Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИ»

На правах рукописи

ФЕДОРОВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор В.С. Терещук

Казань – 2014

Содержание

Введение **2**

Глава I Постановка задачи синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля **11**

1.1. Обзор литературы по теме диссертации 11

1.2. Постановка задачи синтеза системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологий 15

1.3. Системное исследование системы распределения электрической энергии грузового автомобиля, ее проектирования и производства как стадии жизненного цикла сложных систем 21

Выводы 30

Глава II Логическая схема проектирования системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологии **31**

2.1. Логическая схема проектирования, математическое описание и общий алгоритм синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий 31

2.2. Математическая модель монтажного пространства грузового автомобиля 49

Выводы 53

Глава III Математическое обеспечение системы автоматизированного проектирования системы распределения электрической энергии грузового автомобиля **54**

3.1. Компоновка конструктивных узлов электрооборудования 54

3.2. Размещение элементов и конструктивных узлов электрооборудования 59

3.3. Разводка сложных электрических цепей при проектировании межблочного монтажа 62

3.4. Формирование конфигурации жгутов при проектировании межблочного монтажа 66

3.5. Трассировка жгутов при проектировании межблочного монтажа 71

3.6. Анализ системы распределения электрической энергии грузового автомобиля 76

3.7. Оптимизация сечений проводов системы распределения электрической энергии грузового автомобиля 82

Выводы 88

Глава IV Программная реализация методик синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля 89

4.1. Общие вопросы разработки программного обеспечения 89

4.2. Информационное обеспечение 95

4.3. Программное обеспечение 105

4.4. Внедрение результатов разработки в промышленности 109

Выводы 112

Заключение 113

Список литературы 114

Приложение 125

Введение

Актуальность темы. Проектирование комплексов электрооборудования современных автомобилей в настоящее время не возможно без использования автоматизированных систем, что обусловлено следующими причинами: постоянно увеличивается число новых моделей, модификаций и комплектаций автомобилей; предъявляются жесткие требования к срокам выпуска и качеству проектных документов, их соответствию международным стандартам и нормативам; усложняется структура систем электрооборудования, что приводит к увеличению номенклатуры и усложнению чертежей; увеличивается объем рутинной работы инженера.

Также в мировом автомобилестроении наблюдается тенденция обеспечения тесной взаимосвязи процессов проектирования, производства, маркетинга и эксплуатации автомобиля. Поэтому проектирование комплекса электрооборудования автомобиля неотрывно от последующей технологической подготовки производства и эксплуатации.

Выходом является использование средств автоматизированного проектирования (САПР) электрооборудования на основе CALS-технологий, заключающиеся в непрерывной информационной поддержке поставок и жизненного цикла сложных изделий (проектирование, производство, эксплуатация, ремонт, утилизация).

Рынок информационных технологий в области проектирования электрооборудования достаточно широко представлен универсальными инструментальными системами САПР, позволяющими решить в комплексе задачи разработки принципиальных схем, схем электрических соединений и проектирования жгутов. В качестве примера можно привести такие системы САПР как Electrics, E3.Series, EPLAN Electric и др. Большинство из них эффективно взаимодействует с системами трехмерного проектирования (Siemens NX, Catia, Cimatron, SolidWorks), системами подготовки и сопровождения технической

документации (TG BILDER) и системами организации коллективного пользования (Teamcenter, Smartteam, CIM Database).

Для задач решаемых конструкторским отделом электрооборудования автомобильных предприятий уровень проекта определяется надежностью и качеством электроснабжения потребителей электроэнергии автомобильных систем и оптимальностью принимаемых решений. К ним относятся компоновка и размещение конструктивных узлов, разводка электрических цепей, формирование жгутов, анализ режимов работы системы распределения электрической энергии, оптимизация сечений проводов, выбор и проверка аппаратов защиты, баланс электрической энергии автомобиля и т.д.

По проблематике создания систем автоматизированного проектирования и оптимизации систем электрооборудования транспортных средств известны работы отечественных ученых Норенкова И.П., Селютина В.А, Жука К.Д., Штейна М.Е., Курейчика В.М., Морозова К.К., Аветисяна Д.А, Терещука В.С., Макарова В.Г., Шакирова Ю.И., Цоя А.А. и других.

Анализ показал, что системы автоматизированного проектирования электрооборудования в большинстве своем являются средствами графически-информационной поддержки проектного процесса существенно сокращающие его сроки и повышающие его точность. Но качество проектных решений здесь зависит во многом от подготовленности и опыта персонала.

Задачи оптимизации, анализа качества и надежности проектируемых систем универсальные средства САПР электрооборудования не решают. Кроме того универсальные САПР, являясь инструментальной оболочкой, требуют адаптации к конкретным объектам, специфики решения задач и форме конструкторской документации.

Таким образом, для решения указанных проблем необходимо исследование этапа проектирования комплекса электрооборудования грузового автомобиля, разработка методик топологического и параметрического синтеза системы

распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий. В диссертации сформулированы следующие положения.

Объект исследования – Система распределения электрической энергии грузового автомобиля.

Предмет исследования – Методика проектирования системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологий.

Цель исследования – Сокращение сроков проектирования, повышение качества и надежности систем электрооборудования, и снижение затрат на проектирование и производство грузового автомобиля.

Научная задача исследования – разработка методик и программ автоматизированного синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий, которая решалась по следующим направлениям:

1. Системное исследование системы распределения электрической энергии как объекта проектирования, процесса проектирования системы распределения электрической энергии грузового автомобиля для раскрытия основных проблем при проектировании грузового автомобиля

2. Разработка модели этапа проектирования комплекса электрооборудования грузового автомобиля на основе CALS-технологий в виде логической схемы проектирования системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

3. Разработка методики топологического синтеза системы распределения электрической энергии, включающая компоновку и размещение конструктивных узлов электрооборудования, разводку электрических цепей, формирование и трассировку жгутов грузового автомобиля.

4. Разработка методики параметрического синтеза системы распределения электрической энергии, включающую оптимизацию сечений проводов, выбор аппаратов защиты, расчет баланса электрической энергии, анализ режимов работы системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

5. Разработка рекомендаций системного использования предложенных методик при проектировании комплекса электрооборудования в конструкторском бюро автомобилестроения.

Методы исследования. Разработка модели этапа проектирования в виде логической схемы основывалась на теории сложных систем, общей методологии и аксиоматике построения CAD/CAM/CAE систем и CALS –технологиях. Разработка методик топологического и параметрического синтеза строилась на основе теории электрических цепей, теории множеств, теории неориентированных графов, методов математического программирования.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается в корректном применении теории электрических цепей, теории сложных систем, теории графов, методов математического программирования, теории множеств, сходимостью результатов, полученных аналитическим методом и на компьютерной модели.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующем:

1. Разработана модель этапа проектирования комплекса электрооборудования грузового автомобиля на основе CALS-технологий в виде логической схемы проектирования системы распределения электрической энергии, впервые учитывающая стадии жизненного цикла электрооборудования (производство, эксплуатация).

2. Разработана методика топологического синтеза системы распределения электрической энергии, включающую компоновку и размещение конструктивных узлов электрооборудования (разработаны алгоритмы, в критерий оптимизации которых введены параметры, характеризующие массу проводных соединений), разводку электрических цепей (разработан алгоритм на основе деревьев Штейнера), формирование жгутов (алгоритм формирования жгутов с использованием вычислительной процедуры приближенного метода) и трассировку жгутов (разработан эвристический алгоритм) грузового автомобиля.

3. Разработана методика параметрического синтеза и анализа системы распределения электрической энергии, включающая оптимизацию сечений проводов, выбор аппаратов защиты, анализ режимов работы системы электроснабжения грузового автомобиля, впервые учитывающая специфику CALS-технологий.

4. Впервые разработаны рекомендации системного использования предложенных методик и программ при проектировании комплекса электрооборудования в конструкторском бюро автомобилестроения.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные инженерные методики проектирования комплекса электрооборудования позволяют сократить сроки проектирования; разработанные программы анализа режимов работы системы электроснабжения, выбора аппаратов защиты, выбора сечений проводов позволяют повысить качество и надежность системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

Реализация результатов работы. Результаты выполненных исследований внедрены и используются в научно-техническом центре ОАО «КАМАЗ» при проектировании модификаций и новых грузовых автомобилей КАМАЗ для уменьшения затрат на проектирование. Также результаты диссертационной работы внедрены и используются в учебном процессе кафедры «Электрооборудования» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» в лекционных курсах, при выполнении курсовых и дипломных работ студентами и магистрантами.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Модель этапа проектирования комплекса электрооборудования грузового автомобиля на основе CALS-технологий в виде логической схемы проектирования системы распределения электрической энергии, впервые учитывающая стадии жизненного цикла электрооборудования (производство, эксплуатация).

2. Методика топологического синтеза системы распределения электрической энергии, включающая компоновку и размещение конструктивных узлов

электрооборудования (разработаны алгоритмы, в критерий оптимизации которых введены параметры, характеризующие массу проводных соединений), разводку электрических цепей (алгоритм на основе деревьев Штейнера), формирование жгутов (алгоритм формирования жгутов с использованием вычислительной процедуры приближенного метода) и трассировку жгутов (эвристический алгоритм) грузового автомобиля.

3. Методика параметрического синтеза системы распределения электрической энергии, включающая оптимизацию сечений проводов, выбор аппаратов защиты, анализ режимов работы системы электроснабжения грузового автомобиля, впервые учитывающая специфику CALS-технологий.

4. Рекомендации системного использования предложенных методик и программ САПР при проектировании комплекса электрооборудования в конструкторском бюро автомобилестроения.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-технических конференциях:

Международная научно-техническая конференция «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию Московского государственного машиностроительного университета (МГТУ) «МАМИ», Москва, МГТУ «МАМИ», 2010г.; VI международная научно-практическая конференция «Автомобиль и техносфера». Казань: КНИТУ-КАИ, 2011; XI международная научно-техническая конференция «АВИА-2013». Киев: Национальный Авиационный Университет, 2013; Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии: практика применения в производстве, бизнесе и образовании». Нижнекамск: НИИТиТ КНИТУ-КАИ, 2011.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 научные статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 124 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 36 рисунков, 11 таблиц. Список литературы включает в себя 101 источник.

Глава I. Постановка задачи синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля

1.1. Обзор литературы по теме диссертации

Процесс проектирования системы распределения электрической энергии современных грузовых автомобилей состоит из решения множества задач [20]. На рис. 1.1 приведена структурная схема проектирования системы распределения электрической энергии. Основой этапа проектирования является разработка принципиальных электрических схем системы распределения электрической энергии. Основную трудоемкость составляют задачи определения пространственного положения элементов, их соединений и подготовка соответствующей технической документации: таблиц соединений, спецификаций и т.д. Такие задачи [21] представляют класс задач топологического проектирования. При проектировании межблочного монтажа им соответствуют последовательность выполнения задач компоновки и размещения конструктивных узлов, разводки электрических цепей, формирование и трассировка жгутов.

При решении задач размещения, определения конфигурации электрической сети автомобиля необходимо учитывать потери напряжения в проводах и многорежимность работы сети. Это приводит к тому, что проектирование всех систем электрооборудования ведется взаимосвязано, то есть процесс проектирования носит сложный итерационный характер. Таким образом, синтез системы распределения электрической энергии и ее параметрическая оптимизация являются завершающим этапом при проектировании.

Составление наборов (компоновка) конструктивных узлов и их размещение на грузовом автомобиле является важным этапом. Должны быть определены места размещения конструктивных узлов, ограничения на их объемы и т.п. Результаты решения определяют дальнейший характер разводки электрических цепей, формирование и трассировки жгутов. Задача компоновки и размещения конструктивных узлов наиболее часто встречается в смежных областях: при

проектировании радиоэлектронной аппаратуры [22,23], устройств автоматики [24]. Известна работа [25] по компоновке и размещению конструктивных узлов бортового электрооборудования летательных аппаратов. Существует множество решений в других областях, которые по постановке сходны с решаемой задачей. К ним относятся работы при проектировании радиоэлектронной аппаратуры [21,23, 26, 27, 28]. В данных работах широко применяются последовательные и итерационные алгоритмы с использованием теории неориентированных графов и различных методов математического программирования. В качестве критериев оптимизации используются различные оценки длины соединений.

Разводка электрических цепей состоит в определении способа соединений эквипотенциальных выводов электрической схемы и проводится с учетом трасс и расположения элементов каждой цепи, требований надежности и т.п.

Из известных автору работ можно выделить работы [8,21,23,26,29,30-40], в которых представлены многочисленные результаты решения задачи разводки электрических цепей, как на летательных аппаратах, автомобилях, так и в радиоэлектронной аппаратуре и электронно-вычислительной аппаратуре. Для проектирования межблочного монтажа в данных работах применяется разомкнутая топология соединений. При этом для уменьшения массы проводных соединений применяются дополнительные клеммы, образующие клеммные колодки. Электрические цепи при этом представляются графовыми моделями, и проблема сводится к определению минимальных покрывающих деревьев.

Задача формирования жгутов состоит в объединении наборов проводов с учетом ограничений по электромагнитной совместимости, рода тока, технологичности, геометрических особенностей, мест прокладки и т.д. Количество работ по формированию жгутов ограничено, что объясняется трудностью постановки задачи из-за значительного числа проектных решений. В существующих работах [8,25,42,43] задача формирования жгутов решается при применении ортогональных графов и алгоритмов построения минимальных деревьев.

Задача трассировки жгутов заключается в построении оптимальной траектории жгута в монтажном пространстве автомобиля. Известны работы [44-47],

в которых исследуется трассировка сложных соединений и жгутов на летательных аппаратах. Во всех рассмотренных работах трассировка жгутов осуществляется в двухмерном пространстве с использованием графовых моделей.

Существуют работы зарубежных авторов [48-52] в области автоматизированного проектирования распределительных сетей автомобилей, где рассмотрены вопросы математического обеспечения и создания САПР распределительных сетей автомобилей. К ним относятся вопросы разводки электрических цепей и трассировки проводов на летательных аппаратах с помощью различных эвристических алгоритмов.

Задачи параметрического синтеза заключаются в выборе аппаратов защиты, оптимизации сечений проводов, анализе режимов работы системы распределения электрической энергии, расчете баланса электрической энергии автомобиля. По вышеперечисленным вопросам известны работы [53-61], которые были разработаны достаточно давно. На кафедре электрооборудования КНИТУ им А. Н. Туполева-КАИ была разработана подсистема САПР электрооборудования автомобилей, в которой решены системные вопросы для некоторых задач из общего цикла проектирования системы распределения электрической энергии. Решены задачи выбора аппаратов защиты, разводки электрических цепей (по модифицированному алгоритму Прима), оптимизации сечений проводов (метод динамического программирования) и анализа режимов работы электрической сети автомобиля (методы линейного программирования). Данный комплекс программ является продолжением работ по созданию САПР электрооборудования летательных аппаратов, которые велись на кафедре в 80–90-х годах ее сотрудниками (А.А. Цой, А.М. Нотариус, В.П. Горячкин, В.Н. Кушниренко, Н.Ш. Шакирзянова, С.В. Фадеев и др.) под руководством В.С. Терещука. Также современные средства САПР [62-64] обладают встроенными модулями по расчету токов, потерь напряжений и т.п..

Синтез электрифицированных систем исследован в полном объеме с использованием системного подхода в работах [8, 25, 65]. Использование CALS-технологий при создании высокотехнологичных изделий широко описано в работах [16-19].

