрузка инвертора напряжения может иметь активный или активно-индуктивный характер. Из-за значительных бросков тока данный тип инверторов не может работать на емкостную нагрузку.

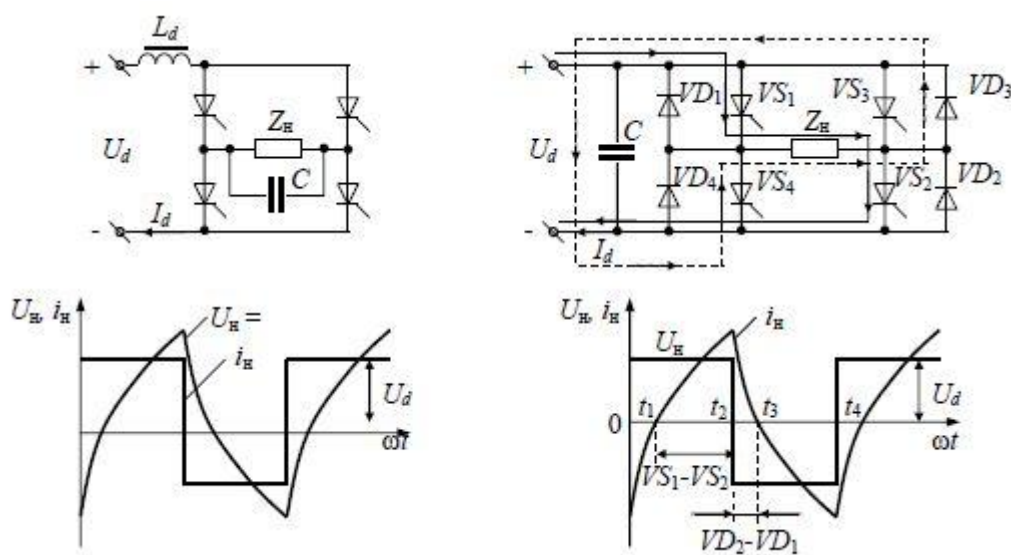


Рисунок 8 – Схемы и временные диаграммы инвертора тока (а) и инвертора напряжения (б)

Инверторы тока формируют в нагрузке кривую тока (рисунок 8, а). Форма кривой напряжения зависит от параметров нагрузки. Для придания

питающему источнику свойств источника тока во входную цепь включается дроссель  $L_d$  с большой индуктивностью. Инвертор тока может работать только на активно-емкостную нагрузку, когда напряжение анод-катод закрывающегося вентиля в течение некоторого времени поддерживается отрицательным. В режиме холостого хода данный тип инверторов работать не может из-за невозможности перезаряда конденсатора  $C$ .

Наибольшее распространение получили трехфазные автономные инверторы, среди которых необходимо отметить мостовую схему.

Силовая схема данного инвертора с включением нагрузки в звезду показана на рисунке 9. Для замыкания реактивного тока нагрузки инвертор АИ использует обратный выпрямитель ОВ.

