

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
РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ШАХТНОГО КАБЕЛЯ

УДК 621.315.2 :622.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Тиханович Андрей Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Щербакова Юлия Михайловна			

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		

Томск – 2016 г.

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

Энергетический институт

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электромеханических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭКМ

_____ Гарганеев А.Г.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2В	Тихановичу Андрею Андреевичу

Тема работы:

Исследование электрофизических характеристик полимерной изоляции при действии температуры и пластовой жидкости	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.01.2016 №343/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Зарубежный шахтный кабель компании Nexans марки (N)3GSEHRH 3x50 мм ² на напряжение 6 кВ
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор 2. Расчёт конструкции шахтного кабеля на основе конструкции зарубежного 3. Расчёт электрических и тепловых характеристик кабеля 4. Расчёт массы кабеля 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)		Презентация выполненная в редакторе «Microsoft Power Point 2010»
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Трофимова Маргарита Николаевна	
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ Дашковский Анатолий Григорьевич	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭКМ	Щербакова Юлия Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Тиханович Андрей Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2В	Тиханович Андрей Андреевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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	Тиханович Андрей Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2В	Тиханович Андрей Андреевич

Институт	Энергетический	Кафедра	Электромеханических комплексов и материалов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеосостояния, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита -источники, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработать действия в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2В	Тиханович Андрей Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 77 страницы, содержит 18 рисунков, 21 таблиц, 20 использованных источника.

Актуальность работы заключается в следующем: условия проведения горных работ под землей приравниваются к экстремальным. Для осуществления всех подземных процессов, связанных с добычей и подъемом полезных ископаемых на поверхность, используется самая современная техника и оборудование. Шахтные кабели являются единственной возможностью подачи электрического питания передвижным машинам и механизмам, работающим под землей.

Кабели для горных разработок являются самыми уязвимыми звеньями в шахтной системе. На их долю приходится 40% аварий. Причиной незащищенности кабеля от повреждений можно назвать его большую протяженность. Поэтому к шахтным кабелям применяются жесткие требования и правильность расчета конструктивных элементов кабеля и выбор материалов является важным условием безотказной работы шахтного кабеля для горных разработок.

Структура работы: литературный обзор шахтных кабелей, расчет конструкции шахтного кабеля на основе конструкции зарубежного, расчёт электрических и тепловых характеристик кабеля, расчёт массы кабеля, финансовый менеджмент и социальная ответственность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	9
1.1 Назначение, классификация и условия эксплуатации шахтных кабелей	9
1.1.1 Кабели для стационарной прокладки	11
1.1.2 Шахтные гибкие кабели.....	12
1.2 Конструкции шахтных кабелей и применяемые материалы	17
1.2.1 Кабели марки КГЭШ	24
1.2.2 Кабели изготавливаемые за рубежом	25
1.3 Перспективы развития, совершенствование конструкций шахтных кабелей	31
2.РАСЧЁТ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КАБЕЛЯ.....	34
2.1 Расчёт конструктивных элементов кабеля	34
2.2 Расчёт электрических характеристик кабеля	38
2.3 Тепловой расчёт кабеля.....	40
2.4 Расчёт массы кабельного изделия	43
Обсуждение результатов.	47
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	48
3.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода.....	48
3.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	50
3.3 Составление сметы затрат на разработку ТП	56
3.4 Определение ресурсоэффективности проекта	60
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	62
4.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	62
4.2 Охрана окружающей среды	69
4.3 Защита в чрезвычайных ситуациях	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
Список использованных источников	76

ВВЕДЕНИЕ

Полезные ископаемые находящиеся на поверхности Земли заканчиваются. Большинство новых месторождений находят глубоко под землёй. Соответственно, глубина шахт с каждым годом увеличивается, а чем глубже шахты, тем больше различных нагрузок испытывают кабели. В связи с этим потребность в шахтном кабеле будет только увеличиваться, а требования, предъявляемые к эксплуатации кабеля повышаться. Актуальным является расширение номенклатуры шахтных кабелей. В связи с этим в работе ставится цель рассчитать кабель, не уступающий техническим параметрам зарубежного шахтного кабеля.

Кабели для горных разработок предназначены для присоединения к источникам электрической энергии различных передвижных машин и механизмов, применяемых при добыче руд, золота, угля, торфа и других ископаемых при температуре окружающей среды в пределах от -50 до $+50$ °C в диапазоне напряжений от 0,66 до 10 кВ.

Шахтные силовые кабели вследствие большой протяжённости и тяжёлых условий эксплуатации относятся к наиболее легкоуязвимым и опасным элементам подземных электрических сетей. Постоянно перемещаясь по забоям вслед за машинами, они подвергаются частым повреждениям от ударов породой, наездов, растягивающих усилий и нахождением под действием агрессивных сред. На их долю приходится 40 % аварий. Высокая повреждаемость кабеля является одной из основных причин взрывной рудничной атмосферы, возникновения пожара или поражения электрическим током. В связи с этим к шахтным кабелям предъявляются высокие требования в эксплуатации.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Назначение, классификация и условия эксплуатации шахтных кабелей

Шахтные кабели предназначены для распределения электрической энергии и питания электрических машин, работающих в шахтах. При подземной добыче полезных ископаемых электрооборудование перемещается по мере продвижения фронта работ. В связи с этим питающие кабели необходимо подтягивать вслед за врубовыми машинами, комбайнами и т. д. Кабели испытывают динамические нагрузки, которые можно разделить на:

- Ударные нагрузки (случайные) – нагрузки, вызванные обрушением породы, удара инструмента, наезд подвижного транспорта и т.д. Как правило, динамические ударные нагрузки приводят к повреждению оболочки, жилы, продавливанию изоляции;[2]

- Циклические нагрузки – это нагрузки, которые длительно воздействуют на кабель при непрерывном повторении во время эксплуатации. Циклические нагрузки могут привести к истиранию оболочки (вследствие трения поверхности кабеля о породу), порезам и проколам оболочки или изоляции, обрыву тпж или разрыву изоляции, петлеобразованию. [2]

Порезы и проколы оболочки или изоляции происходят из за протаскивания кабеля через острые края кусков угля или породы. Порезы так же могут произойти из-за неосторожных ударов по кабелю рабочим инструментом, при случайном соприкосновении кабеля с острыми краями конвейерных скребков. Практика показывает, что подобные повреждения являются наиболее частыми и опасными. [7]

Обрывы токопроводящих жил или разрывы изоляции происходят при протягивании кабеля вслед за механизмами. При протягивании возможно заклинивание кабеля кусками породы или другими предметами. Если при

этом продолжать кабель продолжает тянуться, то возникают значительные растягивающие усилия, которые могут привести к обрыву всего кабеля или разрыву изоляции.

Раздавливание изоляции может произойти при обрушении на кабели угля или породы, при переезде кабеля комбайнами или другими механизмами. В зависимости от величины продавливающих нагрузок наступает полное или частичное раздавливание изоляции.

При волочении по грунту кабель неизбежно принимает волнообразную форму, образуя петли разных размеров. В обычных условиях, благодаря упругим свойствам, эти петли при натяжении распрямляются. Однако если при протягивании кабеля на образовавшуюся петлю падает глыба угля или породы большого веса, то при значительных растягивающих усилиях петля, не имея возможности выпрямиться, под действием растягивающих, изгибающих и закручивающихся нагрузок завязывается в узелок особой формы. При этом часто изоляция жил лопается, а проволоки, входящие в жилу, ломаются, что приводит к короткому замыканию между жилами. [1]

Таким образом, комплексное воздействие растягивающих, крутящих и изгибающих нагрузок на шахтные кабели может привести к механическим повреждениям, вызывающим отказы этих кабелей или существенно снижающим сроки их службы. При наличии даже небольших механических повреждений износ кабелей ускоряется из-за проникновения в повреждённые места влаги и пыли. Поэтому к шахтным кабелям предъявляются повышенные требования по механической прочности, износоустойчивости, гибкости и стойкости к перегибам.

Классификация шахтных кабелей

Шахтные кабели можно разделить на два основных типа:

- кабели для стационарной (частично стационарной) прокладки;
- гибкие кабели.

1.1.1 Кабели для стационарной прокладки

Кабели общего назначения выбираются с учётом условий прокладки и эксплуатации. Распределительные сети располагаются как на поверхности, так и внутри шахты. На рис.1. представлен стационарный силовой кабель с ленточной бронёй на напряжение 6 – 35 кВ.

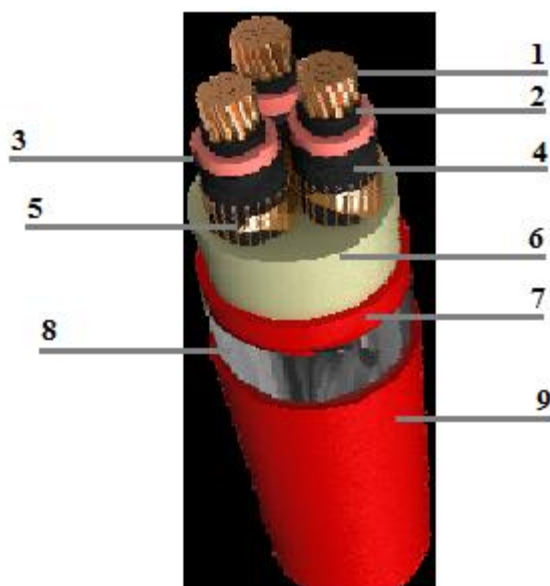


Рис. 1. Стационарный силовой кабель на напряжение 6 – 35 кВ: 1 – токопроводящая жила; 2 – внутренний полупроводящий слой; 3 – высокоэластичная этиленпропиленовая резина; 4 – внешний полупроводящий слой; 5 – заземлённый экран из медных лент; 6 – внутренняя оболочка из термопластичного компаунда; 7 – подушка; 8 – броня; 9 – оболочка.

1. Кабели для распределения электрической энергии к стационарным установкам на земле прокладываются на поверхности в траншеях, каналах и т. д. стационарно. Такие линии выполняются из кабелей с бумажной или пластмассовой изоляцией, с защитным покровом от агрессивных сред. Токопроводящие жилы выполняются из меди 2-го класса гибкости.

2. Для подачи электрической энергии в шахты должны быть использованы кабели для вертикальной прокладки с номинальным напряжением $U = 70$ кВ. Это могут быть кабели с бумажной изоляцией с нестекающим составом и защитным покровом типа «К» (с круглой проволоочной бронёй). Могут использоваться кабели с пластмассовой

изоляцией с защитным покровом типа «К», которые должны иметь индекс: нг-LS, нг-HF, нг-RF. [2]

3. Кабели, располагающиеся внутри штрека, обеспечивающие электрическое питание частично перемещающегося распределительного устройства могут быть с бумажно-пропитанной или пластмассовой изоляцией (негорючая), а также для укладки на наклонных штреках могут использоваться кабели с бумажно-пропитанной и пластмассовой изоляцией с повышенной прочностью.

Так как кабели для прокладки на поверхности, для вертикальной прокладки и для прокладки в штреке подвергаются значительным механическим нагрузкам, они должны выполняться с бронёй. Классификация шахтных бронированных кабелей, показаны на рис. 2.

