

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра «Электротехнические комплексы и материалы»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы электропитания промышленного электрооборудования

УДК 621.31.031:62.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Ожанов Максат Алимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра «Электротехнические комплексы и материалы»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

Гарганеев А.Г.

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Ожанову Максату Алимовичу

Тема работы:

Разработка системы электропитания промышленного электрооборудования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 22.01.2016 №273/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	3 июня 2016 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p><i>Объект исследования:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Кабельная продукция марки <i>ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF</i> <p><i>Исходные данные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Технические характеристики цеха по производству кабельной продукции на напряжение до 10 кВ (ООО«Томсккабель») • Паспортные данные оборудования цеха
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p><i>Системный анализ</i></p> <p><i>Расчетный раздел</i></p> <p><i>Методы математического моделирования</i></p> <p><i>Виртуальное моделирование</i></p>
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Основная часть	Богданов Е.П.
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А.
Иностранный язык	Федоринова З.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: введение; системный анализ; расчетный раздел; математическое моделирование; виртуальное моделирование; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность, заключение.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1 сентября 2014 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Ожанов М.А.		

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Уровень образования Магистратура
Кафедра «Электротехнические комплексы и материалы»
Период выполнения _____ 1 сентября 2014 г. – 3 июня 2016 г.

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3 июня 2016 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	<i>Системный анализ</i>	20
	<i>Расчетный раздел</i>	20
	<i>Математическое моделирование</i>	10
	<i>Виртуальное моделирование</i>	20
	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
	<i>Социальная ответственность</i>	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н., профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 144 с., 33 рис., 17 табл., 45 источников, 1 прил.

Ключевые слова: режим работы, автоматический ввод резерва, продолжительность включения, пусковой ток, ТОФЛЕКС, силовой кабель, этиленпропиленовая резина, частотный преобразователь, математическое моделирование, электрическое поле, тепловое поле.

Объектом исследования является кабель с медными жилами, термическим барьером по токопроводящим жилам, изоляцией из этиленпропиленовой резины, в оболочке из полимерных композиций, не содержащих галогенов.

Цель работы – оптимизация системы электропитания путем создания математической модели кабельно-проводниковой продукции на основе программного продукта *ELCUT*.

В процессе исследования проводились: системный анализ, натурные испытания кабельно-проводниковой продукции, расчет нагрузки цеха, анализ режимов работы оборудования, математическое моделирование.

В результате исследования были проведены комплексные сравнения теоретического исследования, инженерного расчета и виртуального моделирования. Получена хорошая сходимость результатов исследований, проведенных различными методами.

Даны рекомендации по оптимизации системы электропитания.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: номинальное напряжение до 1 кВ, номинальная частота сети 50 Гц, коэффициент загрузки 0,63, диапазон изменения температур от 20÷90⁰С.

Степень внедрения: компьютерная модель.

Область применения: кабельно-проводниковая промышленность.

Значимость работы: возможность практического применения.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ	12
1.1 Обзор литературы.....	12
1.2 Режимы работы электродвигателей.....	15
1.3 Силовые кабели «ТОФЛЕКС»	22
2 РАСЧЕТНЫЙ РАЗДЕЛ.....	25
2.1 Исходные данные	25
2.1.1 Расчет электрических нагрузок цеха промышленного предприятия	26
2.1.2 Расчет осветительной нагрузки	26
2.1.3 Суммарная нагрузка цеха	27
2.1.4 Выбор оборудования.....	30
2.2 Анализ оборудования цеха	34
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	37
3.1 Понятие моделирования и модели.....	37
3.1.1 Классификация математических моделей	38
3.1.2 Требования к моделям и основные этапы моделирования	39
3.2 Архитектура программных комплексов.....	42
3.3 Общий алгоритм расчета	50
3.4 Решение задач электростатики и растекания токов.....	56
3.5 Решение задач теплопередачи.....	63
4 ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	66
4.1 Пакет <i>ELCUT</i>	66
4.2 Объект исследования	70
4.3 Математическая модель в среде <i>ELCUT</i>	72
4.3.1 Расчет допустимой токовой нагрузки.....	76
4.3.2 Расчет сопротивления ТПЖ	77
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	80
5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	81
5.2 Технология QuaD.....	83

5.3	Организация и планирование проекта.....	86
5.3.1	Этапы проведения работы	87
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	100
6.1	Производственная безопасность.....	100
6.1.1	Анализ вредных факторов производственной среды.....	100
6.1.2	Анализ опасных факторов производственной среды.....	106
6.2	Экологическая безопасность	109
6.2.1	Анализ влияния кабельного производства на окружающую среду ...	109
6.2.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	111
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	113
6.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	113
6.3.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	114
6.4	Особенности законодательного регулирования проектных решений ..	116
6.5	Разработка зануления низковольтного оборудования	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
	Список публикаций Ожанова М.А.	122
	Список литературы	123
	Приложение А	126

ВВЕДЕНИЕ

Существующие системы электроснабжения охватывают такие вопросы как распределение, преобразование, регулирование электроэнергии и обеспечения бесперебойной подачи различных классов напряжений постоянного и переменного тока, которые необходимы для нормальной работы оборудования, сложных технологических процессов, радиотехнических устройств, вычислительных комплексов.

Электрические сети классом напряжения до 1 кВ предназначены для распределения электроэнергии на промышленных и цеховых предприятиях, а также для питания определенных электроприемников, расположенных на территории предприятия за пределами цеха. Схема внутри цеховой сети определяется технологическим процессом производства, планировкой помещений цеха, взаимным расположением трансформаторных подстанций, электроприемников и вводов питания, расчётной мощностью, требованиями бесперебойности электроснабжения, технико-экономическими соображениями, условиями окружающей среды.

В последние годы начался активный процесс модернизации и усовершенствования оборудования на предприятиях. Обновляется и станочный парк предприятий: появляются современные станки и новые обрабатывающие комплексы. Это приводит к следующим положительным изменениям: время проектирования изделий значительно сократилось, трудозатраты и количество брака также намного уменьшились, выросла производительность труда, технологические процессы подверглись значительной модернизации.

Для современного оборудования следует использовать электропитание европейского качества, и именно с этим в России большие проблемы. Достаточно естественным результатом становится перебои и отказ в работе, отключения, аварии, брак и поломка инструмента и заготовок. Иногда даже дело доходит до сгорания трансформаторов и станков. Перебои в работе вызывают такие причины, как длительное снижение напряжения на величину ниже среднего, что приводит к перегрузкам и трансформаторов, и

электродвигателей. А они, в свою очередь, вызывают остановки или выход из строя оборудования. То же самое можно сказать и про перепады напряжения и высокочастотные помехи, которые влекут за собой выход из строя электронных компонентов. Напряжение может исчезнуть вовсе, что недопустимо не только в отношении работы импортного оборудования, но и отечественного. При грамотном проектировании системы электропитания можно избежать ряда проблем.

В представленной магистерской диссертации детально рассмотрена система электропитания промышленного оборудования, состоящая из питающих трансформаторов, нагрузки в виде электродвигателей станков с учетом режимов их работы, и силовых соединительных кабелей.

Богатый опыт развития нынешней экономики свидетельствует о том, что современные средства взаимосвязи, транспорта и энергопитания представляют собой одну из важнейших стратегических ячеек. Кабельная продукция в большей или меньшей степени применяются во всех сферах человеческой деятельности. Кабельно-проводниковая продукция важна не только энергетической отрасли, но и строительной, транспортной, нефтегазохимической, предприятиям ЖКХ. Кабельная промышленность – одна из наиболее динамично развивающихся подотраслей машиностроения и электротехнической промышленности Российской Федерации.

Таким образом, актуальность работы обусловлена значительным прогрессом в области электроэнергетики и важнейшим значением систем электропитания, так как они влияют на все сферы человеческой деятельности.

Целью исследования является оптимизация системы электропитания путем создания математической модели кабельно-проводниковой продукции на основе программного продукта *ELCUT*. Работа выполняется по заданию ООО «Томский кабельный завод».

Исходя из поставленной цели исследования, выделен ряд актуальных задач:

- анализ исходных данных;
- литературная и патентная проработка;
- выбор методики проведения исследований;
- расчёт электрических нагрузок цеха;
- сравнительный анализ кабелей;
- натурные испытания кабельно-проводниковой продукции;
- моделирование в среде *ELCUT*;
- разработка рекомендаций по оптимизации системы питания.

Научная новизна работы состоит в создании математической модели системы электропитания цеха, учитывающей режимы работы различных типов электродвигателей, представляющих комплексную нагрузку.

1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

1.1 Обзор литературы

Современный мир невозможно представить без электроэнергии. От надежности электропитания зависит работа заводов, больниц, фабрик, образовательных учреждений, объектов сельского и жилищно-коммунального хозяйств. Электроснабжение на сегодняшний день стало одной из неотъемлемых частей человеческой цивилизации.

Общеизвестны случаи обесточивания бытового электричества. Но такие перерывы в электропитании медицинских учреждений или промышленных предприятий со сложным технологическим процессом могут привести к человеческим жертвам и поломкам дорогостоящего оборудования. В связи с этим, для улучшения надежности электропитания, используют устройства автоматического ввода резерва (АВР), которые предназначены для автоматического и незамедлительного переключения потребителя к резервному источнику электроэнергии при пропадании основного питания. Обычно устройства АВР осуществляют коммутацию между двумя независимыми линиями электроснабжения, или переключение с основной линии на местный резервный источник. При этом чаще всего используют дизель-генераторные установки. Для электроснабжения особо ответственных объектов могут применяться АВР для трех и четырех независимых источников.

В «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ) имеется классификация электроприемников по обеспечению надежности электроснабжения. Они подразделяются на I, II и III категории. К I категории относятся такие электроприемники, при которой их перерыв в электроснабжения может повлечь за собой опасность для жизни людей, поломку дорогостоящего основного оборудования, ущерб народному хозяйству, массовый брак или недоотпуск продукции, нарушение сложного технологического процесса, расстройство функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. В первой категории также выделена особая группа электроприемников, которая гарантированно работает

бесперебойно для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, пожаров, взрывов и выхода из строя основного оборудования. II группа – это электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, простоям механизмов, рабочих и промышленности, нарушению нормальной деятельности большого количества городских и сельских жителей. К III группе относятся все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий [1].

Наиболее жесткие требования предъявляются к электроприемникам I категории. Они должны снабжаться электроэнергией от 2-х взаимно независимых резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. Для особой группы электроприемников I категории предусматривается дополнительное питание от третьего взаимно независимого резервирующего источника [4].

После подводки электричества до нужного места, основной задачей является преобразование электрической энергии в механическую, которая осуществляется электрическими машинами.

Электрические машины широко применяются в промышленности, на электрических станциях, в авиации, на транспорте, в быту, в системах автоматического регулирования и управления. Их основная задача – преобразование механической энергии в электрическую, и наоборот. Машина, преобразующая механическую энергию в электрическую, называется генератором. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется двигателями.

Каждая электрическая машина может использоваться как в качестве генератора, так и в качестве электродвигателя. Это свойство электрической машины называется обратимостью. Электрическая машина может быть также использована для преобразования электрической энергии одного рода тока

(частоты, числа фаз переменного тока, напряжения постоянного тока) в энергию другого рода тока. Такие электрические машины называются преобразователями.

В зависимости от рода тока электроустановки, электрические машины делятся на машины постоянного и переменного тока.

Машины переменного тока могут быть однофазными и многофазными. Самыми востребованными являются трехфазные синхронные и асинхронные машины, а также коллекторные машины переменного тока, которые допускают экономичное регулирование частоты вращения в широких пределах

На сегодняшний день асинхронные двигатели являются самыми популярными и наиболее распространенными электрическими машинами. Столь широкое распространение асинхронные двигатели обрели из-за простоты конструкции, невысокой стоимости, достаточной эксплуатационной надежности. КПД асинхронных электродвигателей: при мощностях более 1кВт $\text{КПД} = 0,66 \div 0,97$, и только в микродвигателях он снижается до $0,3 \div 0,6$. Потребление электроэнергии ими составляет около 50%, вырабатываемой электростанциями страны.

В наше время, промышленность полностью снабжена различными типами электрических машин, которые имеют различные особенности как при работе, так и при эксплуатации. В связи с этим основной задачей современного инженера является грамотное проектирование объекта таким образом, чтобы минимизировать различные риски, вызванные эксплуатацией. Для упрощения расчетов, проведение многочисленных опытов, для исследования и анализа электромагнитных процессов, протекающих в системах электропитания, в настоящее время широко применяются методы математического моделирования. Математическое моделирование является способом исследования рассматриваемого объекта или характеристик изучаемого явления, основанным на использовании математического описания реальных физических процессов.

Аналитические методы исследования систем требуют проведения весьма трудоемких расчетов. При наличии в системах нелинейных элементов, элементов с переменными параметрами и других усложняющих расчеты факторов, возможности аналитических методов ограничены.

1.2 Режимы работы электродвигателей

Режим работы электрической машины – это чередования периодов по определенному порядку, характеризуемых продолжительностью нагрузки и величиной, пуска и реверса во время ее работы, отключений, торможения.

Режимы работы электрических машин в электроприводах различных рабочих машин разнообразны, и зависят от технологического процесса, реализуемыми этими рабочими машинами. Для наглядности режимов работы электродвигателей используют нагрузочные диаграммы. Диаграммы представляют собой зависимость параметра, характеризующего нагрузку приводного двигателя (момента M , мощности P или силы потребляемого тока I) от продолжительности t отдельных этапов, составляющих время работы электропривода. На самом деле нагрузочная диаграмма электродвигателя может иметь любую форму: прямую горизонтальную линию, если нагрузка двигателя в данный отрезок времени не изменялась, либо кривую линию с плавным переходом от одного уровня нагрузки к другому, если нагрузка изменялась. Плавность перехода уровней нагрузки определяется инерционностью процессов в электроприводе. С целью упрощения расчета требуемой мощности двигателя криволинейный график нагрузочной диаграммы разбивают на прямолинейные участки, в пределах которых нагрузка условно остается неизменной (рис. 1.1). Увеличение участков с различной нагрузкой, уменьшают ошибку такой замены, но процесс расчета становится более сложным.

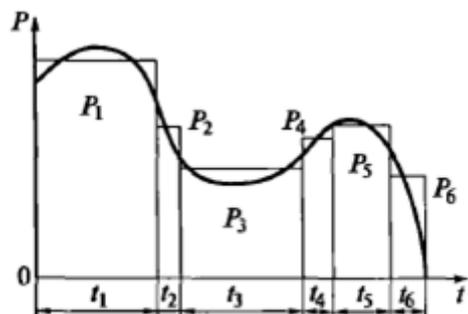


Рисунок 1.1 – Нагрузочная диаграмма электропривода

В соответствии с настоящим стандартом ГОСТ 183-74 предусмотрены 8 номинальных режимов для электродвигателей, которые обозначаются как S1-S8, но выделяют три основных режима работы электродвигателей, отличающиеся характером изменения нагрузки.

S1 – продолжительный режим работы, характеризуется работой электродвигателя при постоянной нагрузке (P) и потерях (P_V) на протяжении длительного времени, пока все части машины не достигнут неизменной температуры ($\theta_{max} = \theta_{нагр}$). График продолжительного режима приведен на рис.1.2.

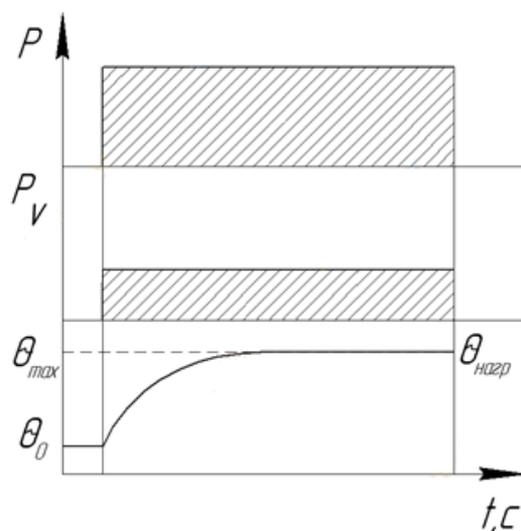


Рисунок 1.2 – График продолжительного режима работы электродвигателя; θ_0 – температура внешней среды.

S2 – кратковременный режим работы – это работа электродвигателя на протяжении небольшого отрезка времени (Δt_p) под постоянной нагрузкой (P).

При работе за определенное время (Δt_p) составляющие двигателя не успевают нагреваться до установившейся температуры (θ_{max}), после этого машину останавливают и она охлаждается до температуры внешней среды (превышая ее не более чем на 2°C). График кратковременного режима приведен на рис.1.3.

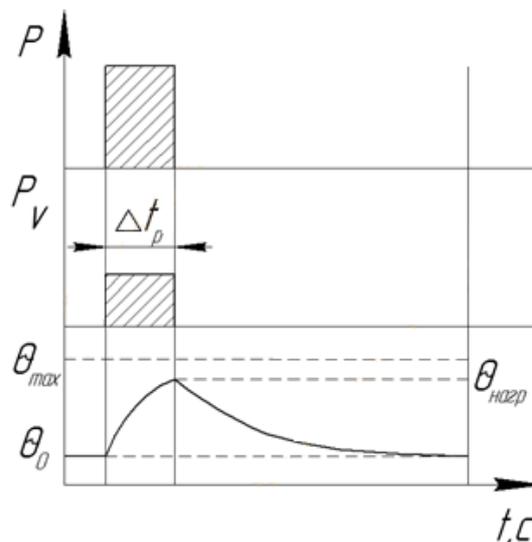


Рисунок 1.3 – График кратковременного режима работы электродвигателя

S3 – периодический повторно-кратковременный режим работы, представляет собой последовательность одинаковых циклов, работа в которых происходит при постоянной, неизменной нагрузке. За это время электродвигатель не успевает нагреться до максимальной температуры и при останове не охлаждается до температуры окружающей среды. Не учитываются потери, возникшие при запуске двигателя (пусковой ток не оказывает большого влияния), то есть они не нагревают детали машины. Длительность цикла не превышает десяти минут. График повторно-кратковременного режима приведен на рис.1.4.

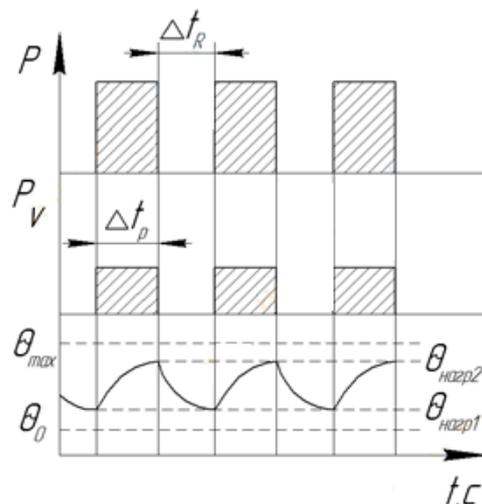


Рисунок 1.4 – График повторно-кратковременного режима работы электродвигателя; Δt_p – время работы двигателя; Δt_R – время простоя, охлаждения; $\theta_{нагр1}$ – температура двигателя при максимальном охлаждении во время цикла; $\theta_{нагр2}$ – максимальная температура нагрева.

Продолжительность включения (ПВ) характеризует данный режим работы и находится по формуле:

$$ПВ = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_p + \Delta t_R} \cdot 100\%.$$

Существуют нормированные значения ПВ: 60%, 40%, 25%, 15%.

Указанные в каталогах мощности электродвигателей приводятся для «Продолжительного режима работы ($S1$)». Если же двигатель будет работать в других режимах, к примеру, $S2$ или $S3$, то нагревание его будет происходить медленнее, что позволит увеличить нагрузку на некоторое время. Для режима $S2$ допускается увеличение нагрузки на 50% на период времени 10 минут, 25% - 30 минут, 10% - 90 минут. Для работы механизма в режиме $S3$ лучше всего применять приводной асинхронный двигатель с повышенным скольжением.

$S1 - S3$ являются основными режимами работы, а $S4 - S8$ были введены для расширения возможностей первых, и предоставления более широкого ряда электродвигателей под конкретные задачи.

$S4$ – повторно-кратковременный режим работы с влиянием пусковых процессов, представляется в виде циклической последовательности, в каждом

цикле выполняется пуск двигателя за время (Δt_d), работа двигателя при постоянной нагрузке в течении (Δt_p), за эти промежутки времени машина не успевает достичь максимальной температуры (установившейся), а за время паузы (Δt_R) не остывает до внешней среды. График повторно-кратковременного режима работы с влиянием пусковых процессов представлен на рис.1.5.

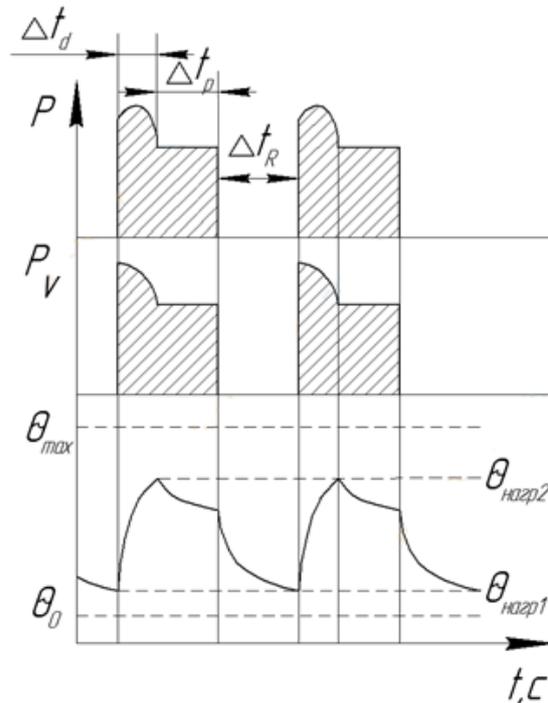


Рисунок 1.5 – График повторно-кратковременного режима работы электродвигателя с влиянием пусковых процессов

S5 – повторно-кратковременный режим с электрическим торможением и влиянием пусковых процессов включает в себя те же характеристики режима, что и S4, с осуществлением торможения электродвигателя за время (Δt_F). Этот режим работы характерен для электропривода лифтов. График повторно-кратковременного режима с электрическим торможением представлен на рис.1.6.

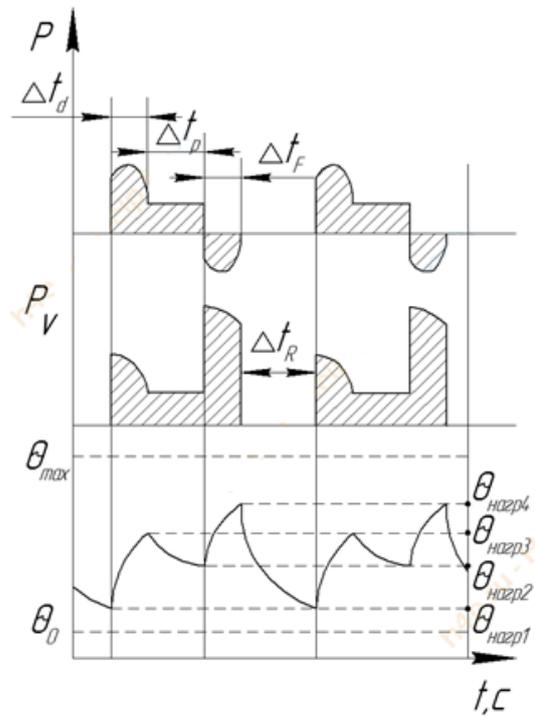


Рисунок 1.6 – График повторно-кратковременного режима с электрическим торможением

S_6 – перемежающийся режим работы – последовательность циклов, при которой работа происходит в течении времени (Δt_p) с нагрузкой, и время (Δt_v) работает на холостом ходу. Двигатель не нагревается до предельной температуры. График перемежающегося режима работы представлен на рис.1.7.

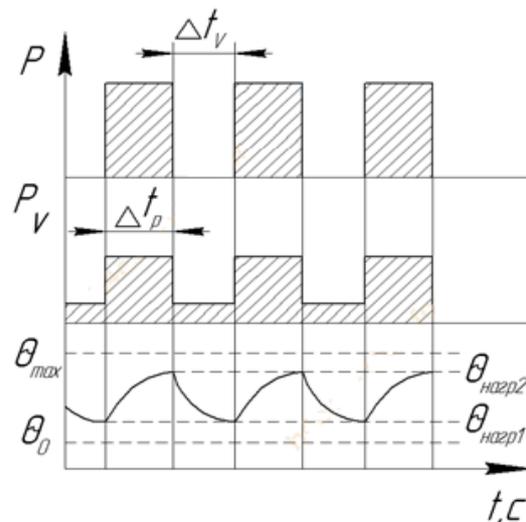


Рисунок 1.7 – График перемежающегося режима работы электродвигателя

S7 – перемежающийся режим с влиянием пусковых токов и электрическим торможением, особенностью является отсутствие пауз в работе, что обеспечивает 100% периодичность включения. Описывается работа в данном режиме последовательными циклами с достаточно долгим пуском (Δt_d), нормальной работой при неизменной нагрузке и торможением двигателя. График перемежающегося режима работы с влиянием пусковых токов представлен на рис.1.8.

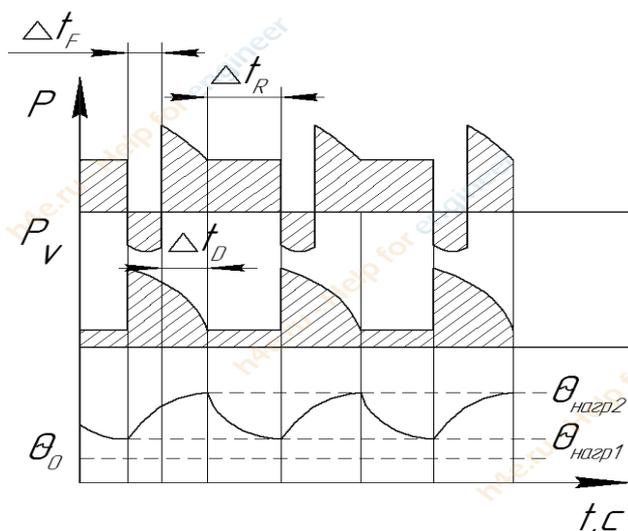


Рисунок 1.8 – График перемежающегося режима работы с влиянием пусковых токов

S8 - периодический перемежающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения. Так же как и предыдущий режим, этот не содержит пауз, соответственно ПВ=100%. Реализация данного S8 режима происходит в асинхронных двигателях при переключении пар полюсов. Каждый последовательный цикл состоит из времени разгона (Δt_d), работы (Δt_p) и торможения (Δt_F), но при разных нагрузках, а соответственно при разных скоростях вращения ротора (n). График периодический перемежающегося режима с периодически изменяющейся частотой вращения показан на рис.1.9.

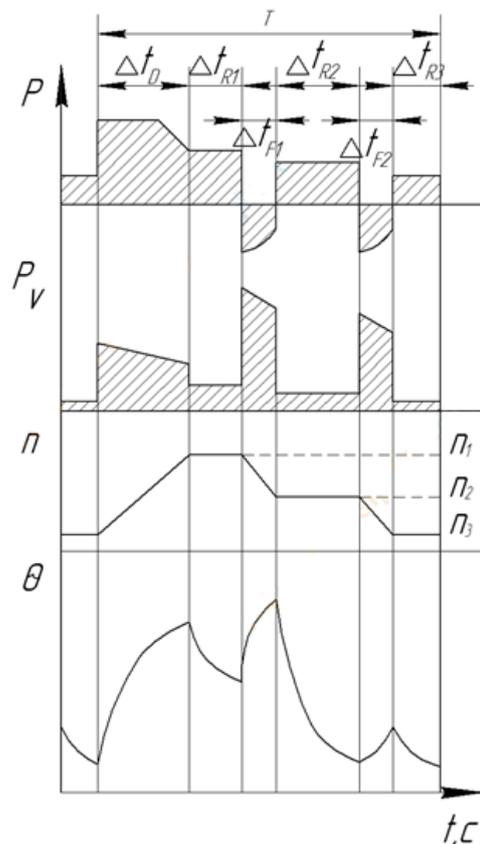


Рисунок 1.9 – График периодический перемежающегося режима с периодически изменяющейся частотой вращения

1.3 Силовые кабели «ТОФЛЕКС»

«Томский кабельный завод» представляет группу кабельной продукции собственной торговой марки «Тофлекс». Продукция «ТОФЛЕКС» отвечает всем требованиям входного контроля самого требовательного заказчика. По характеристикам и показателям пожарной опасности, эксплуатационной надежности кабели данной группы превосходят существующие импортные и отечественные аналоги на рынке России.