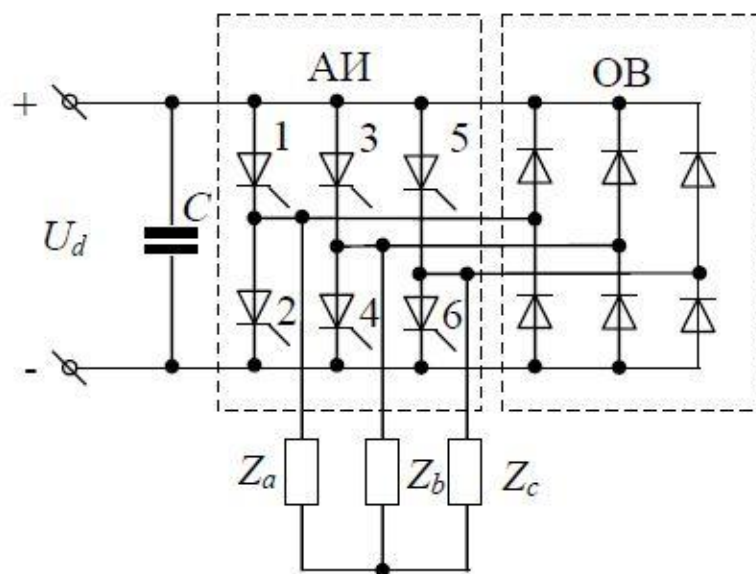


Рисунок 9 – Силовая схема трехфазного мостового инвертора

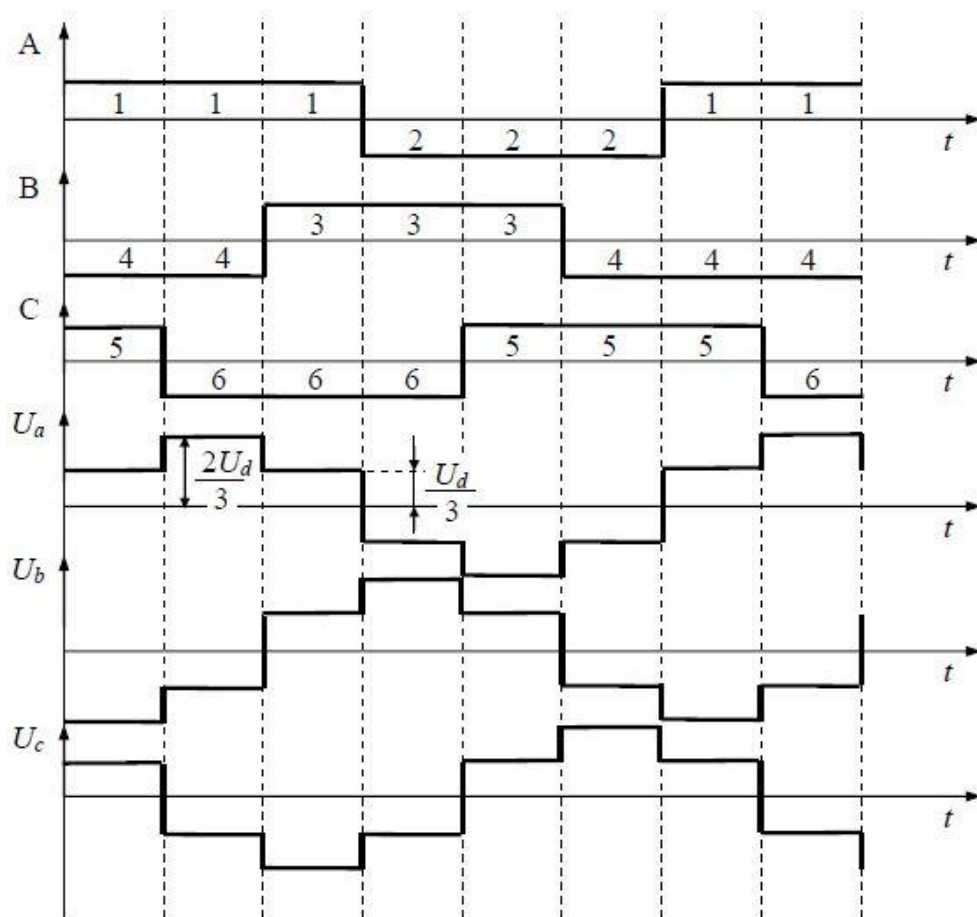


Рисунок 10. – Временные диаграммы проводимости вентилей и фазных напряжений на нагрузке трехфазного мостового инвертора

Рассмотрим принцип формирования переменного трехфазного напряжения, считая, что длительность углов проводимости тиристоров равна  $180^\circ$ . Временные диаграммы проводимости силовых вентилей автономного инвертора показаны на рисунке 10.

Как видно из диаграммы, каждому из возможных шести сочетаний состояний вентилей соответствует своя эквивалентная схема подключения фаз нагрузки к источнику питания  $U_d$ . Все эти эквивалентные схемы характеризуются двумя способами подключения нагрузки. Каждая фаза либо включена параллельно другой фазе и последовательно с третьей, либо последовательно с двумя другими фазами, соединенными параллельно. Поэтому при равных сопротивлениях фаз к каждой фазе прикладывается напряжение, равное  $U_d/3$  или  $2U_d/3$ . Фазное напряжение в этом случае имеет

двухступенчатую форму. Действующее значение фазного напряжения  $U_{\phi d} = \sqrt{2}U_d/3$ , амплитудное значение первой гармонической составляющей  $U_{\phi m1}=2U_d/\pi$ . В кривой выходного напряжения трехфазного мостового инвертора отсутствуют гармоники, кратные трем, амплитудные значения пятой и седьмой гармоник составляют соответственно 20 и 14,3% от амплитуды первой гармоники. При включении нагрузки в треугольник форма фазных напряжений получается прямоугольной.

Кроме 180-градусного управления вентилями инвертора, распространено также 120-градусное управление, что при соединении нагрузки в звезду обеспечивает прямоугольную форму напряжения на нагрузке, а при соединении нагрузки треугольником – двухступенчатую, как для 180-градусного управления.

### 3. Потери в силовых кабелях

Потери энергии в силовых кабелях наблюдаются в:

- токопроводящей жиле;
- металлических оболочках (в экранах, в броне);
- в изоляции.

Величина электромагнитных потерь в жилах независимо от конструкции кабеля связана с сопротивлением жил и током нагрузки.

$$P_{жс} = I^2 \cdot R_{жс} \quad (1)$$

где  $P_{жс}$  – потери в жиле, Вт/м;

$I$  – ток нагрузки, А;

$R_{жс}$  – сопротивление жилы.

При тепловом расчете кабеля потери электромагнитной энергии в металлических элементах связаны с магнитными полями своих и соседних жил и выражаются через потери в жилах.

В экранах  $P_{\varepsilon} = y_{\varepsilon} \cdot P_{ж}$ , в оболочках  $P_{\varepsilon} = y_{об} \cdot P_{ж}$ , трубопроводах  $P_{тр} = y_{тр} \cdot P_{ж}$ . Коэффициент  $y_{\varepsilon}$ ,  $y_{об}$ ,  $y_{тр}$  и т.д. указывает на соотношение потерь в металлических элементах кабеля к потерям в жиле.

Потери в оболочках, экранах проявляются только в одножильных и кабелях, в которых каждая жила имеет экран и связаны с величиной электрического сопротивления этих элементов и взаимным расположением кабелей и жил относительно друг друга, т.е. конструкцией кабельной линией и способом прокладки кабелей (треугольником или в плоскости).

В изоляции наблюдаются потери электрической энергии. Диэлектрические потери в силовых кабелях при напряжении технической частоты связаны с реализацией медленных видов поляризации и электропроводности в изоляции кабеля и определяются по формуле:

$$P_{из} = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение питающей сети, В;

$f$  – частота питающей сети, Гц;

$C$  – емкость трехжильного кабеля, Ф;

$\operatorname{tg} \varphi$  – тангенс угла диэлектрических потерь.

Потери энергии сопровождаются выделением тепла в этих элементах и нагревом кабеля.

#### 4. Тепловой расчет силового кабеля

Задачей теплового расчета является определение влияние высших гармоник на нагрев силового кабеля.

Для расчета выберем кабель для питания преобразователей частоты HW191A сечением  $50 \text{ мм}^2$  на напряжение 0,4 кВ. Жилы выполнены из луженой меди (1), поверх которых нанесен экран из медных проволок и изоляция из сшитого полиэтилена (2). Жилы обмотаны экраном в виде медной ленты (4). В качестве оболочки используется поливинилхлорид (5). [5]