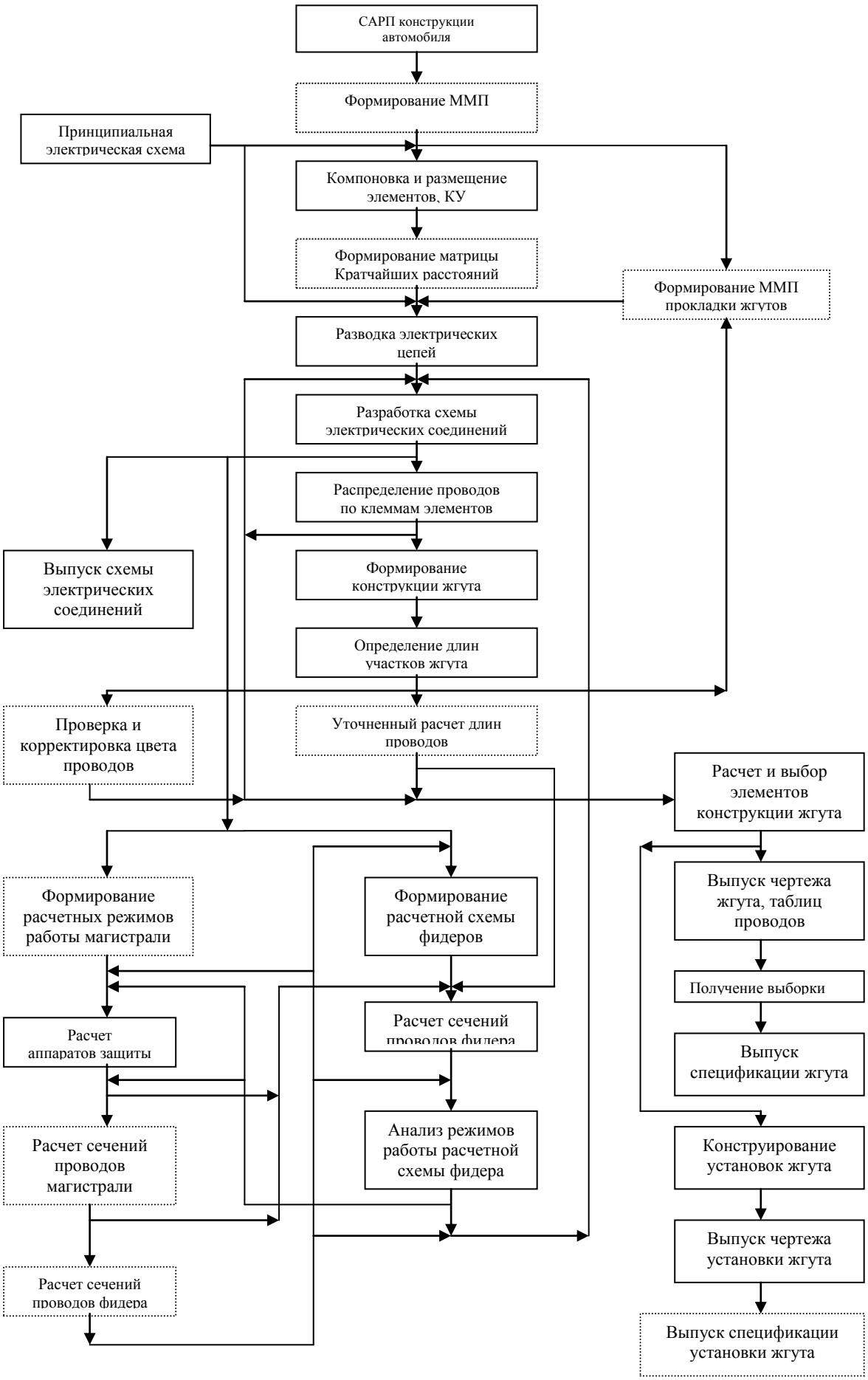

САРП конструкции автомобиля
Формирование ММП
Принципиальная электрическая схема
Компоновка и размещение элементов, КУ
Формирование матрицы Кратчайших расстояний
Формирование ММП прокладки жгутов
Разводка электрических цепей
Разработка схемы электрических соединений
Распределение проводов по клеммам элементов
Выпуск схемы электрических соединений
Формирование конструкции жгута
Определение длин участков жгута
Проверка и корректировка цвета проводов
Уточненный расчет длин проводов
Расчет и выбор элементов конструкции жгута
Формирование расчетных режимов работы магистрали
Формирование расчетной схемы фидеров
Выпуск чертежа жгута, таблиц проводов
Получение выборки
Расчет аппаратов защиты
Расчет сечений проводов фидера
Выпуск спецификации жгута
Расчет сечений проводов магистрали
Анализ режимов работы расчетной схемы фидера
Конструирование установок жгута
Выпуск чертежа установки жгута
Расчет сечений проводов фидера
Выпуск спецификации установки жгута

Рис. 1.1

1.2. Постановка задачи синтеза системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологий

При создании всех видов обеспечения автоматизированных систем проектирования и производства [1,2] необходимо исследование структуры и функций организаций проектирования и производства, их подразделений, объекта исследования и процесса его проектирования и производства [3,4]. Организации проектирования и производства рассматриваются как категория среды функционирования автоматизированных систем, а объект исследования и процесс его проектирования и производства – как логически связанная дуальная пара целевой категории и категории достижения цели [1].

С вводом в действие подсистем автоматизированного проектирования и производства изменяется структура организаций проектирования и производства, процесс проектирования и производства. При создании автоматизированных систем, их методического, организационного, информационного обеспечения должны учитываться с одной стороны особенности конкретного автомобилестроительного КБ и производственного предприятия, класс проектируемых и реализуемых объектов, сложившийся процесс проектирования и производства, организационные связи подразделений, а с другой стороны должны содержаться компоненты, рекомендуемые для широкого внедрения в отрасли в целом.

Анализ деятельности организаций проектирования и производства, в частности, отделов электрооборудования ряда КБ [3,5] показывает некоторое различие в структуре и функциях отделов, в детализации процесса проектирования и производства, применяемых проектных и производственных решениях. В целом же и объект, процесс проектирования и производства имеют много общего, что объясняется унификацией систем оборудования и действием нормативной документации (ГОСТ, ОСТ и др.).

В соответствии с вышеизложенным материалом, возникает **первая задача** диссертационного исследования. Она формулируется как системное исследование системы распределения электрической энергии, процесса проектирования системы

распределения электрической энергии грузового автомобиля для раскрытия основных проблем при проектировании грузового автомобиля.

Также при системном подходе к проектированию электрооборудованию автомобилей, как сложной системы, необходимо формализовать процесс решения взаимосвязанных задач в виде некоторой структурной или логической схемы. С другой стороны, синтез систем электрооборудования осуществляется в рамках САПР, при создании которой разработка структурной или логической схемы является начальным обязательным шагом. Обобщение опыта проектирования сложных систем позволило разработать основные положения построения таких логических схем [1]. Исходя их этого складывается **вторая задача** научного исследования: разработка модели этапа проектирования электрооборудования грузового автомобиля в виде логической схемы проектирования системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

Задачи компоновки и размещения элементов электрооборудования, разводки электрических цепей, формирования и трассировки жгутов являются основой топологического синтеза межблочного проводного монтажа системы распределения электрической энергии автомобиля. Трудоемкость задач топологического синтеза обусловливается следующими причинами [8]:

1. Сложными итерационными связями отдельных задач конструкторского этапа проектирования, а также их связями с задачами схемотехнического проектирования и этапов технологического синтеза;
2. Повторным решением этих задач при появлении новых или изменении имеющихся конструктивных узлов;
3. Необходимостью контроля за выпускаемой технической документацией (таблицами проводов, чертежами схем, жгутов, спецификациями и др.) ввиду допущения возможных ошибок в процессе проектирования.

Исходя из обзора и анализа литературы были выявлены следующие недостатки топологического синтеза системы распределения электрической энергии грузовых автомобилей. На грузовых автомобилях в настоящее время не уделяется

достаточно внимания вопросу компоновки элементов электрооборудования в отдельные конструктивные узлы. Задачи компоновки и размещения конструктивных узлов, элементов электрооборудования для автомобилей в существующей литературе не нашли полного отражения.

Работы по разводке электрических цепей не учитывают в настоящее время современных технологий для уменьшения количества проводов, подключаемых к выводам элементов при разводке электрических цепей, таких как муфты сращивания (сбивки, спайки, ультразвуковая сварка) [41]. Это, в свою очередь, требует разработки новых методик автоматизированного проектирования разводки электрических цепей автомобилей.

В существующих работах задача формирования жгутов не решена в полном объеме: не учтены некоторые проектные ограничения, возможность автоматизации изготовления жгутов. Вопросы проектирования жгутов межблочного электромонтажа автомобилей освещены явно недостаточно.

В рассмотренных работах трассировка жгутов осуществляется в двухмерном пространстве, при этом теряется связь с реальным монтажным пространством автомобиля, не учитываются запрещенные зоны, обладающие сложной конструкцией.

Таким образом, необходимо решить **третью задачу** научного исследования: разработку методики топологического синтеза системы распределения электрической энергии, включающую в себя компоновку конструктивных узлов электрооборудования, размещение элементов электрооборудования, разводку электрических цепей, формирование и трассировку жгутов грузового автомобиля.

Задачи выбора аппаратов защиты, оптимизации сечений проводов, анализа режимов работы системы распределения электрической энергии, расчета баланса электрической энергии автомобиля относятся к параметрическому синтезу системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

Современные средства САПР [62-64] обладают многочисленными встроенными модулями по расчету токов, потерь напряжений, проверке сечений

проводов по допустимому току, проверке аппаратов защиты. Однако они не учитывают многорежимность работы электрической сети, селективность срабатывания защиты, переходные сопротивления.

Возникает **четвертая задача** научного исследования: разработка методики параметрического синтеза системы распределения электрической энергии, включающую в себя оптимизацию сечений проводов, выбор аппаратов защиты, расчет баланса электрической энергии, анализ режимов работы системы распределения электрической энергии грузового автомобиля с учетом всех перечисленных условиях.

Также предлагаемое расширение работ по решению отдельных задач оптимизации системы распределения электрической энергии обусловлено появлением новых программных продуктов, CALS-технологий, новых грузовых автомобилей и их модификаций.

В современном мировом автомобилестроении наблюдается тенденция обеспечения тесной взаимосвязи процессов проектирования, производства, маркетинга и эксплуатации как автомобиля в целом, так и составляющих его систем. В этой связи проектирование системы электроснабжения автомобилей неотрывно от разработки других систем той же модели, так и от последующей технологической подготовки производства, производства и последующей эксплуатации. Отсюда современные САПР электрооборудования автомобиля, должны интегрироваться в системы автоматизации производственных процессов и вписываться в общий процесс документального сопровождения жизненного цикла при использовании CALS – технологий (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support*) [16-19]. Это непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделий, современный подход к проектированию и производству сложных изделий, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла. Информационная поддержка производится согласно требованиям системы международных стандартов, регламентирующих

правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

С другой стороны, требования интеграции проектного процесса в CALS – систему при разработке автоматизированных систем проектирования и производства электрооборудования автомобиля усложняется такими факторами как:

– интенсивная инновация моделей, модификаций и комплектаций автомобилей;

– рост требований к качеству проектных документов и их соответствию международным стандартам и нормативам;

– развитие и усложнение структуры системы распределения электрической энергии, усложнение принятия оптимальных решений, увеличение номенклатур и усложнение чертежей.

На фоне этих требований контрастируют проблемы связанные с человеческим фактором:

– необходимость проведения большого числа инженерных расчетов;

– увеличение объема рутинной работы инженера, понижающей престижность его труда.

В итоге, для реализации автоматизированных систем проектирования и производства электрооборудования автомобиля требуется эффективный программный инструмент топологического и параметрического синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля, встроенный в CALS-систему, позволяющий при минимуме кадровых ресурсов и сокращении сроков разработки обеспечить требуемое качество и конкурентоспособность проекта. Кроме того, для организации процесса проектирования и производства, реализуемого параллельно несколькими конструкторами и технологами, требуется четкое информационное взаимодействие между ними и решаемыми ими задачами.

Использование CALS-технологии позволит создать единую систему автоматизированного проектирования и автоматизированного производства, традиционно считавшиеся различными и независимыми.

Таким образом, возникает **пятая задача** научного исследования. Она выражается как разработка рекомендаций системного использования предложенных методик при проектировании комплекса электрооборудования на основе CALS-технологий в конструкторском бюро автомобилестроения.

1.3. Системное исследование системы распределения электрической энергии грузового автомобиля, ее проектирования и производства как стадии жизненного цикла сложных систем

На данный момент большинство систем распределения электрической энергии автомобилей проектируются в КБ автомобилестроительных предприятий. Разрабатывается техническое задание на проектирования системы распределения электрической энергии, включающее в себя технические требования к автомобилю, системе электроснабжения и составу электрооборудования автомобиля; разработку принципа действия системы электроснабжения и принципиальной электрической схемы; конструкторские работы по компоновке, размещению и установке элементов системы распределения электрической энергии на автомобиле; разработку схемы электрических соединений; определение трассы проводов; формирование жгутов; разработку чертежей жгутов с перечнем элементов и таблицами проводов.

В настоящее время электрооборудование автомобилей (рис. 1.2) содержит большое количество электротехнических и электронных устройств, которые объединены в системы электрооборудования, электронные и микропроцессорные системы управления, бортовые системы контроля и диагностики и др. [6,7].

Задача проектирования системы распределения электрической энергии автомобиля относится к числу наиболее сложных. Поэтому, независимо от принадлежности электрооборудования той или другой системе при решении задач топологического и параметрического синтеза, систему распределения электрической энергии необходимо рассматривать как единый объект проектирования (рис. 1.3) и производства [8]. Отметим основные признаки этого единства:

1. элементы и устройства системы распределения электрической энергии располагаются на одних и тех же элементах конструкции автомобиля, а провода объединяются в жгуты проводов;
2. электромонтаж всех систем ЭО осуществляется в общих зонах монтажного пространства автомобиля и трассах прокладки жгутов проводов;

3. электропитание всех систем ЭО осуществляется от одной системы распределения электрической энергии, следовательно, режимы работы отдельных систем влияют друг на друга по значению напряжения питания.

Рис. 1.2

В рассмотренных признаках отражены принципы системного подхода [1,9], обосновывающие возможность общей оптимизации разработки, проектирования и конструирования сложных технических систем, каковой и является система распределения электрической энергии автомобилей.

Таким образом, к системе распределения электрической энергии автомобилей, как объекту проектирования и производства, будем относить связи

электротехнических и электронных систем по схемным, геометрическим и конструктивным признакам.

Анализ системы распределения электрической энергии автомобиля по системным признакам [1,8,10-12] позволяет отнести ее к сложной системе. Действительно, с этих позиций система распределения электрической энергии автомобилей характеризуется следующими особенностями:

1) большим количеством взаимосвязанных систем, к которым относятся система освещения, световой и звуковой сигнализации, системы электроприводов, электронные системы управления и др. В составе этих систем, в свою очередь, также могут быть выделены подсистемы и т.д.;

2) многомерностью, обусловленной большим числом связей между системами – связи по питанию электроэнергией, функциональные связи между комплексами оборудования, цепи блокировки и т.д. Они приводят к многочисленным ограничениям в выборе решений, к необходимости корректировки технических заданий и согласования принимаемых решений;

3) многоуровневой структурой (причем в зависимости от схемных, конструктивных, монтажных признаков существует многообразие таких структур);

4) схемными и конструктивными объединениями многих систем, характеризующихся различной природой и физической сущностью;

5) многорежимностью работы отдельных его элементов, подсистем, систем и комплекса в целом; большой массой и протяженностью проводных связей, значительным разбросом мощностей приемников электроэнергии.

После разводки электрических цепей межблочного монтажа имеем схемы электрических соединений, в которых соединения реализуются проводами. Провода, идущие в одном направлении (по одной трассе), собирают и связывают в жгуты с учетом различных конструктивных, производственных и эксплуатационных соображений.

Электрические жгуты производятся в основном на специализированных предприятиях кабельно-проводниковой продукции [13]. Опыт показывает [14], что в

процессе производства наибольшие трудности связаны с изготовлением электрожгутов, сложность которых увеличивается из года в год.

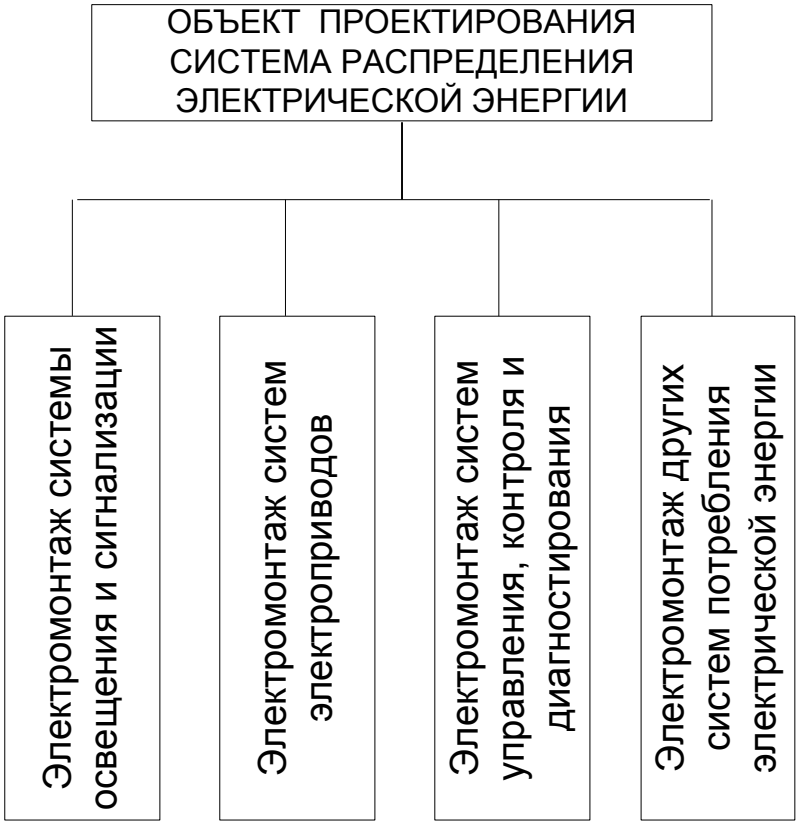


Рис. 1.3

В связи с этим наблюдается ускоренное возрастание трудоемкости производства жгутов, количественного состава работающих и занимаемых под изготовление жгутов производственных площадей. Это вызывает необходимость внедрения передовых методов труда, средств механизации и автоматизации, основанных на применении наиболее совершенных методов техники программного управления.

Жгуты различных систем электрооборудования автомобиля можно разделить на две группы: жгуты для внутриблочного монтажа, характеризующиеся малыми габаритами и массой, и жгуты для межблочного монтажа. Современные жгуты имеют большую разветвленность, большое количество проводов и разъемов.

Анализ структуры жгута (рис. 1.4) показывает, что производство жгута относится к сложным задачам, поэтому жгут можно рассматривать как единый объект производства.