Главные преимущества кабелей «ТОФЛЕКС»:

- широкий выбор конструктивных особенностей, что позволяет закрыть потребности заказчика под любые задачи;
- 5 класс гибкости токопроводящей жилы, что обеспечивает удобство монтажа с большим количеством возможных перегибов;

- применение в производстве более эластичных материалов, что в совокупности с жилой 5 класса дает значительное преимущество по гибкости кабеля;

- все конструктивные элементы отображены в маркировке, что позволяет обеспечить открытость в работе с клиентом при заказе продукции и покупатель сам выбирает элементы конструкции, не переплачивая за неиспользуемые элементы, навязываемые производителем;

- высокая стабильность электрических свойств изоляции за счет использования приборов контроля эксцентриситета;

- доступная цена.

Силовые кабели ТОФЛЕКС РВ предназначены для передачи и распределения электрической энергии в сетях на номинальное переменное напряжение 1 кВ номинальной частотой 50 Гц при стационарной прокладке. Силовые кабели ТОФЛЕКС РВ по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам соответствуют международному стандарту МЭК60502-1.

Кабели «ТОФЛЕКС РВ» с изоляцией из этиленпропиленовой резины применяются для передачи и распределения электрической энергии на нефтедобывающих объектах, перерабатывающих предприятиях, во взрывоопасных зонах всех классов. Данная марка кабеля выдерживает повышенные токовые нагрузки и является аналогом импортного кабеля из сшитого полиэтилена с дополнительными преимуществами, такими, как гибкость, повышенная пожаробезопасность, стойкостью к низким температурам и влагопоглощению. В таблице 1.1 показаны сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), этиленпропиленовой резины (ЭПР). Для контраста были включены характеристики кабеля с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ).

Качество выпускаемой продукции подтверждено сертификатами соответствия Таможенного союза и сертификатами в системе ГАЗПРОМСЕРТ.

Продукция уже поставляется на крупнейшие предприятия России, первыми из которых стали предприятия «СИБУРа» [4,5].

Таблица 1.1 – Сравнение характеристик кабелей с ЭПР, СПЭ и БПИ изоляцией

Характеристики	Кабель с ЭПР изоляцией	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с БПИ изоляцией	Комментарии
Температура жилы при работе в номинальном режиме, °С	90 (до 105)	90	70	При использовании одинаковых сечений токовая нагрузка кабелей с ЭПР изоляцией выше
Температура жилы при перегрузке, °С	105÷110 (до 140)	105÷110	90	–
Температура жилы при коротком замыкании (до 5 с), °С	250 (до 300)	250	200	–
Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева, °С	–15 (до – 40)	–15	0	–
Температурный диапазон эксплуатации, °С	От –60 до +50	От –50 до +50	От –50 до +50	–
Радиусы изгибов	От 4 Dн	15 Dн	25 Dн	Высокая гибкость упрощает монтаж кабельных линий
Применение во взрывоопасных зонах	Да	Нет (п.7.3.102 ПУЭ)	Да	–

2 РАСЧЕТНЫЙ РАЗДЕЛ

В соответствии с заданием на выпускную квалификационную работу (ВКР), для детального исследования процессов, происходящих в системе электропитания кабельного цеха ООО «Томсккабель», необходимо выполнить следующие мероприятия и расчеты с выбором схем и электрооборудования электрической сети:

- 1) определить узлы питания электроприёмников;
- 2) вычислить силовые нагрузки по узлам питания, осветительную нагрузку и расчетную нагрузку по цеху в целом методом коэффициентов использования и максимума;
- 3) выбрать схему питающей и распределительной сетей цеха;
- 4) выбрать число и мощность трансформаторов, место расположения цеховой подстанции.

2.1 Исходные данные

Таблица 2.1 – Электрические нагрузки кабельного цеха

Кол-во	Наименование оборудования	Установленная мощность, кВт	Коэффициенты	
			$K_{И}$	$Cos\varphi$
2	Кран с ПВ-40% (МТКФ 111-6 У1)	28	0,15	0,5
3	Лебедка технологическая (5АНК)	6	0,8	0,8
1	DRUM TWISTER 3500 (крутильная машина)	52	0,6	0,7
3	Лебедка стационарная (6АК)	6,25	0,8	0,8
2	Вентилятор вытяжной (5А132М6)	20	0,62	0,8
2	Экструдер (EPL 22)	100	0,6	0,85
1	Сушильный шкаф	15	0,6	0,7
2	Экструдер (EPL 50)	84	0,5	0,8
2	Линия сшивки (EEL 60)	65	0,14	0,9
3	Дегазационная печь (DEGASING OVEN)	12	0,14	0,75
1	Испытательная станция	22,5	0,55	0,75

Процентное соотношение используемых двигателей в качестве привода оборудования и станков представлены на рис.2.1.

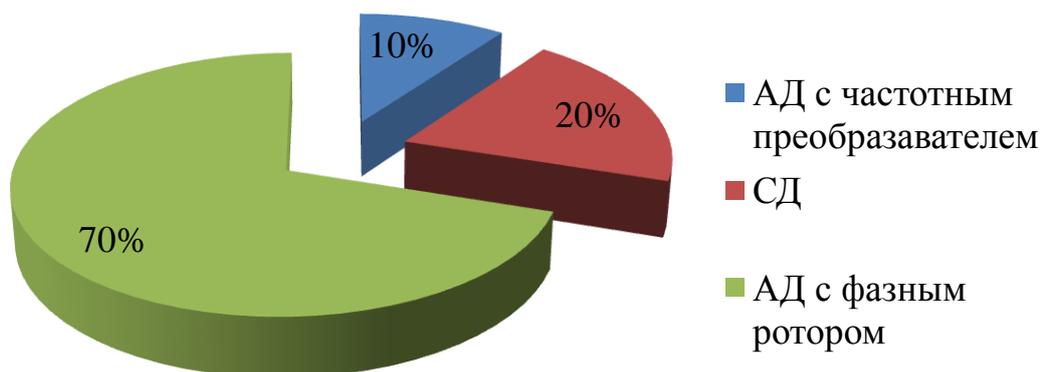


Рисунок 2.1 – Виды используемых двигателей

2.1.1 Расчет электрических нагрузок цеха промышленного предприятия

Расчет электрических нагрузок показан в таблице 2.2 «Расчет нагрузок кабельного цеха». Эта таблица является сводной как для подсчета силовых нагрузок по отдельным узлам питания, так и для шин трансформаторных подстанций.

В качестве примера приведен расчет нагрузки, потребляемой мостовым краном с ПВ=40%. Для этого необходимо привести установленную мощность к ПВ=100% и кВ·А в кВт:

$$P_H = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ}; \quad P_H = S_{пасп.} \cdot \cos \varphi_H \cdot \sqrt{ПВ}.$$

для крана с ПВ=40%;

$$P_H = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ} = 44,3 \cdot \sqrt{0,4} = 28 \text{ кВт}.$$

Аналогичные расчеты проведены для всех видов оборудования цеха. Итоговые данные представлены в сводной таблице 2.2.

2.1.2 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки цеха был произведен упрощенным методом по удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициенту спроса.

По данному методу расчетная осветительная нагрузка принимается равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяется по формулам:

$$P_{po} = K_{co} \times P_{yo} = 0,95 \times 138,24 = 131,33, \text{ кВт}$$

$$Q_{po} = tg \varphi_o \times P_{po} = 0,5 \times 138,24 = 69,12, \text{ квар},$$

где $K_{co} = 0,95$ – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки.

$tg \varphi_o = 0,5$ – коэффициент реактивной мощности, определяется по $\cos \varphi$, $\cos \varphi = 0,9$.

P_{yo} – установленная мощность приемников освещения по цеху, определяется по удельной осветительной нагрузке на 1 м^2 поверхности пола известной производственной площади:

$$P_{yo} = \rho_o \times F = 0,015 \times 9216 = 138,24 \text{ кВт}$$

где F – площадь производственного помещения по генеральному плану цеха: $F = a \times b = 192 \times 48 = 9216 \text{ м}^2$, ρ_o – удельная расчетная мощность в кВт/м^2 .

Общая расчетная нагрузка освещения составит:

$$S_{po} = \sqrt{P_{po}^2 + Q_{po}^2} = \sqrt{138,24^2 + 69,12^2} = 154,55 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

2.1.3 Суммарная нагрузка цеха

Суммарная активная нагрузка цеха:

$$P_{p\Sigma} = P_{po} + P_p = 709,19 \text{ кВт};$$

Суммарная реактивная нагрузка цеха:

$$Q_{p\Sigma} = Q_{po} + Q_p = 326,77 \text{ квар};$$

Общая суммарная нагрузка цеха:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{709,19^2 + 326,77^2} = 788,98 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$K_3 = \frac{S_{p\Sigma}}{S_n} = \frac{788,98}{2 \cdot 630} = 0,63$$

Результаты электрических расчетов представлены в таблице 2.2. Суммарная нагрузка цеха составила 788,98 кВ·А. Поэтому выбран трансформатор марки ТСЗ-630/10/0,4 с загрузкой на 63%.

Таблица 2.2 – Расчет нагрузок по цеху

№ по плану	Наименование узлов питания и групп ЭП	n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	Cosφ/ tgφ	Средние мощности		п ₃	К _м	Максимальная расчетная нагрузка			I _p , А
			Одного ЭП	Суммарная				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВт			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВт·А	
<u>ШРА 1</u>															
1, 10	Лебедка технологическая	2,0 0	6,00	12,00	> 3	0,8 0	0,8/0,75	9,60	7,20						
2,3,4	Дегазационная печь (DEGASING OVEN)	3,0 0	12,00	36,00		0,1 4	0,75/0,8 8	5,04	4,44						
9,00	DRUM TWISTER 3500 (крутильная машина)	1,0 0	52,00	52,00		0,6 0	0,7/1,02	31,20	31,82						
22,00	Вентилятор вытяжной	1,0 0	20,00	20,00		0,6 2	0,8/0,75	12,40	9,30						
7,00	Испытательная станция	1,0 0	22,50	22,50		0,5 5	0,75/0,8 8	12,38	10,89						
8,00	Кран с ПВ-40%	1,0 0	28,00	28,00		0,1 5	0,5/1,73	4,20	7,27						
21,00	Лебедка стационарная	1,0 0	6,25	6,25		0,8 0	0,8/0,75	5,00	3,75						
	ИТОГО ПО ШРА 1	10,00	6÷52	176,75					79,82	74,67	7	1,5	119,72	74,67	141,10

ШРА 2																	
13,15	Лебедка стационарная	2,00	6,25	12,50	>3	0,80	0,8/0,75	10,00	7,50								
14,00	Кран с ПВ-40%	1,00	28,00	28,00		0,15	0,5/1,73	4,20	7,27								
16,17	Линия сшивки (EEL 60)	2,00	65,00	130,00		0,14	0,9/0,48	18,20	8,74								
18,00	Лебедка технологическая	1,00	6,00	6,00		0,80	0,8/0,75	4,80	3,60								
19,00	Вентилятор вытяжной	1,00	20,00	20,00		0,62	0,8/0,75	12,40	9,30								
20,00	Сушильный шкаф	1,00	15,00	15,00		0,60	0,7/1,02	9,00	9,18								
	ИТОГО ПО ШРА -2	8,00	6÷65	211,50				58,60	45,58	7,0	1,9	111,34	45,58	120,31	173,86		
Оборудования подключённые к ТП																	
5,60	Экструдер (EPL 22)	2,00	100,00	200,00	<3	0,60	0.85/0.62	120,0	74,4								
11,12	Экструдер (EPL 50)	2,00	84,00	168,00		0,50	0.8/0.75	84,0	63,0								
	ИТОГО ПО ТП	4,00	84÷100	368,00				204,0	137,4	4,0	1,7	346,80	137,40	373,03	539,06		
	грузка на освещение										131,33	69,12	154,55	223,34			
	ВСЕГО ПО ЦЕХУ										709,19	326,77	788,98	1140,15			

2.1.4 Выбор оборудования

Промышленные электрические сети имеют свои особенности по сравнению с электрическими сетями иной хозяйственной принадлежности. Проектирование и выбор оборудования распределительных сетей в структуре системы промышленного электроснабжения основано на использовании методов расчетов элементов, категоричности электроприемников, требований к качеству электрической энергии. Поэтому правильный выбор оборудования, схем главных соединений и средств защиты, являются основой надежного и качественного электроснабжения. На рис.2.2 представлена однолинейная схема снабжения цеха промышленного предприятия.

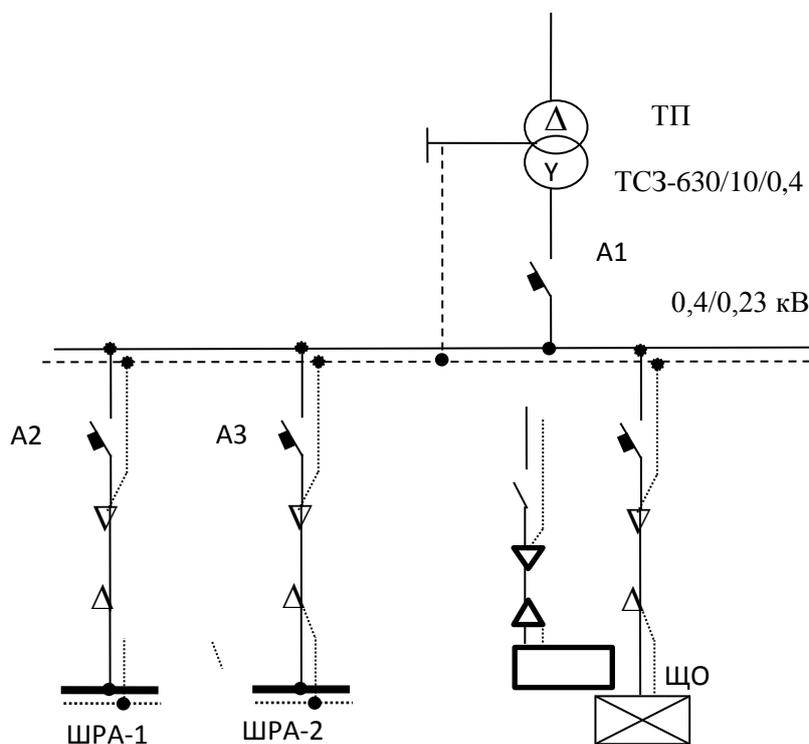


Рисунок 2.2 – Схема электроснабжения цеха

Технические данные электроприемников, распределенных по узлам нагрузок, представлены в таблицах 2.3,2.4,2.5.

Таблица 2.3 – Технические данные ЭП ШРА – 1

№ ЭП	Наименование	$P_n, \text{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{\text{длит}}, \text{А}$	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{пуск}}$	Режим работы	α	$I_{\text{пуск}}/\alpha$
1, 10	Лебедка технологическая	6,00	0,80	10,8	6	65	легкий	2,5	26,01
2,3,4	Дегазационная печь (DEGASING OVEN)	12,00	0,75	23,1	5	116	средний	2	57,8
9	DRUM TWISTER 3500 (крутильная машина)	52,00	0,70	107	3,00	322	тяжелый	1,6	201,3
22	Вентилятор вытяжной	20,00	0,80	36,1	4,00	145	тяжелый	1,6	90,32
7	Испытательная станция	22,50	0,75	43,4	4,00	173	тяжелый	1,6	108,4
8	Кран с ПВ-40%	28,00	0,50	80,9	4,00	324	тяжелый	1,6	202,3
21	Лебедка стационарная	6,25	0,80	11,3	6,00	68	легкий	2,5	27,1

ЭП № 9:
$$I_{\text{длит}} = I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}} \times \cos\phi} = \frac{52}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,7} = 107 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пус}} \times I_{\text{ном}} = 107 \times 3 = 322 \text{ А}$$

Аналогично рассчитываются длительные и пусковые токи остальных электроприемников установленных в цехе.

Таблица 2.4 – Технические данные ЭП ШРА – 2

№ ЭП	Наименование	$P_n, \text{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{\text{длит}}, \text{А}$	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{пуск}}$	Режим работы	α	$I_{\text{пуск}}/\alpha$
13,15	Лебедка стационарная	6,25	0,80	11,3	6,00	68	легкий	2,5	27,1
14	Кран с ПВ-40%	28,00	0,50	80,9	4,00	324	тяжелый	1,6	202,3
16,17	Линия сшивки (EEL 60)	65,00	0,90	104	3,00	313	тяжелый	1,6	195,7
18	Лебедка технологическая	6,00	0,80	10,8	6,00	65	легкий	2,5	26,01
19	Вентилятор вытяжной	20,00	0,80	36,1	4,00	145	тяжелый	1,6	90,32
20	Сушильный шкаф	15,00	0,70	31	4,00	124	тяжелый	1,6	77,42

Таблица 2.5 – Технические данные ЭП

№ ЭП	Наименование	$P_n, \text{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{\text{длит}}, \text{А}$	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{пуск}}$	Режим работы	α	$I_{\text{пуск}}/\alpha$
5,6	Экструдер (EPL 22)	100,00	0,85	170	3,00	510	тяжелый	1,6	318,8
11,12	Экструдер (EPL 50)	84,00	0,80	152	3,00	455	тяжелый	1,6	284,5

Выбираются аппараты защиты и провода отходящих линий к электроприемникам и узлам питания. Расчеты сведены в таблицу 2.6.

Выбран автомат A_2 , кабельную линию и тип шинпровода ШРА-1.

$$S_{p \text{ ШРА-1}} = 141,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}; I_{p \text{ ШРА-1}} = 203,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{крит}} = I_{\text{пуск}} = I_{\text{пускнаиб}} + \Sigma I_{\text{ном}} = 324 + (203,9 - 80,9) = 447 \text{ А}$$

Выбран шинпровод распределительный типа ШРА-4-250-32-1УЗ:

$$I_{\text{нира}} = 250 > I_p = 203,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{эл дин ст}} = 25 \text{ кА.}$$

Выбран автомат марки ВА88-35

$$1) I_{\text{ном ав}} = 250 \text{ А} > I_n = 203,9 \text{ А};$$

$$2) I_{\text{ном расц}} = 250 \text{ А} > I_n = 203,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{отс}} = 625 \text{ А};$$

$$3) I_{\text{сраб эл расц}} > 1,25 \times I_{\text{крит}} = 1,25 \times 447 = 558,75 \text{ А}; \quad 625 \text{ А} > 558,75 \text{ А}$$

условия выполняются.

Выбран кабель к ШРА-1: ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x70мк-1

$$1) I_{\text{дон}} = 270 \text{ А} > I_n = 203,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{дон}} \geq K_3 \times I_3 = 1 \times 250, \quad 270 \geq 250 \text{ условие выполняется}$$

Выбран автомат A_3 , кабельную линию и тип шинпровода ШРА-2.

$$S_{p \text{ ШРА-2}} = 120,31 \text{ кВ} \cdot \text{А}; I_{p \text{ ШРА-2}} = 173,86 \text{ А};$$

$$I_{\text{крит}} = I_{\text{пуск}} = I_{\text{пускнаиб}} + \Sigma I_{\text{ном}} = 324 + (173,86 - 80,9) = 417 \text{ А}$$

Выбран шинпровод распределительный типа ШРА-4-250-32-1УЗ:

$$I_{\text{нира}} = 250 \text{ А} > I_p = 173,86 \text{ А}; \quad I_{\text{эл дин ст}} = 25 \text{ кА.}$$

Выбран автомат марки ВА88-35

1) $I_{ном ав} = 250 \text{ A} > I_p = 173,86 \text{ A}$;

2) $I_{ном расц} = 200 \text{ A} > I_p = 173,86 \text{ A}$;

$I_{отс} = 625 \text{ A}$;

3) $I_{сраб эл расц} > 1,25 \times I_{кр} = 1,25 \times 417 = 521,25 \text{ A}$; $625 \text{ A} > 521,25 \text{ A}$

условия выполняются.

Выбран кабель к ШРА-2: ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1

1) $I_{дон} = 215 \text{ A} > I_n = 173,86 \text{ A}$;

$I_{дон} \geq K_3 \times I_3 = 1 \times 200$, $215 \geq 200$ условие выполняется

Выбран автомат А₅, кабельную линию и тип ЩО.

Выбор А₅ к ЩО: $I_{що} = \frac{S_{р.о}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{154,55}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 223,33 \text{ A}$;

Автомат марки ВА88-35:

1) $I_{н А} = 250 \text{ A} > I_n = 223,33 \text{ A}$;

2) $I_{н расц} = 250 \text{ A} > I_n = 223,33 \text{ A}$;

3) $I_{сраб эл расц} > 1,25 \times I_{крит} = 1,25 \times 223,33 = 279,16 \text{ A}$; $250 \text{ A} > 223,33 \text{ A}$

Выбран ЩО марки ЩО41-5101 – на три отходящих линий:

$I_{н.ЩО} = 48 \text{ A} > I_n = 27,9 \text{ A}$

Выбран кабель к ЩО: ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x2,5мк;

1) $I_{дон} = 30 \text{ A} > I_n = 27,9 \text{ A}$;

2) $I_{дон} \geq K_3 \times I_3 = 1 \times 27,9$, $30 \geq 27,9$ условие выполняется.

Выбран вводный автомат А1

Всего по цеху $I_p = \frac{S_{мп}}{0,7} = \frac{630}{0,7} = 900 \text{ A}$;

Найден кратковременный ток $I_{кр} = 510 + (900 - 170) = 1240 \text{ A}$

Выбран автомат марки ВА88-43:

1) $I_{ном ав} = 1600 \text{ A} > I_p = 1240 \text{ A}$;

2) $I_{ном расц} = 1280 \text{ A} > I_p = 1240 \text{ A}$;

$$I_{омс} = 1600 \text{ А};$$

$$3) I_{сраб \text{ эл расц}} > 1,25 \times I_{крит} = 1,25 \times 1240 = 1550 \text{ А}; \quad 1600 \text{ А} > 1550 \text{ А}$$

условия выполняются.

Таким образом, в данном разделе произведен расчет токовых нагрузок по цеху. Выбрано оборудование защиты, цеховые трансформаторы, а также кабельно-проводниковая продукция. Всё оборудование проверено на условия функционирования в разных режимах работы.

Итоговые данные, содержащие перечень выбранного оборудования с основными параметрами приведены в таблице 2.6.

2.2 Анализ оборудования цеха

При проектировании магистральных сетей, а также при питании сварочных машин и электропечей большой мощности, используют кабели большого сечения, рассчитанные на высокие токи. Такие кабели используются на напряжениях до 1 кВ. Расстояния между токоведущими частями весьма малы, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление кабеля.

В данной работе использованы данные, полученные при проектировании цеха по производству кабельной продукции до 10 кВ ООО «Томсккабель». Анализ оборудования цеха показал превалирование асинхронных двигателей с частотным приводом, причем большее количество электрического оборудования работают в продолжительном режиме $S1$ (71%), кратковременном режиме $S2$ (17%) и повторно-кратковременном режиме $S3$ (12%) (рис.2.3). Это говорит о том, что силовые кабели, запитывающие оборудование цеха, подвержены нагреву разных степеней, что может негативно влиять на эксплуатационные характеристики оборудования.

Таблица 2.6 – Расчет защитных аппаратов и проводов к ЭП

№ ЭП	Расчетный ток		Автоматический выключатель				Предохранитель			Тип аппарата защиты	K ₃	Токовая наг-ка провода		Марка и сечение провода
	I _{длит} (I _{ном})	I _{кр} (I _{пуск})	I _{ном. ав.}	I _{расц} ном	Уставка мгн. Срабатывания		Ток плавкой вставки, А		I _{ном.} пред.			K ₃ *I ₃	I _{доп} пров	
					I _п *1,25	I _{ср} расч	I _{расч} пл вст	I _{ном} пл вст						
ШРА-1														
1, 10	10,8	65	–	–	–	–	26,01	40	63	NEOZED-63	0,33	13,2	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
2,3,4	23,1	116	–	–	–	–	57,8	63	63	NEOZED-63	0,33	20,79	23	ТОФЛЕКС 1×1,5
9	107	322	125	125	402,5	500	–	–	–	BA88-32	1	125	140	ТОФЛЕКС 1×25
22	36,1	145	–	–	–	–	90,32	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
7	43,4	173	125	50	216,25	500	–	–	–	BA88-32	1	50	80	ТОФЛЕКС 1×10
8	80,9	324	125	100	405	500	–	–	–	BA88-32	1	100	140	ТОФЛЕКС 1×25
21	11,3	68	–	–	–	–	27,1	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
От ТП к ШРА - 1	203,9	447	250	225	558,75	625	–	–	–	BA88-35	1	225	270	ТОФЛЕКС 1×70
ШРА – 2														
13,15	11,3	68	–	–	–	–	27,1	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
14	80,9	324	125	100	405	500	–	–	–	BA88-32	1	100	140	ТОФЛЕКС 1×25
16,17	104	313	125	125	391,25	500	–	–	–	BA88-32	1	125	140	ТОФЛЕКС 1×25
18	10,8	65	–	–	–	–	26,01	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
19	36,1	145	–	–	–	–	90,32	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
20	31	124	–	–	–	–	77,42	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
От ТП к ШРА - 2	173,86	417	250	200	521,25	625	–	–	–	BA88-35	1	200	215	ТОФЛЕКС 1×50
ЭП														
5,6	170	510	250	200	637,5	700	–	–	–	BA88-35	1	200	215	ТОФЛЕКС 1×50
От ТП к ЭП	539,06	1240	800	560	1550	1600	–	–	–	BA88-40	1	560	645	3×ТОФЛЕКС 1×50
Освещение	223,34	279,16	250	225	348,95	375	–	–	–	BA88-35	1	225	270	ТОФЛЕКС 1×70

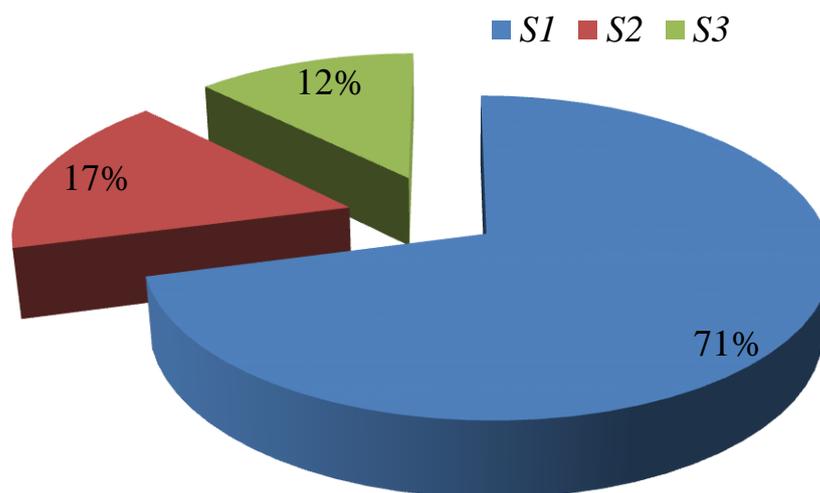


Рисунок 2.3 – Диаграмма распределения оборудования по режимам работы

С целью оптимизации режимов работы электротехнического оборудования и, соответственно, кабельной продукции, проводится математическое моделирование системы электропитания с использованием программного продукта ELCUT. В качестве объекта модернизации выбран кабель марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1, наиболее подходящий для нагрузок, характерных для ООО «Томсккабель».

3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

3.1 Понятие моделирования и модели

Модель – различный образ, подобие установленной или мысленной картины, чертежа, схемы, описание какого либо явления или процесса, объема, который используется в качестве заменителя или представителя. Непосредственно процесс, явление или объект называется оригиналом этой модели.

Моделирование – изучение данного объекта или системы объектов с помощью создания и исследования их моделей. Данное применение моделей для уточнения или определения данных и рационализации построения вновь конструируемых объектов.

Все методы научного исследования основываются на идее моделирования, а также в теоретических методах используются знаковые, абстрактные модели, в экспериментальных – предметные модели.

Во время моделирования любое комплексное, сложное реальное явление можно заменить упрощенной копией или схемой, в некоторых случаях такая копия используется только для того чтобы запомнить и при дальнейших исследованиях узнать нужное явление. В некоторых случаях выстроенная модель отображает какие-то значительные особенности, дает возможность понять механизм явления, позволяет предсказать его изменение. Одному объекту или явлению могут соответствовать несколько моделей.

Основная цель исследователя – прогноз характера явления и хода процесса.