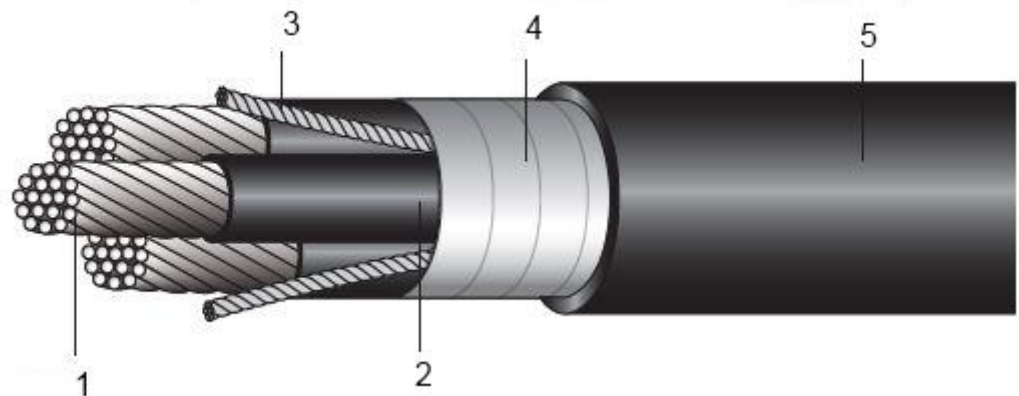


Рисунок 11 – Силовой кабель HW191A

Расчет начинается с составление полной тепловой схемы замещения:

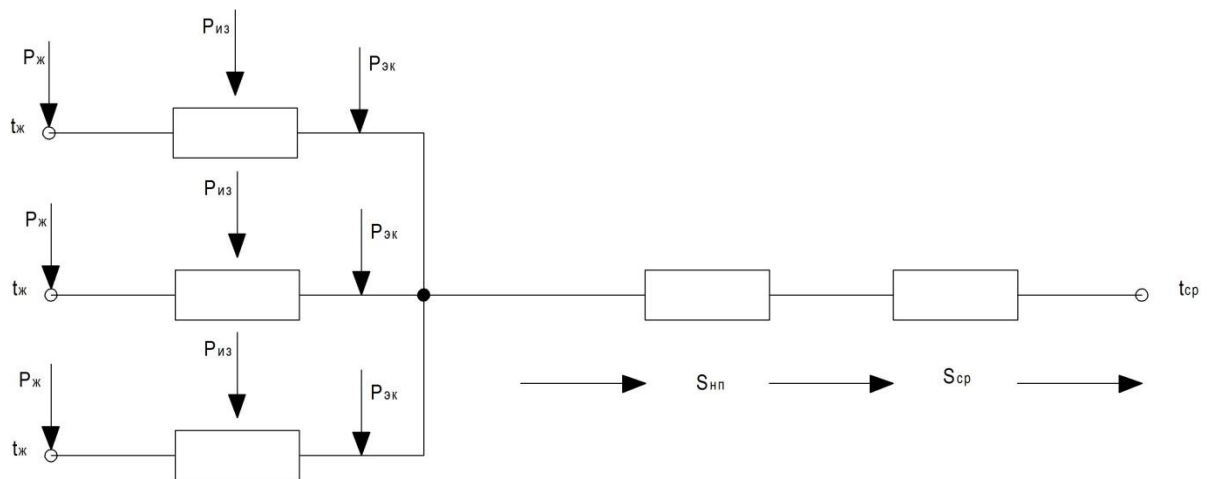


Рисунок 12 – Тепловая схема замещения силового кабеля

где  $P_{ж}$ ,  $P_{из}$ ,  $P_{об}$  – потери в жиле, изоляции, оболочке;

$t_{ж}$ ,  $t_{ср}$  – температура жилы и среды;

$S_{из}, S_{нп}, S_{ср}$  – тепловые сопротивления изоляции, наружных покровов и среды.

Проводится расчет тепловых сопротивлений кабеля, а также тепловых сопротивлений среды.

Произведем расчет тепловых сопротивлений кабеля:

1) тепловое сопротивление изоляции для трехжильного кабеля с круглыми жилами определяется по формуле:

$$S_{из} = \frac{\sigma_{из}}{2 \cdot \pi \cdot n_{жс}} \cdot G [^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}]; \quad (3)$$

где  $\sigma_{из}$  – удельное тепловое сопротивление изоляции (для изоляции из сшитого полиэтилена = 3,5 К·м/Вт);

$G$  – геометрический фактор;

$$G = (0,82 + 0,2 \cdot n) \cdot \ln[(8,3 - 2,2 \cdot n) \cdot m + 1]; \quad (4)$$

где коэффициенты  $n$  и  $m$  определяются по формулам:

$$n = \frac{\Delta_n}{\Delta_{\phi}} = \frac{0,2}{0,2} = 1; \quad (5)$$

$\Delta_n, \Delta_{\phi}$  – толщины поясной и фазной изоляции, м.

$$m = \frac{\Delta_n + \Delta_{\phi}}{2 \cdot r_{жс}} = \frac{0,2 + 0,2}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 50; \quad (6)$$

где  $r_{жс}$  – радиус по жиле, м. Тогда геометрический фактор  $G$  равен:

$$G = (0,82 + 0,2 \cdot 1) \cdot \ln[(8,3 - 2,2 \cdot 1) \cdot 50 + 1] = 5,84;$$

$n_{жс}$  – количество жил в кабеле.

Удельное тепловое сопротивление изоляции равно:

$$S_{из} = \frac{\sigma_{из}}{2 \cdot \pi \cdot n_{жс}} \cdot G = \frac{3,5}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot 5,84 = 1,08 [^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}].$$

2) тепловое сопротивление наружного покрова:

$$S_{нп} = \frac{\sigma_{нп}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{r_{\kappa}}{r_{\text{эк}}} [^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}]; \quad (7)$$

где  $\sigma_{нп}$  – удельное тепловое сопротивление наружного покрова (для поливинилхлорида = 5 К·м/Вт);

$r_{\kappa}$  – радиус по кабелю ( $r_{\kappa} = 0,018$  м);

$r_{\text{эк}}$  – радиус по экрану ( $r_{\text{эк}} = 0,013$  м).

Тепловое сопротивление наружного покрова будет равно:

$$S_{нп} = \frac{\sigma_{нп}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{R_{\kappa}}{R_{\text{эк}}} = \frac{5}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{0,018}{0,013} = 0,18 [^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}].$$

3) Тепловое сопротивление среды:

$$S_{cp} = \frac{1}{\pi} \cdot d_{\kappa} \cdot (h + \varepsilon \cdot C_0 \cdot \theta) [^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}]; \quad (8)$$

где  $d_{\kappa}$  – диаметр кабеля ( $d_{\kappa} = 0,036$  м);

$h$  – коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>·°C:

$$h = 4,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t_{\kappa}}{d_{\kappa}} \cdot 10^{-2}} = 4,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{77 - 20}{0,036} \cdot 10^{-2}} = 8,98 [Вт / м^2 \cdot ^{\circ}\text{C}]; \quad (9)$$

$\Delta t_{\kappa}$  – разность температур поверхности кабеля и среды, °C;

$\varepsilon$  – коэффициент приведенной черноты поверхности кабеля

( $\varepsilon = 0,9$ ).