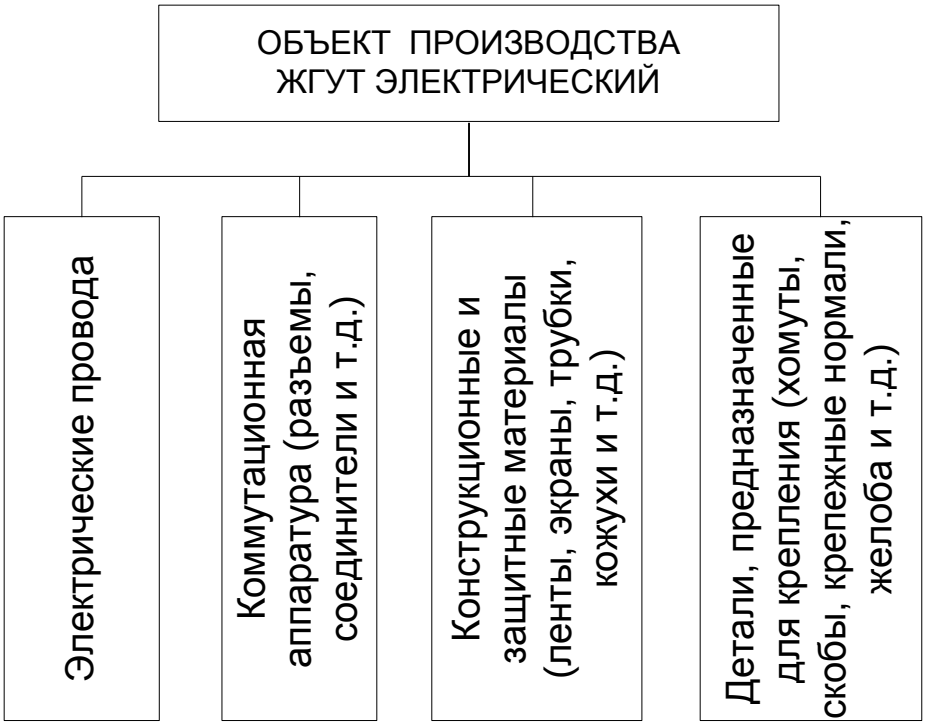


Рис. 1.4

Жгут как объект производства [14, 15] имеет следующие особенности:

1. Сложность, определяемая многоэлементностью и большим числом соединений между элементами и соответственно значительной длиной проводов. ряд деталей и элементов являются весьма сложными по конструкции, форме, большим габаритам и др.;

2. Тяжелые условия эксплуатации (механические, тепловые, климатические и другие факторы);

3. Высокая плотность монтажей, вызванная необходимостью размещения многочисленных систем с их связями;

4. Недостаточная технологичность, что затрудняет механизацию и автоматизацию монтажных работ;

5. Сменяемость и модернизация конструкций жгутов в процессе их производства.

6. Относительно высокий процент отказов, падающий на долю жгутов.

Пути повышения качества и снижения трудоемкости изготовления жгутов:

1. Совершенствование технологических процессов монтажа жгутов, в частности, за счет нормализации операций и оптимизации процессов разработки технологических процессов с применением ЭВМ. Это позволяет повысить качество жгутов, снизить их трудоемкость, сократить объем технической документации и снизить трудоемкость составления технологических процессов;

2. Совершенствование методов и средств механизации монтажных работ, которые обеспечивают снижение трудоемкости, а также повышение качества жгутов;

3. Разработка и внедрение новых методов организации производства, в том числе системы управления качеством производства, позволяющей не только обнаруживать дефекты и отказы, но и предупреждать их появление.

Исходные данные, по которым разрабатываются все основные рабочие технологические процессы производства жгутов, составляются в виде руководящих технологических материалов (РТМ), которые включают:

– схемы и другие документы, отражающие последовательность проведения монтажных работ, а также требования на поставку отдельных элементов и новых материалов;

– схемы увязки шаблонно-эталонной, заготовительной, механосборочной и монтажной оснастки, обеспечивающие заданную форму, размеры и расположение элементов систем;

– перечень средств обеспечения взаимозаменяемости основного технологического оборудования и оснастки для выполнения монтажных работ, основных средств контроля и испытания;

– перечень новых технологических процессов, подлежащих разработке и внедрению.

Для определения последовательности производства жгутов составляются рабочие технологические процессы, в которых фиксируется последовательность и режим выполнения работ по операциям, переходам и проходам, указывается оборудование, оснастка и инструмент, а также нормы времени на выполнение работ.

Собранные жгуты должны обладать: минимальной величиной переходного контактного сопротивления; высокой механической прочностью соединенных концов проводов с различными электрическими контактами; высокой электрической прочностью изоляции. При составлении схемы электрожгута необходимо учитывать требования механизации его изготовления. Для производства жгута необходимо технологическое членение жгута путем выделения из него отдельных типовых элементов – неразветвленных трасс-заготовок. В процессе членения жгута на трассы наносят базовые отметки, которые являются размерной информацией для определения границ отделки трасс, обмотки и т.д.

На этапе проектирования жгута необходимо учитывать следующие технологические требования:

– жгут должен иметь минимальное количество ответвлений, для чего в конструкции необходимо предусматривать установку рационального количества разветвлений, коробок;

– в конструкциях изделий необходимо предусматривать доступ к монтажу жгутов без протаскивания их через отверстия конструкций.

В настоящее время существует несколько вариантов технологических процессов изготовления жгутов:

1. Ручная раскладка на плазе проводов, когда все операции, начиная от резки и обработки концов проводов, производятся на одном рабочем месте. Этот недифференцированный технологический процесс изготовления жгутов имеет ряд недостатков:

- низкий уровень механизации операций из-за трудностей применения механизированных устройств для выполнения операций над жгутом, имеющим большое количество ответвлений;

- необходимость использования рабочих с высокой квалификацией, умеющих одинаково хорошо выполнять различные по характеру операции;

- низкая производительность труда.

Применение такого технологического процесса изготовления жгутов может быть оправдано при опытном производстве;

2. Ручная раскладка на плазе заранее нарезанных по мерке проводов (заготовок) с заранее обработанными концами и с фиксацией концов заготовок в приспособлениях, имитирующих разъемы жгута.

В этом случае заготовки проводов являются технологически самостоятельными элементами жгутов. Такой тип технологических процессов позволяет механизировать мерную резку проводов и обработку концов проводов (заготовок), а также контролировать правильность раскладки, так как в данном случае к обработанным концам проводов можно подключить контрольно-измерительную аппаратуру;

3. Ручная раскладка не отдельных проводов, а заранее обработанных групп проводов (подсборок).

В этом случае сборка жгута производится не из отдельных проводов, а из подсборок проводов, изготовленных самостоятельно, и может осуществляться по специальным базовым отметкам на компоновочном плазе либо вовсе без плаза. Поэтому такой тип технологических процессов изготовления жгута иногда называют «бесплазовым».

Опыт показывает, что в большинстве случаев существующие конструкции жгутов при соответствующей конструктивно-технологической отработке позволяют осуществить членение жгута на прямолинейные подсборки, без ответвлений, что, в свою очередь, позволяет применять средства механизации и автоматизации для изготовления подсборки на основе группового метода;

4. Автоматизированная раскладка проводов с применением оборудования с ЭВМ. Этот тип технологических процессов применяется в настоящее время в основном для внутриблочного электромонтажа.

Состав операций независимо от способа изготовления жгутов за некоторыми исключениями остается, в основном, одним и тем же и зависит от конструкции жгута. Различие может состоять в последовательности выполнения операций, метода их выполнения и степень механизации.

Основные операции технологического процесса изготовления жгутов показаны на рис 1.5

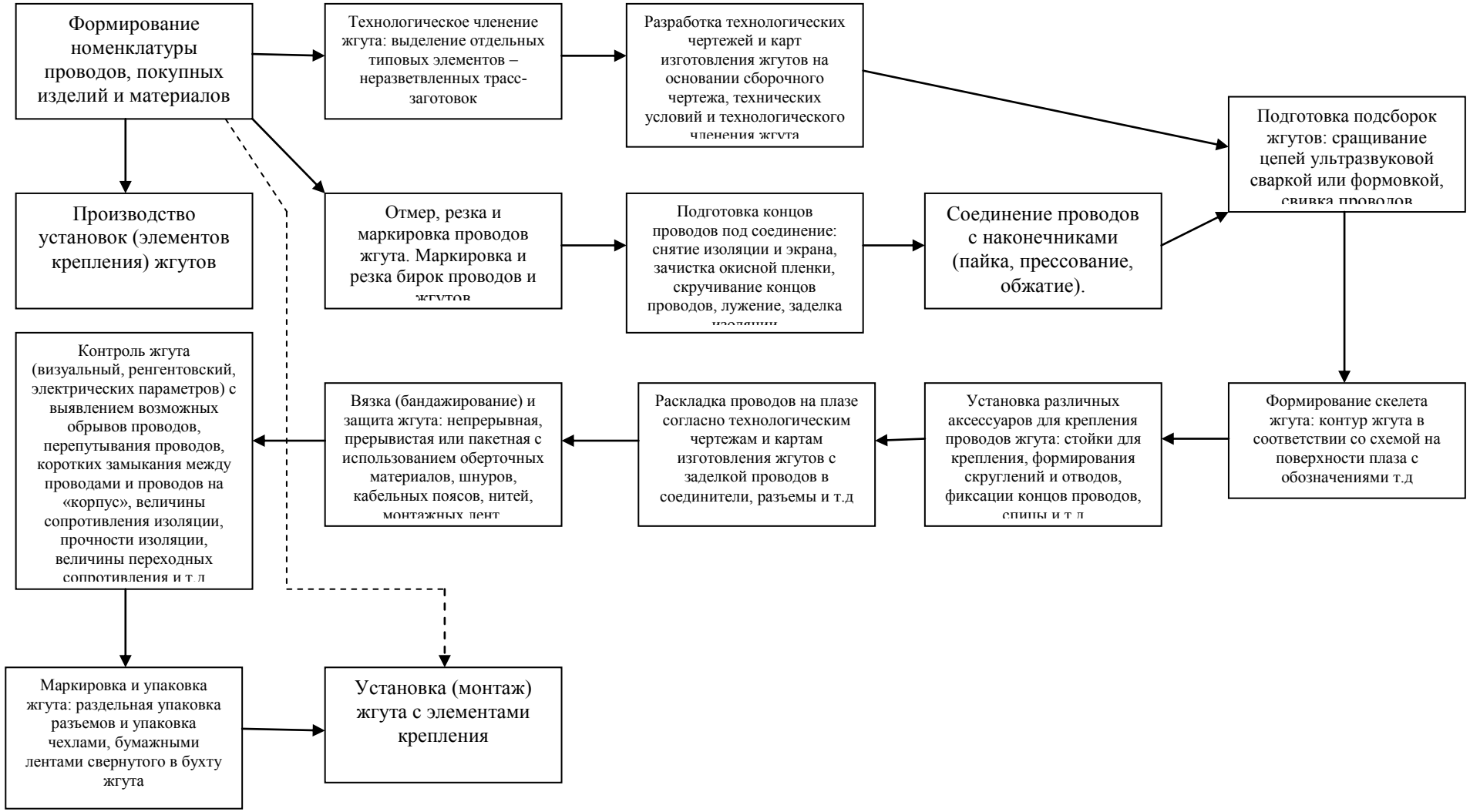

Формирование номенклатуры проводов, покупных изделий и материалов
Технологическое членение жгута: выделение отдельных типовых элементов – неразветвленных трасс-заготовок
Разработка технологических чертежей и карт изготовления жгутов на основании сборочного чертежа, технических условий и технологического членения жгута
Подготовка подсборок жгутов: сращивание цепей ультразвуковой сваркой или формовкой, свивка проводов
Производство установок (элементов крепления) жгутов
Отмер, резка и маркировка проводов жгута. Маркировка и резка бирок проводов и жгутов
Подготовка концов проводов под соединение: снятие изоляции и экрана, зачистка окисной пленки, скручивание концов проводов, лужение, заделка изоляции
Соединение проводов с наконечниками (пайка, прессование, обжатие).
Контроль жгута (визуальный, рентгентовский, электрических параметров) с выявлением возможных обрывов проводов, перепутывания проводов, коротких замыкания между проводами и проводов на «корпус», величины сопротивления изоляции, прочности изоляции, величины переходных сопротивления и т.д
Вязка (бандажирование) и защита жгута: непрерывная, прерывистая или пакетная с использованием оберточных материалов, шнуров, кабельных поясов, нитей, монтажных лент
Раскладка проводов на плазе согласно технологическим чертежам и картам изготовления жгутов с заделкой проводов в соединители, разъемы и т.д
Установка различных аксессуаров для крепления проводов жгута: стойки для крепления, формирования скруглений и отводов, фиксации концов проводов, спицы и т.д
Формирование скелета жгута: контур жгута в соответствии со схемой на поверхности плаза с обозначениями т.д
Маркировка и упаковка жгута: раздельная упаковка разъемов и упаковка чехлами, бумажными лентами свернутого в бухту жгута
Установка (монтаж) жгута с элементами крепления

Рис. 1.5

Выводы

1. Дан обзор известных работ по теме диссертации. Показано, что в литературе нет разработок по общей организации процесса проектирования и производства системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологий.

2. Приведен перечень задач топологического и параметрического синтеза системы распределения электрической энергии, последовательность их выполнения. Кратко изложено содержание этих задач и выделены проблемы, связанные с созданием методик и алгоритмов синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

3. Проблемы топологического и параметрического синтезе системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий требуют детального исследования, разработки эффективных методик и алгоритмов решения данных задач. При этом некоторые подходы и идеи, изложенные в работах, проводимых в смежных областях, могут быть использованы при топологическом и параметрическом синтезе системы распределения электрической энергии грузовых автомобилей.

4. Дано определение системы распределения электрической энергии как объекта проектирования и производства, исследован процесс проектирования системы распределения электрической энергии и процесс производства жгутов межблочного электромонтажа грузового автомобиля. Выделены признаки, характеризующие систему распределения электрической энергии, процесс ее проектирования и производства как сложную систему.

Глава II Логическая схема стадий жизненного цикла системы распределения электрической энергии грузового автомобиля

2.1. Логическая схема, математическое описание и общий алгоритм синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий

Бортовые комплексы электрооборудования (БКЭО) современных автономных подвижных объектов (автомобилей, самолетов, вертолетов и др.) по системным признакам [1] позволяют отнести их к сложным системам. Согласно [1,25] и проведенному анализу грузовых автомобилей БКЭО характеризуется следующими особенностями [25]:

1) большим количеством взаимосвязанных систем, к которым относятся система генерирования, система распределения электроэнергии, системы комплексов оборудования и др. В составе этих систем, в свою очередь, также могут быть выделены подсистемы и т.д.;

2) многомерностью, обусловленной большим числом связей между системами – связи по питанию электроэнергией, функциональные связи между комплексами оборудования, цепи блокировки и т.д. Они приводят к многочисленным ограничениям в выборе решений, к необходимости корректировки технических заданий и согласования принимаемых решений;

3) многоуровневой структурой (причем в зависимости от схемных, конструктивных, монтажных признаков существует многообразие таких структур);

4) схемным и конструктивным объединением многих систем, характеризующихся различной природой и физической сущностью (например радиооборудование и другое оборудование);

5) многорежимностью работы отдельных его элементов, подсистем, систем и комплекса в целом; большой массой и протяженностью проводных связей, значительным разбросом мощностей приемников электроэнергии;

6) четко выраженным жизненным циклом, основными стадиями которого [1] являются разработка технического задания, обоснование основных характеристик, проектирование, изготовление в составе опытного изделия, испытание и доводка опытных образцов, серийное производство, эксплуатация и целевое применение, снятие с эксплуатации.

Структурная схема программы жизненного цикла БКЭО на основании [1,66] может быть представлена в следующем виде (рис. 2.1).

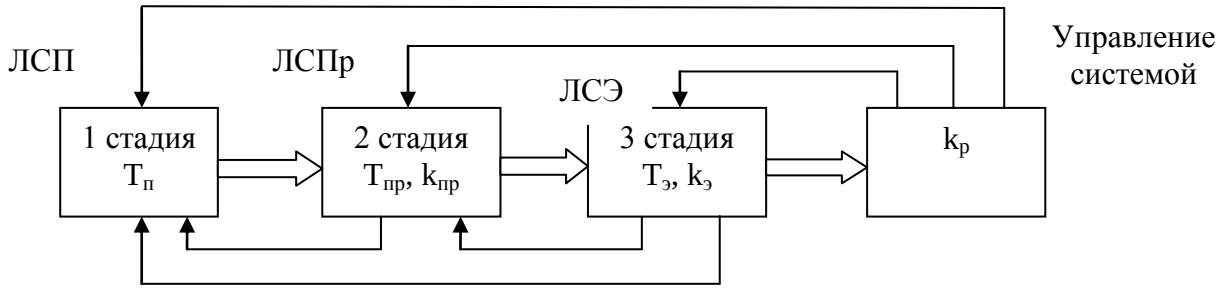


Рис. 2.1

На рис. 2.1 показаны укрупненные стадии жизненного цикла и связи между ними согласно структуре CALS-технологии. На каждой из стадий решается множество взаимосвязанных задач, процесс решения которых формализуется в виде некоторой логической схемы, объединяющей ячейки, соответствующие решающим процедурам. Каждая ячейка задается в общем случае восьмеркой элементов:

$$\{A_{Ki}, C_{Ki}, M_{Ki}, T_{Ki}, R_{Ki}, K_{Ki}, Z_{Ki}, P_{Ki}\} \qquad (2.1)$$

где k - номер стадии жизненного цикла;

i - номер ячейки;

A_{Ki} - аналитические и численные исходные данные;

C_{Ki} - заданные ограничения;

M_{Ki} - модель функционирования рассматриваемого объекта;

T_{Ki} - решающая процедура;

R_{Ki} - результат решения задачи;

K_{Ki} - оценка решения;

Z_{Ki}, P_{Ki} - ресурсы и затраты на выполнения i-ой операции.

На первой стадии жизненного цикла разрабатывается логическая схема проектирования *ЛСП*. Стадия проектирования включает в себя этапы внешнего и внутреннего проектирования.

Логическая схема производства *ЛСПр* построена на основании многочисленных исследований, посвященных автоматизации проектирования технологических процессов, приспособлений, оснастки, инструментов и документации при технологической подготовке производства [14].