Бывает такое, что объект исследования доступен, но проведение экспериментов приводит к серьезным экологическим последствиям или они дорогостоящие. В таких случаях для изучения объекта используют модели.

Математические модели играют важную роль в науке, инструменты и строительный материал этих моделей – математические понятия. Они собирались и совершенствовались в течение долгого времени. Современная

математика предоставляет исключительно мощные и универсальные средства исследования. Практически любое понятие в математике, любой математический объект, начиная от понятия числа, является математической моделью. При создании математической модели, исследуемого явления или объекта можно выделить те характерные черты элементов и особенности, которые в той или иной мере содержат полную информацию об объекте, а с другой позволяют математическую формализацию. Математическая формализация – это сопоставление более подходящих математических понятий (числа, функции, матрицы и так далее) к особенностям проектируемого объекта. Тем самым можно установить связь между исследуемым объектом и его деталями с помощью математических функций, уравнений и тд. В итоге получим математическое описание исследуемого объекта или явления, то есть его математическую модель.

Исследование математической модели всегда связано с определенными правилами действия над изучаемыми объектами или явлением. Эти правила отражают связи между причинами и следствиями.

Создание математической модели – это основной этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит весь последующий анализ объекта. Создание модели – это процедура не формальная. И напрямую зависит от исследователя, его опыта и вкуса, всегда опирается на определенный опытный материал. Математическая модель должна соответствовать всем нормам и требованиям, быть адекватной, достаточно точной и удобной при использовании.

3.1.1 Классификация математических моделей

Математические модели бывают *детерминированными* и *стохастическими*.

Детерминированные модели – это модели, в которых установлено взаимно-однозначное соответствие между переменными описывающими объект или явления.

Детерминированный подход основывается на знании механизма функционирования объектов. Часто бывает, что моделируемый объект сложен и расшифровка его механизма может быть трудоемкой и длинной во времени. В таком случае действуют следующим образом: на оригинале проводят эксперименты, анализируют результаты и, не вникая в механизм и теорию моделируемого объекта с помощью теории вероятности и методов математической статистики, устанавливают связи между переменными, описывающими объект. В данном случае получают стохастическую модель. В стохастической модели связь между переменными носит случайный характер, иногда это бывает принципиально. Воздействие огромного количества факторов, их сочетание приводит к случайному набору переменных описывающих объект или явление. По характеру режимов модель бывают *статистическими* и *динамическими*.

Статистическая модель описывает связь между основными переменными моделируемого объекта в установившемся режиме без учета изменения параметров во времени.

В динамической модели описываются связи между основными переменными моделируемого объекта при переходе от одного режима к другому.

По типу модели разделяются на *дискретные*, *непрерывные* и *смешанные*. В непрерывных моделях переменные принимают значения из некоторого промежутка, в дискретных переменные принимают изолированные значения [2].

3.1.2 Требования к моделям и основные этапы моделирования

Эффективная модель должна обладать рядом свойств, таких как:

1. универсальность – свойство модели, которое отображает весь спектр исследуемых свойств реального объекта;
2. адекватность – свойство, показывающая только выделенные параметры объекта с заданной погрешностью;

3. точность – свойство, оценивающая степень корреляции реальных параметров объекта с полученными в данной модели;

4. экономичность – свойство, которое характеризуется затратами различных ресурсов и времени на создание и реализацию данной модели.

Формирование модели – сложный творческий процесс, который требует от исследователя опыта, интуиции, глубокого знания предметной области и возможностей современной компьютерной техники для принятия компромиссных решений и получения эффективной модели (рис.3.1) [7].

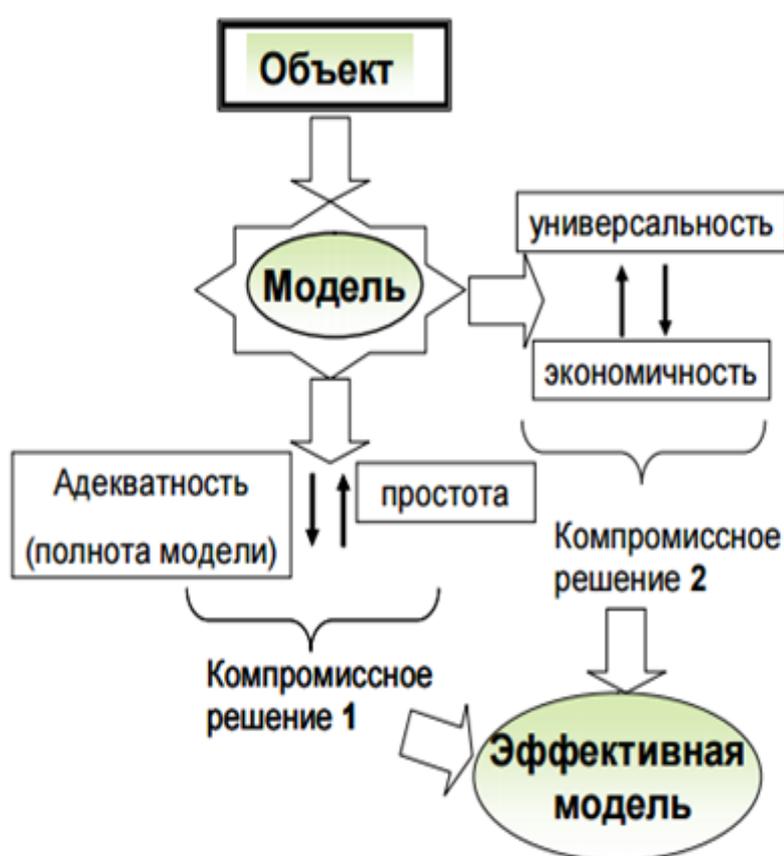


Рисунок 3.1 – Процедура формирования эффективной модели

Основные этапы моделирования:

1. Постановка задачи

Установление цели анализа и пути ее достижения, формирование общего подхода к исследуемой проблеме. На этапе постановки задачи

потребуется полное представление существа установленной проблемы. В некоторых случаях, грамотная постановка задачи сложнее ее решения. Постановка задачи является не формальным процессом, вследствие этого общих правил нет.

2. Изучение теоретических основ и сбор информации об объекте оригинала

На данном этапе выбирают или разрабатывают наиболее подходящую теорию. При ее отсутствии, устанавливаются причинно-следственные связи между переменными описывающими объект. Определяют входные и выходные параметры, принимаются упрощающие предположения.

3. Формализация

Основной задачей данного этапа является выбор системы условных обозначений, с помощью которых можно записывать отношения между составляющими объекта в виде математических выражений. Устанавливается класс задач, к которым может быть отнесена полученная математическая модель объекта. На данном этапе допускается отклонения значений некоторых параметров.

4. Выбор метода решения

На данном этапе формируются конечные и более точные параметры моделей с учетом условия функционирования объекта. Подбирается либо разрабатывается определенный метод для решения математической задачи. Выбор метода основывается на знании исследователя, его предпочтения, а также предпочтения разработчика.

5. Реализация модели

Данный этап включает в себя разработку алгоритма, создание программы и ее наладка, тестирование и в итоге получается решение нужной задачи.

6. Анализ полученной информации

Сравнение полученных результатов с предполагаемыми, расчет погрешности моделирования.

7. Проверка адекватности реальному объекту

Результаты, полученные по модели сравниваются с имеющейся об объекте информацией или проводится эксперимент и его результаты сопоставляются с выходными параметрами модели.

Процесс моделирования является итеративным. При получении неудовлетворительных результатов на этапах 6 или 7 осуществляется возврат к одному из ранних этапов, который мог привести к некорректным результатам. Данный этап и все последующие уточняются и такое уточнение модели происходит до тех пор, пока не будут получены приемлемые результаты [11].

3.2 Архитектура программных комплексов

Общая структура.

В процессе проектирования расчет характеристик некоторого устройства включает три этапа:

- описание геометрии; генерацию сети конечных элементов; описание физических характеристик,
- расчет с помощью метода конечных элементов;
- визуализацию и интерпретацию результатов моделирования.

На уровне программного обеспечения эти этапы соответствуют трем функциям, выполняемым отдельными модулями:

- модулем ввода данных (препроцессором);
- модулем вычислений (процессором);
- модулем вывода результатов (постпроцессором).

Функции препроцессора.

Препроцессор предназначен для ввода и подготовки всей информации, необходимой для решения задачи методом конечных элементов.

Описание геометрии объекта заключается в представлении его формы и размеров с помощью вычислительных методов.

Описание геометрии иногда производится в неявной форме при создании сети. Однако в настоящее время стремятся разделить эти операции. Вначале составляется описание геометрии, а затем создается сеть, использующая заданную геометрию. Крайним случаем является использование двух специализированных программ: жесткого моделирования для геометрической части и составления сети для дискретизации.

Генерация сети в области заключается в формировании совокупности узлов и совокупности конечных элементов, обеспечивающих приемлемую дискретизацию области. Такая дискретизация должна соответствовать границам области и внутренним границам между различными ее участками. Кроме того, конечные элементы не должны иметь форму, слишком отличающуюся от симметричных форм стандартных элементов (равносторонних треугольников или тетраэдров, квадратов или кубов).

Узлы определяются их координатами, тогда как элементы характеризуются их типом и перечнем их узлов. Некоторые формулировки задач требуют использования интегралов на границах. В этом случае дополнительно к конечным элементам области (объемным в трехмерных задачах и линейным в двумерных) требуется создать конечные элементы границ (поверхностные в трехмерных и линейные в двумерных задачах, дискретизирующие рассматриваемые границы).

Описание физических характеристик называют операцией указания областей и границ. Она включает:

- описание физических характеристик материалов (например, проводимость, теплопроводность и т.д.);
- описание источников (например, источники тепла);
- описание граничных условий;
- описание начальных условий для нестационарных задач.

Обычно эта информация вводится последовательно участок за участком, граница за границей. Связи между участками, конечными элементами области и узлами позволяют отразить эту информацию в виде дискретизации области.

Функции процессора.

Процессор получает на входе описание сети, физические характеристики и граничные условия; решает систему линейных или нелинейных уравнений и на выходе он выдает значения искомым величин в каждом узле сетки.

Для решения систем уравнений используются два семейства методов: точные (или блочные), действующие путем релаксаций, и глобальные матричные методы. Последние применяемые значительно чаще и имеют несколько этапов:

- построение подматриц и собственных векторов для формирования матрицы в правой части;
- учет граничных условий;
- решение линейной системы.

Решение линейных систем осуществляется чаще всего следующими методами:

- прямыми (Гаусса, Холецкого);
- полупрямыми (*ICCG*);
- итерационными блочными (Гаусса-Зейделя).

Для систем нелинейных уравнений эти операции повторяются в соответствии с принятой итерационной схемой (Гаусса-Зейделя, Ньютона-Канторовича, Ньютона-Рафсона).

Для нестационарных задач такое рассмотрение должно быть повторено на каждом временном шаге (явные и неявные методы конечных разностей Крэнка-Николсона, прогноза-коррекции).

Функции постпроцессора.

Полученное процессором решение не может непосредственно использоваться по следующим причинам:

- значения переменных в узлах конечноэлементной сетки не всегда имеют четкий физический смысл (например, вектор магнитного потенциала в задачах электромагнетизма);
- масса необработанной численной информации, получаемой при вычислении (несколько тысяч узловых величин), слишком велика для восприятия пользователем.

Постпроцессор играет двойную роль:

- извлекает значащую информацию, которая может быть связана с локальными величинами (например, магнитной индукцией, удельными потерями, механическими напряжениями и т.д.) или глобальными величинами (тепловым потоком, электромагнитными силами и т. д.);
- представляет численную информацию в графической форме для облегчения ее восприятия и интерпретации (в виде карты полей, изотерм, постоянных механических напряжений, кривых изменения температуры или магнитного поля вдоль некоторой линии и т.д.).

Структура программного обеспечения для метода конечных элементов (МКЭ).

Разнородность используемых ресурсов для препроцессора, процессора и постпроцессора вынуждает разработчиков иногда организовывать программное обеспечение в виде трех отдельных программ, реализуемых в ряде случаев на ЭВМ различной производительности. Чаще всего встречаются следующие типы организации:

- единая программа для всех функций (рис.3.1а);
- одна программа для ввода и вывода, другая программа для расчета (рис.3.1б);
- отдельная программа на каждую функцию (рис.3.1в).

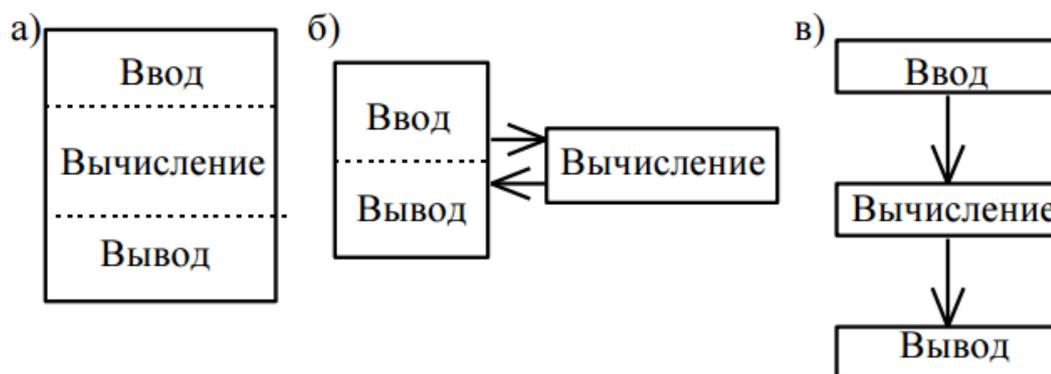


Рисунок 3.1 – Возможная организация программного обеспечения для МКЭ

Для осуществления быстрого перехода от одной процедуры к другой используют унифицированную и единую программу. Эта программа эффективна особенно в случаях, когда необходимо многочисленное повторение цикла ввод-расчет-вывод.

В следующем возможном варианте пользователь отдельно пользуется модулем ввода-вывода и модулем вычислений. Это позволяет ему проводить расчеты с разделением времени или даже «*online*», если в соответствии со схемой организации работ имеется очень мощная ЭВМ.

Последний вариант представляет собой цепочку «препроцессор-процессор-процессор». При этом можно предусмотреть использование нескольких препроцессоров, предоставляющих пользователю различные возможности. Пользователь выбирает тот или иной препроцессор в зависимости от конкретных обстоятельств расчета. Например, если разработаны два способа построения сети (один полностью автоматический, а другой ручной, работающий поблочно), то сначала осуществляется автоматическое разбиение сети, затем, если результаты не удовлетворительны (слишком много элементов, не соблюдается симметрия и т.д.), то используют ручное поблочное разбиение. Все случаи входят в цепочку одной и той же программы решения [10].

Взаимодействие между программами.

Архитектура, составленная из нескольких программ, предполагает, что все звенья одного и того же уровня (например, программы ввода) могут сообщить результаты своей обработки всем звеньям следующего уровня (например, программам расчета). Если программы получены независимо друг от друга, то это правило обычно не выполняется и тогда необходимо маркирование. Для ограничения числа модулей преобразования данных лучше определить стандарт передачи, называемый нейтральным файлом.

Стандарт *IGES* (Основные требования при обмене графической информацией), являющийся стандартом *ANSI*, точно определяет форму обмена содержимого банка данных и позволяет определить формат данных в нейтральных файлах передачи между программами.

Многодисциплинарные программы.

Различные явления, происходящие в непрерывных средах, описываются одними и теми же уравнениями в частных производных. Например, двумерное уравнение Пуассона моделирует следующие явления:

- теплопроводность в непрерывном режиме

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q;$$

- электростатику

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -\rho;$$

- магнитостатику

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) = j_z.$$

Поэтому, одна и та же программа может служить для решения сходных задач, происходящих из различных дисциплин. Тогда возникает проблема выбора языка общения между человеком и программой в рамках исследуемой задачи. Рассматривается несколько возможностей:

- единый нейтральный язык (математический);
- единый проблемно-ориентированный язык (механика, теплотехника и т.д.);
- язык для данной задачи.

Решение об использовании единого языка реализуется много проще, однако, оно трудно воспринимается пользователем. Поэтому часто встречается следующая последовательность обработки при рассмотрении задач методом конечных элементов (рис. 3.2):

- единое устройство для разбиения на конечные элементы;
- устройство описания физических характеристик по дисциплинам;
- единое решающее устройство;
- устройство обработки результатов по дисциплинам

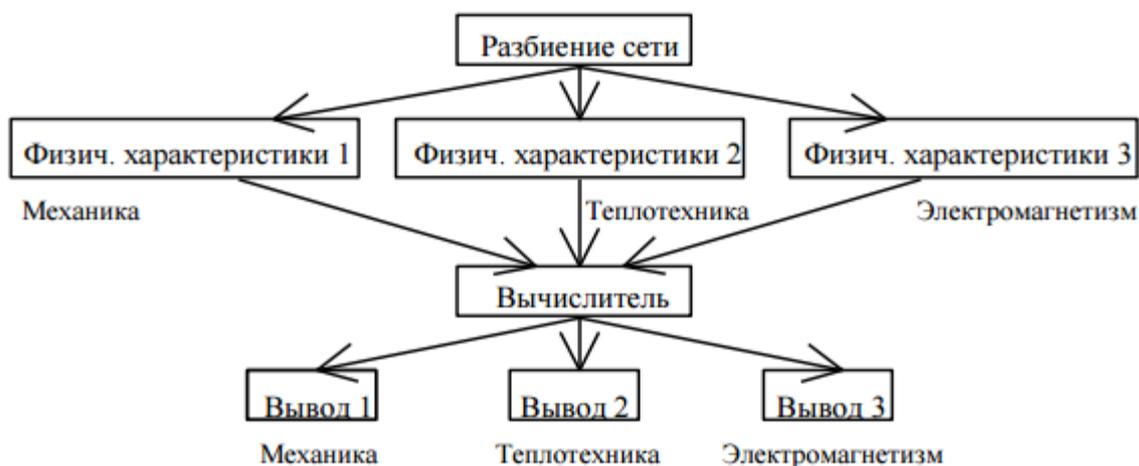


Рисунок 3..2 – Схема multidisciplinary обработки по МКЭ

Современный рынок программ на основе МКЭ.

Широкому распространению МКЭ способствовало создание коммерческих пакетов программ. Дадим краткое описание таких пакетов, наиболее известных на российском рынке (<http://www.thesis.com.ru/>). Система **ADINA** компании **ADINA R&D** (<http://www.adina.com>) проводит полный конечно-элементный анализ конструкций, жидкостей и взаимодействия

жидкости с конструкцией. Программные комплексы семейства *CFX* предназначены для моделирования движений жидкости и газа на компьютере. Разработанный в Гарвелловском атомном центре (Великобритания) компанией *AEA Technology* (<http://www.aeat.com>), *CFX* вобрал в себя последние достижения вычислительной гидродинамики и многих пограничных наук, изучающих турбулентное движение жидкости, горение, радиационный теплоперенос. *HYPERMESH* позволяет существенно ускорить процесс создания конечно-элементной модели при работе со сложными геометрическими объектами. *FEMAP* – программный продукт фирмы *Enterprise Software Products, Inc* (<http://www.entsoft.com>) – популярен как один из самых перспективных средств для подготовки данных и анализу результатов по методу конечных элементов в среде Windows на ПЭВМ. Он делает работу инженерам-расчетчикам при анализе напряженно-деформированного состояния конструкции, динамическом и тепловом анализе в различных областях человеческой деятельности более упрощенной. *MARC + Mentat II* - комплекс анализа конструкций и моделирования процессов компании *MARC Analysis Research Corporation* (США) (<http://www.marc.com>) для инженерного анализа. Программный комплекс *SYSNOISE* бельгийской компании *LMS NIT* предназначен для акустического и виброакустического анализа методами конечных и конечно-бесконечных элементов. *UAI/NASTRAN* (<http://www.uai.com>). Всемирно популярный программный продукт *UAI/NASTRAN* может решать широкий спектр задач проектирования и анализа конструкций [12].

Краткое описание системы Elcut 4.1.

Выполнение лабораторных работ производится в системе *ELCUT 4.1* «Студенческая версия», которая свободно распространяется российской фирмой TOP [15].

ELCUT – интерактивная система моделирования двумерных краевых задач методом конечных элементов. Применяется для расчета электрических машин, трансформаторов, магнитных систем, электромеханических

устройств, кабелей, конденсаторов, элементов конструкций, систем охлаждения и др. *ELCUT* позволяет решать плоские и осесимметричные задачи:

- электростатики;
- линейной и нелинейной магнитостатики;
- магнитного поля переменных токов;
- растекания токов в проводящем массиве;
- линейной и нелинейной теплопередачи;
- анализа упругого напряженного состояния;
- совмещенные задачи.

ELCUT 4.1 работает под управлением операционной системы *Windows*

95. Требуемая конфигурация оборудования:

- компьютер: 386, 486 или *Pentium IBM PC*;
- сопроцессор: Intel 80387 или выше;
- память: 640К минимум, 4МВ рекомендуется (1МВ *extended*), 4- 16МВ

для больших задач;

- свободное дисковое пространство: 2.5 МВ;
- видео: *VGA* цветной или монохромный;
- мышь: *Microsoft* или 100% совместимая;
- параллельный порт для устройства аппаратной защиты. Список

пользователей *ELCUT* включает множество крупных предприятий, научно-исследовательских организаций и университетов России, Украины, Эстонии, США, Великобритании, Германии, Франции, Испании, Израиля, ЮАР, Швейцарии, Польши, Кореи, Колумбии и других стран.

3.3 Общий алгоритм расчета

В данной работе, математическая модель использует метод конечных элементов (МКЭ), этот метод известен уже более полувека, но широкое

распространение получил только с развитием современных средств информатики.

К основным достоинствам МКЭ можно отнести простоту и доступность его понимания, применимость метода для задач с произвольной формой области решения, возможность создания на основе метода высококачественных универсальных программ для ЭВМ.

Применимости данного метода подтверждается доказательством в разделах математики таких важных свойств, как сходимость, устойчивость и точность метода. Несмотря ни на что МКЭ становится наиболее популярным, с его помощью без строгого математического обоснования используемых приемов успешно решаются сложные технические задачи. Правильность работы созданных алгоритмов, реализующих МКЭ, проверяют с помощью инженерных расчетов [8].

Метод конечных элементов, разработанный на основе матричных методов расчета механических конструкций, рассматривается сегодня как способ решения задач, описываемых уравнениями математической физики в частных производных. Целью представленных ниже лабораторных работ является рассмотрение метода конечных элементов именно с этой точки зрения, поскольку в большинстве случаев, когда МКЭ включается в системы автоматизированного проектирования (САПР), он служит для моделирования механических, тепловых и электрических задач.

В общем случае алгоритм МКЭ состоит из четырех этапов.

ЭТАП 1. Выделение конечных элементов.

Пусть u – некоторая неизвестная функция, удовлетворяющая в области Ω уравнению в частных производных

$$L(u) = f,$$

а на $\partial\Omega$ некоторым граничным условиям. Требуется найти неизвестную непрерывную функцию u методом конечных элементов (предполагается, что задача имеет решение, причем единственное).

Конечным элементом внутри рассматриваемой области Ω называют некоторую подобласть $\Omega^{(e)}$, геометрические размеры которой очень малы по сравнению с размерами области Ω , но тем не менее остаются конечными. В простейшем случае эти элементы имеют треугольную для плоских или тетраэдральную топологию для трехмерных задач. В общем случае топология может быть четырехугольной или многоугольной.

Разбиение области на элементы – первый этап выделения конечных элементов. Точность получаемых результатов в значительной степени зависит от особенности разбиения. К примеру, разделение на двумерные элементы, близкие по форме к равносторонним треугольникам, гарантирует наилучшие результаты по сравнению с разделением на вытянутые по форме треугольные элементы. Возможность легко изменять размеры элементов – важное свойство МКЭ (последняя позволяет без проблем учитывать концентрацию напряжений, температурные градиенты, различные свойства материала изучаемого объекта и т.д.). Разделение области на элементы обычно начинают от границы с целью наиболее точной аппроксимации формы границы, затем производится разбиение внутренних областей. Зачастую разделение области на элементы производят в несколько стадий. Сначала область разделяют на крупные подобласти, границы между которыми проходят там, где изменяются свойства материала, геометрия, приложенная нагрузка и пр. Затем каждая подобласть разбивается на элементы. Резкого изменения размеров конечных элементов на границах подобластей стараются избегать.

Второй этап выявления конечных результатов – общая нумерация узлов. Для того, чтобы не повлиять на эффективность дальнейших вычислений, большое значение имеет правильность порядка нумерации. Все это происходит из-за того, что матрица коэффициентов системы уравнений, к которой приводит МКЭ, – сильно разреженная матрица ленточной структуры. Параллельно главной диагонали расположены ненулевые элементы. Шириной полосы является максимальная разность между

ненулевыми элементами и равно целому числу L . При меньшей ширине полосы требуется меньший объем оперативной памяти для хранения матрицы при реализации МКЭ в САПР и тем меньше затрат машинного времени на решение результирующей системы уравнений. Ширина полосы зависит, в свою очередь, от числа степеней свободы узлов и способа нумерации последних. Под числом степеней свободы понимают количество неизвестных функций, определяемых в каждом узле. Так, например, для двумерных задач гидравлики в каждом узле определяются три переменные: давление и составляющие скорости по осям X и Y .

При порядке нумерации оптимален способ, который обеспечивает минимальную разность между номерами узлов в каждом отдельном элементе. Если максимальную разность между номерами узлов для отдельного элемента обозначить N , а число степеней свободы M , то ширина полосы $L=(N+1)M$.

Составление топологической информации – последняя процедура этапа выделения конечных элементов. Информация о способе разбиения области на конечные элементы и нумерация узлов является исходной для всех следующих этапов алгоритма МКЭ при реализации метода в САПР. При этом требуется указывать тип конечного элемента, его порядковый номер, номера узлов элемента, координаты узлов, информацию о соединении элементов между собой, значения физических параметров объекта в пределах каждого конечного элемента. Такого рода информация называется топологической и содержит примерно в 6 раз больше информации, чем количество узлов системы.

ЭТАП 2. Определение функции элемента.

Пусть в результате выполнения первого этапа МКЭ исходная область Ω была разбита на N конечных элементов: $\Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(N)}$. На втором этапе значение непрерывной функции u в произвольной точке (e) -го конечного элемента аппроксимируется полиномом

$$\varphi^{(e)} = \mathbf{A}^{(e)T} \mathbf{R} + A_0 \quad (3.1)$$

где $\mathbf{A}^{(e)}$ – вектор коэффициентов полинома,

A_0 – свободный член,

$\mathbf{R} = \mathbf{R}(x, y, z)$ – вектор координат в рассматриваемой точке.

Задача этапа далее заключается в определении неизвестного вектора $\mathbf{A}^{(e)}$ и свободного члена A_0 . Коэффициенты полинома и свободный член могут быть определены значениями функции в частных точках, называемых узлами элемента. Предположим, что в каждом конечном элементе выбрано по M узлов (в общем случае число узлов в конечных элементах может быть различным). Используя условие непрерывности функции u в узлах, коэффициенты полинома $\varphi^{(e)}$ выражаются через вектор $\Phi^{(e)} = (\Phi^{(e)}_1, \Phi^{(e)}_2, \dots, \Phi^{(e)}_M)^T$ узловых значений функции и координаты узлов и, проделав эквивалентные преобразования, получают

$$\varphi^{(e)} = \mathbf{N}^{(e)T} \Phi^{(e)} \quad (3.2)$$

где $\mathbf{N}^{(e)} = (N^{(e)}_1, N^{(e)}_2, \dots, N^{(e)}_M)^T$ – вектор, элементы которого называют функциями формы конечного элемента.

Функции формы легко вычисляются через координаты самой точки и координаты узлов элемента.

ЭТАП 3. Объединение конечных элементов в ансамбль.

На этом этапе уравнения (3.2), относящиеся к отдельным элементам, объединяются в ансамбль:

$$\varphi = \mathbf{N}^T \Phi, \quad (3.3)$$

где $\mathbf{N} = (N_1, N_2, \dots, N_{NN})^T$, $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{NN})^T$, а NN – число узлов во всех конечных элементах. Заметим, что $NN \leq M \cdot N$, так как один и тот же узел может принадлежать разным конечным элементам.

Между векторами $\Phi^{(e)}$ ($e=1, 2, \dots, N$) и вектором Φ существует простая топологическая связь, выражаемая с помощью булевых матриц: $\Phi^{(e)} = \Delta^{(e)} \Phi$, $e=1, 2, \dots, N$. Вектор \mathbf{N} определяется по формуле

$$\mathbf{N} = \sum_{e=1}^N \Delta^{(e)T} \mathbf{N}^{(e)}$$

Система (3.3) является моделью искомой непрерывной функции u .