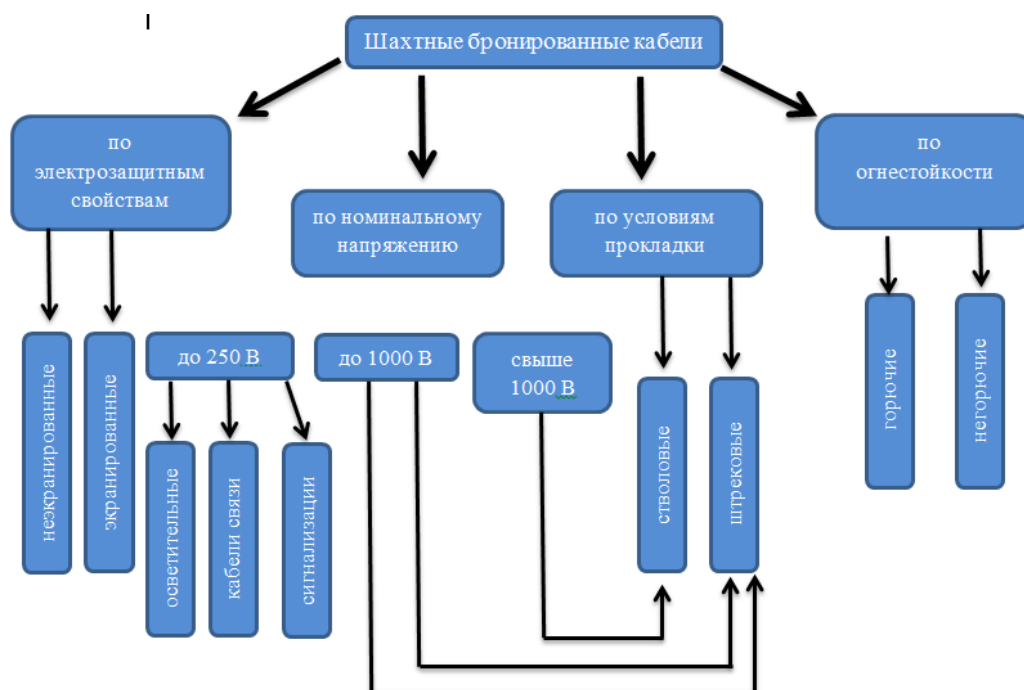


Рис. 2. Классификация шахтных бронированных кабелей

1.1.2 Шахтные гибкие кабели

Гибкие кабели предназначены для питания передвижных механизмов в подземных работах или на поверхности (рис. 3 и 4). Кабели выпускают на номинальное напряжение до 10 кВ, с рабочей частотой 50 – 500 Гц.



Рис. 3. Гибкий бронированный силовой кабель.



Рис. 4. Гибкий кабель для комбайнов

Классификация кабелей для нестационарной прокладки:

1. по гибкости

- а) гибкие (Г);
- б) повышенной гибкости (ПГ);
- в) особо гибкие (ОГ).

2. по материалу изоляции

- а) с резиновой изоляцией;
- б) с резиновой изоляцией, не поддерживающей горение;
- в) с изоляцией из ПВХ.

3. по уровню рабочего напряжения

0,22; 0,38; 0,44; 0,66; 1,14; 3; 6; 10 кВ переменного тока от 50 до 500 кГц.

4. по числу жил

- а) основные жилы (1 до 6) $S = 0,75 - 150 \text{ мм}^2$;
- б) жила заземления (1 до 3) $S = 0,75 - 120 \text{ мм}^2$;
- в) вспомогательные жилы (1 до 12) $S = 0,75 - 10 \text{ мм}^2$.

Все жилы выполняются медными многопроволочными. В кабелях тропического исполнения жилы выполняются из медной луженой проволоки.

5. по конструктивному исполнению

- а) с индивидуальным экраном (по каждой жиле);
- б) с общим экраном (по скрученным между собой изолированным жилам);
- в) с сердечником (круглым или профилированным);
- г) с упрочняющими элементами;
- д) с жилой в виде повива проволок вокруг опорной стальной спирали;
- е) с бронёй из стальных проволок вокруг опорной стальной спирали.

Минимальная толщина индивидуального экрана не менее 0,2 мм.

6. по форме

- а) круглая;
- б) плоская.

7. по теплостойкости

- а) кабель с нормальной теплостойкостью, $t_{\text{раб}} \leq 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) кабель с повышенной теплостойкостью, $t_{\text{раб}} \geq 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

8. по климатическому исполнению (табл. 1).

Таблица 1. Классификация по климатическому исполнению

Климатическое исполнение	Обозначение
1) Работа кабелей в районах с умеренным климатом	У
2) умерено холодный климат	УХЛ
3) Тропический, влажный	ТВ
4) Сухой, тропический	ТС
5) Сухой, влажно-тропический	Т
6) Общеклиматический (для всех видов климата на суше, кроме холодного)	О
7) То же для суши и воды	В
Категории размещения	
1) На открытом воздухе	1
2) На воздухе под навесом (исключается действие солнечной радиации и атмосферных осадков)	2
3) В закрытых помещениях без отопления	3
4) В отапливаемых помещениях	4
5) В помещениях с повышенной влажностью (шахты, котельные, бани)	5

Конструкции гибких шахтных кабелей.

В настоящее время для угольной промышленности разработано несколько марок гибких кабелей. При разработке учитываются условия эксплуатации кабелей:

- значительные механические нагрузки;
- высокая влажность;
- высокая температура эксплуатации;
- пожаробезопасность;
- требования к электрическим характеристикам (электрическая прочность, удельное электрическое сопротивление жилы и экранов).

Конструкции кабелей с резиновой изоляцией для присоединения угольных комбайнов, передвижных машин и механизмов при подземных горных работах к электрическим сетям изображены на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Общий вид гибкого силового кабеля марки КГТЭКШ

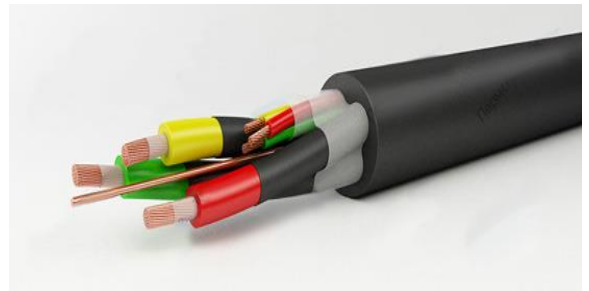


Рис. 6. Общий вид гибкого силового кабеля марки КГЭТШ

Гибкие шахтные кабели по назначению можно разделить на две группы:

1. кабели для электропитания подвижных механизмов и машин;
2. кабели для электропитания ручного бурильного инструмента.

Кабели для питания подвижных механизмов и машин выполняются на рабочее напряжение 1140, 3300 В. В зависимости от назначения и типа оборудования кабели могут выполняться с различным количеством жил.

Изоляция всех кабелей выполняется из резины марки РТИ-1. При этом теплостойкость изоляции может меняться от обычной до повышенной.

Толщина изоляции для кабелей на рабочее напряжение 1140 В:

- основных жил $\Delta_{из} = 1,6 - 2,2$ мм;
- вспомогательных жил $\Delta_{из} < 1,2$ мм.

Первая и вторая группы имеют экран по изоляции или общий экран по скрученным жилам. Толщина экрана $\Delta_э \leq 0,5$ мм. В некоторых конструкциях предусматривается экран по изоляции вспомогательных жил.

Жилы заземления, как правило, голые, в редких случаях имеют оболочку из электропроводящей резины толщиной $\Delta_{оз} < 1,2$ мм.

Вспомогательные жилы, как правило, располагаются в повиве с основными жилами. При количестве жил три или более, они скручиваются между собой.

Скрученные жилы могут покрываться лентой, чаще лентой ПЭТ-Э. Покрывание лентой вспомогательных жил позволяет обеспечить необходимое смещение при изгибах, кручениях кабеля.

Сердечник вспомогательных жил скручивается с основными (в повиве). При таком расположении вспомогательных жил повышается их стойкость к циклическим нагрузкам.

Поверх сердечника основных и вспомогательных жил, шахтные кабели имеют двухслойную оболочку. Первая оболочка, как правило, выполняется:

- из электропроводящей резины (роль поясного экрана);
- из эластичной резины более мягкой, чем внешний слой.

Для снижения действия внешних сжимающих усилий вторая оболочка выполняется из шланговой резины с высокой механической прочностью и низкой влагонепроницаемостью. Материал оболочки должен быть также маслобензостойким, неподдерживающим горение.

Для упрочнения оболочки между первым и вторым слоем может быть нанесён усиливающий слой в виде оплётки или обмотки из прочных полимерных нитей (полиэфирных).

1.2 Конструкции шахтных кабелей и применяемые материалы

Как уже указывалось, одно из основных требований к шахтным кабелям – гибкость и стойкость к перегибам. При наличии гибкой изоляции, величины этих параметров зависят от конструкции токопроводящих жил и кратности скрутки изолированных жил в кабель. Для увеличения гибкости и стойкости к перегибам токопроводящие жилы шахтных кабелей скручиваются в одну сторону (основные жилы – в левую, вспомогательные – в правую).

Помимо хорошей гибкости и стойкости к перегибам, эти кабели должны обладать высокой стойкостью к продавливанию. Для этого изолированные жилы скручиваются вокруг профилированного резинового сердечника, изготавливаемого из специальной резины типа РЗ. Резиновый сердечник, находясь в центре кабеля, выполняет роль амортизатора и существенно уменьшает давление на изоляцию при воздействии раздавливающих нагрузок.

Жила. Основные жилы не превышают $S=150 \text{ мм}^2$. Жила выполняется только из меди ММ проволоки пятого класса гибкости, круглой формы, повивной скрутки. Жила сечением до 35 мм^2 могут выполняться пучковой скруткой из проволок диаметром до 0,5 мм. При сложной скрутке, стренги формируются пучковой скруткой в левом направлении, стренги в жилу скручиваются повивной скруткой также в левом направлении, при этом параметры скрутки стренг и жил должны обеспечивать необходимую циклическую прочность ТПЖ. Все вспомогательные жилы для повышения прочности имеют стальной сердечник.

Изоляция. Изоляция шахтных кабелей должна иметь высокие электрические характеристики, механические характеристики и в то же время быть эластичной. Этим требованиям отвечают кабельные резины, которые в широком температурном диапазоне при действии механических нагрузок сохраняют необходимые электрические характеристики. Кроме этих требований, изоляция не должна поддерживать горение. Для

обеспечения заданных требований должны быть подобраны соответствующие рецептуры кабельных резин. Различные типы кабельных резин, показанные в таблице 2.

Таблица 2. Типы изоляции и шланговых кабельных резин

Тип резины		Содержание каучука, %	T _{раб} (max/min), °C	Основные компоненты
Изоляционные				
РТИ-1	теплостойкая	33	65	На основе НК, НКЗ, СКБ
РТИ-0	То же, более высокого качества	40	65	То же, с большим содержанием каучука
РНИ	негорючая	35	65	На основе хлоропрена
РТСИ	теплостойкая	30	85	На основе этиленпропиленового каучука
РТИЭПИ	этиленпропиленовая	Не нормируется	180	На основе этиленпропиленового каучука
РТИШ	Изоляционно-шланговая	33	65/(-40)	На основе НК, СКИ, СКБ, СКС
Шланговые				
РШ-1	Для тяжелых условий	50	(-50)	На основе НК, СКИ, СКС
РШН-1	Негорючая, для тяжелых условий	50	(-30)	На основе полихлоропрена
РШН-2	Негорючая, для средних условий	40	(-30)	То же, с меньшим содержанием каучука

В зависимости от условий эксплуатации изоляционные кабельные резины можно разделить на группы:

1. для нормальной эксплуатации;
2. для эксплуатации в условиях с повышенной влажностью;
3. для работы при повышенном напряжении.

Резины для нормальной эксплуатации предназначены для работы при рабочем напряжении $U_{\text{раб}} \leq 3$ кВ без значительных механических нагрузок в условиях нормальной влажности (≤ 90 %). К таким резинам относится изоляционная резина типа РТИ-1. Электрические и механические характеристики связаны с характеристиками каучуков (табл. 3). Данный тип резины выполняется на основе НК в композиции с синтетическими каучуками, в качестве вулканизирующего агента применяется тиурам, который несколько увеличивает теплостойкость каучука и уменьшает коррозию медной жилы. В качестве активаторов вулканизации фенолформальдегидные смолы, которые в композиции с тиурамом повышают скорость вулканизации и теплостойкость. Такие резины имеют рабочую температуру до 65 °С. Необходимая пластичность обеспечивается с помощью мягчителей: парафина, масла, вазелина. Концентрация мягчителей, кроме требуемой эластичности, задаёт скорость вулканизации на ЛКНВ. [5]

Таблица 3. Электрическая прочность каучуков

Тип каучука	$E_{\text{пр}}$, кВ/мм
Натуральный (НК)	21
Синтетический изопреновый (СКИ-3(ЗД))	17
Синтетический бутадиеновый (СКД)	20
Бутадиен-стирольный (СКС)	26
Бутил-каучук	22-23
Этилен – пропиленовый (СКЭП (Т))	25

Механические характеристики также зависят от типа наполнителя (табл. 4). Наполнители можно разделить на две группы:

1. активные наполнители повышают механические характеристики резины. Например белая сажа является хорошим усиливающим компонентом для этиленпропиленовой резины, для натурального каучука усиливающее действие оказывает каолин.