Стадия эксплуатации объекта является завершающей в структуре жизненного цикла, не учитывая утилизацию систем. Исходные данные функционирования систем $A_Э$ определяются выходными данными предыдущих стадий $R_П$ и $R_{Пр}$. С другой стороны, результаты динамических операций по достижению целей $R_Э$ [1] вследствие наличия обратных связей вносят коррективы в решения, получаемые на предыдущих стадиях жизненного цикла, либо способствуют появлению новых ячеек решающих процедур. Наиболее исследованными являются вопросы взаимодействия стадий эксплуатации и изготовления при управлении поставками [67-69]. Другие воздействия при передаче информации по каналам обратной связи от стадии эксплуатации к стадии производства ограничены, как правило, изменениями в технологической документации и последующими ручными операциями, вследствие недостаточной автоматизации процессов выполнения внутриблочного и межблочного электромонтажа. Исключение составляют системы автоматического контроля жгутов, устанавливаемые в цехе изготовления жгутов и в цехе окончательной сборки создаваемых объектов, когда результаты эксплуатации вызывают необходимость дополнительных проверок правильности монтажа.

На основании анализа процесса проектирования систем электрооборудования автомобилей, научно-исследовательских работ, в том числе с НТЦ ОАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), опыта разработки отдельных методик синтеза и создания пакетов прикладных программ, выполненных на кафедре электрооборудования КНИТУ им. А.Н.Туполева-КАИ, разработана ЛСП и ЛСПр системы распределения электрической энергии грузового автомобиля (рис. 2.3а,б,в). Основным элементом

ЛС, на базе которого производится декомпозиция задач проектирования и производства, является ячейка проектирования и производства (рис. 2.2).

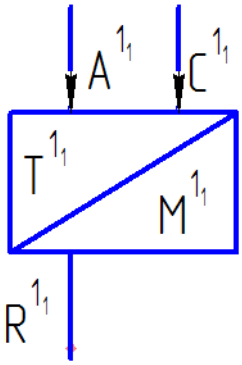


Рис. 2.2

В ЛС системы распределения электрической энергии могут быть выделены 3 уровня декомпозиции процесса проектирования, производства и эксплуатации. Рассмотрим задачи проектирования, производства и эксплуатации, общие характеристики уровней проектирования, производства и эксплуатации.

Уровень 1. Проектирование ЭО. Задача $S1$ заключается в компоновке и размещении блоков, а также не компонуемых элементов (блоков готовых изделий, электромеханизмов и т.д.). Ограничения определяются наличием запретных зон и ограниченным пространством, задаваемых моделью монтажного пространства (ММП) автомобиля и уже размещенными элементами; необходимостью размещения некоторых элементов в заданных позициях, определяемых их функциональным назначением, эргономическими требованиями, требованиями безопасности и др.

Задачей $S2$ является топологический синтез схем электрических соединений внешнего монтажа, т.е. разводка электрических цепей, формирование жгутов, распределение проводов по клеммам электрических соединителей, прокладка жгутов по конструкции автомобиля. Множество ограничений составляют требования надежности, технологические и конструктивные характеристики электрических соединений, электромагнитная совместимость, конструктивные размеры, ММП прокладки жгутов.

Задача $S3$ формулируется как параметрическая оптимизация сечений проводов всех участков электрической сети и анализ режимов их работы. В ограничения входят допустимые потери напряжения в сети, дискретность сечений,

допустимый нагрев, механическая прочность, защищаемость проводов аппаратами защиты.

Задача $S4$ – расчет и выбор элементов конструкции жгутов (электрических соединителей, наконечников и др.), выпуск конструкторской документации по электрических схемам и конструктивным чертежам. Ограничения – конструктивные требования и ограничения, а также требования нормативных документов по выпуску технической документации.

Уровень 2. Производство ЭО. Задача $S5$ – производство установок (элементов конструкции) жгута, производство жгутов проводов, установка (монтаж) жгутов. Контроль жгутов при изготовлении и после установки на автомобиль. Выпуск технологической документации. Ограничения – требования нормативных документов по выпуску технологической документации.

Уровень 3. Эксплуатация ЭО. Задача $S6$ - эксплуатация системs распределения электрической энергии. Эксплуатация электромонтажа грузового автомобиля. Анализ причин выхода из строя элементов и систем ЭО грузового автомобиля. База данных потребления запасных частей электромонтажа ЭО грузового автомобиля.

В табл. 2.1 приведено содержание ячеек проектирования и производства.

Таблица 2.1

Уровень	**Ячейка**	**Обозначение, название и краткое описание решающей процедуры**
1	1	$T1_1$ – Формирование ММП (модели монтажного пространства) конструкции автомобиля с использованием подсистемы «Моделирование» системы Siemens NX: разработка математического описания зон возможного размещения элементов ЭО с учетом ограничений, задаваемых конструкцией грузового автомобиля
	2	$T1_2$ – Формирование ММП прокладки жгутов с использованием подсистем «Электрическая маршрутизация» системы Siemens NX: разработка математического описания трасс жгутов с учетом ограничений, задаваемых ММП конструкции грузового автомобиля
	3	$T1_3$ – Создание базы данных 3D-моделей изделий (элементов жгутов) с использованием подсистемы «Моделирование» системы Siemens NX.
	4	$T1_4$ – Предварительная компоновка элементов ЭО без ограничений на объемы электроконструкций с использованием подсистемы «Моделирование» системы Siemens NX

Уровень	Ячейка	Обозначение, название и краткое описание решающей процедуры
	5	$T1_5$ – Предварительное размещение элементов ЭО в заданных позициях с использованием подсистемы «Моделирование» системы Siemens NX
	6	$T1_6$ – Уточненное решение задачи компоновки (подсистема «Моделирование» системы Siemens NX) с учетом результатов разводки электрических цепей
	7	$T1_7$ – Уточненное решение задачи размещения (подсистема «Моделирование» системы Siemens NX) с учетом результатов разводки электрических цепей.
	8	$T2_1$ – Создание базы данных символов и изделий с использованием подсистемы «E3.DataBase-Editor» системы E3.Series
	9	$T2_2$ – Разработка принципиальных электрических схем системы распределения электрической энергии с использованием подсистемы «E3.Cable» системы E3.Series
	10	$T2_3$ – Разводка сложных электрических цепей: Решается задача оптимальной разводки электрической цепи исходя из минимума массы проводных соединений с учетом ограничений на число подключаемых проводов
	11	$T2_4$ – Разработка схемы электрических соединений с использованием подсистемы «E3.Cable» системы E3.Series
	12	$T2_5$ – Распределение проводов по клеммам элементов соединителей с учетом ограничений, задаваемых электромагнитной совместимостью, разделением информационных и сильноточных цепей и др. с использованием подсистемы «E3.Cable» системы E3.Series
	13	$T2_6$ – Формирование конфигурации жгутов. Осуществляется с учетом ММП прокладки жгутов, технологических ограничений на формирование жгутов и др. Осуществляется конструктором. Маркировка проводов, цвет проводов, объединение проводов в жгут, маркировка жгутов осуществляется конструктором с использованием подсистемы «E3.Cable» системы E3.Series
	14	$T2_7$ – Передача данных о конфигурации жгутов и элементах жгутов в ММП конструкции автомобиля и прокладки жгутов с использованием подсистемы «E3.3D.RoutingBridge» системы E3.Series
	15	$T2_8$ – Определение траектории (трассы) жгутов на ММП конструкции автомобиля и прокладки жгутов. Осуществляется конструктором с использованием подсистемы «Электрическая маршрутизация» системы Siemens NX
	16	$T2_9$ – Прокладка жгутов по заданным трассам на ММП конструкции автомобиля и прокладки жгутов с использованием подсистемы «Электрическая маршрутизация» системы Siemens NX
	17	$T2_{10}$ – Определение длин участков жгутов по сформированным конфигурациям с учетом технологических припусков с использованием подсистемы «Электрическая маршрутизация» системы Siemens NX.
	18	$T2_{11}$ – Передача данных о конфигурации жгутов с реальными длинами проводов в CAD-систему для формирования чертежа раскладки жгута с использованием подсистемы «E3.3D.RoutingBridge» системы E3.Series

Уровень	Ячейка	Обозначение, название и краткое описание решающей процедуры
	19	$T2_{12}$ – Раскладка жгута (формирование сборочного чертежа жгута) на 2D-плоскости с использованием подсистемы «E3.Formboard» системы E3.Series
	20	$T3_1$ – Формирование расчетных режимов работы магистральной и радиальной электрической сети с учетом многорежимности работы потребителей электроэнергии
	21	$T3_2$ – Формирование расчетной схемы цепи питания (группы потребителей электроэнергии, систем). Производится с целью подготовки исходных схем, необходимых для осуществления оптимизации сечений проводов и анализа режимов работы
	22	$T3_3$ – Выбор аппаратов защиты. Осуществляется с учетом характера и величины токовой нагрузки подключенных потребителей электроэнергии, многорежимности работы потребителей, защищаемости проводов при коротких замыканиях и др.
	23	$T3_4$ – Оптимизация сечений проводов цепей питания (группы потребителей, систем)
	24	$T3_5$ – Анализ режимов работы магистральной электрической сети. Проводится с целью проверки обеспечения требуемого качества электроэнергии на клеммах потребителей с учетом многорежимности их функционирования, и защиты системы электроснабжения при коротких замыканиях
	25	$T3_6$ – Анализ режимов работы расчетных схем цепей питания (группы потребителей, систем)
	26	$T3_7$ – Расчет баланса электроэнергии системы распределения электрической энергии грузового автомобиля
	27	$T4_1$ – Расчет и выбор элементов конструкции жгутов
	28	$T4_2$ – Конструирование установок (элементов крепления) жгутов
	29	$T4_3$ – Выпуск электрической схемы (принципиальной, схемы соединений, совмещенной, монтажной) с использованием подсистемы «E3.Cable» системы E3.Series
	30	$T4_4$ – Выпуск чертежей жгутов, таблиц проводов, выборок из таблиц проводов, спецификаций по чертежам с использованием подсистем «E3.Cable» и «E3.Formboard» системы E3.Series
	31	$T4_5$ – Выпуск чертежей установок жгутов и спецификаций по ним
2	32	$T5_1$ – Формирование номенклатуры проводов, покупных изделий и материалов с использованием системы E3.Series
	33	$T5_2$ – Производство установок (элементов крепления) жгутов
	34	$T5_3$ – Технологическое членение жгута: выделение отдельных типовых элементов – неразветвленных трасс-заготовок
	35	$T5_4$ – Разработка технологических чертежей и карт изготовления жгутов на основании сборочного чертежа, технических условий и технологического членения жгута
	36	$T5_5$ – Отмер, резка и маркировка проводов жгута. Маркировка и резка бирок проводов и жгутов

Уровень	Ячейка	Обозначение, название и краткое описание решающей процедуры
	37	$T5_6$ – Подготовка концов проводов под соединение: снятие изоляции и экрана, зачистка окисной пленки, скручивание концов проводов, лужение, заделка изоляции
	38	$T5_7$ – Соединение проводов с наконечниками (пайка, прессование, обжатие)
	39	$T5_8$ – Подготовка подсборок жгутов: сращивание цепей ультразвуковой сваркой или формовкой, свивка проводов
	40	$T5_9$ – Формирование скелета жгута: контур жгута в соответствии со схемой на поверхности плаза с обозначениями, номерами наконечников, клемм и т.д.
	41	$T5_{10}$ – Установка различных аксессуаров для крепления проводов жгута: стойки для крепления, формирования скруглений и отводов, фиксации концов проводов, спицы и т.д.
	42	$T5_{11}$ – Раскладка проводов на плазе согласно технологическим чертежам и картам изготовления жгутов с заделкой проводов в соединители, разъемы и т.д.
	43	$T5_{12}$ – Вязка (бандажирование) и защита жгута: непрерывная, прерывистая или пакетная с использованием оберточных материалов, шнуров, кабельных поясов, нитей, монтажных лент, пластиковых хомутов, оплетки, эластичных трубок и т.д.
	44	$T5_{13}$ – Контроль жгута (визуальный, ренгентовский, электрических параметров) с выявлением возможных обрывов проводов, перепутывания проводов, коротких замыкания между проводами и проводов на «корпус», величины сопротивления изоляции, прочности изоляции, величины переходных сопротивления и т.д.
	45	$T5_{14}$ – Маркировка и упаковка жгута: раздельная упаковка разъемов и упаковка чехлами, бумажными лентами свернутого в бухту жгута
	46	$T5_{15}$ – Установка (монтаж) жгута с элементами крепления.
3	47	$T6_1$ – Эксплуатация электромонтажа грузового автомобиля. Сбор статистических данных
	48	$T6_2$ – Анализ причин выхода из строя элементов и систем монтажа ЭО грузового автомобиля
	49	$T6_3$ – Создание базы данных потребления запасных частей электромонтажа грузового автомобиля
	50	$T6_4$ – Доработка принципиальной электрической схемы грузового автомобиля с учетом введения новых фидеров (элементов) потребителей
	51	$T6_5$ – Корректировка номенклатуры защитной аппаратуры
	52	$T6_6$ – Подготовка исходных данных для корректировки оптимальных сечений