ЭТАП 4. Определение вектора узловых значений функции.

В общем случае вектор Φ в (3.3) неизвестен. Его определение - наиболее сложная процедура в МКЭ. Разработано несколько алгоритмов вычисления вектора Φ . Один из алгоритмов основан на минимизации функционала, связанного с физическим смыслом решаемой задачи, и состоит из следующих этапов:

1) Выбор функционала F , зависящего для стационарных задач от искомой функции u и ее частных производных $\partial u / \partial x$, $\partial u / \partial y$, $\partial u / \partial z$:

$$F = \int_{\Omega} F_1(u, \partial u / \partial x, \partial u / \partial y, \partial u / \partial z) d\Omega \quad (3.4)$$

Подбор функционала является нетривиальной процедурой, требующей глубоких знаний в конкретной предметной области.

2) Подстановка аппроксимирующего выражения (3.3) в (3.4) и вычисление производных $\partial u / \partial x$, $\partial u / \partial y$, $\partial u / \partial z$ по формулам вида:

$$\begin{aligned} \partial u / \partial x &= \partial \varphi / \partial x = (\partial \mathbf{N} / \partial x)^T \Phi, \\ \partial u / \partial y &= \partial \varphi / \partial y = (\partial \mathbf{N} / \partial y)^T \Phi, \\ \partial u / \partial z &= \partial \varphi / \partial z = (\partial \mathbf{N} / \partial z)^T \Phi. \end{aligned}$$

В результате получим

$$F = \int_{\Omega} F_1(\mathbf{N}^T \Phi, (\partial \mathbf{N} / \partial x)^T \Phi, (\partial \mathbf{N} / \partial y)^T \Phi, (\partial \mathbf{N} / \partial z)^T \Phi) d\Omega \quad (3.5)$$

3) Минимизация по вектору Φ функционала F . Необходимое условие экстремальности (которое в большинстве случаев является условием минимизации) записывается в виде

$$\partial F / \partial \Phi = 0 \quad (3.6)$$

или

$$\partial F / \partial \Phi_1 = 0, \partial F / \partial \Phi_2 = 0, \dots, \partial F / \partial \Phi_{NN} = 0 \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) является системой из NN алгебраических уравнений с NN неизвестными $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{NN}$. Решение этой системы дает аппроксимирующую функцию φ во всей области Ω .

Метод Галеркина применяется в тех случаях, когда исследователю не удается подобрать оптимальный функционал для минимизации (задач, математическим описанием которых служат уравнения Навье-Стокса). Он представляет собой частный случай более общего метода взвешенных невязок. Основным преимуществом этого метода является то, что основой для него служит исходное дифференциальное уравнение.

Найденные значения вектора Φ подставляют в (3.3), после чего значения функции φ легко вычисляются в любой точке заданной области [9].

3.4 Решение задач электростатики и растекания токов

Постановка задач электростатики

Программный продукт *ELCUT* может решать задачи электростатики, описываемые уравнением Пуассона относительно скалярного электрического потенциала U ($\mathbf{E} = -\mathbf{grad}U$, \mathbf{E} - вектор напряженности электрического поля).

Уравнение Пуассона:

для плоскопараллельных задач

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x r \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial U}{\partial y} \right) = -\rho;$$

для осесимметричных задач

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_r r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -\rho;$$

где ε_x , ε_y или ε_z , ε_r - компоненты тензора электрической проницаемости, ρ - плотность распределенного заряда. Все параметры уравнений постоянны в пределах каждого блока модели. Источники поля в электростатике *ELCUT* позволяет задать электрический заряд в блоках, ребрах и вершинах модели.

Заряд, заданный в вершине модели, показывает заряженную струну, которая проходит через эту вершину перпендикулярно к плоскости модели, и задается своей линейной плотностью. Если заряд вершины описывает вокруг оси симметрии окружность которая заряжена, данный случай называется осесимметричным. Для того, чтобы описать два случая одновременно, вершины модели описываются полным зарядом. Полный заряд для заряженной окружности связан соотношением $q=2 r \rho$.

Заряд, заданный на ребре модели, соответствует заряженной поверхности в трехмерном мире. Он характеризуется поверхностной плотностью заряда и описывается при помощи граничного условия Неймана для ребра.

Заряд, заданный для блока модели, соответствует объемному заряду и характеризуется объемной плотностью заряда.

Граничные условия в электростатике

На внутренних и внешних границах области допустимы следующие виды граничных условий:

- Принцип Дирихле заранее задает известное значение электрического потенциала U_0 в вершине или на ребре модели (например, на обкладках конденсатора). Такой способ граничного условия применим для внешней граничной области, которая совпадает с задачей антисимметрии электрической плоскости. На ребре математической модели в виде линейной функции задается величина U_0 . Любые параметры заданной функции могут меняться в ходе моделирование от ребра к ребру, но основным условием является непрерывность функции U_0 в точках соприкосновения границ. Примечание. Чтобы составить задачу правильно, нужно хотя бы в одной точке расчетной области задать условие Дирихле.

- Задача Неймана обуславливается следующими условиями:

$$D_n^+ - D_n^- = \sigma \text{ - на внутренней границе,}$$

$$D_n = \sigma \text{ - на внешней границе,}$$

где D_n – средняя компонента смещения заряда, знаки "+" и "-" обозначают смещение слева и справа соответственно, σ - поверхностная плотность заряда. Однородное граничное условие показывает не выявление средней компоненты смещения напряженности электрического поля, что возникает при нулевом значении σ . Для симметрии задачи этот метод наиболее часто используется. Вообще, условие Неймана считается естественным, и при не указании граничного условия на ребрах автоматически задается программой. При задании неоднородного условия Неймана на внешней границе, действительную величину плотности заряда необходимо поделить на две одинаковые части.

Граничные требования одинакового потенциала применяются с целью отображения отдельных проводников, помещенных в электрическое поле, которые обладают постоянным, но заранее неизвестным потенциалом.

Примечание. Ребро, на котором задано условие равного потенциала, не должно соприкасаться с ребрами или вершинами, на которых выполняется условие Дирихле.

Рассчитываемые физические величины в электростатике

При исследовании результатов вычислений электрического поля программа позволяет оперировать со следующими локальными и интегральными физическими величинами.

Локальные величины:

- Скалярный электрический потенциал U .
- Вектор напряженности электрического поля $\mathbf{E} = -\mathbf{grad}U$:

$$E_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial U}{\partial y} \quad \text{– плоский вид;}$$

$$E_z = -\frac{\partial U}{\partial z}, \quad E_r = -\frac{\partial U}{\partial r} \quad \text{– осесимметричный вид.}$$

- Аксиатор градиента напряженности электрического поля $\mathbf{G} = \mathbf{grad}\mathbf{E}$:

$$G_{xx} = \frac{\partial E_x}{\partial x}, \quad G_{yy} = \frac{\partial E_y}{\partial y}, \quad G_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} + \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) \quad \text{– плоский вид;}$$

$$G_{zz} = \frac{\partial E_z}{\partial z}, \quad G_{rr} = \frac{\partial E_r}{\partial r}, \quad G_{zr} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{\partial E_r}{\partial z} \right) - \text{осесимметричный вид};$$

и основные компоненты G_1 и G_2 .

- Вектор электрического смещения $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$, где ε – аксиатор диэлектрической проницаемости.

Интегральные величины:

- Суммарный электрический заряд, заключенный в заданном объеме

$$q = \oint \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} ds,$$

где \mathbf{n} - единичный вектор нормали к поверхности.

- Суммарная электростатическая сила, действующая на тела, заключенные в заданном объеме

$$\mathbf{F} = \frac{1}{2} \oint (\mathbf{E}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{D}) + \mathbf{D}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) - \mathbf{n}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D})) ds.$$

- Суммарный момент электростатических сил, действующих на тела, заключенные в заданном объеме

$$\mathbf{T} = \frac{1}{2} \oint ((\mathbf{r} \times \mathbf{E})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{D}) + (\mathbf{r} \times \mathbf{D})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) - (\mathbf{r} \times \mathbf{n})(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D})) ds,$$

где \mathbf{r} - радиус-вектор точки интегрирования. В плоскопараллельном виде вектор момента имеет направление параллельно оси z , а в осесимметричном виде момент равен нулю. Относительно любой произвольной точки можно подсчитать момент с помощью слагаемого $\mathbf{F} \times \mathbf{r}_0$, где \mathbf{F} - это полная сила, а \mathbf{r}_0 - радиус-вектор точки.

- Энергия электрического поля

$$W = \frac{1}{2} \int (\mathbf{E} \cdot \mathbf{D}) dV.$$

В плоскопараллельной постановке интегральные характеристики вычисляются на единицу длины расчетной области в направлении оси z . Область интегрирования задается в плоскости модели замкнутым или разомкнутым контуром, состоящим из отрезков и дуг окружностей.

Вычисление емкости

В программном продукте *ELCUT* есть множество способов вычисления емкости проводника. Самым простым и популярным способом является измерение потенциала проводника созданным определенным зарядом. Для измерения емкости в программе достаточно установить граничные условия объекта на поверхности, выключить остальные функции созданной модели, и после расчета в любой плоскости объекта наведением на него курсора можно определить емкость. Также, после того как программа произведет расчеты можно вывести таблицу с результатами и проанализировать и узнать численное значение потенциала в любой точке исследуемого объекта. Искомая емкость может быть вычислена по формуле

$$C=q/U,$$

где q - электрический заряд проводника, а U - его потенциал.

Для измерения взаимной емкости проводников, достаточно поместить в один из них заряд и измерить другой, естественно остальные источники создающие поле должны быть отключены, и должны быть заданы граничные условия равного потенциала.

$$C_{12}=q_1/U_2.$$

Постановка задачи растекания токов

Программа *ELCUT* может вычислить и показать наглядно распределение потенциала и тока в системе проводников. Эти задачи описываются уравнением Пуассона относительно скалярного электрического потенциала U (пред-полагается, что вектор плотности тока лежит в плоскости модели). Уравнение Пуассона имеет вид:

для плоскопараллельных задач

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho_x} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho_y} \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0;$$

для осесимметричных задач

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{\rho_r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\rho_z} \frac{\partial U}{\partial z} \right) = 0;$$

где ρ_x , ρ_y или ρ_z , ρ_r – компоненты тензора удельного электрического сопротивления ρ - постоянные величины в пределах каждого блока модели.

Вектор плотности тока \mathbf{j} определяется уравнением: $\mathbf{j} = -\rho^{-1} \mathbf{grad} U$.

Источники поля в задачах растекания токов

В программе *ELCUT* возможно задать источники поля на ребрах и вершинах модели

Источник поля, установленный в верхней части модели, отвечает токоподводу в виде небольшого проводника, поперечной плоскости созданной модели. В данных случаях параметры источника описываются подводимым током. В данном варианте полное значение тока прямо пропорционально линейной плотности и имеет такую закономерность $I = 2r\pi\sigma$.

Указанный на ребре модели источник поля, соответствует поверхностному току в трехмерном виде. Описывается при помощи граничного условия Неймана и характеризуется поверхностной плотностью тока и для ребра.

Граничные условия в задачах растекания токов

Условие Дирихле задает наперед известное значение электрического потенциала U_0 на ребрах или в вершинах модели. Значение U_0 на ребре может быть задано в виде линейной функции от координат. Параметры задающей линейной функции могут варьироваться от ребра к ребру, но должны быть подобраны так, чтобы избежать разрывов функции U_0 в точках соприкосновения границ.

Примечание. Для правильности формулировки задачи нужно хотя бы в одной точке вычисляемой области задать условие Дирихле

Условие Неймана:

$j_n = j$ – внешняя граница,

$j_n^+ - j_n^- = j$ – внутренняя граница,

где j_n - нормальная компонента вектора плотности тока, индексы "+" и "-" означают "слева от границы" и "справа от границы" соответственно, j в правой части выражений - плотность стороннего тока. Если $j=0$, граничное условие называется однородным.

Для получения неоднородного условия со стороны внешней границы, реальную величину разделяют на две части.

Граничное условие одинакового по значению потенциала задает поверхность изолированного проводника, обладающего существенно большей проводимостью, чем окружающие его тела. Основным отличием данного условия от принципа Дирихле является заранее не известное значение заряда на описываемой поверхности.

Примечание. Если значение потенциала одинаковое с граничным условием Дирихле, то соприкосновение поверхностей не допускается. При возникновении такого случая, система описывается с помощью условия Дирихле.

Вычисляемые физические величины в задачах растекания токов

В ходе исследования задачи растекания токов программный продукт *ELCUT* может оперировать такими локальными и интегральными физическими величинами.

Локальные величины:

- Скалярный электрический потенциал U .
- Вектор напряженности электрического поля $\mathbf{E} = -\mathbf{grad}U$:

$$E_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial U}{\partial y} \quad \text{- в плоском виде;}$$

$$E_r = -\frac{\partial U}{\partial r}, \quad E_r = -\frac{\partial U}{\partial r} \quad \text{- в осесимметричном виде.}$$

- Вектор плотности тока $\mathbf{j} = \rho^{-1}\mathbf{E}$, где ρ - аксиатор удельного сопротивления.

Интегральные величины:

- Значение ток через заданную поверхность

$$I = \int \mathbf{j} \cdot \mathbf{n} ds,$$

где \mathbf{n} - единичный вектор нормали к поверхности.

- Значение мощность выделенной теплоты в заданном объеме

$$W = \int \mathbf{E} \cdot \mathbf{j} dV.$$

В плоскопараллельной системе все интегральные величины рассчитываются на единицу длины расчетной области по направлению оси z [13].

3.5 Решение задач теплопередачи

Постановка задачи теплопереноса

Программный продукт *ELCUT* дает возможность решения задач теплопереноса как в линейных, так и в нелинейных постановках. При вычислениях программа использует один из видов уравнения теплопроводности:

- в линейной постановке:

для плоскопараллельных задач

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q_v;$$

для осесимметричных задач

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q_v;$$

- в нелинейной постановке:

для плоскопараллельных задач

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q_v(T);$$

для осесимметричных задач

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q_v(T);$$

где T – температура; λ_x , λ_y или λ_r , λ_z – компоненты тензора теплопроводности в линейной постановке; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности как функция температуры, задаваемая таблично, в нелинейной постановке (анизотропия не поддерживается); q_v – удельная мощность тепловыделения: в линейной постановке – константа, в нелинейной постановке – задаваемая таблично функция температуры.

Источники поля в задачах температурного поля

В программе *ELCUT* возможно устанавливать источники тепла в блоках, ребрах и вершинах модели.

Нагревать, в виде струны является источником тепла в *ELCUT*, задается на вершине разработанной модели и проходит через вершину перпендикулярно плоскости модели, и задается мощностью тепловыделения на единицу длины. В случае, когда точечный источник осесимметричный, нагреватель принимает вид окружности и расположен на оси. Для того, чтобы обхватить два случая одновременно, точечный источник всегда описывается полной тепловой мощностью.

Разработанная модель будет соответствовать трехмерному виду, если источник тепла соответствует тепловыделяющей поверхности, и характеризуется поверхностной плотностью тепловыделения и описывается при помощи граничного условия второго рода для ребра.

Вычисляемые физические величины в задачах температурного поля

Программа *ELCUT* оперируется нижеприведенными локальными и интегральными физическими величинами для анализа выходных параметров температурного поля.

Локальные величины:

- Температура T .
- Вектор плотности теплового потока $F = -\lambda \text{grad} T$:

$$F_x = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}, \quad F_y = -\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{– в плоском варианте;}$$

$$F_z = -\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}, \quad F_r = -\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r} \quad \text{– в осесимметричном варианте.}$$

Интегральные величины:

- Поток тепла через заданную поверхность

$$\Phi = \int_s F n ds,$$

где n - единичный вектор нормали к поверхности. Он описывается контуром в двумерной плоскости разработанной модели, которая состоит из дуг и отрезков окружностей.

4 ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

4.1 Пакет *ELCUT*

Программный продукт *ELCUT* представляет собой интегрированную диалоговую систему программ, позволяющую решать методом конечных элементов плоские и осесимметричные полевые задачи [14]:

- электростатики;
- линейной и нелинейной магнитостатики;
- протекания электрического тока;
- вихревых токов в синусоидальном магнитном поле;
- линейной и нелинейной теплопроводности;
- напряженно-деформированного состояния механических конструкций;
- совмещенные задачи.

Пакет позволяет решать связанные задачи, т.е. использовать результаты расчета одного типа задач в задачах другого типа. Так, при тепловом расчете можно учитывать джоулевы потери, рассчитанные в задаче протекания токов; поле температур может быть учтено в задаче теории упругости; результаты расчета электромагнитных сил могут быть учтены при расчетах механических деформаций и напряжений.

Интерфейс пакета после его установки и запуска приведен на рис.4.1, из которого видно, что он совместим со средой *Windows* (стандартная панель инструментов и основных модулей) и имеет типовую структуру выпадающих меню.

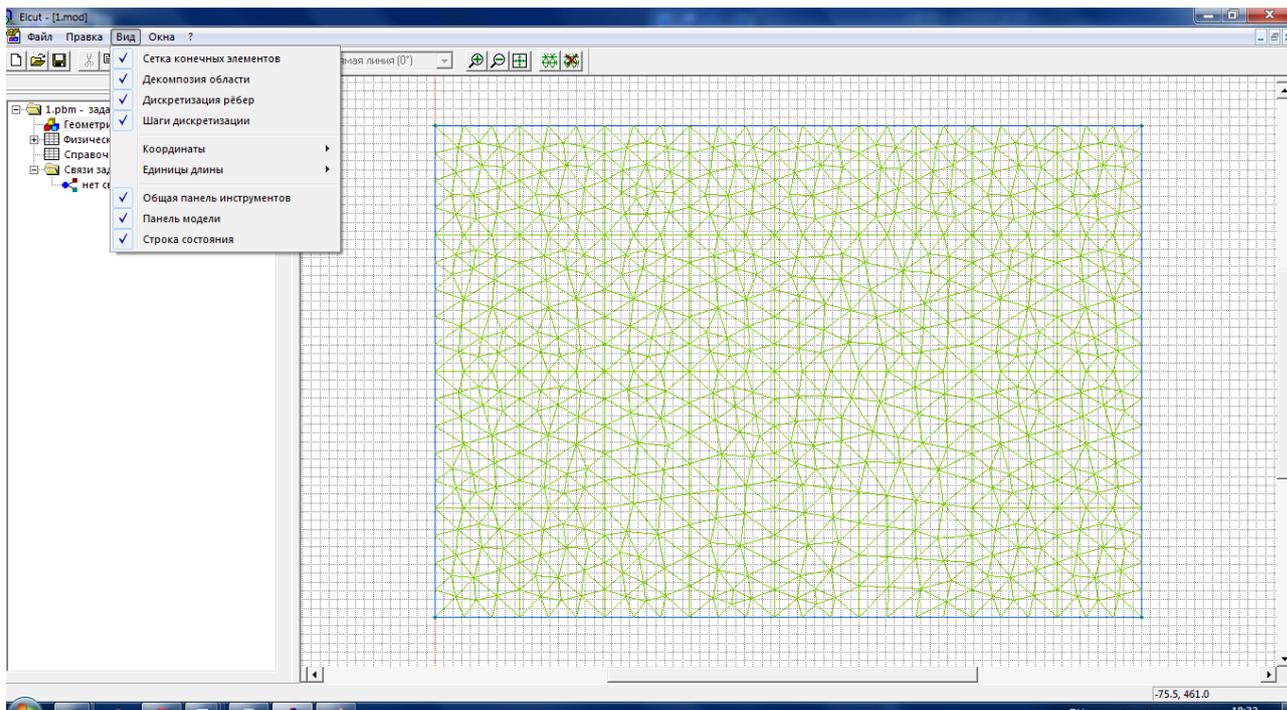


Рисунок 4.1 – Интерфейс пакета *ELCUT* после установки и запуска

Для создания описания новой задачи необходимо выбрать позицию *New...* из пункта *Files* (*Alt+F, N*) Главного Меню, а затем ввести имя новой задачи. В момент создания новое описание задачи наследует все текущие установки от предшествующей задачи. Для изменения этих установок необходимо выбрать позицию *Problem...* из пункта *Edit* Главного Меню (*Alt+E, P*). На экране появится окно диалога, содержащее параметры описания задачи. Выбор типа задачи осуществляется в раскрывающемся списке альтернатив Тип задачи (*Problem Type*) со стрелкой вниз:

- 1) электростатика (*Electrostatics*);
- 2) магнитостатика (*Magnetostatics*);
- 3) протекание тока (*Current Flow*);
- 4) вихревые токи (*Harmonic magnetics*);
- 5) теплопередача (*Heat Transfer*);
- 6) напряжения и деформации (*Stress Analysis*).

Окончательный выбор завершается нажатием кнопки Готово (*OK*). Для выхода из окна без закрепления выбора надо нажать кнопку Отменить (*Cancel*) либо клавишу *Esc* на клавиатуре, либо правую кнопку мыши.

Кнопка Выбрать... (*Browse...*) позволяет осуществить просмотр каталогов при задании имен файлов геометрии модели и физических свойств.

Кнопка Редактировать... (*Open...*) позволяет перейти от выбора типа задачи к редактированию геометрии модели или файла физических параметров, в зависимости от того, поле какого файла является текущим.

Задачи теории упругости и теплопередачи могут использовать результаты задач другого типа. Чтобы установить связь с задачей, которая порождает импортируемые данные, необходимо нажать кнопку Связь задач... (*Imported Data...*). При этом появляется диалоговое окно, в котором необходимо установить тип данных, файл задачи и нажать кнопку Добавить (*Add*).

Создание модели состоит из трех этапов: 1) описания геометрии расчетной области; 2) дискретизации области; 3) задания свойств сред, источников поля и граничных условий с помощью меток.

Замечание: прежде, чем переходить к описанию геометрии области, необходимо не забыть установить нужные единицы измерения длины решаемой задачи (подпункт *Length Units* пункта *Options* Главного Меню программы).

Для расчета поля необходимо описать физические свойства материалов, задать источники и краевые условия. Значения этих параметров находятся в файлах описания свойств, а соответствие записей этого файла подобластям и границам расчетной области устанавливается с помощью меток, присваиваемых объектам на этапе описания модели в редакторе геометрии.

Для задач электростатики данными метки являются две составляющие диэлектрической проницаемости (они могут быть различными для анизотропного материала); плотность объемного заряда (если она

необходима) для блока; одно из возможных граничных условий и плотность поверхностного заряда (для стороны); известный электрический потенциал и линейный электрический заряд (для вершины).

Для задач теплопередачи и теории упругости, соответственно, вводятся необходимые для них физические параметры, указанные в окнах диалога для этих задач.

Для анализа результатов расчета программа предоставляет следующие возможности:

- 1) изображение картины поля на экране;
- 2) получение характеристик поля в отдельных выбранных точках;
- 3) построение графиков характеристик поля вдоль указанного контура;
- 4) вычисление интегральных характеристик модели;
- 5) вывод картины поля во внешний файл;
- 6) вывод характеристик поля в выбранных точках и вдоль выбранных контуров в текстовый файл.

В задачах электростатики рассматриваются:

- 1) электрический потенциал U ;
- 2) вектор электрической напряженности $E = -\text{grad } U$;
- 3) вектор электрического смещения $D = \varepsilon \times E$;
- 4) диэлектрическая проницаемость ε ;
- 5) плотность энергии электрического поля $w = 0,5 \times E \times D$.

Способы изображения картины поля

– цветной картой значений выбранной скалярной характеристики поля (выводится и шкала-легенда);

– линиями поля : в электростатике – это линии равного потенциала, в магнитостатике – линии потока (или силовые линии);

– изображение поля векторов (индукции, напряженности) в виде направленных отрезков с точкой в начале вектора.

Все перечисленные способы изображения можно комбинировать в произвольном наборе.

Изменить установленный по умолчанию способ изображения картины поля и добавить другие можно в позиции Field View... меню постпроцессора, после выбора которой появляется окно диалога с полями для отметок выбора способа изображения. В каждом поле имеются кнопки альтернатив для выбора величины, характеризующей поле.

Программа *ELCUT* имеет некоторые ограничения:

- отсутствует возможность решения задач с периодическими и антипериодическими граничными условиями;
- отсутствует возможность планирования последовательного решения нескольких задач в автоматическом режиме;
- отсутствует возможность ввода данных в текстовом формате.

Некоторые из названных ограничений сняты в новых версиях программы.

4.2 Объект исследования

ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF – кабель с медными жилами, термическим барьером по токопроводящим жилам, изоляцией из этиленпропиленовой резины, в оболочке из полимерных композиций, не содержащих галогенов (рис.4.2).

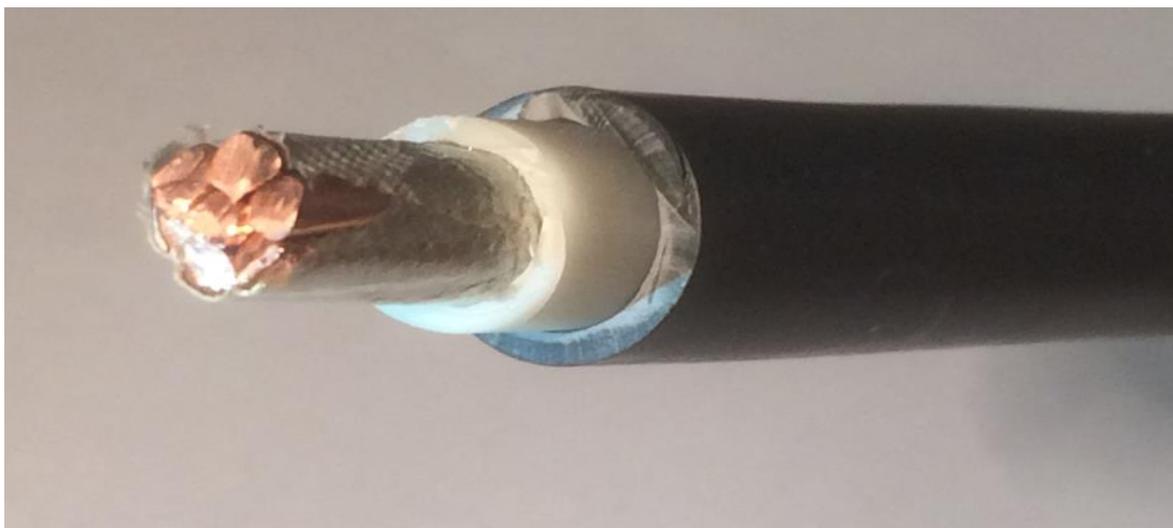


Рисунок 4.2 – ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1

Для создания математической модели кабельно-проводниковой продукции был задействован программный продукт *ELCUT*.

Исходными данными являлись:

- геометрические размеры кабельной продукции;
- электрические параметры;
- тепловые параметры.

Для создания математической модели, был разработан алгоритм для логической последовательности выполнения операций. Разработанный алгоритм состоит из входных параметров, постановки задачи для каждой операций, непосредственное моделирование в программной среде и анализ выводов. Наглядно алгоритм работы проиллюстрирован на рис.4.3.

Входные параметры – это и есть наши исходные данные. Для объекта моделирования задаются геометрические, электрические и тепловые параметры. Далее происходит разделение поставленных задач на: электростатического и теплового характера. После проделанной операций задаются граничные параметры. Граничные условия нашей модельной задачи будут таковы:

- на поверхности проводника 1 – потенциал $U_1 = 1000$ В;
- на поверхностях остальных частей проводника – постоянный, но заранее неизвестный потенциал (граничное условие «плавающего проводника»);
- на условной внешней границе расчетной области – нулевой потенциал. ($U_0 = 0$).
- температура на поверхности жилы составит 90° .

Моделирование объекта завершено, программа в автоматическом режиме считает остальные неизвестные параметры и выдает результаты согласно поставленным задач.