$C_0 = 5,7 \cdot 10^{-8} [Вт/м^2 \cdot К^4]$  – постоянная излучения абсолютно черного тела.

$$\theta = \frac{T_{\kappa}^4 \cdot T_{cp}^4}{\Delta t_{\kappa}} = \frac{(77 + 273)^4 + (20 + 273)^4}{77 - 20} = 1,34 \cdot 10^8; \quad (10)$$

где  $T_{\kappa}$ ,  $T_{cp}$  – температура соответственно поверхности кабеля, среды, К.

Тогда тепловое сопротивление среды равно:

$$S_{cp} = \frac{1}{\pi \cdot d_k \cdot (h + \varepsilon \cdot C_0 \cdot \theta)} =$$

$$= \frac{1}{3,14 \cdot 0,036 \cdot (8,98 + 0,9 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1,34 \cdot 10^{-8})} = 0,5 [^0 \text{С} \cdot \text{м} / \text{Вт}] \quad (11)$$

Произведем расчет потерь в кабеле:

- 1) потери в изоляции определяются по формуле (2):

$$P_{из} = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg}\varphi [\text{Вт}],$$

Емкость кабеля равна:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln \left[ \frac{(D^2 - a^2)^3}{D^6 - a^6} \cdot \frac{3 \cdot a^2}{d^2} \right]} =$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{\ln \left[ \frac{((20 \cdot 10^{-3})^2 - (12 \cdot 10^{-3})^2)^3}{(20 \cdot 10^{-3})^6 - (12 \cdot 10^{-3})^6} \cdot \frac{3 \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2}{(8 \cdot 10^{-3})^2} \right]} = 2,25 \cdot 10^{-10} [\text{Ф}]; \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость изоляции (для сшитого полиэтилена  $\varepsilon = 2,5$ );

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;

$D$  – диаметр по скрутке по поверхностям токопроводящей жилы, м;

$a$  – расстояние между центрами жил, м;

$d$  – диаметр токопроводящей жилы, м;

$\text{tg}\varphi$  – тангенс угла диэлектрических потерь (для изоляции из сшитого полиэтилена  $\text{tg}\varphi = 8 \cdot 10^{-4}$ );

Потери в изоляции равны:

$$P_{из} = U^2 \cdot f \cdot C \cdot \text{tg}\varphi = 400^2 \cdot 50 \cdot 2,25 \cdot 10^{-10} \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 1,44 \cdot 10^{-6} [\text{Вт}].$$

- 2) потери в жиле определяются по формуле (1):

$$P_{жс} = I^2 \cdot R_{жс} [\text{Вт} / \text{м}],$$

Сопротивление жилы равно:

$$R_{жс} = \frac{\rho_{жс} \cdot l}{S_{жс}} = \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 1}{50 \cdot 10^{-3}} = 3,44 \cdot 10^{-4} [\text{Ом} / \text{м}]; \quad (13)$$

где  $\rho_{жс}$  – удельное сопротивление жилы (для медной жилы  $\rho_{жс} = 1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом·м);

$I$  – ток протекающий по жиле:

$$I = \sqrt{\frac{T_{жс} - T_{ос}}{3 \cdot R_{жс} \cdot (S_{из} + (1 + y_{об}) \cdot (S_{ин} + S_{ср}))}} = \sqrt{\frac{90 - 20}{3 \cdot 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot (1,08 + (1 + 3,12 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,18 + 0,2))}} = 195[\text{A}]. \quad (14)$$

Потери в жиле равны:

$$P_{жс} = I^2 \cdot R_{жс} = 195^2 \cdot 3,44 \cdot 10^{-4} = 13[\text{Вт}]$$

3) потери в экране определяются по формуле:

$$P_{э} = y_{э} \cdot P_{жс} [\text{Вт}]; \quad (15)$$

$y_{э}$  – коэффициент, указывающий на соотношение потерь в металлических элементах кабеля к потерям в жиле.

$$y_{э} = \frac{R_{эк}}{R_{жс} \cdot (1 + (\frac{R_{эк}}{X})^2)} = \frac{1,08 \cdot 10^{-6}}{3,44 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + (\frac{1,08 \cdot 10^{-6}}{3,85 \cdot 10^{-5}})^2)} = 0,041; \quad (16)$$

где  $R_{эк}$  – электрическое сопротивление экрана кабеля Ом/м;

$$R_{эк} = \frac{\rho_{эк} \cdot l}{S_{эк}} = \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 1}{16 \cdot 10^{-3}} = 1,08 \cdot 10^{-6} [\text{Ом/ м}]; \quad (17)$$

где  $l$  – длина кабеля;

$\rho_{эк}$  – удельное сопротивление экрана (для медного экрана  $\rho_{эк} = 1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом·м);

$X$  – индуктивное сопротивление экрана Ом/м:

$$X = 4 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{a}{r_{ср}} = 4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{16 \cdot 10^{-3}}{6,5 \cdot 10^{-3}} = 3,85 \cdot 10^{-5} [\text{Ом/ м}]; \quad (18)$$

где  $r_{ср}$  – средний радиус экрана кабеля, мм;

Потери в экране равны:

$$P_{э} = y_{э} \cdot P_{жс} = 0,041 \cdot 13 = 0,53[\text{Вт}];$$

Как видно из расчетов, наибольшее влияние на нагрев кабеля оказывают потери в жиле.