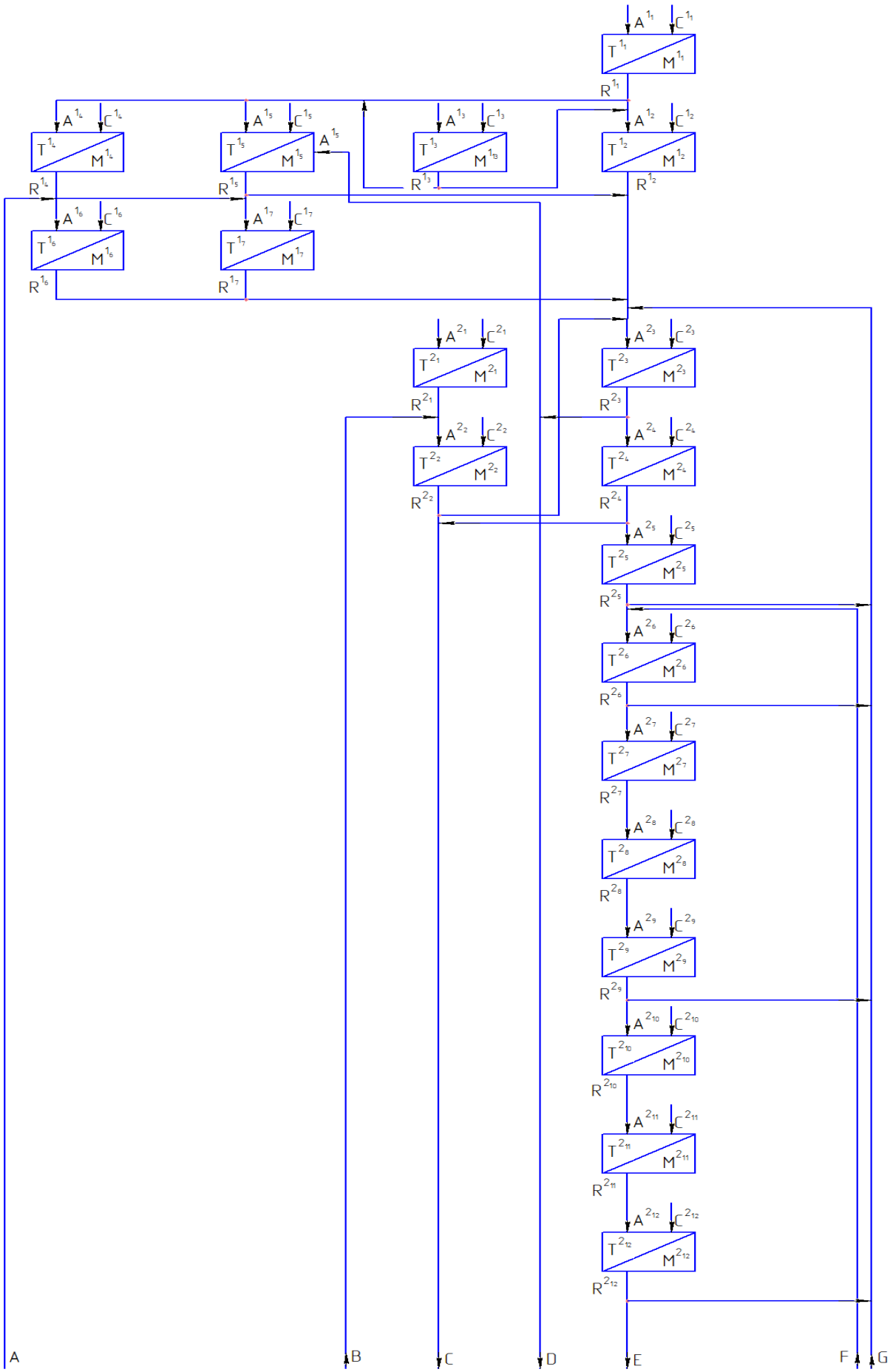


Рис. 2.3а

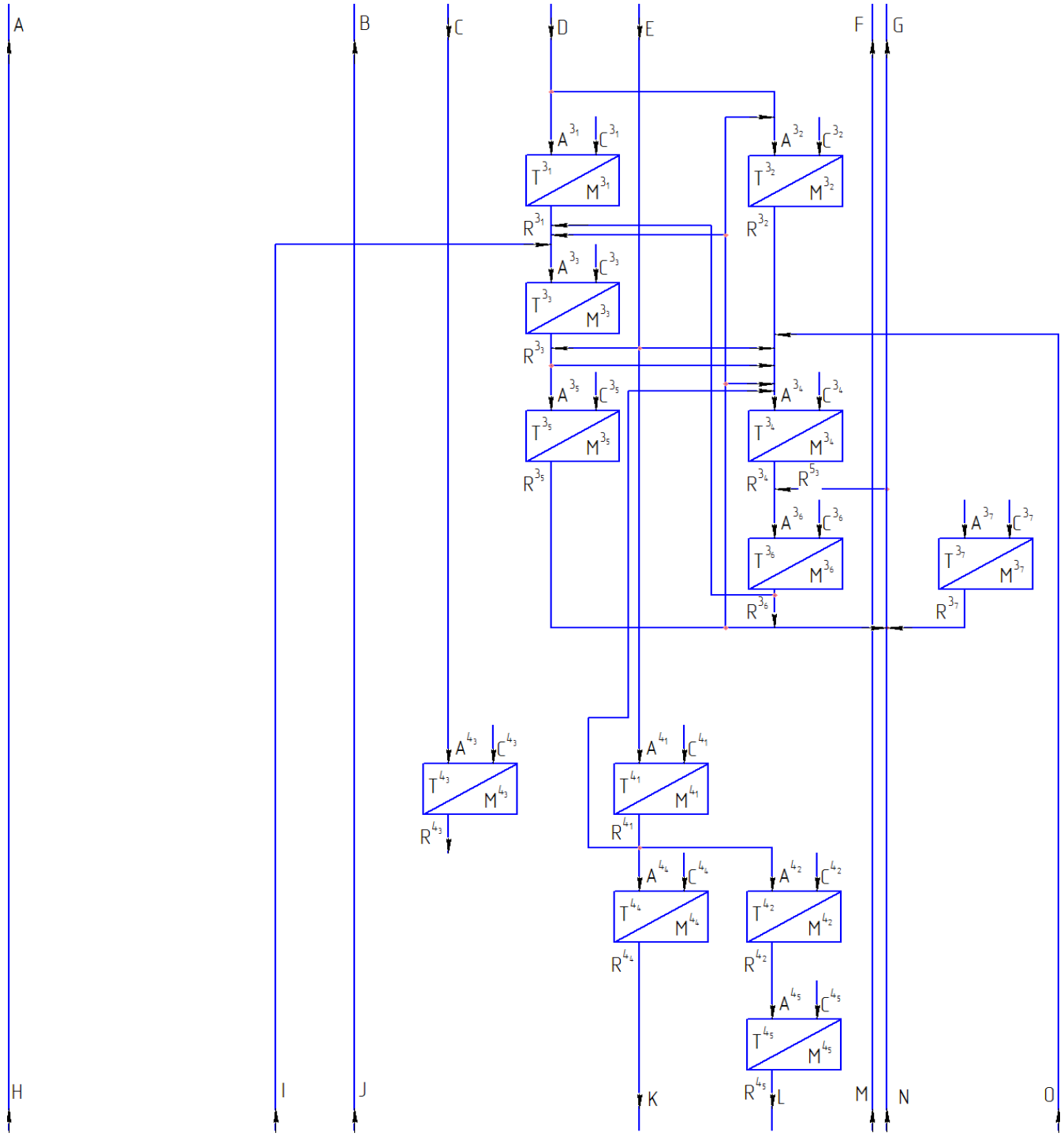


Рис. 2.3б

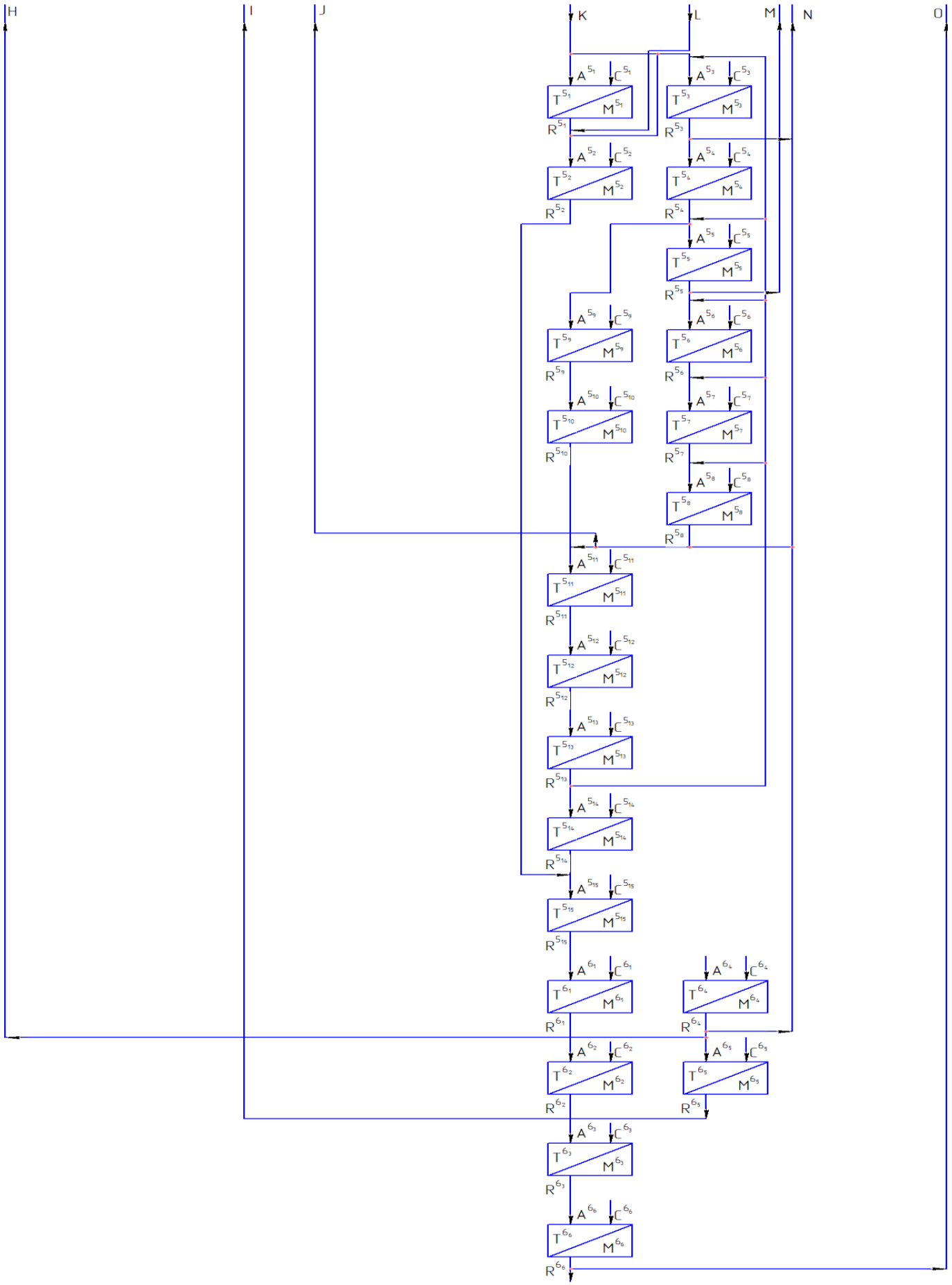


Рис. 2.3в

В табл. 2.2–2.4 перечислены основные элементы множеств признаков, характеризующих конструктивные узлы ЭО грузового автомобиля, внутриблочный и межблочный монтаж ЭО грузового автомобиля. Анализ состава признаков показывает их многообразие.

Таблица 2.2

Элементы множества признаков конструктивных узлов ЭО

№ уровня и название его элементов	**Имя признака**
Элементы	вектор геометрических размеров вектор координат установки код ориентации код плоскости установки характеристики крепления (жесткое, нежесткое) масса тип элемента шифр элемента наличие токов перегрузки позиционное обозначение элемента множество контактов элемента множество монтажных характеристик контактов элемента вектор данных условий эксплуатации
Платы	вектор геометрических размеров вектор координат нулевой точки вектор координат размещения платы по отношению к граням эк характеристики крепления код плоскости платы вектор координат внешних контактов платы масса перечень систем платы множество контактов платы множество монтажных характеристик контактов платы вектор данных условий эксплуатации
ЭК	вектор геометрических размеров вектор координат установки на борту вектор координат внешних соединителей кодовый параметр конструктивных особенностей перечень систем принадлежащих эк тип эк множество соединителей эк множество контактов соединителей множество монтажных характеристик контактов соединителей вектор данных условий эксплуатации
ЭО и соответствующие признаки автомобиля	тип грузового автомобиля (тягач, самосвал и т.д.) вектор геометрических размеров характеристики технические

Таблица 2.3

Элементы множества признаков внутриблочного монтажа

№ уровня и название его элементов	**Имя признака**
Электрические соединения	марка провода сечение погонная масса диаметр длина цвет род тока величина напряжения полярность постоянного тока (фаза переменного тока) степень ответственности цепи признак постоянства нахождения под током признак наличия токов перегрузки принадлежность цепям исполнительных органов принадлежность аварийным цепям принадлежность слаботочным и сильноточным цепям позиционное обозначение адреса концов провода тип заделки вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости наличие экрана
Множество электрических соединений платы	масса общая длина проводов принадлежность к одной или нескольким системам вектор параметров жгутов платы вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости
Множество электрических соединений ЭК	масса общая длина проводов принадлежность к одной или нескольким системам вектор параметров жгутов эк минимальное сечение проводов в эк вектор сечений минусовых проводов вектор параметров топологических ограничений вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости жгутов эк
Внутриблочный монтаж	масса общая длина проводов надежность живучесть технологичность изготовления признак удобства эксплуатации ремонтопригодность

Таблица 2.4

Элементы множества признаков межблочного монтажа

№ уровня и название его элементов	**Имя признака**
Электрические соединения	марка провода сечение погонная масса диаметр длина цвет род тока величина напряжения полярность постоянного тока (фаза переменного тока) степень ответственности цепи признак постоянства нахождения под током признак наличия токов перегрузки принадлежность цепям исполнительных органов принадлежность аварийным цепям принадлежность слаботочным и сильноточным цепям позиционное обозначение адреса концов провода тип заделки вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости наличие экрана
Жгуты	диаметр максимально допустимый диаметр минимально-допустимый диаметр масса род тока величина напряжения полярность или фаза категория потребителей системы позиционное обозначение тип заделки наличие свивки проводов в жгуте наличие сбивки проводов в жгуте трассовый или местный монтаж вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости наличие экрана наличие механической защиты
Трассы	вектор координат прокладки трасс вектор геометрических размеров трассы вектор координат установки технологических разъемов вектор данных условий эксплуатации характеристики электромагнитной совместимости
Межблочный монтаж	масса общая длина проводных связей (по сечениям) надежность надежность живучесть технологичность изготовления признак удобства эксплуатации ремонтопригодность помехозащищенность

Структура ЛС системы распределения электрической энергии может быть описана при помощи матриц связей элементов ЛС и матрицы структуры системы [1,8,70]. Связи между *i*–й и *j*–й ячейками любых уровней выражаются векторными равенствами:

$$A^{r_i} = S_{s_j r_i} R^{s_j} \qquad (2.2)$$

где *r*, *s* – уровни проектирования; $S_{s_j r_i}$ – нуль-единичная матрица связи *j*–й ячейки *s* уровня с *i*–й ячейкой *r* уровня, которая является подматрицей матрицы $S_{s\,r}$ связи элементов ЛС; $r, s = \overline{1,4}$; $i, j = \overline{1, N_k}$, N_k – число элементов *k*–го уровня.

При этом:

– если $r > s$, то матрица связи определяет прямую связь между элементами разных уровней;

– при $r < s$ матрица связи определяет обратную связь, соответствующую итерационному циклу, охватывающему уровни *r*, *s* и все уровни d, удовлетворяющие условию $r < d < s$;

– при $r = s$ матрица связи элементов определяет связи элементов внутри уровня, при этом аналогично:

  – если $i > j$, определяется прямая связь между элементами внутри уровней,

  – при $i < j$ – обратная связь, соответствующая внутреннему итерационному циклу уровня.

  Если *j*–я ячейка *s* уровня и *i*–я ячейка *r* уровня не связаны, то матрица $S_{s_j r_i}$ определяется как нулевая матрица, т.е. $S_{s_j r_i} = \mathrm{O}$.

Сформированные таким образом матрицы связи образуют в совокупности квадратную матрицу 3×3 (в силу трехуровневого строения ЛС), а именно:

$$S = \begin{Vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{Vmatrix} \qquad (2.3)$$

Сформированная матрица называется матрицей структуры ЛС, поскольку она отражает сеть связей между ее элементами (рис. 2.2а,б,в).

Приведем для примера запись матрицы связей элементов первого уровня проектирования задачи параметрической оптимизации:

$$S_{33} = \begin{Vmatrix} O & O & S_{3_1\,3_3} & O & O & O & O \\ O & O & O & S_{3_2\,3_4} & O & O & O \\ O & O & O & S_{3_3\,3_4} & S_{3_3\,3_5} & O & O \\ O & O & O & O & O & S_{3_4\,3_6} & O \\ O & O & O & O & O & O & O \\ O & O & S_{3_6\,3_3} & O & O & O & O \\ O & O & O & O & O & O & O \end{Vmatrix} \qquad (2.4)$$

Аналогично по ЛС системы распределения электрической энергии (рис.2.2) могут быть получены остальные матрицы связей элементов различных уровней и задач.

Анализ матрицы структуры S и матриц связей $S_{s\,r}$, $r,s=\overline{1,3}$ позволяет определить основные свойства ЛС проектирования, производства и эксплуатации системы распределения электрической энергии. Так наличие ненулевых матриц связи $S_{s\,r}$, $r \neq s$, $s > r$, расположенных ниже диагонали матрицы S, говорит о существовании обратных связей между уровнями проектирования, что требует организации итерационных циклов, охватывающих уровни проектирования, производства и эксплуатации: 1 – 2, 2 – 3, 1 – 3. Анализ диагональных матриц $S_{r\,r}$, $r=\overline{1,3}$, описывающих внутренние связи уровней, показывает необходимость организации внутриуровневых итераций. То, что матрицы $S_{r_i\,1_1} = O$, $r=\overline{1,3}$, $i=\overline{1,N_r}$ свидетельствует о том, что решающая процедура T^{1_1} использует входную информацию, поступающую только из базы данных.

Так как ЛС больших технических систем, в том числе и ЛС системы распределения электрической энергии, отражают только структуру системного метода решения задач проектирования, производства и эксплуатации для получения алгоритма решения задачи $S\{S^{d_i}\}$ необходимо организовать процесс системного проектирования и производства связав отдельные решающие процедуры T^{d_i}, соответствующие задачам S^{d_i} в упорядоченный комплекс $T\{T^{d_i}\}$ [8,25]. Такой

процесс применительно к нашей задаче будем называть общим алгоритмом синтеза системы распределения электрической энергии (ОАС СРЭЭ).

Рассмотрим некоторые шаги ОАС СРЭЭ.

1^0. Выполняется следующая упорядоченная последовательность решающих процедур $\left\langle T^{1_1};T^{1_2};T^{1_3};\overleftrightarrow{T^{1_4};T^{1_5};T^{1_6};T^{1_7},T^{2_3}}\right\rangle$, где знаком $\leftrightarrow$ обозначен итерационный цикл. При этом $A^{1_4}_{(1)}\ (R^{2_3}_0\,|\,M^{2_3}_0 \vee R^{2_3}\,|\,M^{2_3})$, т.е. сначала элементы системы распределения электрической энергии размещаются только с учетом электрических связей между ними, ограничений, задаваемых ММП автомобиля, и конструктивными требованиями к их расположению, а затем учитываются проводные связи, полученные в результате разводки электрических цепей.

После выполнения T^{2_3} полученные решения анализируются и корректируются конструкторами. После этого получаем исходные данные для выполнения T^{1_6},T^{1_7}.

2^0. Процесс проектирования имеет вид:

$$\left\langle T^{1_6},T^{1_7}\right\rangle\left\langle\overleftrightarrow{T^{2_1},T^{2_2},T^{2_3},\overleftrightarrow{T^{2_4},T^{2_5},T^{2_6},T^{2_7},T^{2_8},T^{2_9},T^{2_{10}},T^{2_{11}},T^{2_{12}}},T^{3_1},T^{3_2}\overleftrightarrow{T^{3_3},T^{3_4},T^{3_5},T^{3_6}},,T^{3_7}}\right\rangle \quad (2.5)$$

Рассмотренные шаги ОАСС СРЭЭ охватывают уровень проектирования ЛС, соответствующие решению задач размещения, топологического и параметрического синтеза системы распределения электрической энергии. Следовательно, получено первое полное решение, которое можно охарактеризовать как эскизный проект системы распределения электрической энергии. После макетирования или другого анализа полученного решения уточняются исходные данные и ограничения, при необходимости вводятся новые и выполняется следующий шаг.

3^0. Процесс проектирования запишется следующим образом:

$$\left\langle T^{1_6},T^{1_7}\right\rangle\left\langle\overleftrightarrow{T^{2_1},T^{2_2},T^{2_3},\overleftrightarrow{T^{2_4},T^{2_5},T^{2_6},T^{2_7},T^{2_8},T^{2_9},T^{2_{10}},T^{2_{11}},T^{2_{12}}},T^{3_1},T^{3_2}\overleftrightarrow{T^{3_3},T^{3_4},T^{3_5},T^{3_6}},,T^{3_7}}\right\rangle, \quad (2.6)$$
$$\left\langle T^{4_2},T^{4_3},T^{4_4},T^{4_5}\right\rangle$$

ОАСС СРЭЭ основан на широком использовании итерационных циклов, что характерно для декомпозиционных методов оптимизации проектных решений любых сложных систем [8,25], а т.к. при синтезе системы распределения

электрической энергии задачи в большинстве своем имеют комбинаторный характер, что предполагает присутствие конечного множества возможных решений, то вопроса о сходимости итерационных методов не возникает [8,25].