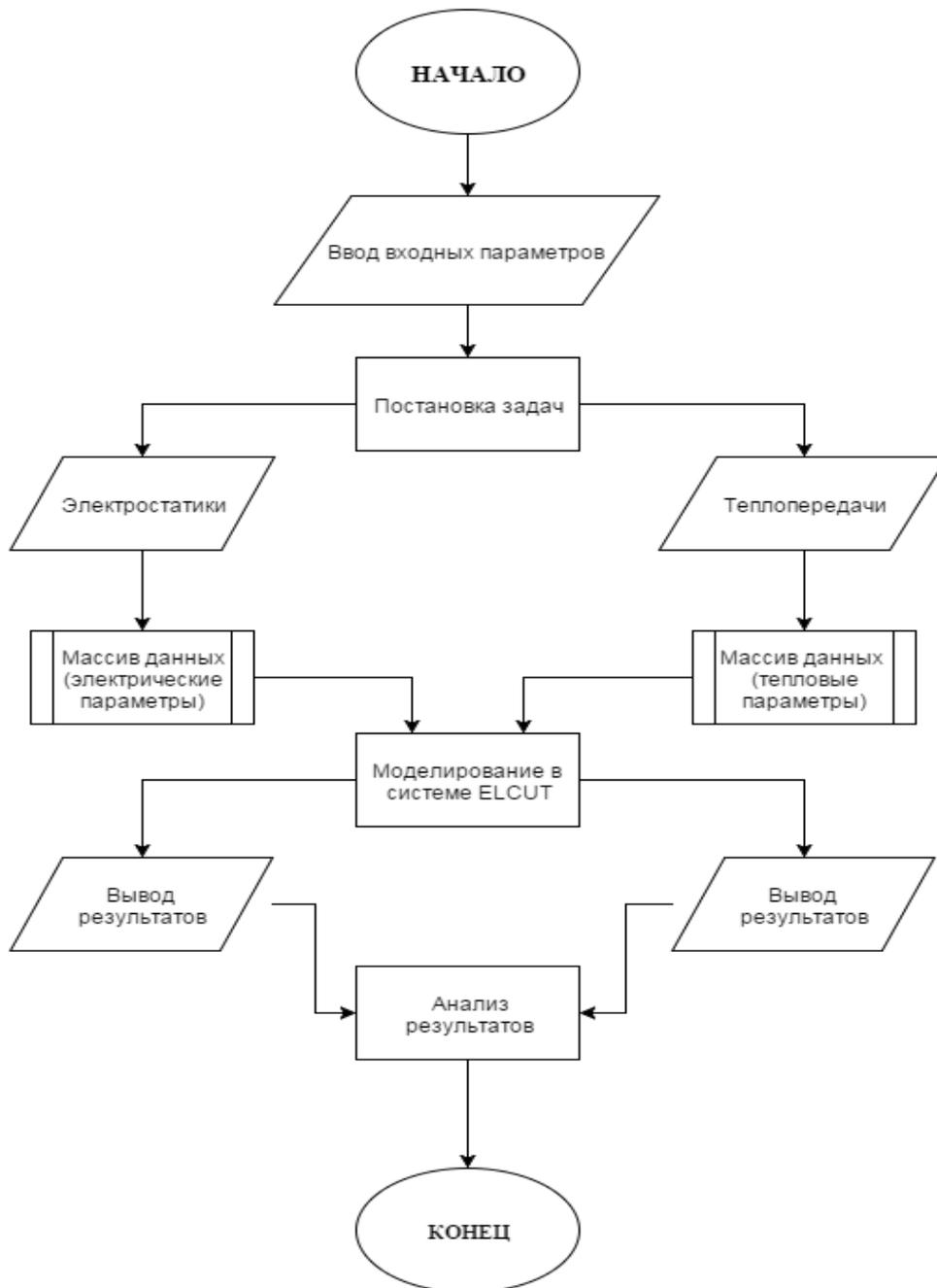


Рисунок 4.3 – Алгоритм моделирования кабельно-проводниковой продукции

4.3 Математическая модель в среде *ELCUT*

Создание математической модели на программном продукте *ELCUT* начинается с проектирования геометрических параметров, представленных на рис.4.4, и ввода данных по конкретной кабельной продукции. Ниже представлено продольное сечение кабеля в месте разделки наружной

оболочки. Линия синего цвета представляет собой след плоскости разделки. Она прерывает наружную оболочку кабеля и экран, нанесенный поверх изоляции токопроводящей жилы. Жила представлена красным цветом.

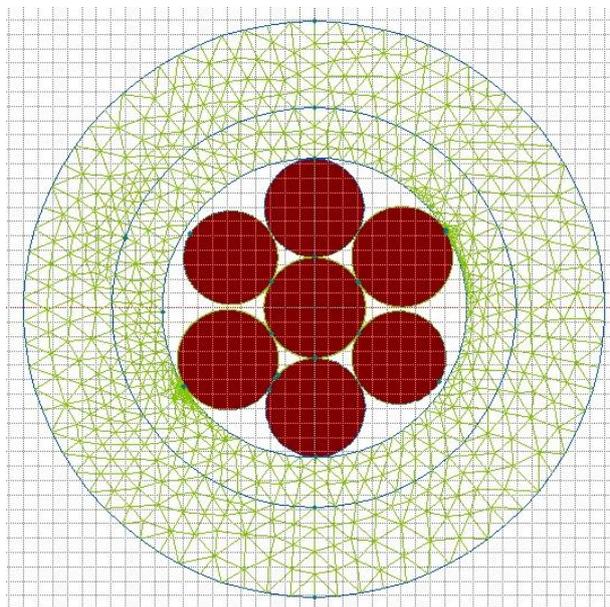


Рисунок 4.4 – Конструкция исследуемого кабеля

Картина электрического поля при потенциале внешнего проводника $U = 1$ кВ частоты 50 Гц представлена на рис.4.5, причем цветной заливкой показано распределение электрического потенциала.

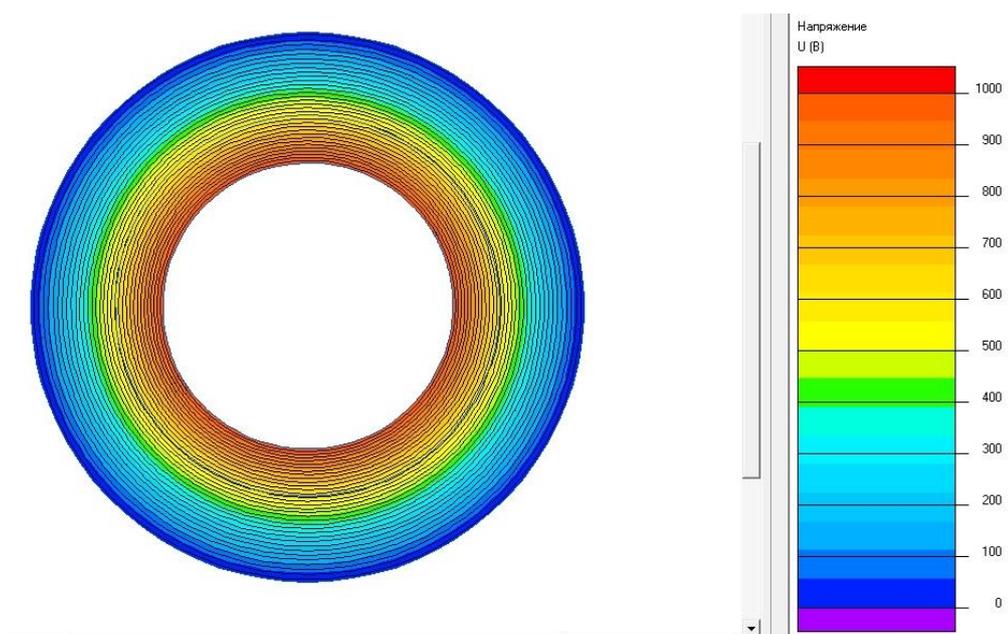


Рисунок 4.5 – Картина электрического поля

На рис.4.6 проиллюстрирован график электрического поля. График показывает зависимость напряженности от толщины изоляции. По графику видно, что при толщине 0,7 мм происходит скачек напряженности. Это объясняется наличием перехода изоляции.

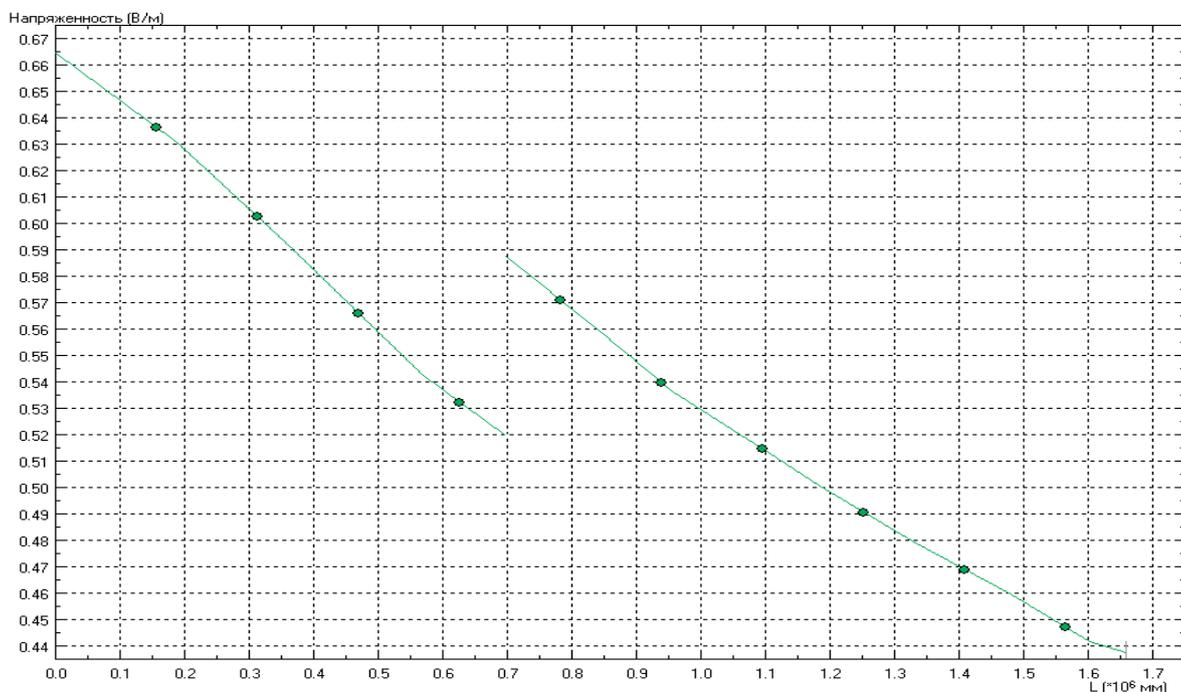


Рисунок 4.6 – Электрическое поле E (В/м)

В таблице 4.1 приведены результаты расчетов электрического поля при изменении толщины изоляции.

Таблица 4.1 – Расчет электрического поля

L (мм) * 10^{-6}	x (мм)	y (мм)	U (В)	E (В/м)
1	2	3	4	5
0.00000	148112.	2074570.	1000.00	0.664721
82982.2	147340.	2157550.	945.656	0.649673
165964.	146569.	2240530.	891.340	0.634597
248946.	145797.	2323510.	840.058	0.616902
331929.	145026.	2406490.	789.858	0.598287
414911.	144255.	2489470.	741.273	0.578653
497893.	143483.	2572450.	694.977	0.559046
580875.	142712.	2655420.	648.892	0.540299
663857.	141940.	2738400.	603.850	0.525744
746839.	141169.	2821380.	558.210	0.507000

1	2	3	4	5
829822.	140397.	2904360.	512.150	0.561773
912804.	139626.	2987340.	465.854	0.545118
995786.	138854.	3070320.	421.174	0.530164
1078770.	138083.	3153300.	378.321	0.517175
1161750.	137312.	3236270.	336.049	0.504149
1244730.	136540.	3319250.	294.705	0.491691
1327340.	135772.	3401860.	253.773	0.479496
1410700.	134997.	3485210.	215.277	0.468521
1493680.	134226.	3568190.	176.923	0.457428
1576660.	133454.	3651170.	138.418	0.445492
1659640.	132683.	3734150.	102.524	0.437633

Далее рассматривалось тепловое поле. Распределение температуры по изоляции показано на рис.4.7. Были произведены аналогичные расчеты теплового поля.

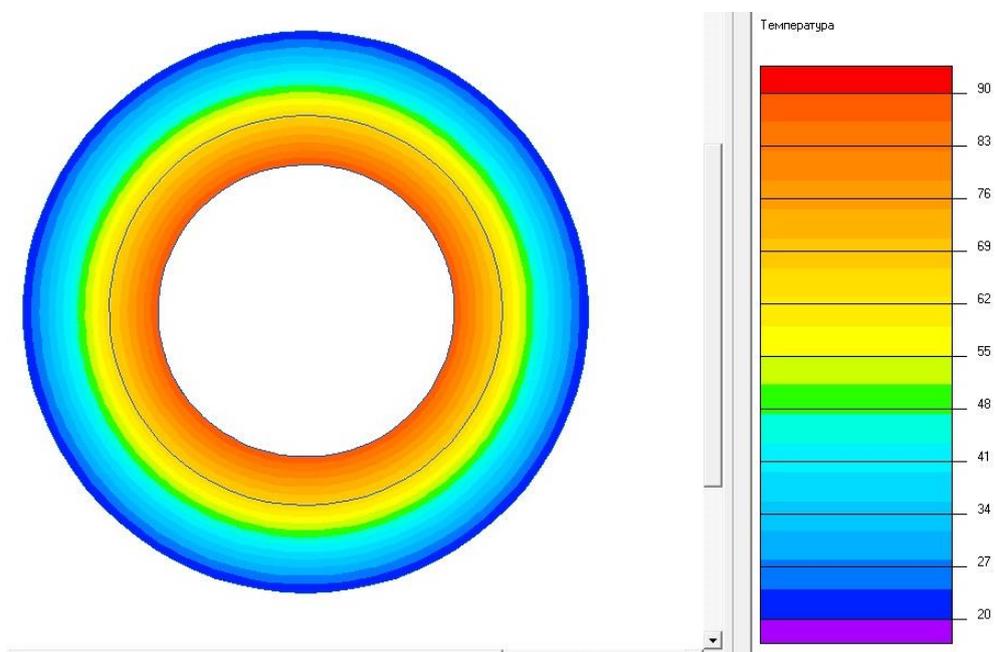


Рисунок 4.7 – Распределение температуры

На рис.4.7 видно, что запас температуры изоляции составляет приблизительно 10 °С для данной конструкции кабельной линии. Это

говорит о возможности снижения толщины изоляции кабеля, приводящей к улучшению технологичности изготовления изоляции, улучшению массо-габаритных показателей и уменьшению финансовой компоненты, а также позволяет повысить энерговооруженность цеха, что является практической ценностью представленной работы. Расчеты допустимы при температуре окружающей среды, равной (20 ± 2) °С. Естественно было бы предположить, что при понижении температуры окружающей среды появляется возможность увеличить номинальную токовую нагрузку кабельных линий.

4.3.1 Расчет допустимой токовой нагрузки

В качестве материала токопроводящей жилы (ТПЖ) используется электротехническая медь. Свойства меди при температуре 20°С приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Свойства меди при температуре 20°С

Плотность, г/см ³	Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^6$, Ом·м	Температурный коэффициент сопротивления, °С ⁻¹
8,89	0,01724	0,0039

Токопроводящая жила будет скручиваться из круглой медной электротехнической проволоки марки ММ (ГОСТ 2112-79).

Для изготовления проволоки применяется медная катанка по ГОСТ 13842-74. Поверхность проволоки должна быть гладкой и чистой. Допускаются незначительные поверхностные дефекты, обусловленные технологией производства, если при зачистке их проволока не выходит за пределы двойных допусков по диаметру при сохранении механических и электрических характеристик. Овальность сечения не должна выводить размеры проволоки за предельные отклонения по диаметру.

4.3.2 Расчет сопротивления ТПЖ

Сопротивление жилы переменному току определяется с учетом коэффициента поверхностного эффекта при максимальной допустимой температуре по формуле:

$$R_t = R_{ж0} \cdot (1 + \alpha(t_{max} - t_{cp})) \cdot K_y$$

Сопротивление постоянному току:

$$R_{ж0} = \rho \cdot \frac{1}{S_n} = 1.72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Определим средний коэффициент укрутки:

$$K_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14^2}{m^2} = 1 + \frac{3,14^2}{2 \cdot 20^2} = 1.012;$$

$m = 20$ – кратность скрутки;

Тогда R_t при $t_{max} = 90^\circ\text{C}$ будет равно:

$$R_t = 0,34 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0.0039 \cdot (90 - 20)) \cdot 1.012 = 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

R_t при $t_{max} = 80^\circ\text{C}$ будет равно:

$$R_t = 0,34 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0.0039 \cdot (80 - 20)) \cdot 1.012 = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Тогда для кабеля переменного тока:

$$I_{max} = \sqrt{\frac{t_{max} - t_{cp} - P_{uz} (0,5 \cdot \sum S)}{R_t}};$$

Так как $P_{uz} \rightarrow 0$ мы пренебрегаем выражением $P_{uz} (0,5 \cdot \sum S)$.

Определим допустимый ток нагрузки при максимальной рабочей температуре жилы $t_{max} = 90^\circ\text{C}$ и температуре воздуха $t_o = 20^\circ\text{C}$

$$I_{1max} = \sqrt{\frac{90 - 20}{0,44 \cdot 10^{-3}}} = 398,8 \text{ А}$$

Определим допустимый ток нагрузки при рабочей температуре жилы $t_{max} = 80^\circ\text{C}$ и температуре воздуха $t_o = 20^\circ\text{C}$

$$I_{2max} = \sqrt{\frac{80 - 20}{0,43 \cdot 10^{-3}}} = 377,9 \text{ А}$$

Разница между допустимыми токами при разных температурах составляет 20,9 А.

По результатам математического моделирования запас температуры в изоляции составил 10 °С. Воспользовавшись формулой теплопроводности, была найдена разница между выделением теплоты при разных температурах кабеля. Ниже приведены расчеты.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

c – удельная теплоёмкость вещества, в данном случае этиленпропиленовой резины (1800дж/кг·°С).

m – масса вещества, 1 кг.

При нагреве изоляции до 90°С выделение теплоты соответствует:

$$Q_1 = 1800 \cdot 1 \cdot 90 = 162 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

При нагреве изоляции до 80°С выделение теплоты соответствует:

$$Q_2 = 1800 \cdot 1 \cdot 80 = 144 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

После нахождения выделенной теплоты, воспользуемся законом Джоуля-Ленца для определения тока при разных температурах:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Так как значения R и t постоянны, выделенное количество теплоты прямо пропорционально квадрату тока $Q \sim I^2$.

$$Q_1 = 162 \cdot 10^3 \text{ Дж} \Rightarrow I_1 = 402,5 \text{ А}$$

$$Q_2 = 144 \cdot 10^3 \text{ Дж} \Rightarrow I_2 = 379,5 \text{ А}$$

$$I_1 - I_2 = 23 \text{ А}$$

Из вышеуказанных расчетов следует вывод, что изменение в 10 °С дает запас в токе примерно 23 А, что позволяет увеличить энергетическую эффективность системы электропитания примерно на 10 кВт (2%). С учетом большой протяженности кабельных линий это позволяет получить существенный эффект.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа 5ГМ4Г	ФИО Ожанов Максат Алимович
-----------------	-------------------------------

Институт Уровень образования	ЭНИН магистр	Кафедра Направление/специальность	ЭКМ 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 ресурсов научного исследования (НИ): - программное обеспечение ELCUT; - материалы для изготовления изоляции; - оборудование цеха.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	- Календарный план; - Анализ конкурентных технических решений; - Технология QuaD; - Расчеты всех видов затрат; - Определение экономической эффективности; - Финансовые показатели; - Анализ чувствительности.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Календарный план проекта 4. Инвестиционный план. График движения денежных средств 5. Основные показатели эффективности ИП 6. Факторный анализ рисков проекта	
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31 марта 2016
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Ожанов Максат Алимович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основной задачей технико-экономического расчёта является определение величины экономического эффекта от использования в общественном производстве основных и сопутствующих результатов, получаемых при решении поставленной задачи в данной магистерской работе.

Цель работы – исследование оптимизации системы электропитания путем создания математической модели кабельно-проводниковой продукции на основе программного продукта *ELCUT*. Работа выполняется по заданию ООО «Томский кабельный завод». Исходя из поставленной цели исследования, выделен ряд актуальных задач:

- проанализировать исходные данные;
- литературная и патентная проработка вопроса;
- предложить методику проведения исследований;
- рассчитать электрические нагрузки по цеху;
- провести сравнительный анализ кабелей;
- провести натурные испытания кабельно-проводниковой продукции;
- сравнение с действующими нормативами
- моделирование в среде *ELCUT*;
- предоставить рекомендации по оптимизации системы питания.

Научная новизна работы: создание математической модели системы электропитания цеха, рассматривающий особенности комплексной нагрузки, учитывающей режимы работы различных типов электродвигателей.

Практическая ценность:

а) Запас температуры изоляции составляет 10°C , что говорит о возможности снижения толщины изоляции, что позволит улучшить технологичность и массо-габаритные показатели изоляции и уменьшить финансовую компоненту;

б) Возможно повышение нагрузочной способности (энергетической эффективности) оборудования цеха приблизительно на 11%.

5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для реализации проекта необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Температура жилы при работе в номинальном режиме	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Температура жилы при перегрузке	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
3. Температура жилы при коротком замыкании	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Температурный диапазон эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
6. Гибкость	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
7. Уровни прокладки	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
8. Радиусы изгибов	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
9. Водный триинг	0,05	5	4	2	0,25	0,2	0,1
10. Применение во взрывоопасных зонах	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
11. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
12. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
13. Цена	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
14. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Итого	1				4,55	4	3,65

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

5.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений, описанных в разделе 6.1.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;

- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 5.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Температура жилы при работе в номинальном режиме	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Температура жилы при перегрузке	0,05	70	100	0,7	0,035
3. Температура жилы при коротком замыкании	0,1	80	100	0,8	0,08
4. Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева	0,05	60	100	0,6	0,03
5. Температурный диапазон эксплуатации	0,1	85	100	0,85	0,085

1	2	3	4	5	6
6. Гибкость	0,1	80	100	0,8	0,08
7. Уровни прокладки	0,05	60	100	0,6	0,03
8. Радиусы изгибов	0,05	65	100	0,65	0,0325
9. Водный триинг	0,05	50	100	0,5	0,025
10. Применение во взрывоопасных зонах	0,1	70	100	0,7	0,07
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
11. Конкурентоспособность продукта	0,05	80	100	0,8	0,04
12. Уровень проникновения на рынок	0,05	70	100	0,7	0,035
13. Цена	0,1	90	100	0,9	0,09
14. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	80	100	0,8	0,04
Итого	1			10,3	0,7625

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения. В данной работе средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки получилось 76,25, что говорит о перспективности выше среднего.

5.3 Организация и планирование проекта

Для реализации проекта необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На начальном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный (календарный) график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование календарного графика. Для его построения и расчета остальных финансовых показателей был использован программный продукт *Project Expert*.

Аналитическая система *Project Expert* — программа позволяющая «прожить» планируемые инвестиционные решения без потери финансовых средств, предоставить необходимую финансовую отчетность потенциальным инвесторам и кредиторам, обосновать для них эффективность участия в проекте.

Незаменим для создания и выбора оптимального плана развития бизнеса, проработки финансовой части бизнес-плана, оценки инвестиционных проектов.

Позволяет моделировать деятельность различных отраслей и масштабов – от небольших венчурных компаний до холдинговых структур. Программа широко используется для финансового моделирования и

разработки бизнес-планов производства и оказания услуг в банковском бизнесе, телекоме, строительстве, нефтедобыче и нефтепереработке, транспорте, химии, перерабатывающей и лёгкой промышленности, машиностроении, аэрокосмической отрасли, энергетике.

Возможности *Project Expert*:

- ✓ построение финансовой модели проекта, компании, с учетом экономического и получением прогнозных финансовых отчетов;
- ✓ определение на ее основе объемов капитальных вложений и оборотного капитала, необходимых для финансирования проекта;
- ✓ разработка стратегии финансирования;
- ✓ проектный анализ – оценка инвестиционного проекта, включая количественную оценку проектных рисков, динамики стоимости бизнеса для различных моментов;
- ✓ создание бизнес плана, инвестиционного меморандума, других отчетов: задание определенной структуры, подготовка текстовой части, включение в нее необходимой прогнозной финансовой отчетности, графиков и диаграмм;
- ✓ внесение корректировок в исходные данные инвестиционного проекта, оценка его эффективности в процессе и по итогам реализации.

5.3.1 Этапы проведения работы

1 Построение модели

Процесс построения модели наиболее трудоемкий и требует значительной подготовительной работы по сбору и анализу исходных данных.

2 Определение потребности в финансировании

Для определения потребности в финансировании следует произвести предварительный расчет проекта. В результате предварительного расчета определяется эффективность проекта без учета стоимости капитала, а также определяется объем денежных средств, необходимый и достаточный для

покрытия дефицита капитала в каждый расчетный период времени с шагом один месяц.

3 Разработка стратегии финансирования предприятия

После определения потребности в финансировании разрабатывается план финансирования. В программе предусмотрены основные способы финансирования: посредством привлечения акционерного капитала; посредством привлечения заемных денежных средств; заключение лизинговых сделок. В процессе разработки стратегии финансирования проекта имеется возможность промоделировать объем и периодичность выплачиваемых дивидендов, а также стратегию использования свободных денежных средств.

4 Анализ эффективности инвестиционного проекта

В процессе расчетов *Project Expert* автоматически генерирует стандартные отчетные бухгалтерские документы: отчет о прибылях и убытках; бухгалтерский баланс; отчет о движении денежных средств; отчет об использовании прибыли. На основе данных отчетных бухгалтерских документов осуществляется расчет основных показателей эффективности и финансовых коэффициентов.

5 Комплексная оценка проекта

Применяются следующие показатели эффективности: *DPB* – дисконтированный период окупаемости; *PI* – индекс прибыльности; *NPV* – чистый дисконтированный доход (ЧДД); *IRR* – внутренняя норма рентабельности; *PB* – период окупаемости; *ARR* – средняя норма рентабельности; *MIRR* – модифицированная внутренняя норма рентабельности; *D* – длительность, до момента когда проект принесет прибыль. Определяются критические значения наиболее важных факторов, влияющих на финансовый результат проекта. Проводится анализ чувствительности проекта, анализ точки безубыточности.

В данной работе рассматривался проект производства кабельной продукции в ООО «Томсккабель». Основными данными для работы

являются: стоимость оборудования и материала, которые пойдут на массовый выпуск. Список и стоимость комплектующих для изготовления кабеля марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Состав и стоимость комплектующих для изготовления кабеля марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF

Наименование	Кол.	Примечание
Кран с ПВ-40% (МТКФ 111-6 У1)	2	<u>300000 x 2 = 600000 рублей</u> http://www.vmtehnix.ru/catalog/mostovoy-odnobalochnyy-kran/
Лебедка технологическая (5АНК)	3	<u>56000 x 3 = 168000 рублей</u> http://www.eosn.ru/oborud/pto/lebedki/elektricheskie
DRUM TWISTER 3500 (крутильная машина)	1	<u>11000000 рублей</u> http://www.expometals.net
Лебедка стационарная (6АК)	3	<u>78000 x 3 = 234000 рублей</u> http://www.eosn.ru/oborud/pto/lebedki/elektricheskie
Вентилятор вытяжной (5А132М6)	2	<u>10000 x 2 = 20000 рублей</u> http://tiu.ru/Ventilyatory-promyshlennyye?no_redirect=1
Экструдер (EPL 22)	2	<u>1500000 x 2 = 3000000 рублей</u> http://www.polgroup.ru/kabizol.html
Сушильный шкаф	1	<u>30000 рублей</u> http://www.termoprom.ru/exsiccators.html
Экструдер (EPL 50)	2	<u>2000000 x 2 = 4000000 рублей</u> http://www.polgroup.ru/kabizol.html
Линия сшивки (EEL 60)	2	<u>25000000 x 2 = 50000000 рублей</u> http://www.maillefer.net/en/technology/mv-hv-ehv-medium-voltage-cable-sheathing/
Дегазационная печь (DEGASING OVEN)	3	<u>100000 x 2 = 200000 рублей</u> http://glazov.all.biz/
Испытательная станция	1	<u>2300000 рублей</u> http://www.avem.ru/production/stend/diag_kab_prod/viu35K
Итого стоимость комплектующих		<u>71552000 рублей</u>

Любой инвестиционный проект, бизнес план предприятия неосуществимы без решения проблемы финансирования. В программе *Project Expert* заложена возможность моделирования и выбора схемы финансирования. Потребность в капитале определяется на основании данных, отображаемых в Отчете о движении денежных средств (*Cash-Flow*).