2. неактивные наполнители (мел, тальк)

Таблица 4. Влияние наполнителя на электрические характеристики

Тип наполнителя	$E_{пр}$, кВ/мм
НК + тальк высокодисперсный	50
НК + мел химически осаждённый	40,5
НК + мел сипарированный	35
НК + каолин	36
НК + белая сажа	34

Влагостойкие резины. Влагостойкость зависит от типов каучука, то есть неполярные каучуки (НК, СКБ, СКИ) обладают меньшей влагопроницаемостью, чем полярные каучуки. Содержание каучуков в данных резинах 40 – 50 %. На влагопоглощение оказывает влияние тип наполнителя, введение талька, например, уменьшает влагопоглощение, но одновременно уменьшает эластичность, поэтому тальк вводится в композиции с маслом 50:70 к общему объёму наполнителя. Наполнители используются ту, что у резин для нормальной эксплуатации. [5]

Высоковольтные резины предназначены для работы при напряжении $U_{раб} > 3$ кВ. Они должны обладать высокой электрической прочностью, а также влагостойкостью, теплостойкостью. Основным недостатком резин является чувствительность к действию озона, действие которого появляется образованием микро- и макротрещин. Озоностойкость резин связана со степенью ненасыщенности каучуков. Чем выше их ненасыщенность, тем ниже их озоностойкость. При относительном удлинении до 20% процесс разрушения идёт очень интенсивно, в результате чего в кабельных резинах образуются микротрещины, переходящие в макротрещины.

По озоностойкости каучуки можно расположить (в порядке ухудшения озоностойкости):

- а) Этилен-пропиленовый каучук (СКЭП);
- б) Бутил-каучук;
- в) Каучук на основе изопрена;
- г) Бутадиен-нитрильный каучук;

д) Каучук на основе СКС;

е) Каучук на основе СК.

Для повышения озоностойкости резин необходимо:

- выпускать резину на основе каучуков с низкой непредельностью;
- введение антиозонатов, типа сонтифлекс;
- при наложении изоляции, обеспечивать минимальное содержание воздушных включений;
- вводить в конструкцию кабеля электропроводящего экрана по жиле.

Максимальная рабочая температура связана с типом каучука, резины на основе НК и СК общего назначения имеют рабочую температуру $t_{\text{раб}} \leq 65$ °С, на основе ЭПК (этиленпропиленового каучука) - $t_{\text{раб}} \leq 85-90$ °С, на основе кремнийорганического каучука - $t_{\text{раб}} \leq 180$ °С.

Экраны. В шахтных кабелях экраны должны обеспечивать максимальный ток КЗ для срабатывания главной защиты, поэтому накладывают экраны по изоляции основных жил.

В кабелях с рабочим напряжением 6 и более кВ экраны должны обеспечивать:

- 1) выравнивание электрического поля на поверхности жилы;
- 2) исключение образования озона, коронного разряда на поверхности изоляции и одновременно увеличивать ток КЗ.

Экраны накладываются и по жиле и по изоляции. При наложении экрана по изоляции в ней создаётся радиальное электрическое поле.

Материал для экрана должен обладать:

- а) низким удельным электрическим сопротивлением;
- б) экран должен быть гибким, механически прочным;
- в) хорошей адгезией к изоляции и в тоже время легко удаляться при монтаже без повреждения изоляции;
- г) технологичностью (легко накладываться) и не высокой стоимостью.

Металлические экраны выполняются из проволоки (медной, луженной, стальной). Металлические экраны накладываются в виде оплётки. Однако практика показывает, что такие экраны имеют небольшой срок службы, поэтому используются обмотки из стальных и медных стренг.

Экраны из электропроводящих резин. Экраны, выполненные из электропроводящих резин с металлическим порошком, обладают высокими экранирующими свойствами, но механически менее устойчивы, а также нетехнологичны (быстро снашивается оборудование). Введение техуглерода и графита технологично, однако удельное сопротивление на 1-2 порядка выше, чем у металлонаполненных резин. При этом большое влияние на электропроводность резины оказывает дисперсность углерода и графита и способность их образовывать сетчатую электропроводящую структуру. [2]

В шахтных кабелях используются электропроводящие резины типов: РЭ-1, РЭ-2, РЭ-3, РЭМ-2, РЭМ-3 (для общих экранов). Электропроводящая резина должна иметь высокие механические характеристики, быть достаточно жесткой, иметь хорошую адгезию к изоляционным резинам и ТПЖ.

Для изготовления экранов наибольшее распространение нашла марка электропроводящей резины ЭПШ-30, которая состоит из: бутадиен-нитрильный каучук, альтакс, тиурам, амин Б, оксид цинка, стеарин, дибутилфталат, мел сепарированный, ацетиленовой сажи П-267Э, графит ГЭ-3.

Оболочка гибких кабелей в процессе эксплуатации подвергается значительным механическим нагрузкам (циклическим: кручению, растяжению, сжатию, ударным нагрузкам, а также значительным истирающим нагрузкам и деформациям в виде раздира), действию влаги, температуры окружающей среды, которые меняются в пределах от -40 до +50 °С, горючесмазочных веществ. Поэтому к оболочке предъявляются высокие требования, которые основываются на вышеуказанных условиях эксплуатации. В отечественной практике оболочка выполняется, как правило,

из кабельных резин. Свойства оболочки зависят от состава материала (табл.5).

Таблица 5. Влияние типа каучука на механические свойства резин

Показатели		НК	СКИ-3	СКД	СКС-30	нитрит
σ_p	При 20°C	360	300	265	260	260
	При 100°C	200	170	145	120	70
ϵ , % при 20°C		650	850	600	730	760
раздираение		100	80	90	70	70
истирание		300	340	100	200	290

Резины, применяемые для оболочек, называются *шланговыми*. Для работы при высоких механических нагрузках резины изготавливаются на основе натурального каучука и композиций синтетических каучуков (СКИ, СКС, СКБ, СКД). Для повышения пожаробезопасности используются хлоросодержащие каучуки (хлоропреновый каучук). Содержание каучуков 40-60 %. Повышенные механические свойства также достигаются за счёт введения активных наполнителей (техуглерод), вводится в количестве 70÷85 весовых частей. вулканизация осуществляется с применением серы. В рецептуру резины могут вводиться специальные пластификаторы, мягчители, оксид цинка, стабилизаторы, оксид марганца и т.д. Например, MnO исключает подвулканизацию резиновых смесей и улучшает условия вулканизации в объёме оболочки. [2]

В негорючих резинах, которые изготавливаются на основе хлоропреновых каучуков (неопрен), а в некоторых рецептурах хлоросульфитный ПЭ, а также в небольшом количестве ПВХ пластикат. В оболочках используются резины следующих типов РШ-1, РШН-1, РШМ-1. Кабельная оболочка для эксплуатации в тяжёлых условиях выполняется двухслойной.

В гибких шахтных кабелях в качестве изоляции также могут использоваться:

1. ПВХ пластикаты;
2. Сополимеры этилен с пропиленом;
3. электропроводящие композиции на основе эластомеров.

1.2.1 Кабели марки КГЭШ

КГЭШ – кабель гибкий экранированный шахтный (рис. 7). Кабель выполняется с жилами круглой формы из медной проволоки ММ, 5 класса гибкости, неуплотнённой. Формируется сложной повивной скруткой. В некоторых случаях жила сечением до 50 мм^2 могут выполняться пучковой скруткой. Данные кабели выполняются преимущественно четырёх- и семижильными. У четырёхжильных кабелей основные жилы сечением $S_n=4-95 \text{ мм}^2$, жила заземления $S_n \leq 10 \text{ мм}^2$. Семижильный кабель имеет три основные жилы сечением $S_n=4-95 \text{ мм}^2$, три вспомогательных жил сечением $S_n=1,5-4 \text{ мм}^2$ и жила заземления $S_n \leq 10 \text{ мм}^2$. [12]

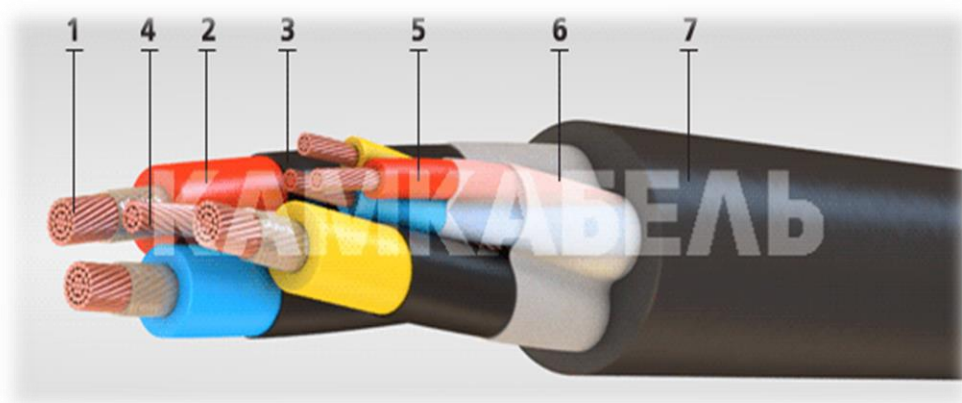


Рис.7. Кабель марки КГЭШ: 1-токопроводящая жила; 2-изоляция; 3-экрэн; 4-жила заземления; 5-группа вспомогательных жил; 6-обмотка из полиэтилентерефталатной плёнки; 7-оболочка

По ТПЖ накладывается изоляция из резины с высокими электрическими и механическими свойствами, при этом изоляция накладывается на скрученную голую жилу или допускается обмотка жил

лентой лавсана. Повышается толщина изоляции с увеличением сечения жилы.

По изоляции основной жилы или по скрученным вспомогательным жилам накладывается экран. Экраны по изоляции кабеля должны иметь хорошую связь с изоляцией и одновременно легко сниматься с изоляцией при монтаже кабеля. В настоящее время экран и изоляция накладываются одновременно и практически не снимаются с изоляции без её повреждения.

Характеристики кабеля КГЭШ приведены в таблице 6. [12]

Таблица 6. Характеристики кабеля КГЭШ

Гарантийный срок эксплуатации [месяц]	6
Максимальная рабочая температура жилы [°C]	75
Радиус изгиба кабелей [наружных диаметров]	5
Строительная длина, не менее [м]	200
Температура окружающей среды, верхний предел [°C]	+55
Температура окружающей среды, нижний предел [°C]	-30
Электрическое сопротивление изоляции основных жил при 20°C, не менее [МОм x км]	50
Электрическое сопротивление электропроводящих экранов при температуре 20°C, не более [МОм/км]	1500

1.2.2 Кабели изготавливаемые за рубежом

В США высоковольтные гибкие кабели с резиновой изоляцией для экскаваторов, комбайнов и других передвижных механизмов работающих в карьерах и шахтах, выпускаются на напряжение 6 000 в с сечением основных жил от 13,3 до 107,2 мм² четырех основных типов: SH-A, SH-B, SH-C и SH-D.

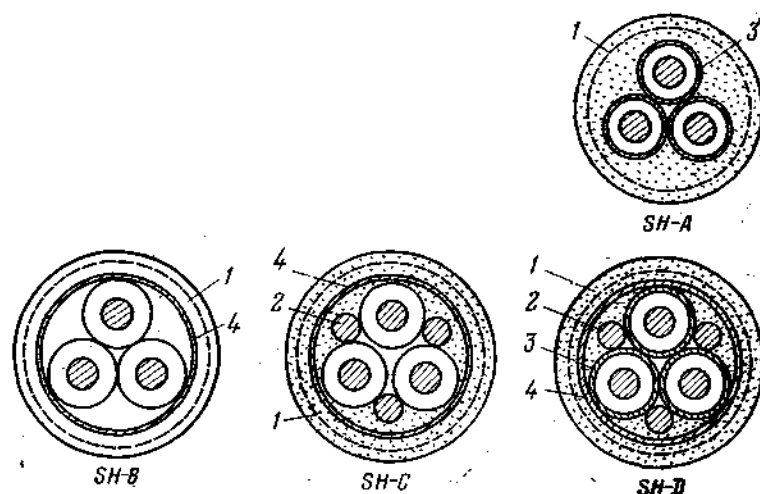


Рис.8. Конструкции высоковольтных гибких кабелей, выпускаемых в США: 1 - упрочняющая оплётка; 2 - заземляющая жила; 3 - металлический экран по жиле в виде оплётки; 4 - общий металлический экран в виде оплётки.