Разработка ЛС и ОАСС СРЭЭ позволяет решить задачу проектирования и производства системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологии логической увязкой автономно-неразрешимых задач; выделить итерационные циклы для получения оптимальных проектных и производственных решений; упорядочить создание алгоритмов синтеза системы распределения электрической энергии, составляющих основу решающих процедур ЛС.

2.2. Математическая модель монтажного пространства грузового автомобиля.

Для решения задач топологического и параметрического синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля в САПР реальному объекту необходимо поставить в соответствие математическую модель, что позволит формализовать и алгоритмизировать процесс проектирования [71-73]. Для учета особенностей геометрического строения объекта проектирования, взаимного расположения элементов и связей между ними в пространстве рассмотрим математическую модель монтажного пространства грузового автомобиля.

Назначение ММП – достаточно точно отражать реальное монтажное пространство при решении задач компоновки, размещения электроконструкций, разводке электрических цепей межблочного монтажа и трассировке электрических цепей.

В соответствии с характерными особенностями задач топологического и параметрического синтеза математическая модель схемы соединения элементов должна:

- задавать принадлежность элементов соединениям с точностью до выводов;
- позволять точно оценивать число соединений между элементами и частями схемы;
- не диктовать порядок соединения элементов, т.е. отражать фактор неизвестности соединения выводов элементов в пределах одной цепи.

При этом характер принадлежности связи (вход или выход) обычно не существенен; необходима информация об инвариантности выводов элементов, типах, метрических характеристиках и топологических свойствах элементов и связей.

В качестве математической модели монтажного пространства можно использовать неориентированный граф решетки. Каждую плоскость монтажного пространства разделяют на элементарные площадки. Каждой площадке

соответствует вершина графа (рис. 2.4). Две вершины соединены ребром, если между соответствующими элементарными площадками может быть проведено соединение с учетом метрических параметров и топологических свойств элементов или конструктивных модулей, устанавливаемых в данном монтажном пространстве.

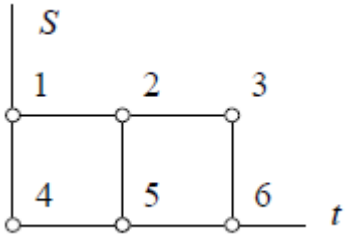


Рис. 2.4

Математическую модель пространства грузового автомобиля зададим в виде взвешенного графа $G_1 = (A_1, U_1)$, где A_1 - множество вершин графа, а U_1 - множество ребер.

Граф G_1 описывает пространственную решетку, полученную следующим образом. В плоскостях сечения автомобиля наносится ортогональная сетка.

Выбор шага дискретизации с помощью коэффициента k зависит от решаемой задачи и с одной стороны определяется точностью моделирования, а с другой ограничивается временем решения на ЭВМ и объемом ее памяти.

На графе $G_1 = (A_1, U_1)$ можно задавать продольные и поперечные трассы, элементы БЭО, запретные зоны. Ребрам графа $G_1 = (A_1, U_1)$ приписывается «вес», равный расстоянию между соответствующими вершинам точками реального пространства автомобиля.

Выделим в графе G_1 куски $G_1^{(i)} = (A_1^{(i)}, U_1^{(i)}), i = \overline{1, z}$, у которых множества вершин $A_1^{(i)} \subset A_1$ соответствуют точкам пространства грузового автомобиля, расположенным в запретных зонах, а $U_1^{(i)}$ - подмножества тех ребер из U_1, которые хотя бы одним концом связаны с вершинами $a_s \in A_1^{(i)}$. Тогда математическая модель МП может быть представлена в виде графа $G_2 = (A_2, U_2) \subset G_1$, где $A_2 = A_1 \setminus \bigcup_{i=1}^{z} A_1^{(i)}, U_2 = U_1 \setminus \bigcup_{i=1}^{z} U_1^{(i)}$. Модель G_2 используется для решения задач компоновки и размещения электроконструкций.

В свою очередь, в графе G_2 сформируем куски $G_2^{(j)} = (A_2^{(j)}, U_2^{(j)}),\ j = \overline{1,t}$, у которых множества вершин $A_2^{(j)} \subset A_2$ описывают области, занятые элементами электрооборудования, то есть электроконструкциями, блоками и т.д., а $U_2^{(j)} \subset U_2$ - множества ребер, хотя бы одним концом связанные с вершинами $a_q \in A_2^{(j)}$.

Тогда можно выделить часть МП, где выполняется внешний проводной монтаж между клеммами элементов ЭО (рис. 2.5).

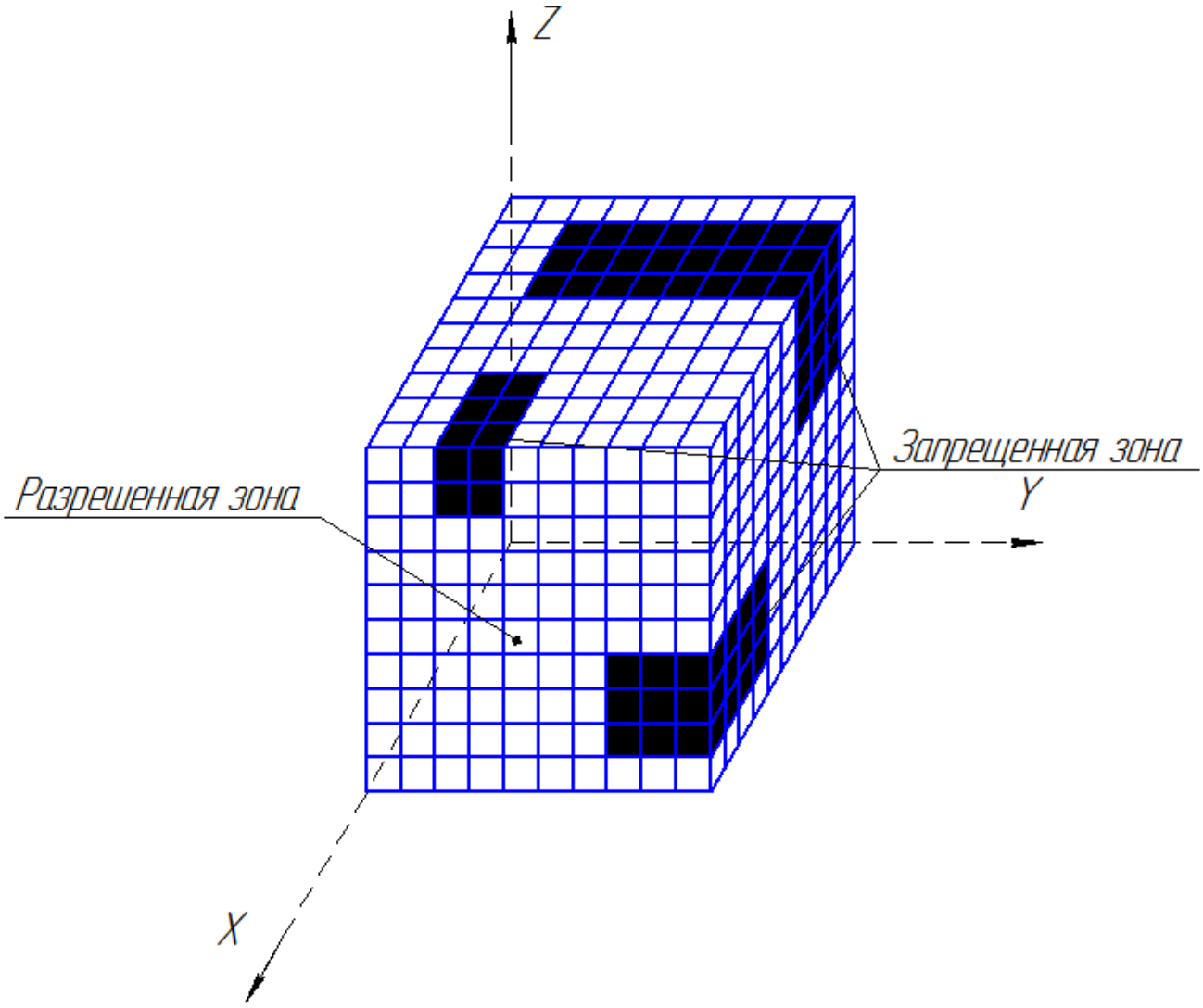


Рис. 2.5

Можно отметить:

- в трехмерном пространстве конфигурацию кратчайших связывающих линий представляет также дерево;

- ветви дерева представляют собой совокупность отрезков прямых;
- ветви дерева растут по направлениям, параллельным осям координат x, y, z;
- расстояние между двумя точками определяется формулой (ортогональная метрика):

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + |z_i - z_j| \qquad (2.7)$$

Выводы

1. Для формализации процесса решения взаимосвязанных задач проектирования, производства и эксплуатации системы распределения электрической энергии грузового автомобиля на основе CALS-технологий разработана логическая схема. Структура ЛС системы распределения электрической энергии описана при помощи таблиц и решающих процедур, проведен анализ свойств ЛС. Раскрыто содержание ячеек ЛС.

2. На основе ЛС системы распределения электрической энергии предложен общий алгоритм синтеза системы распределения электрической энергии грузовых автомобилей, позволяющий решить задачу системного проектирования, производства и эксплуатации системы распределения электрической энергии на основе CALS-технологий логической увязкой автономно-неразрешимых задач и включающий в себя организацию итерационных циклов для получения оптимальных решений.

3. Разработана модель монтажного пространства грузового автомобиля, предназначенная для решения задач проектирования межблочного монтажа. С использованием модели монтажного пространства предложены методики размещения конструктивных узлов, разводки электрических цепей межблочного монтажа, формирования и трассировки жгутов. Гибкий подход к описанию монтажного пространства в виде графовых моделей может быть использован для различных автомобилей и других автономных объектов.

Глава III Математическое обеспечение системы автоматизированного проектирования как стадии жизненного цикла сложной системы

3.1. Компоновка конструктивных узлов электрооборудования

Задача компоновки конструктивных узлов (КУ) системы распределения электрической энергии грузового автомобиля заключается в объединении элементов электрооборудования в конструктивные узлы. В современном автомобилестроении предъявляются жесткие требования к весовым и габаритным параметрам грузовых автомобилей, связанных с условиями расхода топлива, маневренностью, ремонтопригодностью, эстетическими качествами и т.д. На грузовых автомобилях в настоящее время не уделяется достаточно внимания вопросу компоновки элементов электрооборудования в отдельные конструктивные узлы. Элементы электрооборудования (электромагнитные реле, контакторы, выключатели и другая коммутационная аппаратура) располагаются в данный момент не упорядоченно, размещены хаотично внутри кабины грузового автомобиля и, зачастую по остаточному свободному пространству. Несмотря на то, что группирование этих элементов в конструктивные узлы позволит выделить дополнительные объемы для уменьшения габаритов, помещения дополнительного оборудования и т.д.

Сформированные конструктивные единицы размещаются затем в монтажном пространстве грузового автомобиля. Задача компоновки относится к первому уровню логической схемы. Решение задачи компоновки позволяет формализовать процесс размещения конструктивных узлов, процесс выделения схем межблочного и внутриблочного электромонтажа и произвести разводку электрических цепей.

Задача компоновки в общем виде формулируется следующим образом: требуется разбить множество компонуемых элементов E на α непересекающихся подмножеств E_S, представляющих собой элементный набор конструктивных узлов.

При решении этой задачи множество ограничений C формируется с использованием элементов множества признаков системной модели и следующих инженерных требований:

- должны быть выполнены требования электромагнитной, тепловой, механической совместимости, надежности;
- обеспечен заданный коэффициент заполнения конструктивных узлов;
- ограничен объем конструктивных узлов

Принципиальную электрическую схему, состоящую из множества элементов $E = \{e_1, e_2, ..., e_n\}$, соединенных между собой электрическими цепями из множества $V = \{v_1, v_2, ..., v_m\}$, будем называть коммутационной схемой.

Каждый i – ый элемент имеет множество соединенных выводов $C_i = \{c_{i_1}, c_{i_2}, ..., c_{ik}\}$. Внешние выводы схемы, служащие для связи с другими схемами (например, через электросоединитель), удобно представить фиктивным элементом e_0 .[21]

Принципиальную электрическую схему представим в виде графа коммутационной схемы (ГКС) [21]. Он содержит три типа вершин соответствующих: *E* – элементам, *C* – выводам элементов, *V* – цепям (комплексам). Рёбра делятся на элементные *F* и сигнальные *W*:

$$G = (E,V,C,F,W) \qquad (3.1)$$

Структуру ГКС можно задать одной матрицей $T = \|t_{ij}\|_{nxk}$, строки которой соответствуют элементам, а столбцы выводам элемента, причём

$$к_1 = \max k_i, \; i = \overline{1,n} \qquad (3.2)$$

где n – число элементов.

Матрица T называется матрицей цепей. Для построения матрицы цепей необходимо каждой цепи присвоить номер.

Наиболее приемлемым критерием является критерий минимизации числа связей между конструктивными узлами, т.к. он дает уменьшение массы изделий, минимизирует взаимные наводки, увеличивает надежность, упрощает конструкцию. Недостаток данного критерия в том, что он не учитывает массогабаритные характеристики электрических связей, а именно сечение проводов, связывающих конструктивные узлы.

Например, в результате решения задачи компоновки получили два решения (рис. 3.1 а,б).

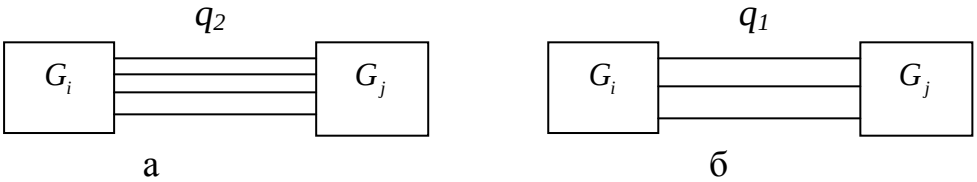


Рис. 3.1

Из рис. 3.1 видно, что вариант 1 предпочтительнее по критерию учета внешних связей, но если учесть сечения проводов (пусть $S_{q1} = 4мм^2$, $S_{q2} = 1мм^2$), то значение критерия по варианту 1:

$$S_1 = 3 \cdot S_{q1} = 12мм^2$$

Значение критерия по варианту 2:

$$S_2 = 4 \cdot S_{q2} = 4мм^2$$

Таким образом, предпочтительнее вариант 2.

В разрабатываемом алгоритме компоновки конструктивных узлов необходимо учитывать этот фактор введением дополнительного коэффициента цепи k_q, который учитывает сечение провода.

На основе последовательных алгоритмов [23] разработаем алгоритм с использованием матрицы цепей $T = \left\| t_{ij} \right\|_{n \times k_1}$, где n – количество элементов. $k_1 = \max_i k_i$, $i = \overline{1,n}$, а t_{ij} – номер цепи, связанной с элементом e_i и его j-м выводом. Кроме матрицы T задается список запрещенных элементов, которые не могут находиться в одной подсхеме.

Сначала число элементов в каждой подсхеме равно нулю. Далее распределяем по кускам запрещенные элементы. Если таких элементов нет, то произвольно предварительно распределяем элементы по кускам.

Последовательно выбираем строки e_i из матрицы Т определяем тот кусок G_j, при помещении в который элемент e_i дает наименьшее приращение числа связей между кусками.

Определяем приращение числа связей_ΔK_j^i при помещении элемента e_i в кусок G_j. Вначале рассмотрим условие появления приращения по цепи:

1. По матрице T для элемента e_i построим вспомогательную строку $S_0^i = \left\| s_{o\delta}^i \right\|_{1\times m}$, где

$$s_{o\delta}^i = \begin{cases} 1, \textit{если элемент } e_i \textit{ подключен к цепи с номером } \delta \\ 0 \textit{ в противном случае.} \end{cases} \qquad (3.3)$$

Тогда первым условием появления приращения по цепи q является условие, что $S_{oq}^i = 1$, то есть элемент ei связан с цепью q.

Вторым условием появления приращения по цепи q является условие, что до внесения элемента e_i в кусок j ни один элемент этого куска не имел связь с цепью q, то есть:

$$S_{jq} = 0 \text{ или } \overline{S_{jq}} = 1 \qquad (3.4)$$

Третьим условием является наличие связей цепи q с элементами других кусков, исключая кусок G_j, то есть

$$\bigcup_{\substack{k=1 \\ k\neq j}}^{l} s_{kq} = 1 \qquad (3.5)$$

Тогда наличие приращения связи по цепи q определится по формуле:

$$K_q^i = k_q \cdot s_{oq}^i \cdot \bar{s}_{jq} \cdot \left(\bigcup_{\substack{k=1 \\ k\neq j}}^{l} s_{kq} \right) \qquad (3.6)$$

где k_q - коэффициент цепи, равный минимальному сечению

При k_q^i = 1 приращение имеется, при k_q^i = 0 – нет, а по всем m цепям:

$$\Delta K_j^i = \sum_{q=1}^{m} k_q \left[s_{oq}^i \cdot \bar{s}\, jq \cdot \left(\bigcup_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{l} s_{kq} \right) \right] \qquad (3.7)$$

Тогда алгоритм будет следующим:

1. В матрице T выбираем строку e_i

2. Строим строку s_0^i

3. Определяем приращения $\Delta K_j^i, j = \overline{1, p}$ в куски 1÷p (или l на первом шаге)

4. Выбираем $\Delta K_{j*}^i = \min_j \Delta K_j^i$

5. Строку s_{j*} матрицы S модифицируем путем поразрядной дизъюнкции со строкой s_0^i.

6. Если число элементов в куске G_j равно заданному, то кусок G_j сформирован, если меньше, то берем очередной элемент и повторяем сначала.