На самом деле, *Cash-Flow* является основным документом, предназначенным для определения потребности в капитале, выработки стратегии финансирования предприятия, а также для оценки эффективности использования капитала.

Значения сальдо счета предприятия представлены в последней строке таблицы *Cash-Flow* и демонстрируют прогнозируемое состояние расчетного счета предприятия, реализующего проект в различные периоды времени. Отрицательное значение сальдо расчетного счета означает, что ваше предприятие не располагает необходимой суммой капитала.

Важно сформировать капитал таким образом, чтобы ни в один период времени значение сальдо расчетного счета не имело отрицательного значения. При этом необходимо придерживаться основного принципа – капитал должен быть привлечен только в тот период времени, когда это действительно необходимо.

Важно учесть и реальные условия привлечения капитала. Аналитическая система *Project Expert* автоматически определяет, какой объем денежных средств будет достаточен для покрытия дефицита капитала в каждый расчетный отрезок времени.

Эффективность инвестиций проекта, движение денежного потока вместе с графиком показаны на рис.5.2,5.3,5.4.

Эффективность инвестиций		
Длительность проекта: 72 мес.		
Период расчета: 72 мес.		
Справка		
Показатель	Рубли	Доллар
▶ Ставка дисконтирования, %	11,00	0,00
Период окупаемости - РВ, мес.	27	30
Дисконтированный период окупаемости - DPВ, мес.	30	30
Средняя норма рентабельности - ARR, %	39,47	34,97
Чистый приведенный доход - NPV	73 947 387	1 405 944
Индекс прибыльности - PI	1,91	2,10
Внутренняя норма рентабельности - IRR, %	65,17	54,01
Модифицированная внутренняя норма рентабельности - MIRR, %	23,45	13,15

Рисунок 5.2 – Эффективность инвестиций

Кэш-фло (руб.)						
	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Поступления от продаж		145 300 000,00	150 800 000,00	156 600 000,00	149 000 000,00	146 000 000,00
Затраты на материалы и комплектующие		48 552 500,00	83 708 055,56	86 587 777,78	82 195 000,00	80 176 666,67
Суммарные прямые издержки		48 552 500,00	83 708 055,56	86 587 777,78	82 195 000,00	80 176 666,67
Общие издержки		3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00
Затраты на персонал		13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00
Суммарные постоянные издержки		17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00
Налоги	102 781,25	4 590 660,52	17 982 810,21	19 083 042,12	17 986 749,09	17 758 643,30
Кэш-фло от операционной деятельности	-102 781,25	74 936 839,48	31 889 134,23	33 709 180,10	31 598 250,91	30 844 690,03
▶ Затраты на приобретение активов	81 482 573,73	17 426,27				
Кэш-фло от инвестиционной деятельности	-81 482 573,73	-17 426,27				
Выплаты дивидендов			11 881 530,98	19 589 034,15	18 000 010,84	
Кэш-фло от финансовой деятельности			-11 881 530,98	-19 589 034,15	-18 000 010,84	
Баланс наличности на начало периода	32 500 000,00	-49 085 354,98	25 834 058,23	45 841 661,48	59 961 807,43	73 560 047,50
Баланс наличности на конец периода	-49 085 354,98	25 834 058,23	45 841 661,48	59 961 807,43	73 560 047,50	104 404 737,53

Рисунок 5.3 – Кэш-фло

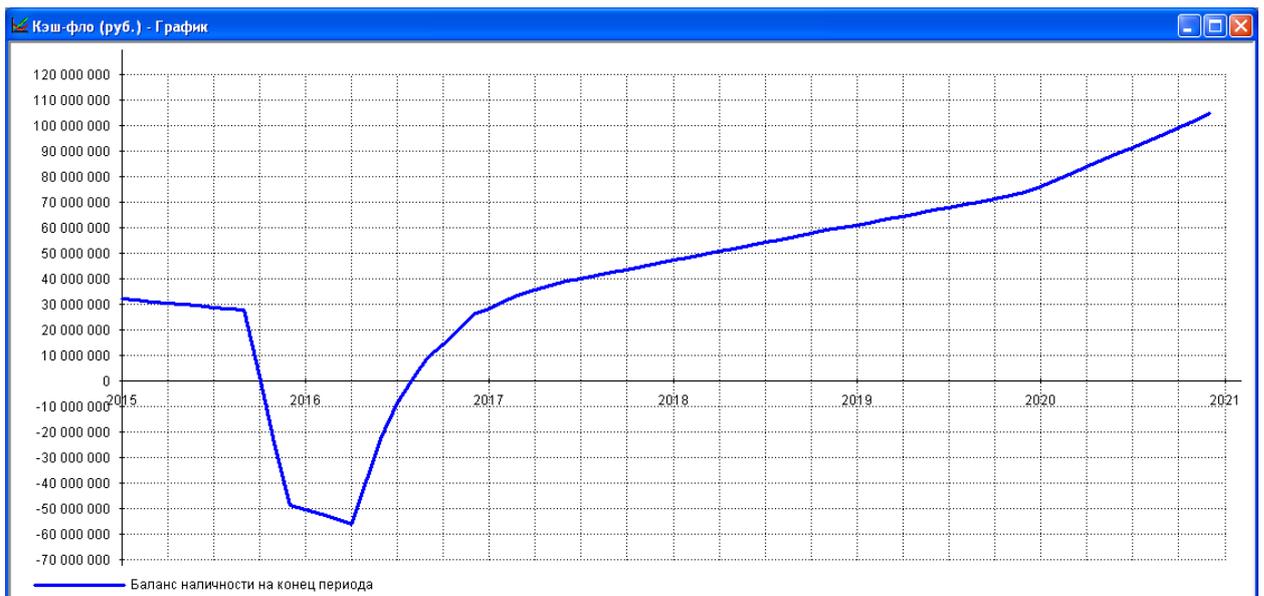


Рисунок 5.4 – График движения денежных средств

Из отчета движения денежных средств видно, что проект является финансово не реализуемым, так как есть временные промежутки с отрицательным сальдо расчетного счета. Для решения данной проблемы была подобрана схема кредитования с помощью аналитической системы *Project Expert*, которая автоматически определила объем денежных средств, что составило 60267943,79 рублей.

Далее на рис.5.5,5.6,5.7 показаны данные потока денежных средств с учетом займа.

Эффективность инвестиций		
Длительность проекта: 72 мес.		
Период расчета: 72 мес.		
	Рубли	Доллар
Показатель		
▶ Ставка дисконтирования, %	11,00	0,00
Период окупаемости - РВ, мес.	29	32
Дисконтированный период окупаемости - DPВ, мес.	32	32
Средняя норма рентабельности - АRR, %	37,74	33,45
Чистый приведенный доход - NPV	69 896 638	1 342 610
Индекс прибыльности - PI	1,82	2,01
Внутренняя норма рентабельности - IRR, %	59,81	49,17
Модифицированная внутренняя норма рентабельности - MIRR, %	22,53	12,31

Рисунок 5.5 – Эффективность инвестиций после кредита

Томскабель - Project Expert * - [Кэш-фло (руб.)]						
Проект Обмен Редактор Результаты Сервис Окно Справка						
	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Поступления от продаж		145 300 000,00	150 800 000,00	156 600 000,00	149 000 000,00	146 000 000,00
Затраты на материалы и комплектующие		48 552 500,00	83 708 055,56	86 587 777,78	82 195 000,00	80 176 666,67
Суммарные прямые издержки		48 552 500,00	83 708 055,56	86 587 777,78	82 195 000,00	80 176 666,67
Общие издержки		3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00	3 360 000,00
Затраты на персонал		13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00	13 860 000,00
Суммарные постоянные издержки		17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00	17 220 000,00
Налоги	102 781,25	4 590 660,52	17 897 135,76	18 978 869,78	17 881 603,18	17 642 788,08
Кэш-фло от операционной деятельности	-102 781,25	74 936 839,48	31 974 808,68	33 813 352,44	31 703 396,82	30 960 545,25
Затраты на приобретение активов	81 482 573,73	17 426,27				
Кэш-фло от инвестиционной деятельности	-81 482 573,73	-17 426,27				
Займы	50 330 230,22	9 937 713,57				
▶ Выплаты в погашение займов		60 267 943,79				
Выплаты процентов по займам	944 875,24	3 922 991,19				
Выплаты дивидендов			7 127 501,13	19 665 051,47	18 105 149,64	
Кэш-фло от финансовой деятельности	49 385 354,98	-54 253 221,41	-7 127 501,13	-19 665 051,47	-18 105 149,64	
Баланс наличности на начало периода	32 500 000,00	300 000,00	20 966 191,79	45 813 499,34	59 961 800,31	73 560 047,49
Баланс наличности на конец периода	300 000,00	20 966 191,79	45 813 499,34	59 961 800,31	73 560 047,49	104 520 592,75

Рисунок 5.6 – Кэш-фло после кредита

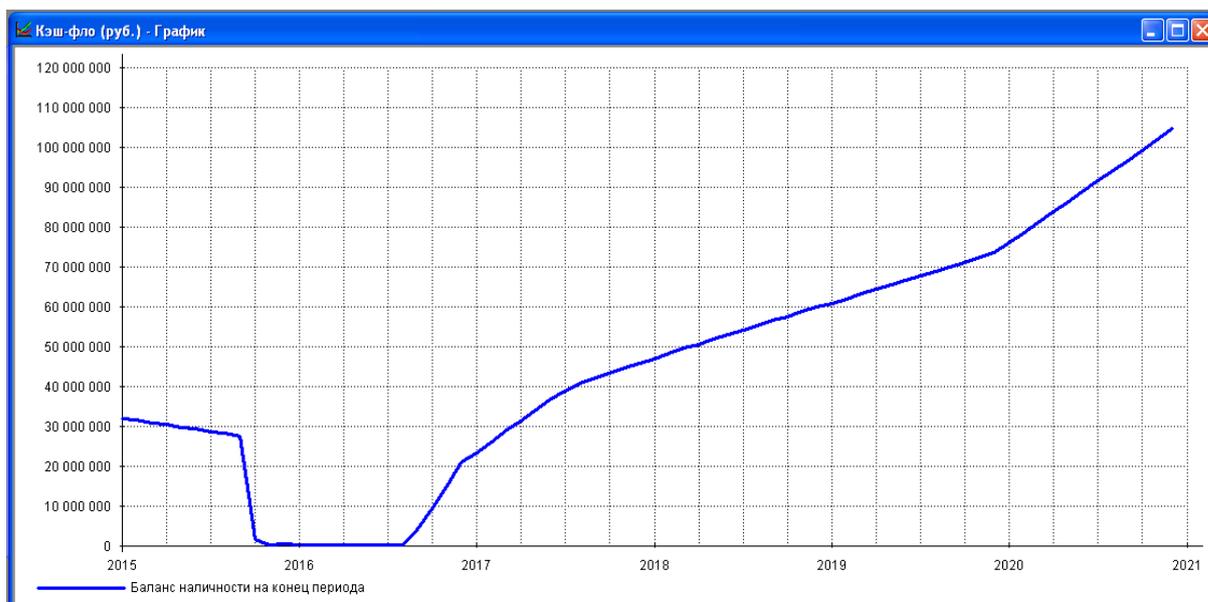


Рисунок 5.7 – График движения денежных средств после кредита

После подбора кредита проект становится финансово реализуем. *Project Expert* формирует также таблицы показателей эффективности инвестиций и финансовых показателей (рис.5.8), включающие следующие группы данных:

Показатели ликвидности – текущая ликвидность, быстрая ликвидность, чистый рабочий капитал и другие показатели, отражающие способность компании удовлетворять претензии держателей краткосрочных долговых обязательств.

Показатели рентабельности – набор коэффициентов, показывающих, насколько прибыльна деятельность компании и насколько эффективно использование различных типов ресурсов.

Показатели деловой активности – позволяют проанализировать, насколько эффективно предприятие использует свои средства, включают набор показателей оборачиваемости различных типов средств, обязательств и т.п.

Показатели устойчивости – характеризуют финансовую независимость и платежеспособность компании, включают различные представления

соотношений между источниками финансирования (коэффициент финансовой независимости, коэффициент покрытия процентов и т.п.).

Детализация результатов. Кэш-фло. Общие издержки

Инвестиционные критерии, характеризующие стоимость и доходность акций предприятия (прибыль на акцию, P/E, коэффициент покрытия дивидендов и т.п.).

Показатели эффективности инвестиций (дисконтированные *Cash-Flow* критерии) – чистый приведенный доход, период окупаемости проекта, внутренняя норма рентабельности и другие показатели, используемые для комплексного анализа проекта.

Томскабель - Проект Эксперт * - [Финансовые показатели]						
Проект Обмен Редактор Результаты Сервис Окно Справка						
	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Коэффициент текущей ликвидности (CR), %	1 297,00	152,71	3 232,87	4 255,73	5 752,23	7 731,82
Коэффициент срочной ликвидности (QR), %	355,81	39,90	2 686,01	3 738,47	5 181,83	7 147,44
Чистый оборотный капитал (NWC), руб.	75 671 745,31	13 890 505,29	42 379 116,59	59 477 207,68	73 259 927,72	96 295 304,33
Чистый оборотный капитал (NWC), \$ US	1 130 548,93	188 890,71	535 464,40	726 656,81	890 057,22	1 176 117,32
Кэф.ф. оборачиваем. запасов (ST)		3,14	9,59	9,91	9,42	9,24
Кэф.ф. оборачиваем. рабочего капитала (NCT)		8,86	3,02	2,23	1,72	1,28
Кэф.ф. оборачиваем. основных средств (FAT)		1,80	2,34	3,26	4,72	9,64
Кэф.ф. оборачиваем. активов (TAT)		1,13	1,30	1,31	1,25	1,12
Суммарные обязательства к активам (TD/TA), %	6,06	24,24	1,38	1,41	1,28	1,14
Долгоср. обязат. к активам (LTD/TA), %						
▶ Долгоср. обязат. к внеоборотн. акт. (LTD/FA), %						
Суммарные обязательства к собств. кап. (TD/EQ), %	6,45	31,99	1,40	1,43	1,30	1,16
Коэффициент покрытия процентов (TIE), раз	-0,83	-1,00				
Кэф.ф. рентабельности валовой прибыли (GPM), %		24,27	44,50	44,70	44,83	44,93
Кэф.ф. рентабельности операц. прибыли (OPM), %		-6,36	17,43	18,86	17,92	17,72
Кэф.ф. рентабельности чистой прибыли (NPM), %		-6,36	14,22	14,95	14,21	13,65
Рентабельность оборотных активов (RCA), %	-2,11	-19,46	41,57	32,56	24,07	17,31
Рентабельность внеоборотных активов (RFA), %	-7,76	-11,43	33,31	48,78	67,10	131,56
Рентабельность инвестиций (ROI), %	-1,66	-7,20	18,49	19,53	17,72	15,30
Рентабельность собственного капитала (ROE), %	-1,77	-9,51	18,75	19,81	17,95	15,47
Прибыль на акцию (EPS), руб.	-14,42	-65,25	151,49	165,28	149,57	140,73
Прибыль на акцию (EPS), \$ US	-0,21	-1,00	1,92	2,02	1,82	1,72
Дивиденды на акцию (DPOS), руб.			59,40	163,88	150,88	
Дивиденды на акцию (DPOS), \$ US			0,74	2,00	1,83	
Коэффициент покрытия дивидендов (DDC), раз			0,74	1,01	0,99	
Сумма активов на акцию (TAOS), руб.	10 429,02	10 873,04	9 830,61	10 157,00	10 130,49	11 039,32
Сумма активов на акцию (TAOS), \$ US	154,63	149,26	124,45	124,14	123,06	134,83
Соотношение цены акции и прибыли (P/E), раз	-1 280,84	-0,56	63,99	60,59	66,87	77,53

Рисунок 5.8 – Финансовые показатели

Одной из задач проектного анализа является определение чувствительности финансовой модели предприятия к изменениям различных параметров (рис.5.9). Чем шире диапазон параметров, в котором показатели

эффективности остаются в пределах приемлемых значений, тем выше запас прочности проекта, тем лучше он защищен от колебаний различных факторов, оказывающих влияние на результаты реализации проекта. Система *Project Expert* позволяет изучить, как будут изменяться финансовые показатели проекта в зависимости от изменения общего уровня инфляции, ставок налогов, затрат на персонал, величины сбыта и других исходных данных проекта.

Исследование чувствительности показателей эффективности к изменению ставки дисконтирования позволяет определить устойчивость проекта к колебаниям конъюнктуры финансового рынка и возможным изменениям макроэкономических условий деятельности.

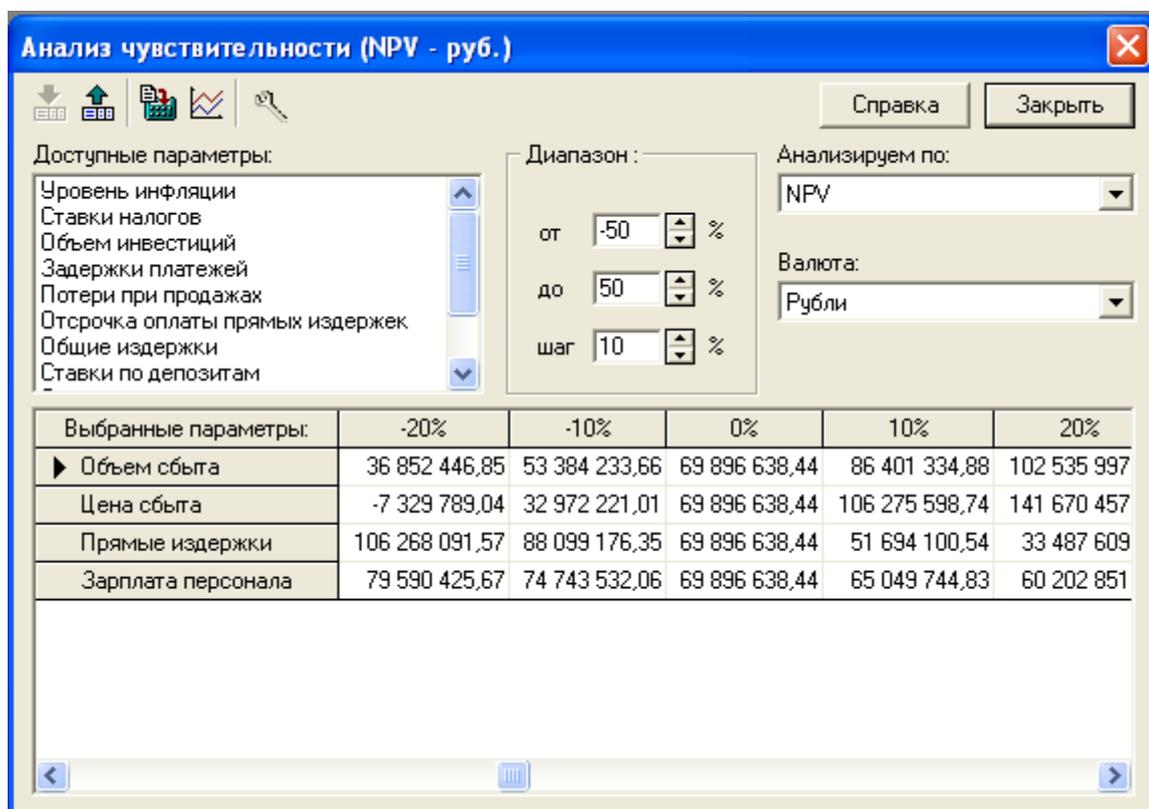


Рисунок 5.9 – Анализ чувствительности

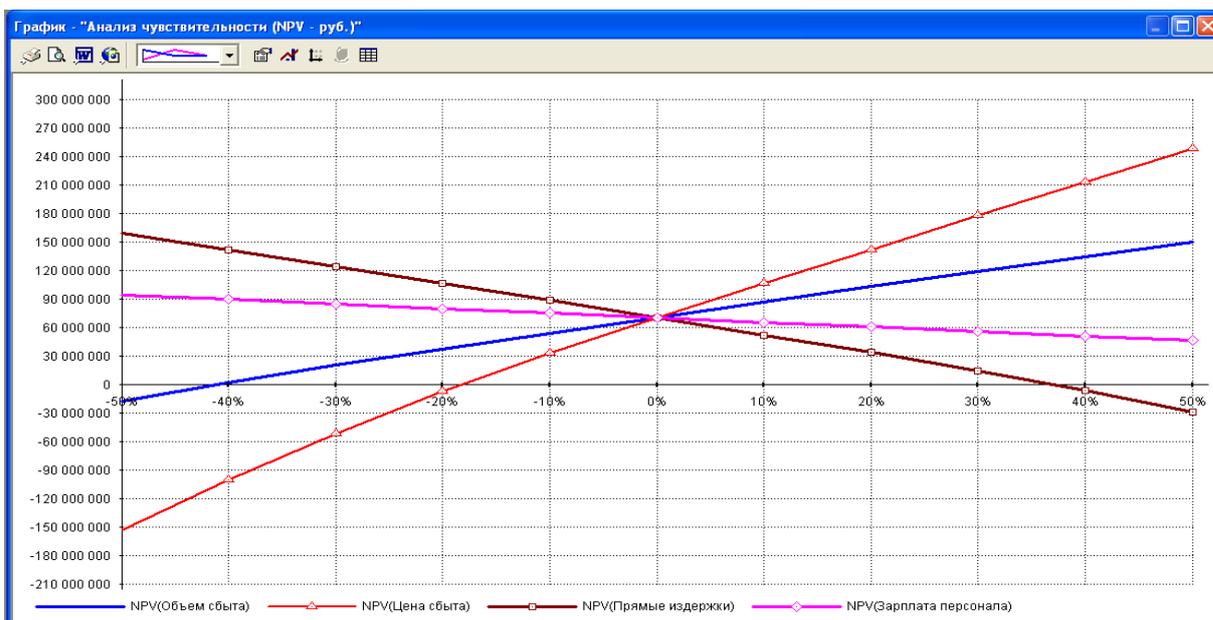


Рисунок 5.10 – График анализа чувствительности

Проанализировав данный проект можно сделать следующие выводы:

1) Фактором, в наибольшей степени влияющим на результаты реализации проекта, является цена сбыта. При снижении цены сбыта более чем на 17% проект окажется убыточным. Учитывая то, что в проекте заложены текущие рыночные цены, и наблюдается тенденция роста этих цен, данный сценарий представляется маловероятным.

2) Кроме того, на финансовые результаты может повлиять рост прямых издержек более 36%. Поскольку инвалютная составляющая в прямых затратах невелика, вероятность такого резкого повышения не прогнозируется.

3) Без кредита проект является финансово не реализуемым, поскольку в период с ноября 2015 года по июнь 2016 года включительно предприятие не может отвечать по своим финансовым обязательствам. В связи с этим был подобран кредит в 2 транша до конца проекта (72 месяца) с 15% годовой ставкой и ежемесячной выплатой. Первый кредит на сумму 50330230,22 рубля в 2015 году, и второй кредит на сумму 9937713,57 рублей в 2016 году. В связи с таким кредитным займом чистая прибыль уменьшится на 4050749 рубля, возрастает период окупаемости на 2 месяца, но при этом проект становится финансово реализуемым.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Ожанов Максат Алимович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Оптимизация системы электропитания путем создания математической модели кабельно-проводниковой продукции на основе программного продукта ELCUT. Работа выполняется по заданию ООО «Томский кабельный завод». К рабочей зоне относится производственное помещение завода ООО «Томский кабельный завод».</i></p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Профессиональная социальная ответственность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). 	<p><i>К вредным факторам относится:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - неблагоприятные метеорологические условия; - воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации; - наличие электромагнитных полей. <p><i>К опасным факторам относится:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - источник термической опасности; - электрический ток определенной силы; - возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов. <p><i>Условия труда работающих характеризуются возможностью воздействия на них следующих вредных производственных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации; - недостаточной освещенности; - электромагнитные излучения; - неблагоприятные условия микроклимата.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p><i>Материалы и оборудование, используемые при исследованиях, являются экологически безопасными, без отходов и выбросов.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> – 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. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>Возможные ЧС на объекте: короткое замыкание электропроводки, приводящее к возгоранию и к взрыву. Производственные травмы, непосредственно связанные с оборудованием.</i></p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам.</i></p> <p><i>Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	1 марта 2016 г.
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Юлия Александровна	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Ожанов Максат Алимович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Рассмотрены следующие вредные факторы:

- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации;
- недостаточность освещенности;
- электромагнитные излучения;
- неблагоприятные условия микроклимата;
- вредные вещества.

Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при производстве кабельно-проводниковой продукции в цеху являются, крутильные машины, экструзионная линия, вытяжка, волочильное оборудование.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда. Уровень шума в цеху по производству кабельно-проводниковой продукции не должен превышать 85 дБА [19].

Нормируемые уровни шума обеспечиваются путем использования малошумного оборудования, применением звукопоглощающих материалов (специальные перфорированные плиты, панели, минераловатные плиты). Кроме того, необходимо использовать подвесные акустические потолки.

Повышенный уровень вибрации

Во время работы оборудования в цеху образовывается вибрация и каждый работник в различной степени подвергается ей. При изучении вибраций, воздействующих на тело человека, принято выделять общую вибрацию (передается через опорные поверхности) и локальную (передается на руки при работе с ручными машинами). Общую вибрацию по источнику возникновения подразделяют на три категории: транспортную, транспортно-технологическую, технологическую.

Основными источниками вибрации в цеху являются: *DRUM TWISTER* 3500 (крутильная машина), Вентилятор вытяжной (5A132M6), Экструдер (*EPL 22*), Экструдер (*EPL 50*), Линия сшивки (*EEL 60*).

Таблица 6.1 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий [20]

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

* При таких параметрах вибрации даже сверхпрочные клепочные конструкции до полного своего разрушения выдерживают не более 30 минут

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации

движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни [21].

В последнее время принято различать три формы вибрационной болезни: периферическую – возникающую от воздействия вибрации на руки (спазмы периферических сосудов, приступы побеления пальцев рук на холоде, боль в руках в покое и ночное время, потеря чувствительности пальцев, гипертрофия мышц); церебральную – от преимущественного воздействия вибрации на весь организм человека (общемозговые сосудистые нарушения и поражение головного мозга); смешанную – при совместном воздействии общей и локальной вибрации [22].

Недостаточное освещение на рабочем месте

От степени освещенности напрямую зависит не только здоровье глаз и работоспособность человека, но еще и его физическое и психоэмоциональное состояние. Причем в помещениях различного назначения требования по освещенности должны различаться.

Таблица 6.2 – Нормы освещенности производственных помещений [23]

	Характеристики зрительной работы	Наименьший размер или объект различения	Разряд зрительной работы	Под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристики фона	Освещенность, лк
Рабочее место в цеху	Средней точности	Свыше 0.5 до 1.0	<u>IV</u>	г	Средний, большой	Светлый, средний	200
Рабочее место в кабинете	Высокой точности	От 0.3 до 0.5	<u>III</u>	в	Малый, средний, большой	Светлый, средний, темный	200

Освещенность рабочего места от искусственного освещения (в кабинете с компьютером и в производственном помещении) соответствует

характеристике зрительной работы, наименьшему размеру объекта различения, разряду зрительной работы, контрасту объектов с фоном, а также характеристике фона как мы видим в таблице 6,1.

Электромагнитные излучения

Так как в цеху завода «Томск кабель» используются различные виды электродвигателей, которые можно охарактеризовать, как по мощности, так и по режимам работы, естественным условием является рассмотрение электромагнитного излучения.

Ранними клиническими проявлениями последствия воздействия электромагнитного излучения на организм человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся в виде вегетативных дисфункций нерва стенического и астенического синдрома. Лица, продолжительное время находившиеся в зоне электромагнитного излучения, имеют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, расстройства сна. Зачастую этим симптомам сопутствуют расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, в большинстве случаев, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови с последующим развитием умеренной лейкопении, нейropении, эритроцитопении. Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием электромагнитного излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с магнитными и электромагнитными полями, а также население, живущее в зоне действия ЭМП жалуются на раздражительность. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство

внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и утомляемость [24].

Предельно допустимый уровень электромагнитного поля: $E = 500 \text{ В/м}$. Все станки находится в металлическом корпусе, являющимся защитным экраном от электромагнитного излучения. Так как величина электромагнитного излучения незначительна, нет необходимости в использовании дополнительных средств коллективной и индивидуальной защиты.

Неблагоприятные условия микроклимата

Научно исследовательская работа относится к работе средней тяжести (категория Па), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 6.3 [25].