Для стационарного режима работы кабельной линии тепловой закон Ома можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}\Delta t_{жс} = t_{жс} - t_{ср} &= 3 \cdot P_{жс} \cdot (S_{из} + S_{ин} + S_{ср}) + 3 \cdot P_{из} \cdot (0,5 \cdot S_{из} + S_{ин} + S_{ср}) + \\ &+ 3 \cdot P_{эк} \cdot (S_{ин} + S_{ср}) = 3 \cdot 13 \cdot (1,08 + 0,18 + 0,5) + \\ &+ 3 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6} \cdot (0,5 \cdot 1,08 + 0,18 + 0,5) + 3 \cdot 0,041 \cdot (0,18 + 0,5) = \quad . \quad (19) \\ &= 69,56(^{\circ}C)\end{aligned}$$

Учтем высшие гармоники. При симметричной работе трехфазной системы наблюдаются нечетные гармоники и гармоники не кратные трем. Учтем первую, пятую, седьмую, одиннадцатую и тринадцатую гармоники. Учет более высоких гармоник не имеет смысла, так как их действующие токи будут очень малы и влияние на потери будет очень мало. Так как потери в изоляции и оболочке малы, то и потери от высших гармоник в данных промежутках не окажут значительного влияния на нагрев кабеля [4].

При переменном токе активное сопротивление жилы возрастает из-за поверхностного эффекта и эффекта близости, что может быть учтено коэффициентами  $y_n$  и  $y_{бн}$  [1, с. 222]:

$$R_{жсп} = R_{жс} (1 + y_{ин} + y_{бн}); \quad (20)$$

В зависимости от геометрических размеров кабеля, поверхностный эффект может не проявляться. Для проверки его проявления вычисляется глубина проникновения тока. Она должна быть меньше диаметра кабеля [6].

Глубина проникновения при 250 Гц:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_a \cdot G_{y\partial}}} = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 59,5 \cdot 10^6}} = 4,13[\text{мм}]; \quad (21)$$

где  $\mu_a = \mu \cdot \mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость вещества проводника на постоянном токе ( $\mu = 1, \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ );

$G_{y\partial}$  – удельная проводимость вещества проводника на постоянном токе (для медного проводника  $G_{y\partial} = 58,14 \cdot 10^6$  [Гн/м])

$$k < d;$$

$$4,13 \text{ мм} < 8 \text{ мм}$$

Как видно, глубина проникновения при 250 Гц меньше чем диаметр ТПЖ. При возрастании частоты глубина проникновения становится еще меньше, следовательно поверхностный эффект имеет место быть. Результаты расчета для всех гармоник представлены в таблице 1.

$$y_{n2} = \frac{x_2^4}{192 + 0,8 \cdot x_2^4}; \quad (22)$$

$$\text{где } x^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot k}{R_{жс}} \cdot 10^{-7} = \frac{8 \cdot \pi \cdot 250 \cdot 1}{3,44 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-7} = 1,8; \quad (23)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от конструкции токопроводящей жилы (для круглой, скрученной жилы  $k = 1$ )

$$\begin{aligned} y_{n2} &= \frac{1,8^2}{192 + 0,8 \cdot 1,8^2} = 0,017; \\ y_{\partial 2} &= y_{n2} \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2 \cdot (0,312 \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2 + \frac{1,18}{y_{n2} + 0,27}) = \\ &= 0,017 \cdot \left(\frac{8 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0,312 \cdot \left(\frac{8 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \frac{1,18}{0,017 + 0,27}) = \\ &= 1,39 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (24)$$

Сопротивление будет равно:

$$R_{ж5} = R_{ж} (1 + y_{n2} + y_{б2}) = 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 0,017 + 0,032) = 3,61 \cdot 10^{-4} [\text{Ом}]$$

Мощность:

$$P_{ж\sim} = I_5^2 \cdot R_{ж5} = 64,35^2 \cdot 3,61 \cdot 10^{-4} = 1,49 [\text{Вт}]$$

Соотношение токов высших гармоник к току основной гармоники представлены в работах Климова В.П. и Москалева А.Д. [3].

Результаты расчетов представим в виде таблицы 1:

Таблица 1 – Результаты расчетов потерь для кабеля с медными жилами

Номер гармоники $n$	Частота гармоники $f$ , Гц	Глубина проникновения, мм	Ток гармоники $I_n$ , А	Сопротивление $R$ , $\cdot 10^{-4}$ Ом	Потери в жиле $P$ , Вт
1	50	9,23	$100\% \cdot I$	3,45	13,1
5	250	4,13	$33\% \cdot I$	3,61	1,49
7	350	3,48	$2,7\% \cdot I$	3,76	0,01
11	550	2,78	$7,3\% \cdot I$	4,14	0,08
13	650	2,56	$1,6\% \cdot I$	4,34	0,004

Потери в жиле при переменном несинусоидальном токе равны:

$$P_{ж\Sigma} = P_{ж1} + P_{ж2} + P_{ж3} + P_{ж4} + P_{ж5} = (13,11 + 1,49 + 14,7 + 0,01 + 0,08 + 0,004) = 14,7 [\text{Вт}] \quad (25)$$

Температура жилы при синусоидальном токе:

$$t_{ж} = 3 \cdot P_{ж} \cdot (S_{из} + S_{нн} + S_{ср}) + 3 \cdot P_{из} \cdot (0,5 \cdot S_{из} + S_{нн} + S_{ср}) + 3 \cdot P_{эк} \cdot (S_{нн} + S_{ср}) + t_{ср} = 3 \cdot 13 \cdot (1,08 + 0,18 + 0,5) + 3 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6} \cdot (0,5 \cdot 1,08 + 0,18 + 0,5) + 3 \cdot 0,04 \cdot (0,18 + 0,5) + 20 = 89,56 (^{\circ}\text{C}) \quad (26)$$

Температура жилы при несинусоидальном токе:

$$\begin{aligned}
 t_{ж\sim} &= P_{ж\Sigma} \cdot (S_{из} + S_{нп} + S_{ср}) + P_{из} \cdot (0,5 \cdot S_{из} + S_{нп} + S_{ср}) + \\
 &+ P_{эк} \cdot (S_{нп} + S_{ср}) + t_{ср} = 3 \cdot 14,7 \cdot (1,08 + 0,18 + 0,5) + \\
 &+ 3 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6} \cdot (0,5 \cdot 1,08 + 0,18 + 0,5) + 3 \cdot 0,04 \cdot (0,18 + 0,5) + 20 = \\
 &= 98,17(^{\circ}C)
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Как видно из расчета, наличие высших гармоник ведет к превышению температуры на  $\sim 9^{\circ}C$  ( $\sim 10\%$ )

Произведены аналогичные расчет нагрева кабеля с алюминиевыми жилами. Для токовой нагрузки в 195 А сечение кабеля примем равным  $70 \text{ мм}^2$ . Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов потерь для кабеля с алюминиевыми жилами.