3.2. Размещение элементов и конструктивных узлов электрооборудования

Задача размещения заключается в размещении элементов и конструктивных узлов на монтажном пространстве грузового автомобиля.

Задача размещения КУ формулируется как размещение элементов и КУ на множестве позиций $L = \{l_f\}$, $f = \overline{1,c}$ монтажного пространства.

Полагаем, что имеется множество позиций $L = \{l_1, ..., l_n\}$ на объекте, в которые будем устанавливать перемещаемые элементы и КУ.

Наиболее часто используются алгоритмы, использующие последовательный процесс установки элементов в позиции. Предлагаемый алгоритм разработан на основе последовательных алгоритмов [21,29].

Пусть имеются множества элементов и КУ $E = \{e_1, e_2 ... e_n\}$ для размещения и множество позиций $L = \{e_1, e_2 ... e_n\}$ их установки. На каждом шаге *n* процесса последовательного размещения выбирается один неразмещенный элемент или КУ и помещается в одну из незанятых позиций.

Определим правило выбора очередного элемента или КУ и позиции для их установки. Пусть $E_к$ – элементы или КУ, размещенные до к-го шага, а L_k – позиции, занятые этими элементами или КУ; $\overline{E_k}$ и $\overline{L_k}$ соответственно неразмещенные элементы или КУ и незанятые позиции.

Перед началом размещения может быть две ситуации:

а) нет размещенных ранее элементов и КУ, тогда должен быть установлен способ выбора и установки первого элемента или КУ;

б) имеется группа заранее размещенных элементов и КУ.

В качестве критерия оптимизации размещения принимаем критерий минимума суммарной массы соединений, зависящий от длины соединений и сечения проводов.

Решение ведется в два этапа:

1. Выбор элемента или КУ. Выбор элемента или КУ основан на расчете меры связности еще неразмещенных элементов или КУ с размещенными, исходя из матрицы смежности $R = \left\| r_{ij} \right\|_{n \times n}$. Матрица смежности учитывает количество связей между элементами или КУ и параметры этих связей (объем проводникового материала).

Подсчитывается характеристика расчета для каждого неразмещенного элемента или КУ суммарной связности с уже размещенными элементами или КУ:

$$C_i = \sum_{e_j \in E_k} r_{ij}\ ,\ e_i \in \overline{E_k} \qquad (3.8)$$

Для выбора элемента также необходимо рассчитать объем проводникового материала соединений, зависящий от количества связей, сечения провода и длины провода:

$$r_{ij} = \sum_{s \in J_{ij}} k_q \cdot \omega_s \qquad (3.9)$$

где J_{ij} - множество цепей, соединяющие элементы e_i и e_j;

ω_s - весовой коэффициент;

k_q - коэффициент цепи, равный минимальному сечению.

Выбирается элемент или КУ с наибольшим числом связей с уже размещенными элементами или КУ, то есть $e_{i*} \Rightarrow C_{i*} = \max C_i$.

2. Выбор позиции. Выбранный элемент или КУ размещается в одной из незанятых позиций из множества L_n. Эта позиция выбирается с учетом критерия минимума суммарной длины соединений.

Используем ортогональную метрику трехмерного монтажного пространства грузового автомобиля (рис. 3.2):

$$F_S = \sum_{V_q \in V(i,E_k)} \left[\left(x^q_{s\max} - x^q_{s\min} \right) + \left(y^q_{s\max} - y^q_{s\min} \right) + \left(z^q_{s\max} - z^q_{s\min} \right) \right] \qquad (3.10)$$

Позиция выбирается по F_S = min.

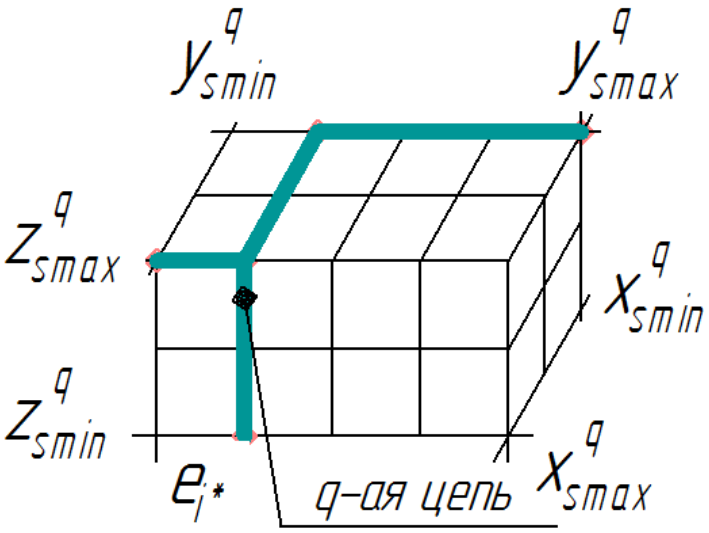


Рис. 3.2

Правило выбора первого элемента или КУ (если отсутствуют размещенные элементы или КУ): такой элемент или КУ служит центром, вокруг которого группируется остальные элементы или КУ. Обычно ищется элемент или КУ с наибольшим числом связей с другими элементами или КУ $r_i = \sum_{e_i \in E} r_{ij}$, r_{i*}=max r_i и помещается в центральную позицию.

В приложении 1 представлен пример размещения элементов и конструктивных узлов электрооборудования грузового автомобиля.

3.3. Разводка сложных электрических цепей при проектировании межблочного монтажа

Задача разводки сложных электрических цепей при проектировании межблочного монтажа ставится после решения задач компоновки и размещения конструктивных узлов электрооборудования автомобиля.

Исходные данные для решения задачи разводки межблочного монтажа подразделяются на схемную, геометрическую и справочную информацию. Схемная и геометрическая информация включает в себя: принципиальные электрические схемы систем, однозначно разбиваемые на схемы межблочного и внутриблочного монтажа в результате решения задач компоновки и размещения; координаты мест установки элементов электрооборудования автомобиля; сечения проводов; данные об особенностях цепей; параметры геометрических моделей автомобиля и оборудования; разрешенные трассы прокладки проводов.

Справочная информация по элементам определяет способы подключения проводов к контактам элементов, максимальное сечение проводов, подключаемых к контактам элементов с учетом ограничений по общему сечению подключаемых проводов. Справочная информация по проводам определяет их марки, сечения, погонную массу и условия эксплуатации.

При разработке методики разводки проводных соединений в качестве основных критериев принимаются минимальная масса проводных соединений, минимальная длина соединений, высокая надежность и технологичность разводки. Первый критерий косвенным путем учитывает все остальные критерии и стоимость проектируемой сети, поэтому введем его в показатель качества.

Проведенный анализ сложных электрических цепей межблочного монтажа показывает, что такие цепи можно развести с использованием муфт сращивания (рис. 3.3) (сращивание электрических цепей ультразвуковой сваркой или формовкой), предназначенных для соединения и разветвления проводов без использования соединителей.

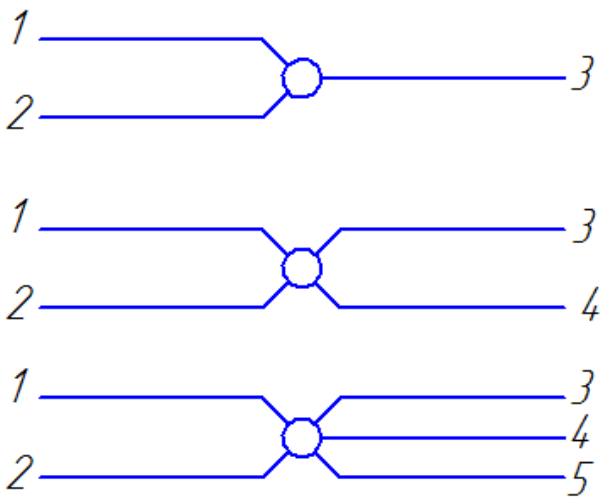


Рис. 3.3

Задачу разводки электрических цепей с использованием муфт сращивания можно представить в виде построения связывающих деревьев специального вида - деревьев Штейнера [21,29].

Проблема Штейнера известна как формирование дерева с абсолютно минимальной суммарной длиной. Дано множество узлов $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$, расположенных на одной плоскости: требуется найти дерево найти дерево $T = (X, U)$ с множеством вершин X и множеством ребер U, для которого $P \subset X$ и суммарная длина ребер U минимальна. Существенным отличием от минимального связывающего дерева является возможность введения неограниченного числа дополнительных узлов. Использование дерева Штейнера позволяет существенно улучшить характеристики проводных соединений, в частности уменьшить их длину, упростить форму и т.д.

Методы решения задачи Штейнера существенно зависят от метрики. В соответствии с математической моделью монтажного пространства (глава 2) остановимся на задаче построения деревьев Штейнера в ортогональной метрике [21].

Пусть $P = \{p_i\}, i = 1, 2, ..., n$ - множество выводов электрической цепи. Построим базисную ортогональную сетку, проходящую через заданные выводы (точки) p_i. Таким образом, образуется трехмерная сеть с шагом a, который выбирается исходя из требуемой точности (рис. 3.4).

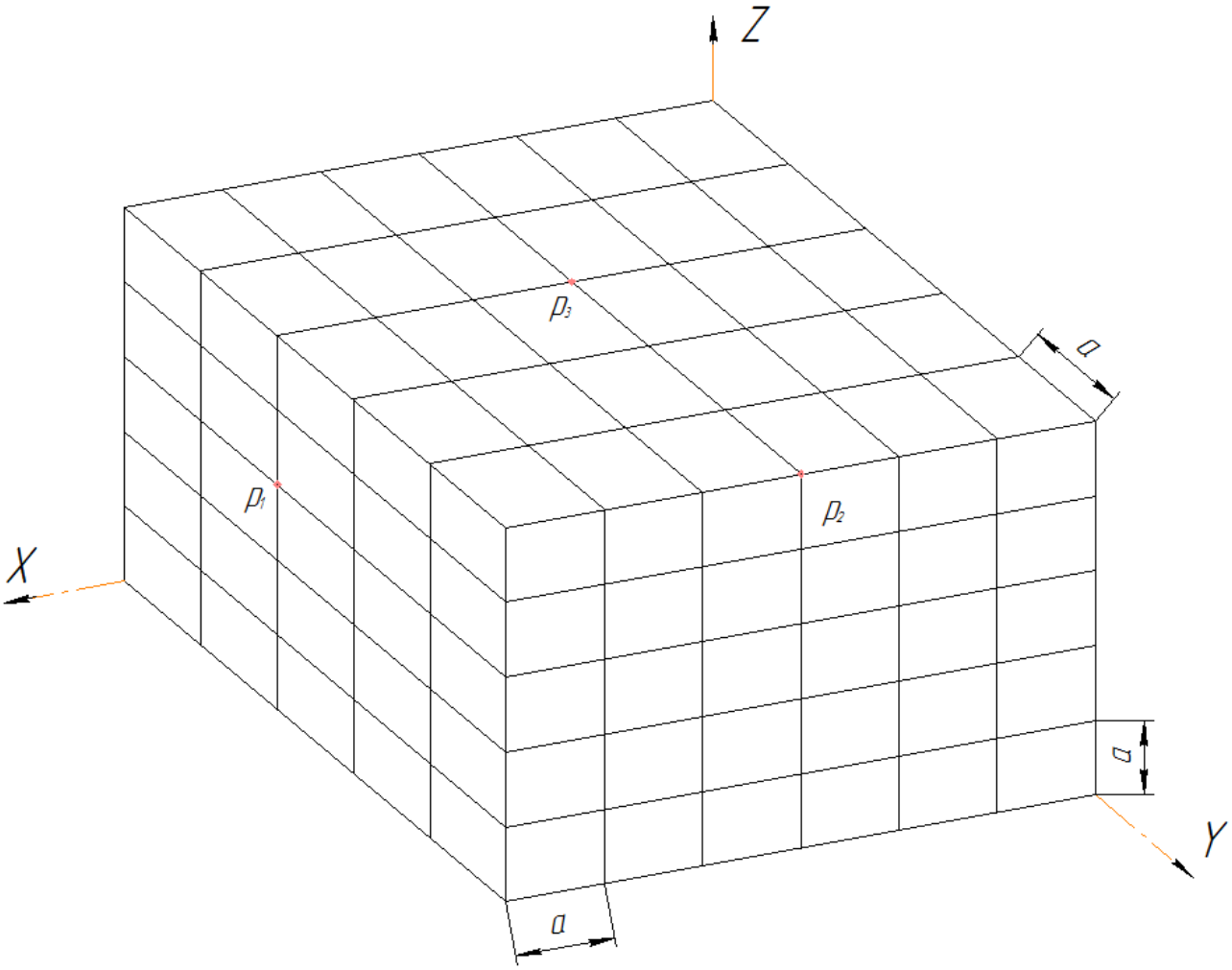


Рис. 3.4

Алгоритм построения дерева включает следующие операции. Введем вспомогательные переменные:

g_{ij} - вес соединения между заданными выводами (точками, вершинами) i и j, в котором учтены особенности, заключающиеся в наличии у электрического соединения различных сечений, мест прокладки и т.д.

$$g_{ij} = \mu_0 \cdot g_э \cdot l_{ij} \qquad (3.11)$$

μ_0 - нормировочный положительный коэффициент для учета надежности, мест прокладки, особенностей соединения (i, j), являющийся исходными данными.

$g_э$ - погонная масса эквивалентного провода, *кг/м*.

l_{ij} - длина электрического соединения, которая находиться по формуле для ортогональной метрики:

$$l_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + |z_i - z_j| \qquad (3.12)$$

1. Пронумеровать по часовой стрелке, по спирали точки (выводы электрической цепи) множества $P = \{p_i\}, i = 1, 2, ..., n$;

2. Определить вес соединений между всеми заданными точками множества $P = \{p_i\}, i = 1, 2, ..., n$ по формуле (1);

3. составить матрицу весов соединений $G = \left| g_{ij} \right|_{ixj}$;

4. Определить минимальный элемент матрицы $G = \left| g_{ij} \right|_{ixj}$. При одинаковом значении минимальных весов соединений выбирается элемент с наименьшим значением номера вывода (точки). Каждому элементу матрицы $G = \left| g_{ij} \right|_{ixj}$ соответствует две точки;

5. Построить фрагмент дерева, соединяющий две точки p_i и p_j минимального элемента матрицы G, для которого $g_{ij} = \mu_0 \cdot g_э \cdot l_{ij} = \min$;

6. Всем точкам ортогональной сетки, через которые прошел фрагмент дерева, присвоить наименьший из номеров концевых точек фрагмента;

7. Операции 2 - 6 выполнять для остальных точек до тех пор, пока не будут построены фрагменты для всех точек $p_i, i = 1, 2, ..., n$ и пока все $p_i, i = 1, 2, ..., n$ не получат номер 1;

В конце решения получаем одно единственной дерево, связывающее все точки множества $P = \{p_i\}, i = 1, 2, ..., n$ и имеющее наименьший вес соединений (длину соединений).

В приложении 2 представлен пример разводки электрических цепей межблочного электромонтажа.

3.4. Формирование конфигурации жгутов при проектировании межблочного монтажа

В результате решения задач компоновки, размещения конструктивных узлов и разводки электрических цепей имеем непересекающиеся множества проводов, каждое из которых реализует отдельную цепь. Провода обычно объединяются в жгуты, совместно образуя схему электрических соединений. Упрощенное изображение жгута показано на рис. 3.5 [74].

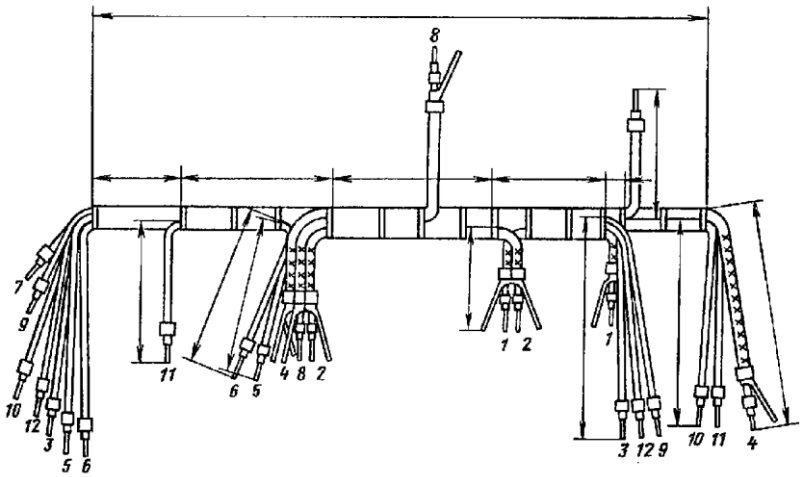


Рис. 3.5

Условное изображение жгута, представляющее собой двухмерную развертку трехмерной модели жгута, показано на рис. 3.6.