Токопроводящие жилы в этих кабелях выполнены из скрученных медных луженых проволок, изоляция - из нагревостойкой и озоностойкой резины на основе бутилового или этиленпропиленового каучуков. На медную жилу и поверх изоляции накладывается тканевая лента, покрытая полупроводящей резиной. Ленты по изоляции обычно окрашены в различные цвета. В некоторых кабелях по каждой жиле или по общей скрутке предусмотрены металлические экраны в виде оплётки из прядей медных луженых проволок. Оболочка кабелей выполнена из резины на основе неопрена и обычно усилена оплёткой из прочных нитей.

На рис. 8 приведены конструкции кабелей, из которых видно, чем отличаются кабели разных типов. В таблице 7 приведены некоторые конструктивные данные кабелей.

Таблица 7. Конструктивные данные кабелей, выпускаемых в США

Тип и ном. напряж. кабеля, В	Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, кг/км
SH-A, 5001-6000	13,3 107,2	50 180	4,75 4,75	4,75 5,94	46,2 70,4	2420 8010

SH-B, 5001-6000	13,3	50	4,75	4,75	46,2	2310
	53,48	120	4,75	5,56	59,7	5470
	107,2	180	4,75	5,94	70,4	7750
SH-C, 5001-6000	13,3	50	4,75	4,75	46,2	2380
	53,48	120	4,75	5,56	59,6	5760
	107,2	180	4,75	5,94	70,3	8320
SH-D, 5001-6000	13,3	50	4,75	4,75	46,2	2480
	21,15	65	4,75	5,16	50	3240
	26,67	75	4,75	5,16	52	4750
	33,63	90	4,75	5,16	54,1	5070
	42,41	100	4,75	5,16	56,1	5370
	53,48	120	4,75	5,56	59,6	6000
	67,43	135	4,75	5,56	62,5	6660
	85,03	155	4,75	5,94	66,8	7300
	107,2	180	4,75	5,94	70,3	8500

Заземляющие жилы, так же как и основные, выполняются из медных луженых проволок и должны иметь общее сечение не менее 70% одной основной жилы. В кабелях типа SH-C они покрыты хлопчатобумажной пряжей, обеспечивающей их подвижность внутри кабеля. В кабелях типа SH-D заземляющие жилы неизолированные и соприкасаются с экранирующей оплеткой.

Кабели типа SH-D являются самыми безопасными и самыми широко распространенными в карьерных сетях напряжением выше 1 000 в.

В Англии высоковольтные гибкие кабели для карьеров и шахт выпускаются на напряжение 3300 и 6 600 в в соответствии со стандартом BS 1116. Этим стандартом предусматриваются гибкие бронированные четырехжильные кабели для трехфазных систем с заземленной нейтралью типов 321, 321C, 324, 324C, 621, 621C, 624, 624C. На рис.9 приведены конструкции кабелей на 6 600 в. Кабели на 3 300 в имеют подобную конструкцию, но в типе кабеля первая цифра 3.

Кабели типа 621C выпускаются с тремя основными и одной заземляющей жилами одинакового сечения, скрученными вокруг

профилированного разделительного сердечника из полихлоропрена, с внутренней полихлоропреновой оболочкой, броней из стальных стренг и внешней оболочкой из резины на основе натурального или полихлоропренового каучука, упрочненной тканой лентой или нитями.

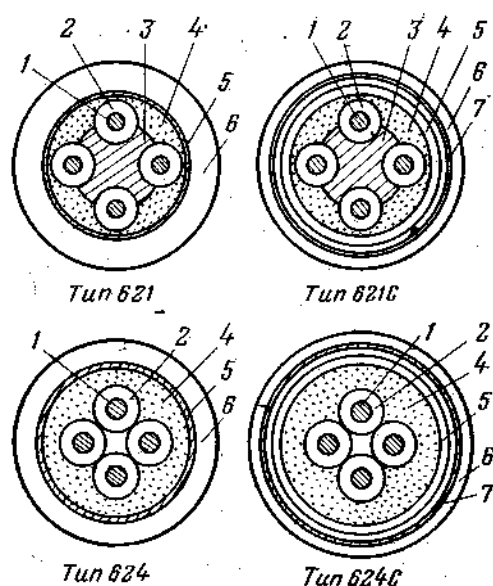


Рис.9. Конструкции кабелей, выпускаемых в Англии: 1- токопроводящая жила; 2 - изоляция; 3 - сердечник; 4 - внутренняя оболочка; 5 - броня из стальных стренг; 6 - наружная оболочка; 7 - усиливающая ткань.

Кабели с профилированным сердечником (типы 321С, 321, 621С, 621) рекомендуются для тяжелых условий работы. Усиливающий элемент во внешней оболочке предусматривается у кабелей с сечением жилы больше чем $4,5 \text{ мм}^2$. Радиальная толщина изоляции для кабелей напряжением 3 300 в должна составлять 3 мм, для кабелей 6600 в - 5 мм.

В Чехии высоковольтные гибкие кабели на напряжение 6 000 В выпускаются по стандарту CSN 347524-65 «Шланговые переносные кабели» типов HVTDG - с оболочкой из обычной резины и HVTDU - с полихлоропреновой оболочкой. Конструкции кабелей и их конструктивные данные приведены на рис.10 и в таблице 8.

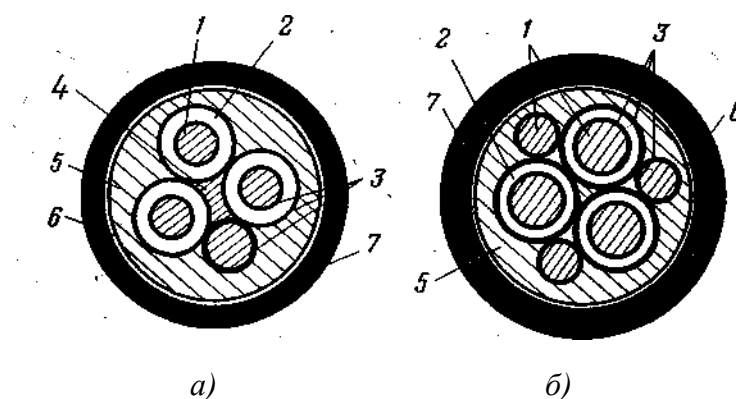


Рис.10. Конструкции кабелей, выпускаемых в Чехии: а – кабели с сечением основных жил до 35 мм²; б - кабели с сечением основных жил выше 35 мм². 1 - медная токопроводящая жила; 2 - изоляция; 3 - слой полупроводящей резины; 4 – сердечник - заполнитель; 5 - внутренняя оболочка; 6 - прорезиненная лента; 7 - наружная оболочка.

Таблица 8. Конструктивные данные кабелей, выпускаемых в Чехии

U _н , В	число, сечение жил, мм ²	min количество проволок	толщина изоляции, мм	толщина оболочки		наружный диаметр кабеля, мм	масса кабеля, кг/км
				внут- ренней	внеш- ней		
6000	3*16+1*16	112	4,2	1,5	4,0	58,0	3700
6000	3*35+1*25	245	4,2	2,0	4,5	67,0	5130
6000	3*50+3*16	350	4,8	2,5	4,5	69,5	6300
6000	3*70+3*16	490	4,8	2,5	4,5	81,0	8000
6000	3*95+3*16	420	4,8	3,0	5,0	83,5	9200
6000	3*120+3*16	530	4,8	3,0	5,0	88,0	11000

Интересно, что ранее по стандарту CSN 347524-53 выпускались кабели других конструкций. Толщина изоляции основных жил составляла 3,2 - 3,4 мм для кабелей 6000 В и 4,3 мм для кабелей на 10 000 В, но конструкция кабеля предусматривала дополнительную изоляционную оболочку. В современных конструкциях отсутствуют разделительный сердечник и дополнительная изоляционная оболочка, увеличена толщина изоляции.

В Италии высоковольтные гибкие кабели для тяжелых условий работы изготавливаются на напряжение до 35 кв. Кабели имеют три основные жилы,

изолированные озоностойкой резиной, и могут иметь заземляющую жилу сечением не менее 50% основной.

В Германии высоковольтные гибкие кабели типов NTS и NSH выпускаются в соответствии с нормами VDE 0250/11,60 на напряжение до 35 кВ с тремя или четырьмя основными жилами сечением до 185 мм². При напряжении 6 кВ и выше кабели изготавливаются с применением электропроводящей резины и специальных слоев из озоностойкой резины. На рис.11 приведены типичные конструкции высоковольтных гибких кабелей, выпускаемых в Германии. В таблице 9 приведены диаметры и масса трехжильных кабелей типов NTS

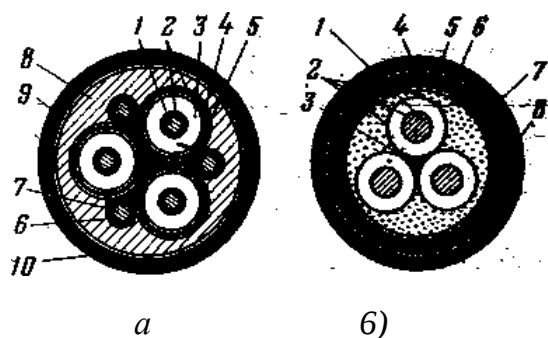


Рис. 11. Конструкции немецких кабелей. а - экскаваторного типа NTSCE: 1 - токопроводящая жила; 2 - слой проводящей резины; 3 - изоляция; 4 - озоностойкий слой; 5 - обмотка тканевой лентой; 6 - сердечник из проводящей резины; 7 - заземляющая жила, покрытая проводящей резиной; 8 - внутренняя оболочка; 9 - обмотка тканевой лентой; 10 - наружная оболочка. б - шахтного фирмы «Сименс»: 1 - токопроводящая жила; 2 - слой проводящей резины; 3 - сердечник - заполнитель; 4 - обмотка тканевой лентой; 5 - металлический экран; 6 - слой изоляционной резины; 7 - второй металлический экран; 8 - полихлоропреновая оболочка.

Таблица 9. Конструктивные данные (диаметр, мм и масса, кг/км) кабелей, выпускаемых в Германии

напряжение, кВ	поперечное сечение, мм ²								
	3*16 (3*16)	3*25 (3*16)	3*35 (3*16)	3*50 (3*16)	3*70 (3*16)	3*95 (3*16)	3*120 (3*25)	3*150 (3*25)	3*185 (3*35)
6	-	-	-	57,5 5300	61,5 6400	69,0 8100	73,5 9600	80,5 11200	89,5 13000

Из приведенного выше видно, что конструктивно гибкие высоковольтные кабели могут значительно отличаться. Наличие или отсутствие заземляющей жилы, наличие или отсутствие металлических

экранов по жилам, металлического или полупроводящего общих экранов - одного или нескольких, изменение профиля сердечника, использование упрочняющих элементов для шланговых оболочек и т. д.

1.3 Перспективы развития, совершенствование конструкций шахтных кабелей

К современным шахтным кабельным материалам предъявляются повышенные требования, обусловленные надежностью и безопасностью производства и эксплуатации шахтных кабельных изделий. Ужесточаются требования по долговечности, к физико-механическим и электрофизическим характеристикам, стойкости к внешним агрессивным средам, повышенной морозостойкости, теплостойкости, надежности и пожарной безопасности. В связи с этим разрабатываются материалы нового поколения. К таким материалам можно отнести динамически сшитые термоэластопласты, сочетающие упругие свойства резины и технологичность термопластов. В течение нескольких лет совместно со специалистами НИЦ «Кабельные технологии» и лабораторией композиционных материалов Башкирского Государственного Университета выпускаются термоэластопласты марок ТЭП ПП-305К-М, ТЭП ПП-306К-М для изоляции кабелей. [12]

Повышенные требования к изоляционным и покровным материалам по эластичности, морозостойкости, а в последнее время и по пожарной безопасности способствовали разработке материалов для негорючих кабелей. Композиции Томполен ТЭП ЗС-27-И (для изоляции) и Томполен ТЭП ЗС-27-О (для оболочки) с кислородным индексом 27% впервые нашли применение для изготовления изоляции и оболочки монтажных кабелей. [12]

В настоящее время ведутся работы по снижению дымности, токсичности и выделения галоген-водородов. Поэтому широкое применение в кабельной промышленности получили безгалогенные полимерные композиции предназначены для изготовления защитных оболочек и изоляции кабелей исполнения «HF» или «нг-HF» (что означает негорючий

безгалогенный компаунд), эксплуатирующихся в условиях повышенной пожарной опасности. Применение безгалогенных компаундов обусловлено их характеристиками:

- сравнительно трудно воспламеняемы;
- не распространяют горение;
- умеренно опасны по показателю токсичности и продуктов горения;
- выделяют меньшее количество дыма и дым светлее по цвету;
- выделяют меньше раздражающих газов. [11]

Понятие безгалогенный или "ноль галогенов" становится символом трудной горючести, малодымности, малой токсичности летучих продуктов горения, отсутствия в летучих продуктах токсичного, коррозионно-активного и раздражающего дыхания газа - хлористого водорода и других галоидоводородов.