Номер гармоники $n$	Частота гармоники $f$ , Гц	Глубина проникновения $\Delta$ , мм	Ток гармоники $I_n$ , А	Сопротивление $R_{Al} \cdot 10^{-4}$ Ом	Потери в жиле $P_{Al}$ , Вт
1	50	11,92	$100\% \cdot I$	4,01	13,27
5	250	5,33	$33\% \cdot I$	4,16	1,5
7	350	4,51	$2,7\% \cdot I$	4,29	0,01
11	550	3,59	$7,3\% \cdot I$	4,67	0,08
13	650	3,31	$1,6\% \cdot I$	4,88	0,004

Суммарные потери в алюминиевой жиле:

$$P_{ж\Sigma} = 14,87[\text{Вт}] ;$$

Температура жилы при синусоидальном токе:

$$t_{жс} = 89,36(^{\circ}C)$$

Температура жилы при несинусоидальном токе:

$$t_{ж\sim} = 97,82(^{\circ}C)$$

Превышение температуры составило 8,46 градусов (~9,5%).

Исходя из глубины проникновения  $\Delta$  видно, что кабель с алюминиевыми жилами менее подвержен воздействию высших гармоник, что по сути должно приводить к меньшему нагреву жилы, чем для медной. Но, для передачи одинаковой мощности электроприемнику, необходимо увеличить сечение жилы, что приводит к увеличению ее электрического сопротивления, в связи с чем уменьшается ток. Для рассмотрения влияния высших гармоник на нагрев алюминиевой жилы в сравнении с медной, необходимо обеспечить одинаковые сопротивления жил, что не возможно в связи типовым рядом сечений.

При больших сечениях кабеля, поверхностный эффект выражен более явно. Влияние большего сечения на поверхностный эффект представлено на рисунке 13.

Как видно, увеличение сечения приводит к увеличению коэффициента поверхностного эффекта, что приводит к росту сопротивления и в конечном итоге к большему перегреву кабеля.

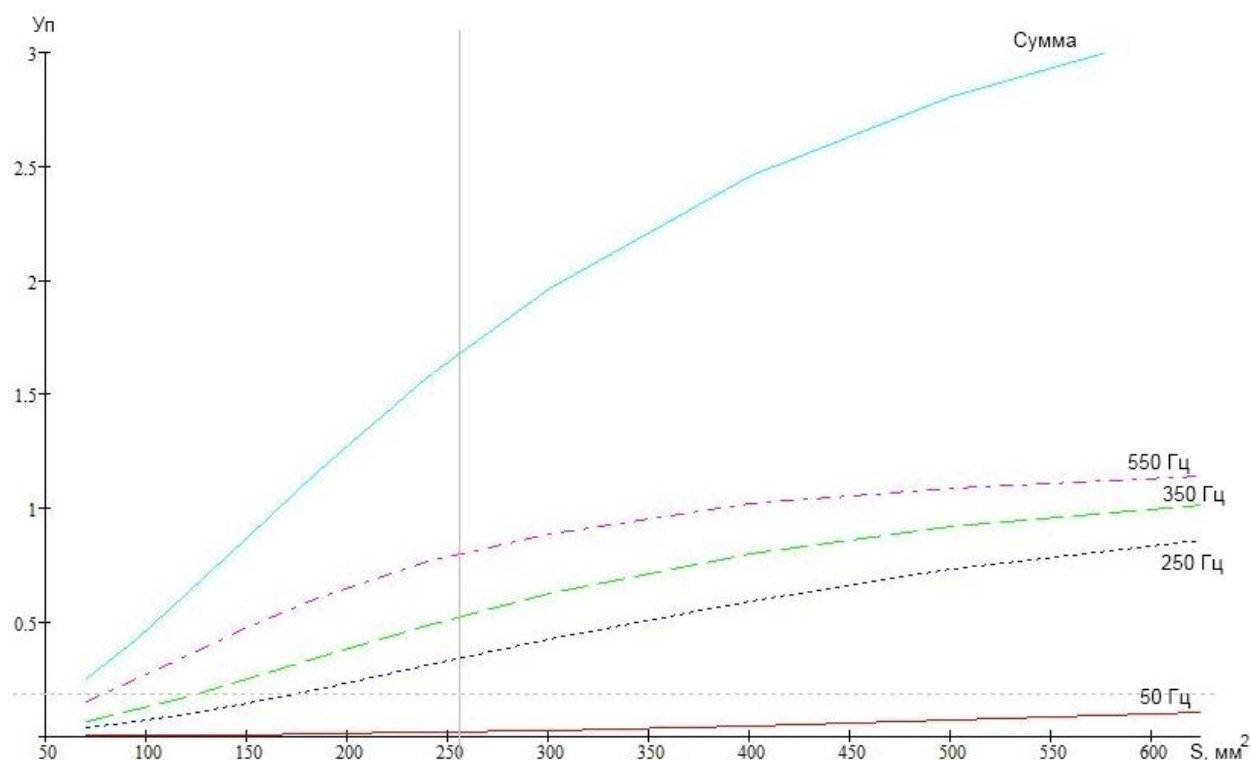


Рисунок 13 – График зависимости сечения кабеля  $S$  от коэффициента поверхностного эффекта  $y_n$

К примеру, при протекании по кабелю сечением  $S = 500 \text{ мм}^2$  несинусоидального тока, коэффициент поверхностного эффекта  $y_n$  будет равен 2,7. Это приведет к увеличению потерь в 3,7 раз.

Данная зависимость подтверждена на практике. Для уменьшения поверхностного эффекта ТПЖ разделяют на отдельные части сегментной формы. В результате чего в каждом сегменте возникают многочисленные вихревые токи, и рабочая поверхность жилы увеличивается. Применение такой конструкции обеспечивает равномерное распределение тока по сечению жилы и, как следствие, уменьшает поверхностный эффект. Однако, данный тип кабелей спроектирован только на промышленную частоту.