Таблица 6.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более **
Холодный	Па (175 - 232)	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0- 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	Па (175 - 232)	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0- 28,0	15 - 75	0,1	0,4

Неблагоприятные условия микроклимата приводят к нарушению теплового баланса. Понижение температуры окружающего воздуха приводит к увеличению теплоотдачи от организма за счет теплопроводности, конвекции и излучения. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха также увеличивает теплоотдачу от организма и может привести к переохлаждению организма за счет возрастания отдачи теплоты конвекцией и при испарении пота. При переохлаждении организма уменьшается функциональная деятельность органов человека, скорость

биохимических процессов, снижается внимание, затормаживается умственная деятельность и, в конечном счете, снижается активность и работоспособность.

При повышении температуры, тепловыделения человека начинают превышать теплоотдачу, может возникать перегрев организма. Ухудшается самочувствие и падает работоспособность. Действие высокой температура воздуха на организм нередко вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, наблюдаются изменения со стороны дыхания, снижается секреция желудочного и поджелудочного сока, желчи, угнетается моторика желудка, снижается сила условных рефлексов, ослабляется внимание, ухудшается координация движения, что может быть причиной роста травматизма, снижение работоспособности и производительности труда.

При обеспечении допустимых показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкции, ограждающих рабочую зону (стен, потолка, пола) не должна превышать предел допустимых величин температуры воздуха.

В холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей. Производственное помещение располагается в цокольном этаже и не имеет оконных проемов.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, осветительных приборов не должна превышать 70 Вт/м^2 при величине облучения поверхности от 25 % до 50 % на постоянных рабочих местах [26].

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и системой вентиляции в теплый период.

6.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

В процессе жизнедеятельности человек подвергается воздействию опасностей и в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемом производственной средой. В условиях производства на человека в основном действуют техногенные, т.е. связанные с техникой, опасности, которые принято называть опасными и вредными производственными факторами.

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Таблица 6.4 – Вредные и опасные факторы производственной среды

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа в цеху: 1) обработка катанки 2) наложение изоляции 3) скрутка кабельных жил и наложение оболочки 4) бухтовка, испытание, упаковка.	1. Неблагоприятные метеорологические условия; 2. Воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации; 3. Наличие электромагнитных полей.	1. Источник термической опасности; 2. Электрический ток определенной силы; 3. Возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов.	1) СП 51.13330.2011. Защита от шума. 2) СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 3) . ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

Источник термической опасности

Термические опасности могут приводить к:

- ожогам и ошпариванию из-за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла;
- ущерб здоровью из-за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды.

При производственном процессе самый главный очаг термической опасности – покрытие изоляции и ее охлаждение. Температура экструдера при работе может достигать до 200-230°C, данная температура опасна при соприкосновения и может привести ожогам так и ошпариванию мягкой ткани человека.

Работа экструдера осуществляется в закрытом корпусе и человеку сложно подобраться к месту излучение тепла. При демонтаже экструдера изначально дают остыть, проверяя температуру тепловизором, после допустимой значений температуры преступают к выполнению работы.

Электрический ток

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической силовой цепи станков 380В и цепи питание приборов 220В, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела.

Без специальных средств человек не может определить наличие электрического тока, что обуславливает большой риск поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям.

Электрический ток, протекающий через организм человека, воздействует на него термически, электролитический и биологически. Термическое действие характеризуется нагревом тканей, вплоть до ожогов; электролитическое – разложением органических жидкостей, в том числе и крови; биологическое действие электрического тока проявляется в

нарушении биоэлектрических процессов и сопровождается раздражением и возбуждением живых тканей и сокращением мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями [27].

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

- применение изоляции;
- недоступность токоведущих частей;
- защитное заземление нетоковедущих элементов установки;
- диэлектрические коврики и перчатки;
- изоляция электрических частей от земли.

По поражению электрическим током, цех относится к помещениям без повышенной опасности [28].

Таблица 6.5 – Классификация (по ПУЭ) помещений по степени опасности поражения людей электрическим током

Класс помещения	Характеристика помещения
Без повышенной опасности	Отсутствуют условия, создающие повышенную и особую опасность
С повышенной опасностью	Наличие одного из следующих условий: <ul style="list-style-type: none"> ✓ сырость или токопроводящая пыль; ✓ токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.); ✓ высокая температура; ✓ возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющих соединение с землей, технологическим аппаратом, механизмом и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.
Особо опасные	Наличие одного из следующих условий: <ul style="list-style-type: none"> ✓ особая сырость; ✓ химически активная или органическая среда; ✓ одновременно два или более условий повышенной опасности.

6.2 Экологическая безопасность

6.2.1 Анализ влияния кабельного производства на окружающую среду

Проблема загрязнения окружающей среды в конце 20-го века становится одной из важнейших в деятельности человечества. В грядущем 21 веке все развитие цивилизации будет находиться под возрастающим давлением экологического аспекта. Уже сегодня, приступая к решению любой проблемы науки, техники, производства, необходимо сразу же рассматривать эту проблему и с точки зрения экологии. При этом в современном понятии оценка взаимодействия с окружающей средой должна осуществляться для всего жизненного цикла продукта: используемые материалы, конструкция, производство, эксплуатация, утилизация после эксплуатации.

Большинство, если не все промышленные фирмы-лидеры, в настоящее время убеждены, что в круг их обязанностей входит защита окружающей среды. Большинство фирм, включая транснациональные, полагают, что защита окружающей среды в стратегических направлениях их фирмы также важна, как и финансовая политика, технологические новшества и лидирующее положение на рынке.

Кабельная промышленность в целом, как отрасль, где используются и перерабатываются значительные количества продуктов химии, металлургии, других сырьевых материалов, безусловно, должна рассматриваться с точки зрения оценки её влияния на окружающую среду.

С учетом объемов потребления наиболее критичным материалом в кабельном производстве с точки зрения воздействия на окружающую среду является поливинилхлоридный (ПВХ) компаунд. Следует иметь в виду, что уже в процессе изготовления поливинилхлорида и других типов хлорсодержащих материалов создается значительная экологическая нагрузка на окружающую среду. Хлор этих материалов при сжигании приводит к таким токсичным выделениям, как диоксины, фураны и соляная кислота. До

сих пор мировая практика имеет ограниченные возможности повторного использования отходов ПВХ, хотя работы в этом направлении в передовых странах ведутся непрерывно. Все это вместе взятое привело к тому, что в последние годы применение хлорсодержащих материалов резко осуждается общественностью в лице организаций по охране окружающей среды, а также регулируемыми органами.

Другим критичным материалом в кабельном производстве является свинец. Существенные регулирующие ограничения для применения свинца существуют практически во всех странах безотносительно к уровню развития их природоохранных программ, и эти ограничения должны становиться более строгими. Общественное мнение особенно сфокусировано на свинце из-за его прямой опасности для здоровья. И главное, что эта опасность для здоровья и окружающей среды достоверно подтверждены результатами научных исследований.

Итак, были рассмотрены проблемы окружающей среды, связанные с использованием сырьевых материалов, а также с процессом изготовления кабельных изделий. Традиционно до самого последнего времени даже в большинстве развитых стран, а в России и сегодня, представителями кабельной промышленности учитывались и рассматривались только эти проблемы. Другие аспекты жизненного цикла продукта и их возможные воздействия на окружающую среду все еще не рассматривались индустрией как целое. Представители промышленности не касались проблем окружающей среды, связанных с кабелями вне процесса их изготовления.

Однако, как показывают международные эксперты и в частности специалисты Института охраны и рационального использования окружающей среды Европейской бизнес – школы (ФРГ) наиболее существенной проблемой из всего жизненного цикла является проблема твердых и опасных отходов. В последние годы многие отрасли промышленности под нажимом правительств или своих потребителей были вынуждены рассматривать проблему отходов в связи с удалением и

уничтожением отходов всего ассортимента своей продукции. Это относится и к кабельной промышленности, так как мировая статистика показывает, что не менее 35% используемых материалов обычно удаляется в виде отходов. Например, только при прокладке в зданиях количество отходов достигает 10% от проложенных кабелей. Важно отметить, что уже сегодня в странах с передовыми природоохранными программами отходы в виде обрезков кабелей (так называемый “кабельный ворс”) классифицируются как опасные отходы [29].

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Многообразие технологических процессов кабельного производства показывает, что в экологическом отношении это производство является сложным, так как в процессе изготовления кабеля обеспечивается переработка и использование значительного количества химического сырья в большинстве случаев при повышенных температурах. В целом все это приводит, как и в других экологически сложных отраслях промышленности, к загрязнению атмосферы промышленными выбросами, и отрицательному воздействию на землю и водные ресурсы, загрязнению сточных вод.

Исследования и расчеты, выполненные в свое время специалистами ВНИИКП, показали, что в конце 90-х начале 2000-х годов в кабельной промышленности России вклады отдельных производств в суммарные выбросы составляли:

- эмальпроизводство – 66%,
- производство стекло-обмоточных проводов – 19%,
- производство и переработка резин – 13%,
- переработка пластмасс – 2%.

Ориентировочно такие пропорции остаются и сегодня не только для отечественной, но и для мировой кабельной промышленности.

Основными технологическими процессами, которые могут приводить к загрязнению сточных вод являются: травление катанки, волочильное

производство, эмальпроизводство, производство силовых кабелей с бумажной изоляцией.

Анализ ситуации, выполненный международными экспертами, показывает, что собственно кабельное производство (промышленные выбросы от производственных процессов) из всего жизненного цикла продукции представляет менее значительную проблему для окружающей среды, чем, например, проблема переработки отходов, и не требует широкого привлечения внимания промышленной общественности. Это связано с тем, что во многих странах все более жесткие законы заставляют изготовителей кабелей сокращать промышленные выбросы и разрабатывать экологически безопасные процессы. Классическим примером здесь является все тоже эмальпроизводство. Давление законов о выбросах заставило промышленников, используя все современные достижения науки и техники создать новейшие типы эмальагрегатов, которые обеспечивают каталитическое дожигание отходящих вредных выбросов с эффективностью более 99%. Тем самым использование такого технологического оборудования позволяет снять экологическую проблему в производстве [29].

Общая оценка ситуации в кабельном производстве России и стран СНГ пока не может и не должна нас удовлетворять, поскольку и мы находимся где-то между 3-м и 4-м классом градации по природоохранной деятельности.

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что самым эффективным мероприятием по защите окружающей среды является использование новых видов оборудования, которые могут работать с практически минимальным загрязнением. А также внедрение более совершенных технологических процессов по сокращению отходов. Что касается ООО «Томский кабельный завод», цех который будет введен в эксплуатацию в конце этого года, соответствует всем международным стандартам, все оборудования закупались исключительно у зарубежных компаний, которые на первое место ставят экологическую безопасность.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары и взрывы, которые происходят:

- на промышленных объектах;
- на объектах добычи, хранения и переработки легковоспламеняющихся, горючих и взрывчатых веществ;
- на транспорте;
- в шахтах, горных выработках, метрополитенах;
- в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения.

Пожар – это вышедший из-под контроля процесс горения, уничтожающий материальные ценности и создающий угрозу жизни и здоровью людей. В России каждые 4-5 минут вспыхивает пожар и ежегодно погибает от пожаров около 12 тысяч человек.

Основными причинами пожара являются: неисправности в электрических сетях, нарушение технологического режима и мер пожарной безопасности (курение, разведение открытого огня, применение неисправного оборудования и т.п.).

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении. Критическими значениями параметров для человека, при длительном воздействии указанных значений опасных факторов пожара, являются:

- температура – 70°C;
- плотность теплового излучения – 1,26 кВт/м²;
- концентрация окиси углерода – 0,1% объема;

– видимость в зоне задымления – 6-12 м.

Взрыв – это горение, сопровождающееся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени. Взрыв приводит к образованию и распространению со сверхзвуковой скоростью взрывной ударной волны (с избыточным давлением более 5 кПа), оказывающей ударное механическое воздействие на окружающие предметы.

Основными поражающими факторами взрыва являются воздушная ударная волна и осколочные поля, образуемые летящими обломками различного рода объектов, технологического оборудования, взрывных устройств.

Пожар может произойти вследствие перегрева электродов или проблем с изоляцией. Взрыв может произойти вследствие разрушения емкости, содержащей взрывоопасные вещества. В цехе по производству кабельно-проводниковой продукции используется азотная станция. Имеется инструкция по технике безопасности для работников, использующих при работе со сжатыми и сжиженными газами [30].

6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар (взрыв), на ограничение (локализацию) распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности.

Соблюдение технологических режимов производства, содержание оборудования, особенно энергетических сетей, в исправном состоянии позволяет, в большинстве случаев, исключить причину возгорания.

Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер.

На рабочем месте баллоны должны находиться в металлических шкафах или в специально оборудованных местах, обеспечивающих их защиту от воздействия солнечных лучей, осадков, нагревания, механического воздействия и падения. В свою очередь баллоны должны быть надежно укреплены с помощью хомутов, цепочки или троса. Расстояние от ближайшего радиатора или отопительного прибора до баллона должно быть не менее 1 м, от газовых горелок – не менее 1,5 м, от печей и других источников тепла с открытым пламенем – не менее 5 м. Работа с газами, находящимися в баллонах опасна и требует большой осторожности, внимания и соблюдения установленных правил и инструкций.

Помещение цеха имеет категорию Г. Помещение цеха имеет «Знак зоны-1» и «Зона класса В-Ia» класса зоны по ПУЭ [31,32].

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр электроустановок [30].

Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- Сообщить о пожаре по телефону 01 в пожарную охрану;
- Отключить все электроустановки;
- Закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
- Организовать эвакуацию из лаборатории и параллельно приступить к ликвидации очага пожара первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ, пожарный рукав) При невозможности – покинуть опасную зону.

6.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, прошедшие обучение, инструктаж на рабочем месте и проверку знаний требований безопасности в комиссии на допуск работы:

- по электробезопасности;
- работа с электрооборудованием.

Также все рабочие обязаны носить спецодежду и при надобности применять СИЗ для разного характера работы. Спецпитание и особое лечебно-профилактическое обслуживание отсутствует. Особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания стандартные [33].

6.5 Разработка зануления низковольтного оборудования

Кабельный цех получает электроэнергию от трансформаторной подстанции, в которой установлен трансформатор мощностью 630 кВА. Самый удаленный электроприемник – сушильный шкаф (мощность 15 кВт). Его питание осуществляется от ШРА-2, от ШРА-2 до электроприемника используется кабель марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1×4. Длина кабеля от ТП до ШРА-2, $L_1 = 25$ м; длина шинпровода ШРА-2, $L_2 = 140$ м; длина провода от ШРА-2 до электроприемника, $L_3 = 10$ м.

Питание электроприборов внутри помещения осуществляется от трехфазной сети напряжением 380 В и частотой 50 Гц с использованием автоматов токовой защиты. Схема замещения показана на рис.6.1.

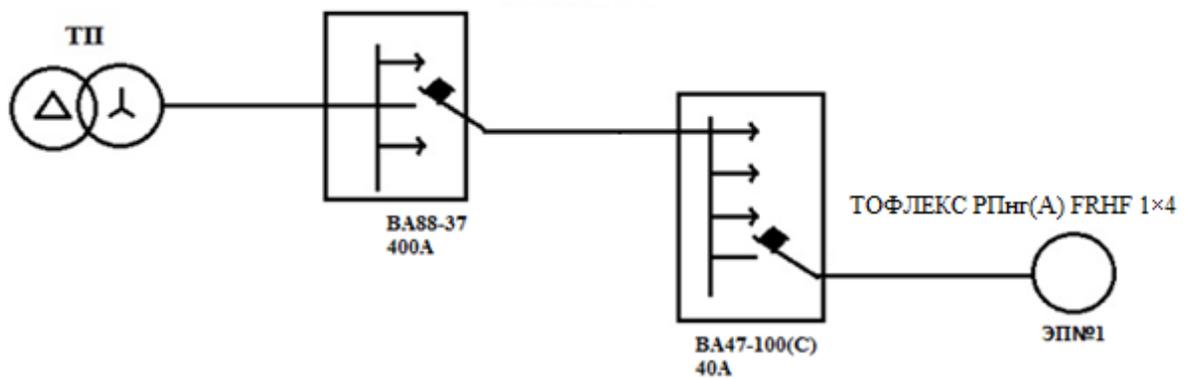


Рисунок 6.1 - Схема замещения

Определим токи нагрузки и выбор аппаратов защиты [34]:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}; \quad (6.1)$$

$$I_p = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,7} = 31,5 \text{ A};$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_p; \quad (6.2)$$

$$I_{\text{пуск}} = 4 \cdot 31,5 = 126 \text{ A};$$

Выбираем автоматический выключатель ВА47-100(С) (40А).

Определим полное сопротивление элементов цепи:

а) сопротивление трансформатора для группы соединения

$$\Delta / Y_0 - 11: Z_T = 27 \text{ мОм};$$

б) сопротивление кабельной линии от ШРА-2 до ЭП-1 (ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1×4, $L_1=10\text{м}$):

$$Z_{\text{ПФ-0}} = 7,41 \text{ Ом / км};$$

$$Z_{\text{КЛ-1}} = Z_{\text{ПФ-0}} \cdot L_1 = 7,41 \cdot 0,01 = 0,074 \text{ Ом};$$

в) сопротивление кабельной линии от ТП до ШРА-2 ($L_2=25\text{м}$):

$$Z_{\text{ПФ-0}} = 0,32 \text{ Ом / км};$$

$$Z_{\text{КЛ-1}} = Z_{\text{ПФ-0}} \cdot L_2 = 0,32 \cdot 0,025 = 0,008 \text{ Ом};$$

Определим токи КЗ:

$$I_{\kappa 1} = \frac{U_{\phi}}{z_m / 3 + z_{\kappa l-1} + z_{\kappa l-2}} = \frac{220}{0,027 / 3 + 0,074 + 0,008} = 2,4 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2} = \frac{U_{\phi}}{z_m / 3 + z_{\kappa l-2}} = \frac{220}{0,027 / 3 + 0,008} = 12,9 \text{ кА};$$

Определим кратность тока:

$$\frac{I_{\kappa 1}}{I_{нАвт}} = \frac{2,4 \text{ кА}}{40} = 61,7$$

$$\frac{I_{\kappa 2}}{I_{нАвт}} = \frac{12,9 \text{ кА}}{40} = 322,5$$

Условие $I_{\kappa 3} \geq I_n \cdot K_a$, где $K_a = 1,25$;

$$2,4 \text{ кА} > 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ А};$$

$$12,9 \text{ кА} > 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ А};$$

Условие выполняется, следовательно, автоматический выключатель сработает в случае короткого замыкания.

Определение времени срабатывания аппарата защиты: автомата принимается из справочника. В данном случае время отключения аппарата защиты равно 0,16 секунд.

Потенциал корпуса поврежденного оборудования:

$$U_{k1} = I_{\kappa 1} \cdot R_{\kappa l-1} = 2,4 \cdot 0,042 = 100,8 \text{ В};$$

$$R_{\kappa l-1} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 10}{4} = 0,044 \text{ Ом};$$

где ρ -удельное сопротивление медной жилы принимается равной $0,0175 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$;

S – сечение жилы, мм^2 ;

L – длина проводника, м.

$$U_{k2} = I_{\kappa 2} \cdot R_{\kappa l-2} = 12,9 \cdot 0,005 = 90,3 \text{ В};$$

$$U_{кЛ-2} = \frac{\rho \cdot l}{s} = \frac{0.0175 \cdot 25}{95} = 0,005 \text{ Ом};$$

Ток, проходящий через тело человека, равен

$$I_{h1} = \frac{U_{k1}}{R_h} = \frac{100,8}{1000} = 100,8 \text{ мА};$$

$$I_{h2} = \frac{U_{k2}}{R_h} = \frac{90,3}{1000} = 90,3 \text{ мА};$$

Такие величины тока являются допустимыми при времени воздействия 0,2 секунды, т.е. время срабатывания автоматического выключателя не превышает допустимых величин [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной магистерской диссертации с целью изучения влияния режимов работы асинхронных двигателей на свойства силовых кабелей создана математическая модель кабеля в среде *ELCUT*. В ходе математического моделирования проанализировано влияние режимов работы электродвигателей оборудования на тепловое состояние силовых кабелей, с учетом электрической нагрузки цеха получены картины электрического и теплового полей кабеля марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1×50мк-1.

Предложена оптимизация системы электропитания цеха с использованием математической модели кабеля с изоляцией из этиленпропиленовой резины.

Математическое моделирование показало применимость предложенной методики для решения практических задач, возникающих при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

а) запас температуры изоляции составляет 10°C , что говорит о возможности снижения толщины изоляции, позволяющей улучшить технологичность изоляции, массо-габаритные показатели и уменьшить финансовую компоненту;

б) нагрузочную способность (энергетическую эффективность) оборудования цеха возможно повысить приблизительно на 11 % за счет запаса температуры изоляции кабеля.

в) результаты математического моделирования полностью коррелируют с инженерным расчетом, что доказывает практическую применимость математической модели в реальных условиях для анализа режимов работы двигателя.

Результаты получены в ходе теоретических исследований при использовании закона Джоуля-Ленца, правила Монтзигера и формулы теплопроводности и подтверждены экспериментальным путем.

Таким образом:

1. Предложена математическая модель, учитывающая режимы работы электродвигателей, для определения токовых нагрузок, способствующих оптимизированному выбору проводникового оборудования.

2. Изменение климатических условий окружающей среды влияет на реализующееся температурное поле, созданное режимами работы двигателей, что в свою очередь, позволяет увеличивать или уменьшать нагрузочную способность силовых кабелей.

3. Предложена методика моделирования системы электропитания, выполненной на основе учета режимов работы электродвигателей. Математическое моделирование систем электропитания, выполненных на основе ЭПР кабелей, показало применимость предложенной методики моделирования для решения практических задач, возникающих при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

Список публикаций Ожанова М.А.

1. Ожанов М. А. Сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины [Электронный ресурс] = Comparative analysis of cables with insulation of cross-linked polyethylene and ethylene-rubber / Современные техника и технологии: сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 2015, Томск: Изд-во ТПУ Т. 1. – С. 121-123.

2. Ожанов М. А. Математическое моделирование системы электропитания промышленного оборудования [Электронный ресурс] /Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции. – Томск: СКАН, 2015. – С. 287-292.

3. Диплом II степени за доклад «Математическое моделирование системы электропитания промышленного оборудования» представленный на III российской молодежной научной школе-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи», г. Томск, 21-23 октября 2015г.

4. Сертификат за участие в Международной конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» с докладом «Сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины», г. Томск, 5-9 октября 2015г.

Список литературы

1. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. 2000. Издание 7.
2. Обеспечение бесперебойного электроснабжения Вячеслав МАРАШКИН, начальник отдела НКУ ООО "ГРУППА ЭНЭЛТ"
<http://www.enelt.com/?id=159>
3. Классификация моделей приведенная в пособии А.И.Бочкина
<http://mialo.narod.ru/ped/models/klassif.htm>
4. Пешков И.Б. Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития // – М.: Электротехника. 2008. № 1. – С. 9-12.
5. Официальный сайт группы компании СЕВКАБЕЛЬ
<http://sevcable.ru/klientam/otraslevye-resheniya/dobuvayushchaya-i-neftegazovaya-otrasl/etilenpropilenovaya-rezina-preimushchestva-izolyacii>
6. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти. Международный транслятор. – М.: Центр «Наука и техника». 2000. – 420 с.
7. Патент на полезную модель № 72092, приоритет 20.11.2007
8. Галлагер Р. Метод конечных элементов: основы / Пер. с англ. В.М.Картвешвили; Под ред. Н.В.Баничука. -М.: Мир, 2008. -428 с.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ.; Под ред. Б.Е. Победри. -М.: Мир, 2011. -541 с.
10. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация / Пер. с англ. Б.И.Квасова; Под ред. Н.С.Бахвалова. -М.: Мир, 2011 -318 с.
11. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред / Пер. с англ. О.П.Троицкого и С.В.Соловьева; Под ред. Ю.К.Зарецкого. - М.:Недра, 2013. -239 с.
12. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.:Энергия, 2012. - 488 с.]
13. Копылов И. П. Электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1986. 360 с.
14. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.

15. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти. Международный транслятор. – М.: Центр «Наука и техника». 1998. – 420 с.
16. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. 928 с.
17. <http://window.edu.ru/resource/492/28492/files/ustu099.pdf>
18. ELCUT Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. <http://www.exponenta.ru/soft/others/elcut/Manual.pdf#8>
19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
20. ГОСТ 31319-2006 Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах.
21. ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»
22. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
23. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003.
24. ГОСТ 12.1.002 – 84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
25. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
26. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
27. ГОСТ 12.1.019-2009 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
28. ПУЭ (6-е изд.) 2000 г. в разд. 1.1.13. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током.

29. Экологические аспекты кабельного производства. И.Мещанов, к.т.н, первый заместитель генерального директора ОАО “ВНИИКП” Журнал “Кабели и провода” 5,6/2012 и 1/2013

30. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

31. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

32. ГОСТ 12.2.020-76. Классификация и маркировка взрывозащищенного электрооборудования.

33. ПОТ РМ-016-2001 рд 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевые правила по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок».

34. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. Глава 6. Зануление стр.233.

35. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

Приложение А

Раздел 7

Development of the power supply system of industrial electrical equipment

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Ожанов Максат Алимович		

Консультант кафедры ЭКМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П.	к.т.н		

Консультант-лингвист кафедры ИЯЭИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Федоринова З.В.	к.п.н		

Introduction

Modern power supply systems are intended to transform, regulate, and distribute electrical power. Moreover, it provides uninterrupted distribution of variety AC and DC voltage, which is necessary for proper performing of electrical equipment, complex technological processes, radio engineering devices and computer systems.

Electrical networks up to 1 kV are necessary for power distribution among workshops of industrial enterprises and for power supplying some of the electrical equipment located outside in the enterprise territory. Power network systems of workshops up to 1 kV are part of the electrical supply systems of enterprises; also it supplies considerable number of electrical equipment. The scheme of internal electrical networks basically is defined by production of technological processes, planning of workshop premises, transformers arrangements, power consumers and inputs, the estimated power capacity of electricity suppliers, technical-economic considerations and environmental conditions.

In recent years, taking into account economic situation of the country, there is a high tendency of enterprise growth processes, which leads to the modernization of industrial equipment. The number of updated machinery equipment is rising due to the modern tools and new processing complexes. These factors entail positive moments such as reduction of drawing processes, labor expenses and decreasing number of scraps. In addition, efficacy of operating speed is improved and technological processes are more accurate and modern.

However, due to the high cost of equipment and need of European standard of power supply the use of equipment became more challenging, which basically leads to the failures, shutdowns, accidents, scraps and breakage of the tool even worse in some cases transformations and machines are burned due to the listed issues. The outage can generate problems such as low level of voltage below the average, which in turn causes overloads of transformers and electric motors. Voltage drops can make the same issues in the systems, which also leads to the failure of transistors. Furthermore, negative influence for the machines can be

caused as a result of high frequency interference which is another factor of the failure of transistors. Plus, power might disappear at all, which is unacceptable not only for foreign equipment but also for domestic ones. However, such cases are not exceptions. It is well-known factor that appropriate design of the power supply systems can mitigate these types of issues.

Thus, relevance of the topic of the research is explained by considerable progress in the field of electric power industries and systems as they play vitally important role in human activities.

The aim of the present work is to optimize power supply systems through development of mathematical model of cables and conductor products on the base of ELCUT software. The research is carried out by the instructions of “Tomsk Cable Plant” Ltd.

The objectives of the work are:

- to analyze the benchmark data;
- to study literature on patents;
- to calculate the electrical load on the workshop floor;
- to conduct comparative analysis of the cables;
- to carry out tests of cables and wires;
- to compare existing regulations;
- to provide recommendations for optimizing the power system.

The research methods used in the work are: qualitative, quantitative, comparative and analytical methods; study of the legal framework.

While executing this work, the systems of industrial power supply equipment were examined, particularly, the link between electric motors with regard to operating modes and the source of electrical current - power connection cables.

The world experience of modern economic development states that nowadays, communication equipment, transportation and power supply systems defined as a strategic product. Cable-conducted products are commonly used in all

spheres of human activity. They are necessary for municipal utilities, building, energy, transpiration, machinery, petrochemical, pulp paper and other industries. Cable industry one of the fast growing sub-sectors of mechanical engineering and electricity industries in the Russian Federation.

The scientific novelty of the work is to develop a mathematical model of the power plant system, which considers the complex load by taking into consideration different operating modes of electric motor types.