Сейчас ведутся работы по испытаниям безгалогенного изоляционного термоэластопласта для постановки его на производство. Материал имеет улучшенные характеристики по морозостойкости и экологичности.

В настоящее время широко применяется кабельная продукция с изоляцией из сшитого полиэтилена, полученного различными способами. На разных стадиях разработки и внедрения находятся несколько видов силанольно-сшивающихся полиэтиленов.

Композиция Томполен Хв-НЕ-2-01К с катализатором силанольной сшивки Томполен Хв-НЕ-5-05 применяется для изоляции силовых кабелей с повышенной теплостойкостью, механической прочностью и стойкостью к воздействию агрессивных сред. Также получены опытные образцы проводов СИП из силанольно-сшивающейся композиции Томполен Хв-НЕ-2-01 черный с катализатором силанольной сшивки Томполен Хв-НЕ-5-05, по результатам испытаний которых проводятся работы по устранению замечаний переработчиков. [12]

Другими перспективными материалами для кабельной промышленности являются разработанные электропроводящие материалы на основе полиэтиленов и их сополимеров для использования в производстве. В настоящее время совместно с Томскими ВУЗами ведутся исследовательские работы по применению нанокربона с содержанием нанотрубок до 80% для применения в электропроводящих композициях для вышеназванных целей, а также для производства саморегулирующих нагревательных проводов. Используя нанокбон, планируется получить повышенные электропроводящие свойства и улучшенные физико-механические характеристики материалов. Также ведутся поисковые работы по использованию минеральных нанонаполнителей.

Целью данной работы является расчёт конструктивных размеров шахтного кабеля и выбор материалов для производства кабеля не уступающим зарубежным аналогам. Примером расчёта была выбрана конструкция (рис. 12) зарубежного немецкого шахтного кабеля компании Nexans (N)3GSEHRH 3x50 мм² на напряжение 6 кВ.

2. РАСЧЁТ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КАБЕЛЯ

2.1 Расчёт конструктивных элементов кабеля

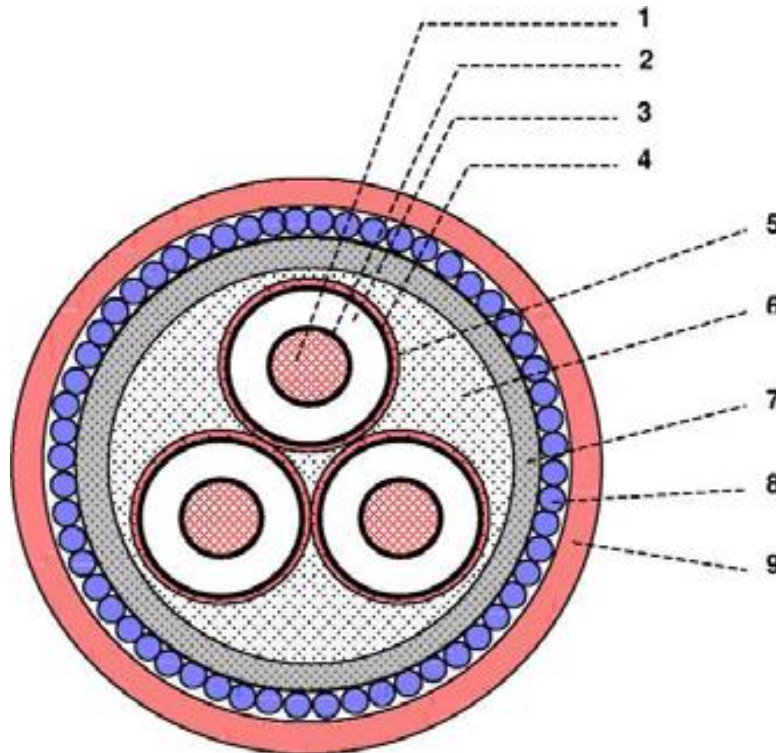


Рис. 12. Конструкция шахтного кабеля: 1 - токопроводящая жила из меди 2-го класса гибкости; 2 – внутренний полупроводящий слой из электропроводящей резины марки ЭПШ-30; 3 – изоляция из этиленпропиленовой (ЭПР) резины; 4 - внешний полупроводящий слой из электропроводящей резины марки ЭПШ-30; 5 – экран из медных проволок; 6 – заполняющий компаунд марки RX 8053; 7- подушка из лент нетканого волокна; 8 – броня из стальных проволок; 9 – внешняя оболочка из компаунда марки V 4332-7.

Токопроводящая жила

1. Сечение токопроводящей жилы $S_0 = 50 \text{ мм}^2$.
2. Класс гибкости 2.

Выбираем систему скрутки: правильная (повивная) скрутка с одной проволокой в центре, форма скрутки: $Z_c = 1 + 6 + 12$. Для такой системы скрутки число проволок в жиле равно $N = 19$

3. Определяем сечение одной проволоки:

$$s_{\text{пр}} = S_0 / N, s_{\text{пр}} = 50 / 19 = 2,63 \text{ мм}^2 \quad (1)$$

4. Вычисляем диаметр проволоки:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4s_{\text{пр}}}{\pi}}, \quad d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,63}{3,14}} = 1,78 \text{ мм} \quad (2)$$

5. Вычисляем диаметр по каждому повиву:

$$D = (2n - 1)d_{\text{пр}},$$

$$D_1 = (2 \cdot 1 - 1) \cdot 1,78 = 1,78 \text{ мм} \quad (3)$$

$$D_2 = (2 \cdot 2 - 1) \cdot 1,78 = 5,34 \text{ мм}$$

$$D_3 = (2 \cdot 3 - 1) \cdot 1,78 = 8,9 \text{ мм}$$

6. Вычисляем шаги скрутки каждого повива:

$$h_i = m_i \cdot D_i, \quad (4)$$

где i - порядковый номер повива;

m_i - кратность скрутки повива;

D_i - диаметр соответствующего повива.

$$h_{p2} = m_2 \cdot D_2 = 24 \cdot 5,34 = 128,16 \text{ мм},$$

где m_2 - кратность скрутки для внутреннего повива, $m_2 \leq 24$, принимаем $m_2 = 24$.

$$h_{p3} = m_3 \cdot D_3 = 16 \cdot 8,9 = 142,4 \text{ мм},$$

где m_3 - кратность скрутки для внешнего повива, $m_3 = (12,5 \div 16)$, принимаем $m_3 = 16$.

Изоляция и экраны

На ТПЖ накладывается электропроводящая резина ЭПШ-30 (состоит из будадиен-нитрильный каучук, альтакс, тиурам, амин Б, ZnO, стеорин, дибутилфталат, мел сепарированный, П-267Э, ГЭ-3), толщиной $\Delta_{\text{эк}} = 0,4 \text{ мм}$

Диаметр ТПЖ с полупроводящим экраном:

$$D_{\text{э.жс}} = D_{\text{жс}} + 2\Delta_{\text{эк}} = 8,9 + 2 \cdot 0,4 = 9,7 \text{ мм}, \quad (5)$$

где $D_{\text{жс}}=8,9$ мм – диаметр жилы, для кабелей 2-го класса гибкости с сечением $S_0=50 \text{ мм}^2$.

Радиус экранированной жилы:

$$r_{\text{э.жс}} = \frac{D_{\text{э.жс}}}{2} = \frac{9,7}{2} = 4,85 \text{ мм}. \quad (6)$$

Расчёт изоляции проводят после выбора максимальной напряжённости поля. Для кабелей на напряжение 6 кВ максимальная напряжённость электрического поля равна $4 \div 4,5$ кВ/мм. Напряжённость в изоляции шахтного кабеля определяется:

$$E_{\text{max}} = \frac{k_3 \cdot U_{\text{н}}}{r_{\text{э.жс}} \cdot \ln\left(\frac{R}{r_{\text{э.жс}}}\right)}, \quad (7)$$

где $U_{\text{н}}$ – рабочее напряжение $U_{\text{н}}=6$ кВ;

R – радиус по изоляции;

k_3 – коэффициент запаса, принимаем 1,27.

Из формулы 7 выражаем радиус по изоляции:

$$R = r_{\text{э.жс}} \cdot \exp \frac{k_3 \cdot U_{\text{н}}}{r_{\text{э.жс}} \cdot E_{\text{max}}}, \quad (8)$$

где E_{max} – максимальная напряжённость поля, $(4 \div 4,5)$ кВ/мм, принимаем $E_{\text{max}} = 4$ кВ/мм.

$$R = 4,85 \cdot \exp \frac{1,27 \cdot 6}{4,85 \cdot 4} = 7,18 \text{ мм}$$

На полупроводящий слой накладывается изоляция из этиленпропиленовой резины (ЭПР) и теперь можно определить толщину изоляции по формуле:

$$\Delta_{\text{из}} = R - r_{\text{э.жс}} = 7,18 - 4,85 = 2,33 \text{ мм}. \quad (9)$$

Толщины изоляции в 2,33 мм будет недостаточно для шахтного кабеля, поэтому принимает коэффициент запаса $k_3 = 1,7$. С учетом коэффициента запаса принимаем толщину изоляции $\Delta_{из} = 4 \text{ мм}$.

Диаметр кабеля с изоляцией и с полупроводящим экраном:

$$D_{э.из} = D_{э.ж} + 2\Delta_{из} + 2\Delta_{эк} = 9,7 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 0,4 = 18,5 \text{ мм}. \quad (10)$$

Экран состоит из медных проволок, диаметром $d_{пр.э} = 0,8 \text{ мм}$. Тогда количество медных проволок в повиве:

$$n_{эк} = \frac{\pi \cdot (D_{э.из} + d_{пр.э})}{(1 + K) \cdot d_{пр.э}} = \frac{3,14 \cdot (18,5 + 0,8)}{(1 + 0,034) \cdot 0,8} = 76, \quad (11)$$

где K – укрутка бронепроволоки, рассчитанная из:

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{m^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14^2}{12^2} = 0,034.$$

Для лучшего скрепления экрана применим ленту ПЭТ-Э, бесцветную ГОСТ 24234-80. Толщина плёнки составляет $\Delta_{пл} = 0,02 \text{ мм}$. [9]

Тогда диаметр кабеля с экраном и плёнкой:

$$D_{э.э.из} = D_{э.из} + 2d_{пр.э} = 18,5 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,02 = 20,1 \text{ мм}. \quad (12)$$

Диаметр скрутки:

$$D_{скр} = m \cdot D_{э.э.из} = 2,15 \cdot 20,1 = 43,21 \text{ мм}, \quad (13)$$

где m – кратность скрутки равная 2,15.