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2В	Ведякин Алексей Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30,2 % от ФОТ на 2016 год

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки : - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта; - расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет проекта
4. Оценка ресурсоэффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Ведякин Алексей Сергеевич		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Составление SWOT-анализа работы и эксплуатации ремонтно-механического цеха ферросплавного завода
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

### 5.1. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

**Первый этап** заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?

- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;

- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p> <p>С9. Универсальность схемы управления.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>		

В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.		

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта										
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

B4C1C5C6C7C8C9

B5C1C3C4C5C6C7C8C9

Продолжение таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 4

Сильные стороны проекта										
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-	-

У1С5 Результаты анализа таблицы:

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 4.

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 5).

Таблица 5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>...</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>	<p>В2В3В4С1С6С7С9</p> <p>В1С2С5С7С8С9</p> <p>В4С1С5С6С7С8С9</p> <p>В5С1С3С4С5С6С7С8С9</p>	<p>В5Сл1Сл3</p>

В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У1С5 У3С1С3С4С6 У2С9 У5С5	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

## 5.2. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

### 5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Продолжение таблицы 6

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (28)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (29)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

**Диаграмма Ганта** – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (30)$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (31)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 7).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительнос ть работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{oji},$ чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации		3		4		4		4		7





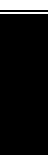




Продолжение таблицы 7

Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основе таблицы 7 строим календарный план – график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра бо т	Вид работ	Исполн ители	T <sub>ki</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		Март			апрель			Май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководи тель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководи тель	7														
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10														
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8														
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12														
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5														
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководи тель	3														

10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10																
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11																
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2																
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8																
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8																
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4																
	Общее время на проект		111																
	Время работы инженера		95																
	Время работы руководителя		16																

### 5.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;

- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

### 5.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753

Продолжение таблицы 9

3	Описание объекта автоматизации	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– Э.Д.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184

14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (32)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (33)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 8);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_o} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.}, \quad (34)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл.10).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб} \quad (35)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия:

15-20 % от  $Z_{TC}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{TC}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.11.

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , Руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $Z_{осн}$								182301

### 5.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб} \quad (36)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

### 5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (37616 + 4514) = 11417 \text{ руб} \quad (37)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл.12).

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Студент-дипломник	144685	17362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	11417	
Инженер	43914	

#### 5.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ = (182301 + 21876 + 55331) = 41521 \quad (38)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 5.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт
4. Накладные расходы	41521	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НТИ	301329	Сумма ст.

#### 5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (39)$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 14 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$ , о.е.
1		43115,6	1
2	43115,6	32850	0,76
3		30600	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (бездатчиковый асинхронный электропривод) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

(40)

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Электропривод постоянного тока, с датчиком скорости	Асинхронный электропривод, с датчиком скорости	Бездатчиковый асинхронный электропривод
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение электроприводов постоянного тока и сейчас остается эффективным. Переход к бездатчиковому приводу,

целесообразен в момент реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, когда применение других представленных схем не целесообразно.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 111 дня. Также был посчитан бюджет НИИ равный 301329 руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.



## **6. Социальная ответственность**

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а так же правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### **6.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

ВКР выполнялась в офисном помещении, в городе Томске.

Общая площадь рабочего помещения составляет  $18\text{ м}^2$  (длина  $A=4\text{ м}$ , ширина  $B=4,5\text{ м}$ ), объем составляет  $45\text{ м}^3$  (высота  $C=2,5\text{ м}$ ).

По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют  $6,5\text{ м}^2$  и  $20\text{ м}^3$  объема на одного человека [8]. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

Проведя анализ габаритных размеров кабинета, рассмотрим микроклимат в этом помещении. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха и освещение.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без

предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более  $40\text{ м}^3$  [8]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет  $45\text{ м}^3$ , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется.

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ. Уровень шума колеблется от 35 до 40 дБА. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [8]. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует выше указанным нормам.

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [8]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа SAMSUNG NP355V5C со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В [9].

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч(100мкР/ч). Предел дозы облучения для работников ВЦ (операторы, программисты) составляет 0,5 бэр/год [9].

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используется люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеет ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0 освещенность рабочего стола должна быть не менее 300÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

В помещении используется совместное освещение – искусственное и естественное (через окна). Система освещения общая. Использована люминесцентная компактная лампа (мощность 150 Вт). Выбор типа светильника производится с учетом следующих основных факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;

- удобство;
- экономичность.

Для определения необходимого количества ламп и выбора их типа ниже произведен расчет общего искусственного освещения люминесцентного освещения.

Дано помещение с размерами: длина  $A=4\text{м}$ , ширина  $B=4,5\text{м}$ , высота  $H=2,5\text{м}$ . Высота рабочей поверхности  $h_{\text{рп}}=0,6\text{м}$ .

Коэффициент отражения стен  $R_{\text{ст}}=50\%$  и потолка  $R_{\text{п}}=70\%$  для данной комнаты имеют следующие значения. Коэффициент запаса  $k=1,5$ , коэффициент неравномерности  $Z=1,1$ .

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Приняв свес светильника  $h_c=0,2\text{м}$  и  $\lambda=1,4$  (для ОД) получаем:

( $h$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью)

$$h = 2,5 - 0,6 - 0,2 = 1,7\text{м} \quad (41)$$

$$h = H - h_p - h_c \quad (42)$$

( $L$  – расстояние между светильниками)

$$L/3 = 0,78\text{м} \quad (43)$$

$$L = h * \lambda = 1,7 * 1,4 = 2,38\text{м} \quad (44)$$

Таким образом, размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду необходимо установить 2 светильника типа ОД мощностью 30Вт (с длиной 0,933м). План размещения светильников показан на рисунке 13.