The practical value of the work is that, due to the isolation of the temperature margin of 10°C we can:

- improve the process ability, weight and size reduction of financial indicators and components of cable products with the ability to reduce the thickness of the insulation;
- increase the load capacity (energy efficiency) of the plant equipment by up to 11%.

Structure and volume of the work

Our work has of 125 pages (excluding appendix) and consists of introduction, six basic units, conclusion, reference and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that very unit. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 30 sources represented by books of Russian and foreign authors.

1 Electric power system

An electric power system is a network of electrical components used to supply, transfer and use electric power. An example of an electric power system is the network that supplies a region's homes and industry with power-for sizable regions, this power system is known as [the grid](#) and can be broadly divided into the [generators](#) that supply the power, the [transmission system](#) that carries the power from the generating centers to the load centers and the [distribution system](#) that feeds the power to nearby homes and industries. Smaller power systems are also found in industry, hospitals, commercial buildings and homes. The majority of these systems rely upon [three-phase AC power](#)-the standard for large-scale power transmission and distribution across the modern world. Specialized power systems that do not always rely upon three-phase AC power are found in aircraft, electric rail systems, ocean liners and automobiles [3].

Since the end of the 1960s, ethylene propylene rubber (EPR) insulated power cables have increasingly come into use. All new installations and repairing of old cable systems are performed using EPR-cables.

The basic material of EPR is rubber with low density polyethylene (LDPE). EPR is usually produced by the activation chemical agent, dicumyl peroxide. Insulation is extruded over the conductor using triple extrusion. During the triple extrusion process, rubber mixed with dicumyl peroxide is pressed onto the conductor forming the inner conductor screen, and the main insulation and outer semi conductive layers are extruded at the same time. The temperature during the extrusion is around 130 eC. After extrusion the insulated core is passed through a vulcanisation tube filled with pressurised and heated nitrogen gas. The heat and pressure decompose the peroxide into reactive primary radicals which affect the crosslinking. The crosslinking process causes rubber to change from a thermoplastic to thermosetting material with a marked improvement in both the physical and electrical properties.

After the curing the cable is cooled down. This period can cause residual mechanical stresses inside the cable insulation, which may not be uniformly

distributed in the cable insulation bulk material. Residual internal mechanical stresses from manufacturing have a significant effect on the breakdown strength of cable insulation [1]. The effect of internal mechanical stress can be reduced by heat treatment. Intermediate storing of the cable before jacketing will also reduce mechanical stresses.

During the curing process crosslinking byproducts are formed. Water is formed while crosslinking rubber and forming EPR. At the same time acetophenone and cumyl alcohol are formed in the quantity of 1 weight percent of the fresh vulcanised insulation. Up to 99,5 % of the peroxide will be consumed during the curing process. After degassing the insulation, the peroxide residual will be less than 4000 ppm and the water byproduct should be less than 150 ppm [2].

The long term performance of EPR insulation can be improved using additives during the manufacturing. Additives can improve the water tree retardant capabilities. Antioxidants are added to the cable insulation to capture highly reactive and harmful free radicals.

2. Estimate section

2.1 Background

Table 2.1 – Electrical cable plant load

Amount	Name of equipment	Installed power, kW	Coefficients	
			K_i	$\text{Cos}\varphi$
1	2	3	4	5
2	Crane DC-40% (MTKF 111-6 Y1)	28	0,15	0,5
3	Winch technology (5AHK)	6	0,8	0,8
1	DRUM TWISTER 3500 (twiner)	52	0,6	0,7
3	Winch stationary (6AK)	6,25	0,8	0,8
2	Exhaust Fan (5A132M6)	20	0,62	0,8
2	Extruder (EPL 22)	100	0,6	0,85
1	Drying cabinet	15	0,6	0,7
2	Extruder (EPL 50)	84	0,5	0,8
2	Stitching line (EEL 60)	65	0,14	0,9
3	Degasing oven	12	0,14	0,75
1	Test house	22,5	0,55	0,75

Used engines on equipment and machine tools are shown in Figure 2.1.

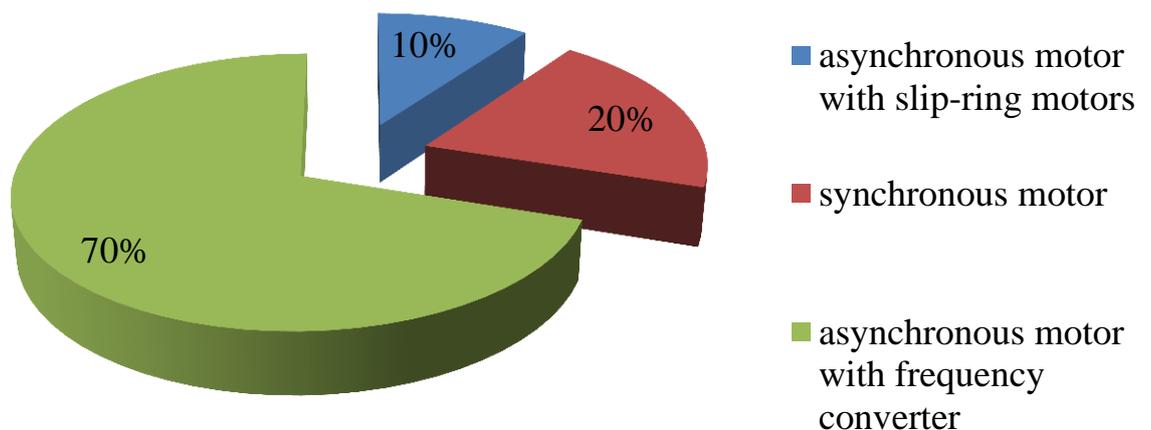


Fig. 2.1 - Types of used motors

2.1.1 Calculation of the electrical load of the cable plant.

Calculation of electrical loads produced in Table 3.2, "Calculation of loads on cable shop." This table is a summary how to calculate the power load on the individual components supply and transformer substations for the tires.

In this shop, there is one cable bridge crane duty cycle = 40%. It should lead to an installed capacity of 100% duty cycle and kVA in kW:

$$P_H = P_{VCT} \cdot \sqrt{IIB} \qquad P_H = S_{IIACII.} \cdot \cos \varphi_H \cdot \sqrt{IIB}$$

crane with duty cycle = 40%;

$$P_H = P_{VCT} \cdot \sqrt{IIB} = 44,3 \cdot \sqrt{0,4} = 28 \text{ kW};$$

2.1.2 Calculation of the lighting load

Calculation of the lighting load on the shop make a simplified method for the specific density of the lighting load per square meter of production area and the ratio of demand.

In this method, the calculated lighting load shall be equal to the average lighting power for the most loaded shift and is determined by the formula:

$$R_{po} = K_{co} \times R_{uo} \text{ kW}$$

$$Q_{po} = tg \varphi_o \times R_{ro}, \text{ quark,}$$

where $K_{co} = 0.95$ - coefficient of demand for active power the lighting load.

$tg \varphi_o = 0,5$ - coefficient of reactive power is determined by $\cos \varphi$, $\cos \varphi = 0,9$.

Rouault - installed capacity of light receivers in the shop, is determined by the specific lighting load on 1m² floor surface known production area:

$$Rouault = \rho_o \times F, \text{ kW.}$$

where F-production area, which is determined by the general management plan, in m²;

ρ_o – specific rated power in kW / m².

$$F = a \times b = 192 \times 48 = 9216, \text{ m}^2$$

$$R_{uo} = 0,015 \times 9216 = 138,24, \text{ kW}$$

$$R_{po} = 0,95 \times 138,24 = 131,33, \text{ kW}$$

$$Q_{p0} = 0,5 \times 138,24 = 69,12, \text{ kvar.}$$

$$S_{p0} = \sqrt{P_{p0}^2 + Q_{p0}^2} = \sqrt{138,24^2 + 69,12^2} = 154,55 \text{ kVA.}$$

2.1.3 The total plant load

$$P_{p\Sigma} = P_{p0} + P_p = 709,19 \text{ kW};$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_{p0} + Q_p = 326,77 \text{ kvar};$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{709,19^2 + 326,77^2} = 788,98 \text{ kVA};$$

$$K_3 = \frac{S_{p\Sigma}}{S_n} = \frac{788,98}{2 \cdot 630} = 0,63$$

Select transformer type TC3-630/10 / 0.4

Table 2.2 – The calculation of loads on the shop floor

№ According to plan	Part names Power and groups for power consumers	n	Installed power, kW		m	K _н	Cosφ/ tgφ	Average power		n ₃	K _м	The maximum design load			I _p , A
			One power consumers	Summ ary				P _{см} , kW	Q _{см} , kvar			P _м , kW	Q _м , kvar	S _м , кVA	
<u>SHRA 1</u>															
1, 10	Winch technology	2,0 0	6,00	12,00	> 3	0,8 0	0,8/0,7 5	9,60	7,20						
2,3,4	DEGASING OVEN	3,0 0	12,00	36,00		0,1 4	0,75/0, 88	5,04	4,44						
9,00	DRUM TWISTER 3500 (twiner)	1,0 0	52,00	52,00		0,6 0	0,7/1,0 2	31,20	31,82						
22,00	Exhaust Fan	1,0 0	20,00	20,00		0,6 2	0,8/0,7 5	12,40	9,30						
7,00	Test house	1,0 0	22,50	22,50		0,5 5	0,75/0, 88	12,38	10,89						
8,00	Crane c DC-40%	1,0 0	28,00	28,00		0,1 5	0,5/1,7 3	4,20	7,27						
21,00	winch stationary	1,0 0	6,25	6,25		0,8 0	0,8/0,7 5	5,00	3,75						
	TOTAL SHRA 1	10, 00	6÷52	176,75				79,82	74,67	7,0 0	1,5 0	119,7 2	74,67	141,1 0	203, 90

Continuation of Table 2.2

SHRA 2														
13,1 5	Winch stationary	2,0 0	6,25	12,50	> 3	0,8 0	0,8/0,75	10,00	7,50					
14,0 0	Crane DC-40%	1,0 0	28,00	28,00		0,1 5	0,5/1,73	4,20	7,27					
16,1 7	Stitching line (EEL 60)	2,0 0	65,00	130,0 0		0,1 4	0,9/0,48	18,20	8,74					
18,0 0	Winch technology	1,0 0	6,00	6,00		0,8 0	0,8/0,75	4,80	3,60					
19,0 0	Exhaust Fan	1,0 0	20,00	20,00		0,6 2	0,8/0,75	12,40	9,30					
20,0 0	Drying cabinet	1,0 0	15,00	15,00		0,6 0	0,7/1,02	9,00	9,18					
	ИТОГО ПО ШРА -2	8,0 0	6÷65	211,5 0				58,60	45,58	7,00	1,9 0	111,3 4	45,58	120,3 1
Equipment connected to the TS														
5,60	Extruder (EPL 22)	2,0 0	100,00	200,0 0	< 3	0,6 0	0.85/0.6 2	120,0 0	74,40					
11,1 2	Extruder (EPL 50)	2,0 0	84,00	168,0 0		0,5 0	0.8/0.75	84,00	63,00					
	LTS	4,0 0	84÷10 0	368,0 0				204,0 0	137,4 0	4,0 0	1,7 0	346,8 0	137,4 0	373,0 3
	The load on the lighting										131,3 3	69,12	154,5 5	223,34
	TOTAL the shop										709,1 9	326,7 7	788,9 8	1140,1 5

2.1.4 Selection of equipment

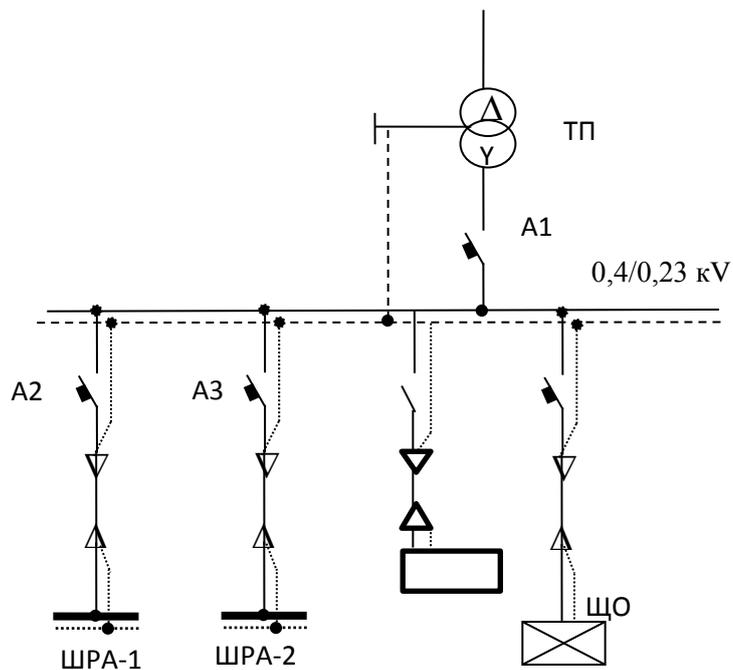


Fig. 2.2 - Driving power plant

Technical data for power consumers of distributed nodes load.

Table 2.3 – Technical data EL SHRA - 1

№ ER	Name	P_H, kW	$\cos\phi$	I_{long}, A	K_{start}	I_{start}	Mode	α	I_{start}/α
1, 10	Winch technology	6,00	0,80	10,8	6	65	easy	2,5	26,01
2,3,4	DEGASING OVEN	12,00	0,75	23,1	5	116	average	2	57,8
9	DRUM TWISTER 3500 (twiner)	52,00	0,70	107	3,00	322	heavy	1,6	201,3
22	Exhaust Fan	20,00	0,80	36,1	4,00	145	heavy	1,6	90,32
7	Test house	22,50	0,75	43,4	4,00	173	heavy	1,6	108,4
8	Crane DC-40%	28,00	0,50	80,9	4,00	324	heavy	1,6	202,3
21	Winch stationary	6,25	0,80	11,3	6,00	68	easy	2,5	27,1

$$\text{Electro receivers № 9: } I_{long} = I_{nom} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} \times U_{nom} \times \cos \phi} = \frac{52}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,7} = 107 \text{ A};$$

$$I_{start} = K_{start} \times I_{nom} = 107 * 3 = 322 \text{ A}$$

Others electro receivers calculated similarly for long and inrush current remaining power consumers installed in the shop.

Table 2.4 – Technical data ER SHRA - 2

№ ER	Name	P _n ,кW	cosφ	I _{long} , A	K _{start}	I _{start}	Mode	α	I _{start} / α
13,15	Winch stationary	6,25	0,80	11,3	6,00	68	easy	2,5	27,1
14	Crane DC-40%	28,00	0,50	80,9	4,00	324	heavy	1,6	202,3
16,17	Stitching line (EEL 60)	65,00	0,90	104	3,00	313	heavy	1,6	195,7
18	Winch technology	6,00	0,80	10,8	6,00	65	easy	2,5	26,01
19	Exhaust Fan	20,00	0,80	36,1	4,00	145	heavy	1,6	90,32
20	Drying cabinet	15,00	0,70	31	4,00	124	heavy	1,6	77,42

Table 2.5 – Technical data ER

№ ER	Name	P _n ,кW	cosφ	I _{long} , A	K _{start}	I _{start}	Mode	α	I _{start} / α
5,6	Extruder (EPL 22)	100,00	0,85	170	3,00	510	Heavy	1,6	318,8
11,12	Extruder (EPL 50)	84,00	0,80	152	3,00	455	Heavy	1,6	284,5

Selects protection devices and wire feeders to supply electrical receivers and nodes. All calculations are summarized in Table 3.

Select Machine A2, cable line and the type of trunking SHRA-1.

$$S_{p \text{ SHRA-1}} = 141,1 \text{ кВА}; I_{p \text{ SHAR-1}} = 203,9 \text{ A};$$

$$I_{krit} = I_{start} = I_{maxstart} + \Sigma I_{nom} = 324 + (203,9 - 80,9) = 447 \text{ A}$$

Select the type of busbar distribution SHRA-4-250-32-1UZ:

$$I_{nshra} = 250 > I_p = 203,9 \text{ A};$$

$$I_{eldynstab} = 25 \text{ кА.}$$

Select circuit breaker brand: BA88-35

$$1) I_{nom \text{ cb}} = 250 \text{ A} > I_n = 203,9 \text{ A};$$

$$2) I_{\text{nom disc}} = 250 \text{ A} > I_n = 203,9 \text{ A};$$

$$I_{\text{orc}} = 625 \text{ A};$$

$$3) I_{\text{w elm disc}} > 1,25 \times I_{\text{fold}} = 1,25 \times 447 = 558,75 \text{ A}; \quad 625 \text{ A} > 558,75 \text{ A}$$

conditions are met.

Choosing a cable to the SHRA-1: ТОФЛЕКС РПНГ(А) FRHF 1x70МК-1

$$1) I_{\text{add}} = 270 \text{ A} > I_n = 203,9 \text{ A};$$

$$I_{\text{add}} \geq K_3 \times I_3 = 1 \times 250, \quad 270 \geq 250 \quad \text{condition is satisfied}$$

Choose A3 circuit breaker, the cable line, and type-2 trunking SHRA.

$$S_{\text{p SHRA-2}} = 120,31 \text{ kVA}; \quad I_{\text{p SHRA-2}} = 173,86 \text{ A};$$

$$I_{\text{fold}} = I_{\text{start}} = I_{\text{maxstart}} + \Sigma I_{\text{nom}} = 324 + (173,86 - 80,9) = 417 \text{ A}$$

Select the type of distribution busbar: ШПА-4-250-32-1У3:

$$I_{\text{nshra}} = 250 \text{ A} > I_c = 173,86 \text{ A}; \quad I_{\text{el dyn}} = 25 \text{ kA}.$$

Select circuit breaker stamps: BA88-35

$$1) I_{\text{nom cb}} = 250 \text{ A} > I_p = 173,86 \text{ A};$$

$$2) I_{\text{nom disc}} = 200 \text{ A} > I_p = 173,86 \text{ A};$$

$$I_{\text{orc}} = 625 \text{ A};$$

$$3) I_{\text{w elm disc}} > 1,25 \times I_{\text{fl}} = 1,25 \times 417 = 521,25 \text{ A}; \quad 625 \text{ A} > 521,25 \text{ A}$$

conditions are met.

Choosing a cable to the SHRA-2: ТОФЛЕКС РПНГ(А) FRHF 1x50МК-1

$$1) I_{\text{add}} = 215 \text{ A} > I_n = 173,86 \text{ A};$$

$$I_{\text{add}} \geq K_3 \times I_3 = 1 \times 200, \quad 215 \geq 200 \quad \text{condition is satisfied.}$$

Select circuit breaker A5, cable line and the type of lighting board

$$\text{Select A}_5 \text{ of LB: } I_{\text{uo}} = \frac{S_{\text{p.o}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{154,55}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 223,33 \text{ A};$$

Circuit breaker: BA88-35:

$$1) I_{\text{n cb}} = 250 \text{ A} > I_n = 223,33 \text{ A};$$

$$2) I_{\text{n disc}} = 250 \text{ A} > I_n = 223,33 \text{ A};$$

$$3) I_{\text{welmdis}} > 1,25 \times I_{\text{flod}} = 1,25 \times 223,33 = 279,16 \text{ A}; \quad 250 \text{ A} > 223,33 \text{ A}$$

Assume LB brand ШО41-5101- three outgoing lines:

$$I_{n.LB.} = 48 \text{ A} > I_n = 27,9 \text{ A}$$

Choosing a cable to LB: ТОФЛЕКС РПНГ(А) FRHF 1x2,5МК;

1) $I_{add}=30 \text{ A} > I_H = 27,9 \text{ A};$

2) $I_{add} \geq \kappa_3 \times I_3 = 1 \times 27,9, 30 \geq 27,9$ condition is satisfied.

Choosing an introductory circuit breaker A1

$$\text{Total shop } I_p = \frac{S_{mp}}{0,7} = \frac{630}{0,7} = 900 \text{ A};$$

Find short-time current $I_{stc}=510 + (900-170)=1240 \text{ A}$

Select circuit breaker stamps BA88-43:

1) $I_{nom \text{ cb}} = 1600 \text{ A} > I_p = 1240 \text{ A};$

2) $I_{nom \text{ disc}} = 1280 \text{ A} > I_p = 1240 \text{ A};$

$I_{отс} = 1600 \text{ A};$

3) $I_{w \text{ elm disc}} > 1,25 \times I_{flod} = 1,25 \times 1240 = 1550 \text{ A}; \quad 1600 \text{ A} > 1550 \text{ A}$
condition is satisfied.

Table 2.6 – Calculation of protective devices and wires to ER

№ ER	Rated current		Circuit Breaker				Fuse			Type of vehicle protection	Кз	Current load wire		Mark and cable cross-sections
	I _{длит} (I _{ном})	I _{кр} (I _{пуск})	I _{ном. ав.}	I _{расц} ном	Setpoint inst. trigger		Current fuse-link, A		I _{ном.} пред.			K ₃ *I ₃	I _{доп} пров	
					I _п *1,25	I _{ср} расч	I _{расч} пл вст	I _{ном} пл вст						
ШРА-1														
1, 10	10,8	65	–	–	–	–	26,01	40	63	NEOZED-63	0,33	13,2	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
2,3,4	23,1	116	–	–	–	–	57,8	63	63	NEOZED-63	0,33	20,79	23	ТОФЛЕКС 1×1,5
9	107	322	125	125	402,5	500	–	–	–	BA88-32	1	125	140	ТОФЛЕКС 1×25
22	36,1	145	–	–	–	–	90,32	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
7	43,4	173	125	50	216,25	500	–	–	–	BA88-32	1	50	80	ТОФЛЕКС 1×10
8	80,9	324	125	100	405	500	–	–	–	BA88-32	1	100	140	ТОФЛЕКС 1×25
21	11,3	68	–	–	–	–	27,1	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
От TS к SHRA - 1	203,9	447	250	225	558,75	625	–	–	–	BA88-35	1	225	270	ТОФЛЕКС 1×70
ШРА – 2														
13,15	11,3	68	–	–	–	–	27,1	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
14	80,9	324	125	100	405	500	–	–	–	BA88-32	1	100	140	ТОФЛЕКС 1×25
16,17	104	313	125	125	391,25	500	–	–	–	BA88-32	1	125	140	ТОФЛЕКС 1×25
18	10,8	65	–	–	–	–	26,01	35	35	NEOZED-35	0,33	11,55	15	ТОФЛЕКС 1×0,75
19	36,1	145	–	–	–	–	90,32	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
20	31	124	–	–	–	–	77,42	100	100	NEOZED-100	0,33	33	41	ТОФЛЕКС 1×4
От TS к SHRA - 2	173,86	417	250	200	521,25	625	–	–	–	BA88-35	1	200	215	ТОФЛЕКС 1×50
ЭП														
5,6	170	510	250	200	637,5	700	–	–	–	BA88-35	1	200	215	ТОФЛЕКС 1×50
От TS к ER	539,06	1240	800	560	1550	1600	–	–	–	BA88-40	1	560	645	3×ТОФЛЕКС 1×50
Lighting	223,34	279,16	250	225	348,95	375	–	–	–	BA88-35	1	225	270	ТОФЛЕКС 1×70

2.2 Analysis of plant equipment

When forming the main shop networks, as well as the supply of high-power welding machines and electric furnace used a large cross section cables, designed for high currents. These cables are used for voltage up to 1000 V, the distances between live parts are very small, which leads to a dramatic manifestation of the proximity effect, increases the activity of the cable resistance.

In this work we used data at up to 10 kV design workshop for the production of cable products of LLC "Tomskcable". Analysis of plant equipment showed the prevalence of asynchronous motors with variable speed drive, the greater the number of electrical equipment operating in continuous mode, the S1 (71%), the S2 short-time (17%) and intermittent operation S3 (12%) (Figure 3.2). This indicates that the power cables feeding the plant equipment, are subject to varying degrees of heat, which may adversely affect the performance of the equipment.

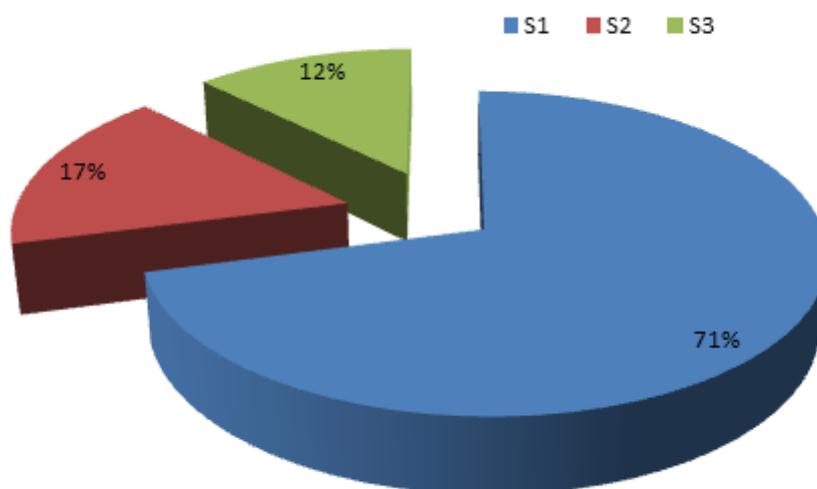


Fig. 3.2 - Distribution Diagram for modes of operation of the equipment

To optimize the operation modes of electrical equipment and, correspondingly, cables, power mathematical simulation is carried out using a software system ELCUT product. As the object of the modernization of the brand selected cable ТОФЛЕКС ППНГ(А) FRHF 1x50МК-1, the most suitable for the loads of LLC "Tomskcable".

Conclusion

Based on the results of the research that has been conducted, the following conclusions can be drawn:

a) Firstly, it has been shown that due to the mathematical model calculations the storage temperature of a cable insulation is 10°C which demonstrates the possibility of reducing the thickness of a cable insulation therefore it leads to the improvement of insulation, mass-dimensional indicators and reduction of financial expenses.

b) Secondly, the results have been indicated that due to the proposed mathematical model, load capacity (energy efficiency) of plant equipment can be increased up to 11%.

All given data of the research was justified experimentally by using following approaches: transformation of the Joule heating, Montziger rule and thermal conductivity equation. Moreover, the results directly correspond with engineering calculations and prove practical applicability of the proposed mathematical model in real life conditions in order to analyze the operation of machine modes.

The results show that:

1. A Suggested mathematical model that takes into consideration electrostatic and thermal processes in a cable lines can be used for determination of current load.

2. In order to determine appropriate geometrical parameters of cables, cabling and exploitation conditions it is necessary to investigate electrostatic and heat transfer processes in a cable power transmission lines.

3. Climate change process has an impact on the temperature field of cable lines, which allows to increase or decrease the load capacity of power cables and therefore directly affects the modes of electrical equipment.

References

1. Асинхронные электродвигатели для частотного регулирования АДЧР URL: <http://privodavtomatika.ru/produkcija/adchr/>
2. Дубицкий С. Д. Elcut 5.1 - платформа разработки приложений анализа полей // Экспонента Pro. 2004. № 1.
3. Amyot, N., David, E., Lee, S.Y., Lee, I.H. Influence of post-manufacturing residual mechanical stress and crosslinking by-products on dielectric strength of HV extruded cables. IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation. Vol. 9, No. 3, June 2002. pp 458 – 466.
4. Cable lines. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/87/07.php>
5. Densley, J., Bartnikas, R., Bernstein, B.S. Multi-stress ageing of extruded insulation system for transmission cables. IEEE Electrical insulation magazine. January/February 1993 Vol. 9. No. 1. pp 15-17.
6. Densley, J. Ageing mechanisms and diagnostics for power cables – an overview. IEEE electrical insulation magazine. January/February 2001 Vol. 17. No. 1. pp 14-22.
7. Harlin, A., Danikas, M.G., Hyvonen, P., Polyolefin insulation degradation in electrical field below critical inception voltages. Journal of electrical engineering. Vol. 56, No. 5-6. 2005. pp 135-140.
8. Hyvonen, P., Oyegoke, B., Aro, M. Advanced diagnostics test and measurement methods for power cable systems on-site. Literature review with discussion. Report TKK SJT-49. Helsinki University of Technology, High voltage institute, Espoo, Finland, 2001.
9. Hvidsten, S. Nonlinear dielectric response of water treed XLPE cable insulation. A dissertation submitted to the Norwegian University of Science and Technology. Department of electrical power engineering. ISBN 82-471-0433-4 1999:63. July 1999.
10. Mathematical modeling of the electric field in couplings power cables. URL: http://www.power-e.ru/2010_3_88.php