Далее идёт заполняющий компаунд марки RX 8053 – это материал для заполнения, термопластичный, безгалогенный, малодымный, огнестойкий компаунд. Принимаем толщину заполняющего компаунда $\Delta_{зан} = 1 \text{ мм}$, тогда диаметр кабеля с заполняющим компаундом будет равен:

$$D_{зан} = D_{скр} + 2 \cdot \Delta_{зан} + 2 \cdot \Delta_{пл} = 43,21 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,02 = 45,25 \text{ мм}. \quad (14)$$

Подушка и броня

Для подушки применим ленты из нетканого волокна, которая накладывается с 50 % перекрытием. Толщина лент $\Delta_{нод} = 0,5 \text{ мм}$. Тогда диаметр кабеля с подушкой будет равен:

$$D_{нод} = D_{зан} + 4 \cdot \Delta_{нод} = 45,25 + 4 \cdot 0,5 = 47,25 \text{ мм} . \quad (15)$$

Количество стальных проволок брони в повиве:

$$n_{\kappa} = \frac{\pi \cdot (D_{нод} + d_{np})}{(1 + K) \cdot d_{np}} = \frac{3,14 \cdot (47,25 + 2)}{(1 + 0,034) \cdot 2} = 75, \quad (16)$$

где d_{np} - диаметр одной проволоки, равное $d_{np} = 2 \text{ мм}$;

K – укрутка бронепроволоки, рассчитанная из:

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{m^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14^2}{12^2} = 0,034.$$

Диаметр кабеля с бронёй:

$$D_{\bar{o}} = D_{нод} + 2 \cdot d_{np} = 47,25 + 2 \cdot 2 = 51,25 \text{ мм}. \quad (17)$$

Оболочка марки V 4332-7 – это термопластичный пластикат, безгалогенный, малодымный, огнестойкий компаунд. Толщина оболочки $\Delta_{об} = 4 \text{ мм}$, тогда диаметр кабеля:

$$D_{\kappa} = D_{\bar{o}} + 2 \cdot \Delta_{об} = 51,25 + 2 \cdot 4 = 59,25 \text{ мм}. \quad (18)$$

2.2 Расчёт электрических характеристик кабеля

1) Электрическое сопротивление жилы

$$R_{жс} = R_0 \cdot [1 + \alpha_t \cdot (t_{\max} - 20)], \quad (19)$$

$$R_0 = \frac{\rho \cdot l}{S_{\text{н}}} = 1,72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 3,44 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (20)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление меди $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

$S_{\text{н}}$ - сечение кабеля, $S_{\text{н}} = 50 \text{ мм}^2$;

$t_{\max}$ - максимально допустимая температура жилы.

$$R_{ж} = 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot [1 + 0,00393 \cdot (90 - 20)] = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

3) Сопротивление изоляции при 20 °С:

$$R_{из} = \frac{\rho_v \cdot 10^{-9}}{2 \cdot \pi} \ln \frac{R}{r_{э.ж}}, \quad (21)$$

где R – радиус по изоляции $R = 8,85 \text{ мм}$;

$r_{э.ж}$ - радиус по экранированной жиле, $r_{э.ж} = 4,85 \text{ мм}$;

ρ_v - удельное объёмное электрическое сопротивление изоляции, для ЭПР

$$\rho_v = 7 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$R_{из} = \frac{7 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{8,85}{4,85} = 0,67 \cdot 10^3 \text{ МОм} \cdot \text{м}$$

4) Электрическая ёмкость:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \ln \frac{R}{r_{жэ}}} = \frac{2,6 \cdot 10^{-9}}{18 \ln \frac{8,85}{4,85}} = 0,24 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} / \text{м}, \quad (22)$$

где $\varepsilon = 2,6$ - диэлектрическая проницаемость ЭПР.

5) Диэлектрические потери в изоляции:

$$P_{из} = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta = U^2 \cdot 2\pi f \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (23)$$

где U - рабочее напряжение кабеля, равное $U = 6 \text{ кВ}$;

ω - угловая частота, $\omega = 2\pi f$;

f - частота сети, $f = 50 \text{ Гц}$;

C - электрическая ёмкость кабеля;

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь изоляции, для ЭПР $\operatorname{tg} \delta = 0,02$.

$$P_{из} = 36 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,24 \cdot 10^{-9} \cdot 0,02 = 54,26 \text{ Вт} / \text{м}$$

2.3 Тепловой расчёт кабеля

Основной задачей теплового расчёта является определение длительности допустимой токовой нагрузки. В кабеле при действии переменного магнитного поля могут возникать потери энергии в ТПЖ, в изоляции, связанные с диэлектрическими потерями, и в металлических элементах кабеля.

Расчёт теплового сопротивления элементов кабеля и среды.

Для определения допустимых нагрузок нужно построить тепловую схему замещения кабеля которая представлена на рис.13.

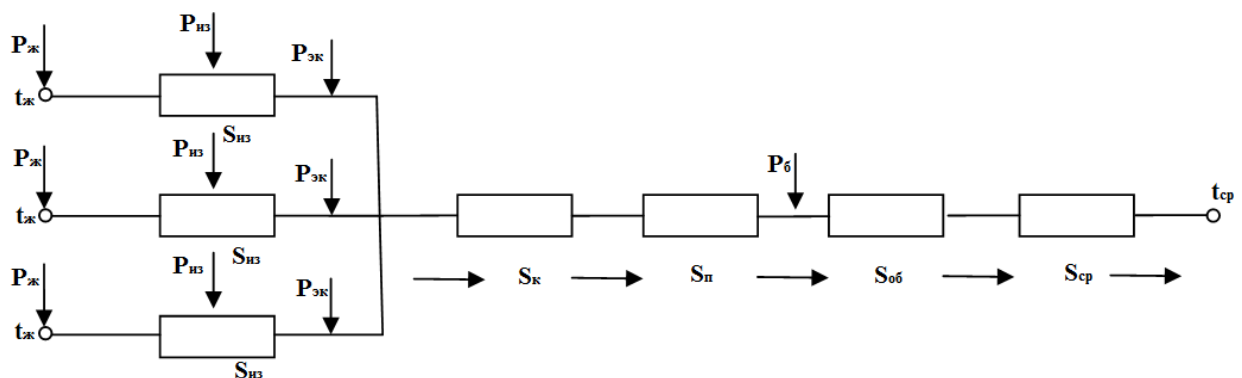


Рис. 13. Тепловая схема замещения: $P_{жс}, P_{из}, P_{эк}, P_{б}$ - потери в жиле, изоляции, экране и броне; $t_{жс}, t_{ср}$ - температура жилы и среды; $S_{из}, S_{к}, S_{п}, S_{об}, S_{ср}$ - тепловые сопротивления изоляции, заполняющего компаунда, подушки, оболочки и среды.

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

Тепловое сопротивление изоляции для трёхжильного кабеля с круглыми жилами:

$$S_{из} = \frac{\sigma_{из} G}{2\pi n_{жс}}, \quad (24)$$

где G - геометрический фактор, который находится по формуле:

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

$$\text{где } n = \frac{\Delta_n}{\Delta_\phi}, m = \frac{\Delta_n + \Delta_\phi}{d_{жс}},$$

Δ_n - толщина поясной изоляции, $\Delta_n = 1 \text{ мм}$;

Δ_ϕ - толщина фазной изоляции, $\Delta_\phi = 4 \text{ мм}$;

$\sigma_{из}$ - удельное тепловое сопротивление изоляционного материала,

$$\sigma_{из} = 3 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

$n_{жс}$ - количество ТПЖ в кабеле.

Тогда тепловое сопротивление изоляции будет равно:

$$S_{из} = \frac{3 \cdot \left[0,82 + 0,2 \cdot \frac{1}{4} \right] \ln \left[(8,3 - 2,2) \cdot \frac{1+4}{8,9} + 1 \right]}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} = 0,206 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Тепловое сопротивление компаунда:

$$S_\kappa = \frac{\sigma_\kappa}{2\pi} \cdot \ln \frac{R_\kappa}{R_{скр}} = \frac{3}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{22,63}{21,6} = 0,022 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (25)$$

где σ_κ - удельное тепловое сопротивление компаунда, $\sigma_\kappa = 3 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

$R_{скр}$ - радиус скрутки, $R_{скр} = 21,6 \text{ мм}$;

R_κ - радиус компаунда, $R_\kappa = 22,63 \text{ мм}$.

Тепловое сопротивление подушки:

$$S_n = \frac{\sigma_n}{2\pi} \cdot \ln \frac{R_n}{R_\kappa} = \frac{6}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{23,63}{22,63} = 0,041 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (26)$$

где σ_n - удельное тепловое сопротивление подушки, $\sigma_n = 6 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

R_n - радиус подушки, $R_n = 23,63 \text{ мм}$.

Тепловое сопротивление оболочки:

$$S_{об} = \frac{\sigma_{об}}{2\pi} \cdot \ln \frac{R_{об}}{R_\phi} = \frac{3}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{29,63}{25,63} = 0,069 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (34)$$

где $\sigma_{об}$ - удельное тепловое сопротивление оболочки, $\sigma_{об} = 3 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

$R_{об}$ - радиус оболочки, $R_{об} = 29,63 \text{ мм}$.

Тепловое сопротивление среды:

$$S_{cp} = \frac{1}{\pi \cdot D_{\kappa} \cdot (h + \varepsilon \cdot C_0 \cdot \theta)}, \quad (27)$$

где D_{κ} - диаметр кабеля, $D_{\kappa} = 59,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

h – коэффициент конвективной теплопередачи, $(\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$$h = 4,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t_{\kappa}}{D_{\kappa}} \cdot 10^{-2}} = 4,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{20}{59,25}} = 3 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

Δt_{κ} - разность температур поверхности кабеля и среды, $\Delta t_{\kappa} = 20 ^\circ\text{C}$;

ε - коэффициент приведенной черноты поверхности кабеля, $\varepsilon = 0,8$;

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

$$\theta = \frac{T_{\kappa}^4 - T_{cp}^4}{\Delta t_{\kappa}}, \quad (28)$$

где $T_{\kappa}, T_{cp}, \Delta t_{\kappa}$ - температуры соответственно поверхности кабеля, среды, разность температур поверхности кабеля и среды в градусах К.

$$\theta = \frac{318^4 - 298^4}{20} = 1,17 \cdot 10^8.$$

$$S_{cp} = \frac{1}{3,14 \cdot 59,25 \cdot 10^{-3} \cdot (3 + 0,8 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1,17 \cdot 10^8)} = 0,7 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Максимальный ток нагрузки находится по формуле[3]:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{(t_{\max} - t_{cp}) - P_{из} \cdot (0,5S_{из} + S_{\kappa} + S_n + S_{об} + S_{cp})}{R_{жс} [S_{из} + (1 + y_{\text{э}}) \cdot (S_{\kappa} + S_n + S_{об} + S_{cp})]}}, \quad (29)$$

где n - количество ТПЖ в кабеле;

$R_{жс}$ - сопротивление жилы;

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

$$y_9 = \frac{R_{\text{эк}}}{R_{\text{жс}} \cdot (1 + (\frac{R_{\text{эк}}}{X})^2)} = \frac{5,4 \cdot 10^{-5}}{3,44 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + (\frac{5,4 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-7}})^2)} = 5 \cdot 10^{-6};$$

где $R_{\text{эк}}$ – электрическое сопротивление экрана кабеля [Ом/м];

$$R_{\text{эк}} = \frac{\rho_{\text{эк}} \cdot l}{S_{\text{эк}}} = \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 1}{317 \cdot 10^{-6}} = 5,4 \cdot 10^{-5} [\text{Ом/м}],$$

где l – длина кабеля;

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

X – индуктивное сопротивление экрана [Ом/м]:

$$X = 4 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{a}{r_{\text{ср}}} = 4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{10,1}{10,05} = 3 \cdot 10^{-7} [\text{Ом/м}];$$

где $r_{\text{ср}}$ – средний радиус экрана кабеля [мм];

Тогда максимальный ток нагрузки будет равен:

$$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{(90 - 25) - 54,26 \cdot (0,5 \cdot 0,206 + 0,022 + 0,041 + 0,069 + 0,7)}{3,44 \cdot 10^{-4} \cdot [0,206 + (1 + 5 \cdot 10^{-6}) \cdot (0,022 + 0,041 + 0,069 + 0,7)]}} = 200 \text{ A}$$

2.4 Расчёт массы кабельного изделия

Масса токопроводящей жилы

$$m_{\text{жс}} = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot \gamma_{\text{м}} \cdot n, \text{ кг / м}, \quad (30)$$

где d_0 – диаметр одной проволоки, $d_0 = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\gamma_{\text{м}}$ – плотность меди $\gamma = 8900 \text{ кг / м}^3$;

n – количество проволок в жиле.

Тогда масса токопроводящей жилы будет равна:

$$m_{\text{жс}} = \frac{3,14 \cdot (1,78 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8900 \cdot 19}{4} = 0,42 \text{ кг / м}.$$

Масса первого экрана:

$$m_{1э} = \pi \cdot (D_{жс} + \Delta_{1э}) \cdot \Delta_{1э} \cdot \gamma_{из}, \text{ кг / м}, \quad (31)$$

где $D_{жс}$ - диаметр токопроводящей жилы, $D_{жс} = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
 $\Delta_{1э}$ - толщина первого полупроводящего экрана, $\Delta_{1э} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
 $\gamma_{из}$ - плотность изоляции, для резины $\gamma = 1300 \text{ кг / м}^3$.