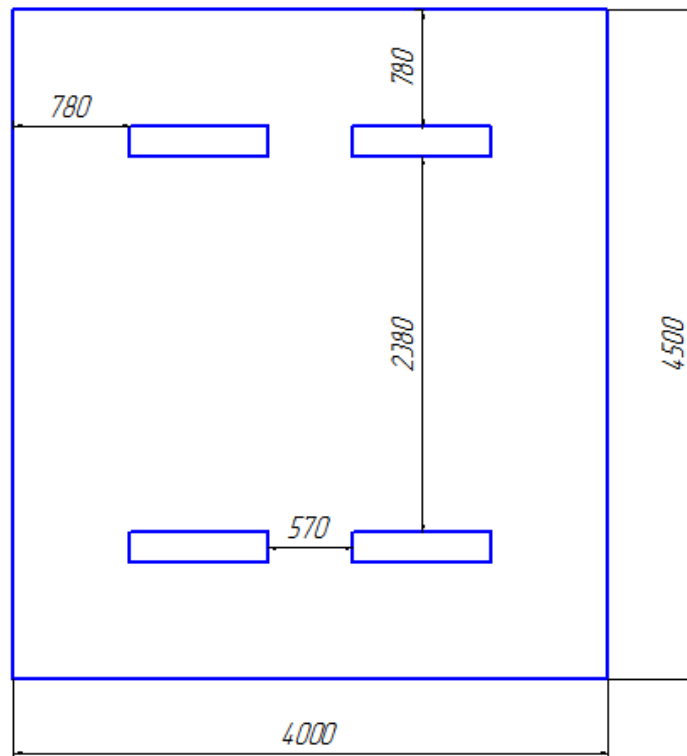


Рисунок 14 – План размещения светильников

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп  $N=8$ .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(a+b)} \quad (45)$$

$$i=18/1,7(4+4,5)=1,25 \quad (46)$$

Находим коэффициент использования светового потока:

$$\eta=0,53$$

По табл. определяем, что нормированная освещенность  $E_t=300-200\text{лк}$  (берем  $E_t=200\text{лк}$ ).

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E_t \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot n} \quad (47)$$

$$F=200 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 1,1/8 \cdot 0,53=1401 \text{ Лм}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 30Вт с потоком 1650 Лм.

Делаем проверку по формуле:

$$-10\% \leq (\text{Фл.станд} - \text{Фл.расч}) / \text{Фл.станд} \leq +20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq 7,25\% \leq +20\% \text{ (подходит)}$$

Электрическая мощность осветительной установки равна:

$$P=8 \cdot 30=240\text{Вт}$$

Нервно-эмоциональное напряжение при работе на ПК возникает вследствие монотонного режима работы, поэтому необходимо делать перерывы во время работы.

Меры защиты от опасных и вредных факторов производства делятся на технические и организационные. К ним относится защита от вредного воздействия облучения. При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранении здоровья на протяжении рабочей смены

должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;

дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см; должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

## **6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды**

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;

- при прикосновении к токопроводящим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

### **6.2.1 Охрана окружающей среды**

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;

- металлические части переплавляются для последующего производства;

- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке.

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

### **6.2.2. Защита в чрезвычайных ситуациях**

В помещении, где производилась выпускная квалификационная работа, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей).

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- 4.1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- 4.2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- 4.3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

### **6.3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка

каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места.

При разработке программы пользователь работает на ПЭВМ более 50% рабочего времени.

На рисунке 14 показана схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при работе на ПЭВМ при постоянной работе.

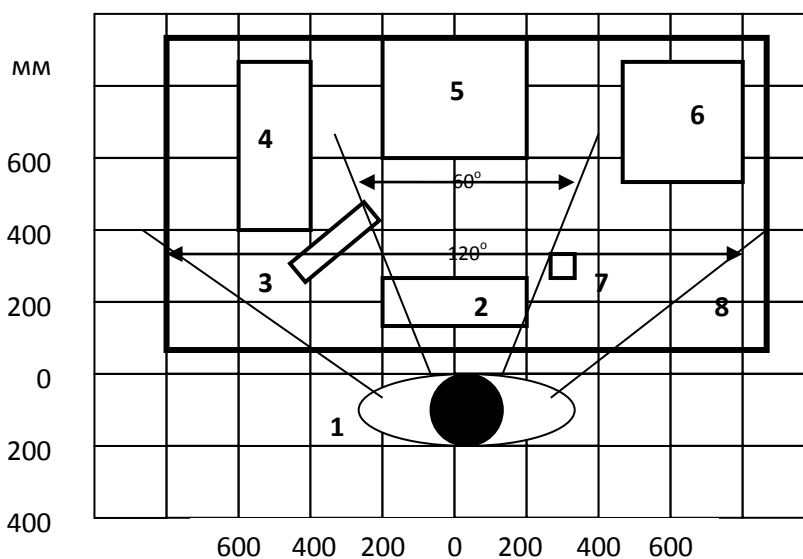


Рисунок 15 – Схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при постоянной работе на ПЭВМ

1 – кресло оператора ПЭВМ; 2 – клавиатура; 3 – подставка для исходной информации; 4 – системный блок; 5 – монитор; 6 – принтер; 7 – мышь; 8 – стол.

## **Заключение**

В рамках данного дипломного проекта было оценено влияние несинусоидального тока преобразователей частоты на нагрев силовых кабелей.

Установлено, что наличие высших гармоник приводит к перегреву кабеля на 10%. Так же исследована зависимость влияния сечения на поверхностный эффект. Оказалось, что при больших сечениях кабеля поверхностный эффект оказывает сильное влияние на потери, что в свою очередь сказывается на перегреве кабеля.

Так же выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», где была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 111 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 301329 руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

## Список использованных источников

1. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1996 – 464 с.: ил.
2. Аникеев В.М. Силовые кабели и кабельные линии. Метод. указ. к выполнению курсового проекта для студентов специальности 140611 – «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 40 с.
3. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сб./Под ред. Малышкова Г.М., Лукина А.В.- М.: АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002. Вып 5. С.
4. Климова Г.Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие/ Г.Н. Климова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 160с.
5. [Электронный ресурс] URL: <http://www.houwire.com/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения 15.04.2016 г.
6. Дудкин А.Н. Электротехническое материаловедение. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 198 с.
7. ГОСТ 12.1.003 – 83 (1999) Шум. Общие требования безопасности.
8. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003. – 21 с.