Тогда масса первого полупроводящего слоя будет равна:

$$m_{1э} = 3,14 \cdot (8,9 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 = 0,015 \text{ кг / м}.$$

Масса изоляции:

$$m_{из} = \pi \cdot (D_{э.жс} + \Delta_{из}) \cdot \Delta_{из} \cdot \gamma_{из}, \text{ кг / м}, \quad (32)$$

где $D_{э.жс}$ - диаметр экранированной жилы, $D_{жс} = 9,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
 $\Delta_{из}$ - толщина изоляции, $\Delta_{из} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Тогда масса изоляции будет равна:

$$m_{из} = 3,14 \cdot (8,9 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 = 0,224 \text{ кг / м}.$$

Масса второго экрана:

$$m_{2э} = \pi \cdot (D_{из} + \Delta_{2э}) \cdot \Delta_{2э} \cdot \gamma_{из}, \text{ кг / м}, \quad (33)$$

где $D_{из}$ - диаметр по изоляции, $D_{из} = 17,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
 $\Delta_{2э}$ - толщина второго полупроводящего экрана, $\Delta_{2э} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Тогда масса второго полупроводящего слоя будет равна:

$$m_{2э} = 3,14 \cdot (17,7 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 = 0,03 \text{ кг / м},$$

Масса экрана:

$$m_э = \frac{\pi d_{np}^2}{4} \cdot \gamma_m \cdot n = \frac{3,14 \cdot (0,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8900 \cdot 76}{4} = 0,34 \text{ кг / м}, \quad (34)$$

где n - количество проволок в экране;
 d_{np} - диаметр проволоки, $d_{np} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Масса плёнки ПЭТ-Э:

$$m_{nl} = \pi \cdot (D_{\text{э}} + \Delta_{nl}) \cdot \Delta_{nl} \cdot \gamma_{nl}, \text{ кг / м}, \quad (35)$$

где $D_{\text{э}}$ - диаметр по экрану, $D_{\text{э}} = 20,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

Δ_{nl} - толщина первого полупроводящего экрана, $\Delta_{nl} = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

γ_{nl} - плотность плёнки, для ПЭТ-Э $\gamma_{nl} = 1400 \text{ кг / м}^3$.

Тогда масса плёнки будет равна:

$$m_{nl} = 3,14 \cdot (20,1 \cdot 10^{-3} + 0,02 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} \cdot 1400 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м}.$$

Масса заполняющего компаунда:

$$m_{\text{з}} = \pi \cdot (D_{\text{скр}} + \Delta_{\text{з}}) \cdot \Delta_{\text{з}} \cdot \gamma_{\text{з}}, \text{ кг / м}, \quad (36)$$

где $D_{\text{скр}}$ - диаметр скрутки, $D_{\text{скр}} = 43,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\Delta_{\text{з}}$ - толщина заполняющего компаунда, $\Delta_{\text{з}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\gamma_{\text{з}}$ - плотность компаунда, для RX 8053 $\gamma_{\text{з}} = 1780 \text{ кг / м}^3$.

Тогда масса заполняющего слоя будет равна:

$$m_{\text{з}} = 3,14 \cdot (43,21 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1780 = 0,25 \text{ кг / м}.$$

Масса подушки:

$$m_{\text{под}} = \pi \cdot (D_{\text{скр}} + \Delta_{\text{под}}) \cdot \Delta_{\text{под}} \cdot \gamma_{\text{под}}, \text{ кг / м}, \quad (37)$$

где $D_{\text{з}}$ - диаметр по компаунду, $D_{\text{з}} = 45,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\Delta_{\text{под}}$ - толщина подушки, $\Delta_{\text{под}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\gamma_{\text{под}}$ - плотность подушки, для нетканого волокна $\gamma_{\text{под}} = 1510 \text{ кг / м}^3$;

K_n - коэффициент перекрытия, с 50% перекрытием $K_n = 2$.

Тогда масса подушки будет равна:

$$m_{\text{под}} = 3,14 \cdot (45,21 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1510 \cdot 2 = 0,2 \text{ кг / м}.$$

Масса брони:

$$m_{\bar{o}} = \frac{\pi d_{np}^2}{4} \cdot \gamma_c \cdot n = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800 \cdot 75}{4} = 1,8 \text{ кг / м}, \quad (38)$$

где n - количество проволок в броне;

d_{np} - диаметр проволоки, $d_{np} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

γ_c - плотность материала для брони, для стали $\gamma_c = 7800 \text{ кг / м}^3$.

Масса оболочки:

$$m_{об} = \pi \cdot (D_{\bar{o}} + \Delta_{об}) \cdot \Delta_{об} \cdot \gamma_{об}, \text{ кг / м}, \quad (39)$$

где $D_{\bar{o}}$ - диаметр брони, $D_{\bar{o}} = 51,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\Delta_{об}$ - толщина оболочки, $\Delta_{об} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

$\gamma_{об}$ - плотность материала оболочки, для компаунда марки V 4332-7
 $\gamma_{об} = 1500 \text{ кг / м}^3$.

Тогда масса оболочки будет равна:

$$m_{об} = 3,14 \cdot (51,25 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1500 = 1 \text{ кг / м}.$$

Масса кабеля:

$$m_k = (m_{жс} + m_{1э} + m_{из} + m_{2э} + m_{э} + m_{пл}) \cdot 3 + m_{з} + m_{под} + m_{\bar{o}} + m_{об}. \quad (40)$$

Тогда масса кабеля будет равна:

$$m_k = (0,42 + 0,015 + 0,224 + 0,03 + 0,34 + 1,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 + 0,25 + 0,2 + 1,8 + 1 = \\ = 6,4 \text{ кг / м} = 6400 \text{ кг / км}.$$

На рис. 10 представлена таблица со сравнительной характеристикой шахтных кабелей немецкого производства и российского аналога.

Таблица 10. Сравнительная характеристика шахтного кабеля немецкого производства и российского аналога.

Характеристики	Зарубежный кабель	Российский аналог
Внешний диаметр, [мм]	55	59
Максимальный длительно допустимый ток, [А]	205	200
Максимальное сопротивление при 20°C, [Ом/км]	0,4	0,6
Масса, [кг/км]	5800	6400

Обсуждение результатов.

В результате проведения расчётов разработана конструкция шахтного кабеля и подобраны материалы для его изготовления. В качестве изоляционного материала была выбрана высококачественная этиленпропиленовая резина. Данный материал обладает высокими электроизоляционными свойствами и широко применяется в современном российском кабельном производстве. Проволочный экран - выполняется из медных проволок, поверх которых накладывается лента ПЭТ-Э для лучшего скрепления экрана.

В качестве внутренней и внешней оболочек выбраны полимерные материалы – компаунды марок RX 8053 и V 4332-7. Данные материалы могут эксплуатироваться в условиях повышенной пожарной опасности, т.к. не распространяют горение и имеют низкое дымовыделение.

Как видно из таблицы 10 внешний диаметр и масса зарубежного кабеля его российского аналога немного различаются. В соответствии с Российскими рекомендациями был принят более высокий коэффициент запаса, что сказалось на толщине изоляции, соответственно увеличились габариты и масса кабеля. Сопротивление изоляции и максимально допустимый ток имеют незначительную разницу.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

3.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода

SWOT-анализ представляет собой метод анализа планирования производственной или научной деятельности, разделяющий факторы или явления на следующие категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы), и состоящий из нескольких этапов. [13]

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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Собственная научная и производственная база для исследований характеристик кабеля. С2. Соответствие материалов необходимым техническим характеристикам. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с зарубежным аналогом. С4. Квалифицированный производственный персонал.	Слабые стороны: Сл1. Затраты времени на проведение испытаний. Сл2. Дороговизна используемого материала по сравнению с аналогами. Сл3. Высокие требования к характеристикам кабеля. Сл4. Большой срок поставок материалов, используемых при производстве кабеля.
Возможности: В1. Увеличение срока службы исследуемого объекта. В2. Использование кабеля в агрессивных условиях эксплуатации. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1С1С2С4; В2С2;С4 В3С1С2С3;	В1Сл3; В2 Сл3;Сл4 В3Сл1Сл2Сл4;
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на кабель У2. Введение дополнительных условий эксплуатации к кабелю У3. Угрозы выхода из строя оборудования на основе исследуемого материала	У1С2; У2С1С2С4; У3С2С3С4;	У1Сл2Сл3Сл4; У2Сл1Сл3Сл4; У3Сл1Сл2Сл3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для

подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 11 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	-	+
	В2	-	+	-	+
	В3	+	+	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	+	-
	В2	-	-	+	+
	В3	+	+	-	+

Таблица 13 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	-	+
	У3	-	+	+	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	+
	У2	+	+	-	+
	У3	+	+	+	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 12 и 13, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно равно числу слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Однако, если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Что касается угроз, то влияние на сильные и слабые стороны одинаково.

3.2 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научного исследования.

Структура работ в рамках научного исследования.

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Расчёт конструкции шахтного кабеля	3	Расчёт ТПЖ	Студент-дипломник
	4	Электрический расчёт	Студент-дипломник, научный руководитель
	5	Тепловой расчёт	Студент-дипломник, научный руководитель
	6	Расчёт массы кабеля	Студент-дипломник
Выводы по полученным результатам	7	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по научному исследованию	8	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	9	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	11	Защита ВКР	Студент-дипломник

Определение трудоемкости выполнения научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (41)$$

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

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

t_{maxi} - 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i}, \quad (42)$$

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

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

q_i - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t _{min}		t _{max}		t _{ож} i			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	10
3	Расчёт ТПЖ	-	1	-	2	-	1,4	-	1
4	Электрический расчёт	1	3	2	5	1,4	3,8	1	4
5	Тепловой расчёт	1	3	2	6	1,4	4,2	1	4
6	Расчёт массы кабеля	-	3	-	5	-	3,8	-	4
7	Оценка результатов исследования	1	3	3	5	1,8	3,8	2	4
8	Составление пояснительной записки	-	4	-	8	-	5,6	-	6
9	Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
10	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
11	Защита ВКР	-	1	-	1	-	1	-	1

Примечание: минимальное $t_{\min}$ и максимальное время $t_{\max}$ получены на основе экспертных оценок.

Разработка графика проведения технического проекта.

Наиболее удобным и наглядным в данном случае 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 [13].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [13]. На основе таблицы 14 строим план-график проведения работ (таблица 16).

Таблица 16 - Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	Тр _с раб.дн	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1																																								
2	Обзор научной и технической литературы	СД	10																																								
3	Расчёт ТПДЖ	СД	1																																								
4	Электрический расчёт	НР	1																																								
		СД	4																																								
5	Тепловой расчёт	НР	1																																								
		СД	4																																								
6	Расчёт массы кабеля	СД	4																																								
7	Оценка результатов исследования	НР	2																																								
		СД	4																																								
8	Составление пояснительной записки	СД	6																																								
9	Проверка выпускной квалификационной работы	НР	2																																								
10	Подготовка к защите ВКР	НР	3																																								
		СД	3																																								
11	Защита ВКР	СД	1																																								

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает чуть больше одного месяца. Продолжительность выполнения технического проекта составит 39 дней. Из них для каждого в отдельности:

- 37 дней - продолжительность выполнения работ студента-дипломника;
- 10 дней - продолжительность выполнения работ научного руководителя.

3.3 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи [14]:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат

К материальным расходам относятся расходы на сырье и материалы для производства товаров, инструменты, приспособления, инвентарь, приборы, лабораторное оборудование и другие.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (43)$$

где m - количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию, ед.;

$Ц_i$ - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов, руб./ед.;

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Ноутбук Samsung NP355V5C	1	15000	17261
Мышка	1	350	403
USB - накопитель	1	2000	2302
Бумага	1	250	288
Ручка	2	15	35
<i>Итого</i>			20289

Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как [13]:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (44)$$

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

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается, исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле [15]:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (45)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [13]:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{доп} + З_{р.к.}}{F_d}, \quad (46)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{доп}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{р.к.}$, руб.	$Z_{м.руб}$	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	17000	2550	5865	25415	1155	10	11550
Студент-дипломник	2600	390	897	3887	177	37	6549
<i>Итого</i>							18099

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (47)$$

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [13].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 19.

Таблица 19 - Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{полн.}$, руб.
Научный руководитель	0,15	11550	1733	13283
Студент-дипломник	0,12	6549	786	7335
<i>Итого</i>		18099	2519	20618

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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{полн}, \quad (48)$$

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [13].

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 20618 = 6227 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$З_{накл} = \sum З \cdot k_{нр}, \quad (49)$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы [13].

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [13].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 20.

Таблица 20 - Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
Материальные затраты ТП	20,3	36,0
Затраты на оплату труда	20,6	37,0
Отчисления во внебюджетные фонды	6,2	11,0
Накладные расходы	8,9	16,0
<i>Итого</i>	<i>50,4</i>	<i>100,0</i>

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 50,4 тыс.рублей. Согласно диаграмме Ганта продолжительность всей работы составила 39 рабочих дней.

3.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [14]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (50)$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к исследуемому изоляционному материалу и готовому кабельному изделию:

1. Стойкость - одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.
2. Безотказность - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.
3. Негорючесть - это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.

4. Эластичность - это свойство полимерного тела восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил.
5. Дешевизна - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.
6. Экологичность - это свойство, характеризующее безопасное влияние на окружающую среду при обработке или переработке материала.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 21.

Таблица 21 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка
1. Стойкость	0,20	5
2. Безотказность	0,22	5
3. Негорючесть	0,15	4
4. Эластичность	0,18	4
5. Дешевизна	0,10	3
6. Экологичность	0,15	5
<i>Итого</i>	<i>1,00</i>	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [15]:

$$I_p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,22 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,47$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы стойкости и безотказности позволяют судить о надежности используемого материала.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект будет эффективным, так как влияние

возможностей на сильные стороны проекта больше, чем на слабые, когда количество сильных и слабых сторон одинаково;

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта в размере 150,6 тыс.рублей;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,47 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

4. 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.

4.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

ВКР выполнялась в офисном помещении, в городе Томске.

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

По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют $6,5\text{ м}^2$ и 20 м^3 объема на одного человека [15]. 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. Основным недостатком - 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 м^3 [15]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 45 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 [15]. 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, $2,5 \text{ В/м}$ в диапазоне от 2 до 400 кГц [15].

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 [15]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа SAMSUNG NP355V5C со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В[19].

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 (100 мкР/ч). Предел дозы облучения для работников ВЦ (операторы, программисты) составляет 0,5 бэр/год [16].

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 [15] 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/м². 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 $A=4$ м, ширина $B=4,5$ м, высота $H=2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{rp}=0,6$ м.

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

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

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

(h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью)

$$h = 2,5 - 0,6 - 0,2 = 1,7 \text{ м} \quad (51)$$

$$h = H - h_p - h_c \quad (52)$$

(L – расстояние между светильниками)

$$L/3 = 0,78 \text{ м} \quad (53)$$

$$L = h * \lambda = 1,7 * 1,4 = 2,38 \text{ м} \quad (54)$$

Таким образом, размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду необходимо установить 2 светильника типа ОД мощностью 30 Вт (с длиной 0,933 м). План размещения светильников показан на рисунке 17.

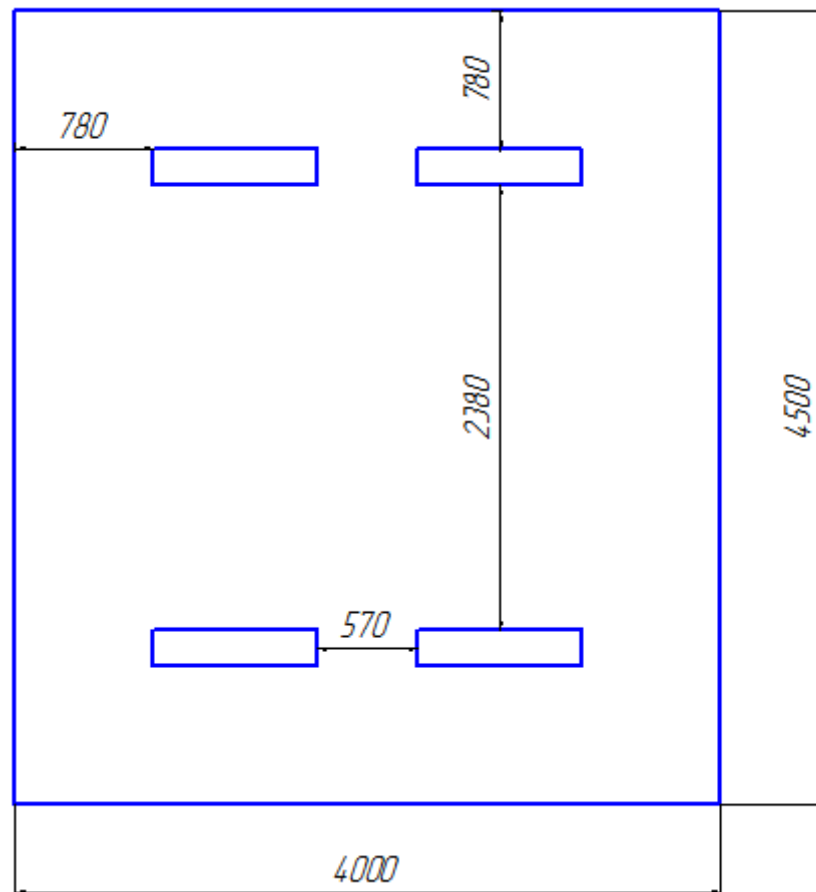


Рис. 17 - План размещения светильников

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

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(a+b)} \quad (55)$$

$$i = 18 / 1,7(4+4,5) = 1,25 \quad (56)$$

Находим коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,53$$

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

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E_t \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot n} \quad (57)$$

$$F=200 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 1,1/8 \cdot 0,53=1401 \text{ Лм} \quad (58)$$

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

Делаем проверку по формуле:

$$-10\% \leq (F_{\text{л.станд}} - F_{\text{л.расч}}) / F_{\text{л.станд}} \leq +20\% \quad (59)$$

Получаем:

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

Электрическая мощность осветительной установки равна:

$$P=8 \cdot 30=240 \text{ Вт} \quad (60)$$

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 [15] для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения 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.

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 50 Гц. 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 [16].

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 нетоковедущим 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 [17]:

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

4.2 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; [18]

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. [19]

4.3 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) [17].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия [17]:

- 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 досягаемом 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.

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 [21].

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

На рисунке 18 показана схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при работе на ПЭВМ при постоянной работе.

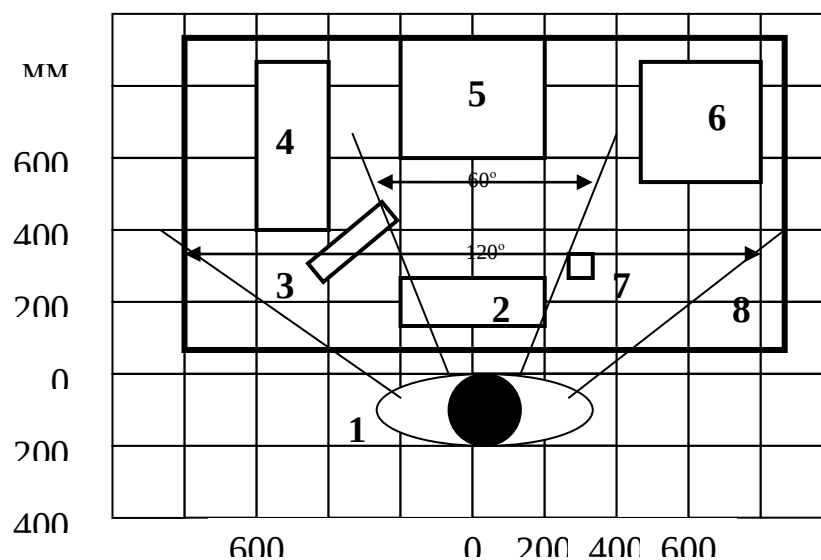


Рис. 18. Схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при постоянной работе на ПЭВМ. 1 – кресло оператора ПЭВМ. 2 – клавиатура. 3 – подставка для исходной информации. 4 – системный блок. 5 – монитор. 6 – принтер. 7 – мышь. 8- стол.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы был произведён литературный обзор шахтных кабелей, в котором рассматривалось назначение и условия эксплуатации шахтных кабелей. Так же были рассмотрены кабели для стационарной прокладки и гибкие шахтные кабели. Рассмотрены конструкции шахтных кабелей изготавливаемые в России и за рубежом. Изучены материалы для производства шахтных кабелей и перспективы их развития.

Произведён расчёт конструктивных элементов кабеля и выбор материалов для их производства. Так же были рассчитаны электрические и тепловые характеристики кабеля. Произведён расчёт массы кабеля.

Кроме того, в работе была выполнена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, исходя из которого, можно сделать вывод о том, что данная разработка перспективна.

Был выполнен анализ и планирование комплекса работ в рамках научного исследования. Определена структура работ, а также произведено распределение исполнителей. Составлен календарный план-график проведения работ.

Определен бюджет затрат на научное исследование, который составляет 150 тысяч рублей. В бюджет входят: материальные затраты, заработная плата, отчисления на социальные цели, накладные расходы. Самые большие отчисления (55 %) приходятся на заработную плату.

Помимо этого был произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды. Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список использованных источников

1. Теория, расчёт и конструирование кабелей и проводов. Учебник для техникумов / Л.И. Кранихфельд, И.Б. Рязанов – М.: «Высш. школа», 1972. - 384 с.
2. Специальные кабельные изделия: учебное пособие / В.М. Аникеев, И.В. Флеминг; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 127 с.
3. Силовые кабели и кабельные линии. Метод. указ. к выполнению курсового проекта для студентов специальности 140611 – «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.-40 с.
4. Высоковольтные гибкие кабели / В.С. Дмитриевский, Д.Д. Румянцев. – М.: Энергия, 1974. – 176 с.
5. Кабельные резины / П.М. Глупушкин, А.Е. Саакян. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 356 с.
6. Шахтные гибкие кабели / Л. Сычев, П. Реут.– М.: Недра, 1971. – 192 с.
7. Белоруссов Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник / Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.
8. Соболев В.Г. Шахтные бронированные кабели. – М.: Недра, 1973. – 136. с.
9. ГОСТ 24234-80. Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1992. – 23 с.
10. Электрические сети [Электронный ресурс] / Силовые кабели на напряжение до 35 кВ. URL: <http://leg.co.ua/info/kabeli/silovye-kabeli-s-plastmassovoy-izolyaciey-na-napryazhenie-1-35-kv.html>

11. КСК Групп [Электронный ресурс] / Безгалогенные компаунды V4332-7 и RX 8053. URL: <https://ksk-grupp.ru/production/plasticates-compounds/halogen-free-compounds>
12. КамКабель [Электронный ресурс] / Кабель марки КГЭШ URL: http://www.kamkabel.ru/production/catalog/kabeli-i-provoda-spetsialnye/shakhtnye-i-ehkskavatornye/shakhtnye-i-ehkskavatornye_1143.html
13. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
14. ЗА КАДРЫ. Газета Национального исследовательского Томского политехнического университета [Электронный ресурс] / Зарплата- выросла URL: <http://za-kadry.tpu.ru/article/3393/7618.htm>, свободный. Дата обращения 07.03.2014 г.
15. Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарные правила и нормы 2.2.2 2.4.1340 – 03. / М., Издательство стандартов ,2003.– 41с.
16. Основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.010 – 76. . / М.: Издательство стандартов, 2010.–33 с
17. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание. / М.: Энергоатомиздат, 1996. – 640с
18. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991– 128с.
19. Экологический портал РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН. [Электронный ресурс] / Как утилизировать бытовую технику и электронику URL: <http://www.ecorb.ru/70>, свободный. Дата обращения 07.03.2014 г.
20. Эргономика рабочего места пользователя ПЭВМ. [Электронный ресурс] / Гигиена труда пользователей ПЭВМ URL: http://bgd.alpud.ru/private/glava4/V_4_A_gigienan.htm, свободный. Дата обращения 07.03.2014 г.