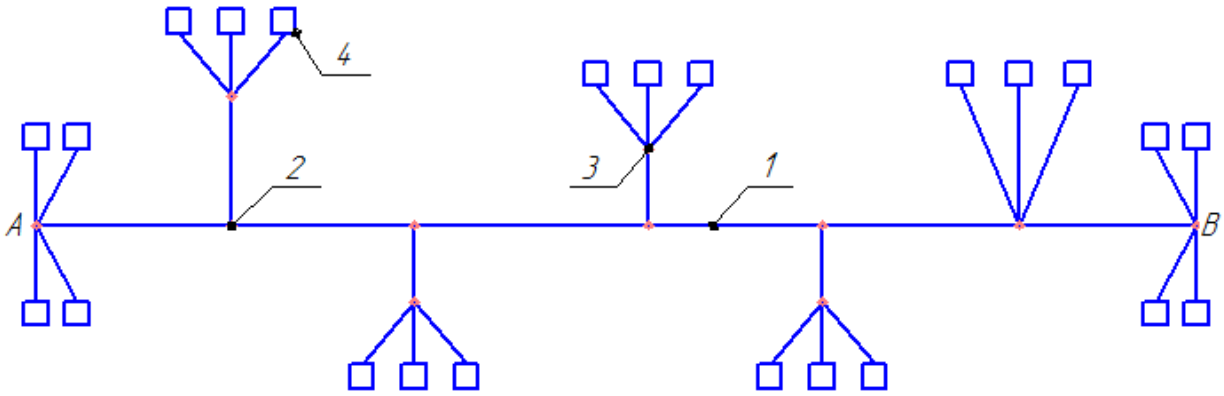


Рис. 3.6. 1. А-В Ствол жгута; 2. Ответвления; 3. Точки разветвления группы проводов; 4. Соединительные устройства (штепсельные разъемы, наконечники, клеммные колодки).

При известном количестве и расположении соединительных устройств, множестве входящих в жгут проводов задачей синтеза электрожгута является

определение его конфигурации, заключающееся в нахождении оптимального количества, состава и расположении ответвлений и выполнении ограничений на диаметры отдельных участков ствола и ответвлений жгута. При этом будем считать, что ответвления отходят от ствола под прямым углом. Такое допущение правомерно, так как окончательный угол наклона ответвления определяется после этапов макетирования и изготовления опытных образцов электромонтажа на автомобиле. Кроме того, если нет ограничений относительно трассы прокладки ответвления, то она выбирается, как правило, по кратчайшему пути, т.е. перпендикулярно стволу жгута. При вышеизложенном допущении и выбранной ортогональной метрике при разработке модели монтажного пространства автомобиля (глава 2) точки 3 разветвления группы проводов совпадают с точками ответвлений 2 (как показано для некоторых ответвлений на рис. 2). Кроме того, учитывая, что множества соединительных устройств отдельных ответвлений между собой не пересекаются, в дальнейшем будем рассматривать, не нарушая общности, только часть жгута (рис. 3.5).

При решении оптимизационной задачи формирования жгутов значение целевой функции $F_{жг}$ определяется суммой показателей качества отдельных ответвлений:

$$F_{жг} = \sum_{p=1}^{m} F_p \to \min \qquad (3.13)$$

$$\text{где } F_p = \sum_{k \in Np} (x_k + y_k) \cdot s_k \qquad (3.14)$$

F_p - показатель качества, определяющий суммарный объем проводникового материала р-го ответвления;

N_p - множество проводников р-го ответвления;

x_k, y_k - координаты соединительного устройства k-го провода;

s_k - сечение k-го провода, которое определяется как $s_k = \max(s_{kн}, s_{kмех}, s_{kаз})$, здесь $s_{kн}, s_{kмех}, s_{kаз}$ - минимальные сечения k-го провода, выбранные соответственно из условий допустимых значений по нагреву, механической прочности и

защищаемости аппаратами защиты. В дальнейшем для упрощения будем считать $s_k = 1$, что не влияет на методику решения задачи.

Ограничениями при оптимальном синтезе жгутов являются:

$$D_{отв.p} \le D_{отв.доп.p}, p = \overline{1,m} \qquad (3.15)$$

$D_{отв.p}, D_{отв.доп.p}$ - диаметр группы проводников р-го ответвления и его допустимое значение.

$$D_{ств.p} \le D_{ств.доп.p}, p = \overline{1,m} \qquad (3.16)$$

$D_{ств.p}, D_{ств.доп.p}$ - диаметр ствола жгута между «р»-м и «р-1»-м ответвлениями и его допустимое значение.

Значения $D_{отв.p}, D_{ств.p}$ определяются по номограммам в зависимости от количества проводников и их диаметров.

Суммарный диаметр проводов определяется следующим образом. Для проводов с одинаковыми наружными диаметрами суммарный диаметр определяется по формуле:

$$D = c \cdot d \qquad (3.17)$$

Где c - коэффициент, зависящий от числа проводов в жгуте;

d - наружный диаметр проводов.

Для проводов с разными наружными диаметрами, суммарный диаметр определяется по формуле:

$$D = 1.1 \cdot c \cdot d_э \qquad (3.18)$$

Где $d_э$ - эквивалентный наружный диаметр проводов.

$$d_э = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_1^2 + ... + d_n^2}{n}} \qquad (3.19)$$

Где n - количество проводов;

$d_1, d_2, ..., d_n$ - диаметры проводов.

Для решения задачи (3.14) – (3.17) воспользуемся свойством протяженности объекта проектирования [54] по координате x. В решающей процедуре предлагается приближенный метод, в котором исходная задача рассматривается как многошаговый процесс принятия решений. Этому требованию удовлетворяет наша

задача после упорядочения по координатам вдоль оси x множества позиций, заданных для размещения точек ответвления жгута, и множества соединительных устройств. Для организации вычислительного процесса монтажную плоскость жгута разобьем секущими плоскостями, перпендикулярными оси x и определим множество зон (рис. 3.7).

$$Z = \left\{ Z^{(\xi)} : x^{(\xi)} = \frac{\xi \cdot x_m}{m}; x_0^{(\xi)} = 0; \xi = \overline{1,m} \right\} \qquad (3.20)$$

где $x_0^{(\xi)}, x^{(\xi)}$ - начальная и конечная координаты секущих плоскостей ξ-й зоны;

x_m - предельная координата монтажной плоскости

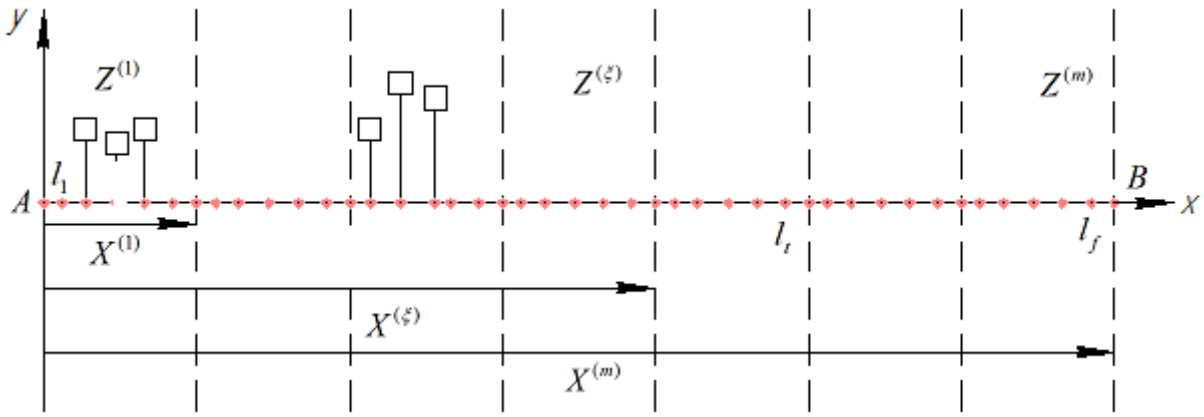


Рис. 3.7.

Пусть заданы множество соединительных устройств $N_q = \{q_1, ..., q_s, ..., q_n\}$ упорядоченных по координате x, соединяемых проводниками с точками ответвлений и множество позиций $L = \{l_1, ..., l_t, ..., l_f\}$ для размещения точек ответвления из множества $P = \{p_1, ..., p_j, ..., p_n\}$. Множество позиций $L = \{l_1, ..., l_t, ..., l_f\}$ образуется точками ствола, равномерно расположенными или неравномерно (по решению конструктора) между секущими плоскостями. Шаг между позициями выбирается в зависимости от требуемой точности и вычислительных возможностей используемого компьютера.

На первом шаге алгоритма определяем наилучшую позицию для размещения точки первого ответвления последовательно в зонах $Z^{(\xi)}, \xi = \overline{1,m}$ и к ней условно

«присоединяем» провода, идущие от соединительных устройств, расположенных в данных зонах. При этом находим значение целевой функции:

$$F_1 = \min_{l_t \in L} \sum_{k \in N_1^{\xi}} (x_k + y_k) \cdot s_k \qquad (3.21)$$

Где $N_1^{\xi} = \left\{ n_i; n_i \in N_q; x_k \le x^{(\xi)} \right\}$ - подмножество соединительных устройств, расположенных в зоне $Z^{(\xi)}$.

На j-м шаге используется рекуррентное выражение:

$$F_j(\xi) = \min_{\psi} \left[F_j(\xi, \psi) + F_{j-1}(\psi) \right], \xi = \overline{j, m}; \psi = \overline{j-1, \xi-1} \qquad (3.22)$$

Где $F_{j-1}(\xi)$ - оптимальное значение целевой функции, вычисленное на предыдущем шаге при размещении $j-1$ ответвлений в зоне $Z(\psi)$;

$F_j(\xi, \psi)$ - значение целевой функции при размещении j-го ответвления в зоне $Z(\xi)$ с координатами $x^{(\psi)} \le x(\xi) < x^{(\xi)}$ и закреплении за j-м ответвлением соединительных устройств с этими координатами.

Каждый j-й шаг вычислительного процесса соответствует формированию j ответвлений и определению их состава по соединительным устройствам с использованием всех m зон. После n шагов будем иметь n вариантов синтеза конфигурации жгута, среди которых выбираем вариант с наименьшим значением целевой функции. Затем выполняем обратный ход , в результате чего определяется местоположение каждого ответвления и состав входящих в него соединительных устройств.

В приложении 3 представлен пример формирования жгута.

3.5. Трассировка жгутов при проектировании внешнего монтажа

Конструкции жгутов и, соответственно, их трассировка на грузовом автомобиле становятся все более и более сложными. Это связано с увеличением числа электрических и электронных систем, числа ограничений, связанных с электромагнитной совместимостью, коррозией, радиусом изгиба, креплением жгута, пересечением жгутов, ремонтопригодностью и т.д. Как правило, жгуты и провода прокладываются на конструкции автомобиля в некоторой 3D системе автоматизированного проектирования ручным способом. Проектирование трассы жгута часто протекает параллельно с проектированием конструкции автомобиля, поэтому возникающие изменения в ней требуют много времени для переделки трассы жгута и соответственно всей конструкторской документации.

Для решения данных проблем необходимо разработать метод, алгоритм и программный инструмент, при помощи которых можно осуществить автоматизированную трассировку проводов и жгутов.

Программный инструмент автоматизированной трассировки основывается на базе данных, которая должна собирать, хранить и использовать правила проектирования жгутов, многочисленные ограничения по прокладке трасс, а также опыт и знания инженеров-конструкторов [75,76].

Для разработки алгоритма проектирования трассы и укладки жгутов грузового автомобиля воспользуемся известной методикой при проектировании электронных микросхем [48]. Микросхемы состоят из нескольких тысяч компонентов, которые должны быть связаны в очень малом пространстве. В настоящее время существует множество алгоритмов для соединения элементов микросхем в зависимости от различных показателей, таких как длина соединений, время трассировки и т.д. Аналогичные алгоритмы могут быть применены и в автомобильной промышленности.

Процесс трассировки традиционно состоит из следующих этапов:

1. Определение области трассировки (разбиение пространства на составные части);

2. Приближенная трассировка (определение положения элементов, оценка и определение приоритетов трассировки);

3. Порядок трассировки составных частей (предотвращение нестыковок областей);

4. Детализированная трассировка (определение точного пути).

Исходными данными для трассировки жгутов являются:

- правила проектирования и ограничения трассировки;
- схемы электрических соединений, таблицы проводов и жгутов;
- размещение компонентов электрифицированных систем.

Задача трассировки относится к задачам высокой вычислительной сложности, для решения которых обычно используются эвристические методы. Примерами задач класса NP являются определение наличия в графе гамильтонова цикла или задача о коммивояжёре. Эвристические методы позволяют найти приближенное решение, близкое к оптимальному решению.

Основным критерием трассировки жгутов и проводов грузового автомобиля является кратчайший путь. Классическим алгоритмом, выбирающий кратчайший путь в лабиринте с препятствиями, является волновой алгоритм Ли [50]. Алгоритм A* находит маршрут с наименьшей стоимостью от начальной ячейки к конечной.

Порядок обхода вершин определяется оценочной функцией $f(n)$:

$$f(n) = g(n) + h(n) \qquad (3.23)$$

где n - текущая ячейка;

$g(n)$ - стоимость перехода от начальной ячейки S в текущую ячейку n;

$h(n)$ - стоимость перехода от текущей ячейки n в конечную ячейку T.

Сложность трассировки жгутов проявляется не только в наличии физических препятствий. Существуют области, которые имеют ограничения по прокладке жгутов, такие как электромагнитные помехи или «горячая» зона, но не запрещают этого (рис. 3.8).

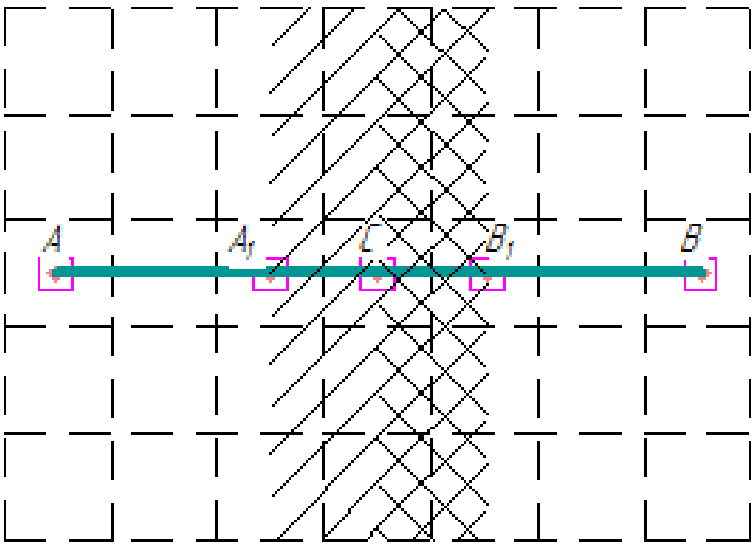


Рис. 3.8

Стоимость пути провода или жгута через области с ограничениями определим по формуле:

$$f_{AB} = \sum d_i \cdot k_i = d_{AA_1} \cdot k_{AA_1} + d_{A_1C} \cdot k_{A_1C} + d_{CB_1} \cdot k_{CB_1} + d_{B_1B} \cdot k_{B_1B} \qquad (3.24)$$

где f_{AB} - функция стоимости пути между точками А и В;

d_i - расстояние между точками;

k_i - коэффициент стоимости пути, учитывающий возможные ограничения.

Коэффициент стоимости является свойством каждой ячейки пути. Коэффициент стоимости свободной ячейки равен единице, а ячейки с препятствиями стремится к бесконечности.

Исходя из изложенного, автоматизированная трассировка состоит из следующих шагов:

1. Разработка и моделирование конструкции автомобиля с использованием CAD системы (например Siemens NX);
2. Определение правил и ограничений при проектировании трассы жгута или провода;
3. Экспорт 3D модели из CAD системы и преобразование в дискретный формат, для применения алгоритма поиска пути A*;
4. Трассировка проводов и жгутов;
5. Преобразование итоговой трассы жгута или провода в 3D модель, которая экспортируется в CAD систему.

При применении алгоритма А* жгут необходимо представить в виде совокупности стартовых и целевых точек (рис. 3.9). Алгоритм А* применим для составных частей жгута (тело жгута, соединения с телом жгута).

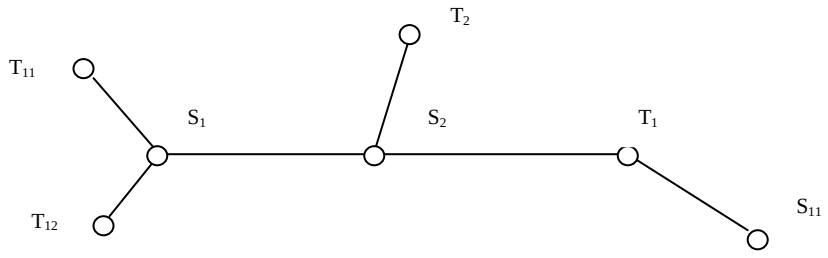


Рис. 3.9

Введем несколько обозначений:

Открытый список U – множество ячеек, которые необходимо обработать.

Закрытый список V – множество ячеек, которые не нужно проверять.

S – начальная ячейка g(S) = 0; h(S) = h; f(S) = g(S) + h(S) = h(S).

T – целевая ячейка h(T) = 0; g(T) = g; f(T) = g(T).

X – ячейка из открытого списка, имеющая самую низкую стоимость f(X).

Для нахождения пути необходимо определить, какие ячейки нужны для перемещения из стартовой ячейки в целевую ячейку. Разработанный алгоритм имеет следующий вид:

1. Находим начальную ячейку S и переносим ее в открытый список U. Вычисляем $h_{\min}(S) \geq distance(S,T)$.

2. Находим в открытом списке ячейку X с наименьшей стоимостью f(X) (текущая ячейка);

3. Перемещаем текущую ячейку в закрытый список V

4. С соседними ячейками проводим следующие операции:

- отбрасываем ячейку, если она помещена в закрытый список V;
- в обратной ситуации, добавляем ячейку в открытый список U. Находим стоимости g, h, f;

5. Алгоритм завершен если:

- целевая ячейка T находится в открытом списке U (путь построен);
- открытый список U = $\varnothing$ пуст (путь не найден)

В качестве критерия оптимизации используется критерий минимума суммарной длины соединений. Выбор ячейки производится из открытого списка U с учетом минимизации выбранного критерия. Если используется ортогональная метрика, тогда в соответствии с рис. 3.10:

$$F_T = \sum_{U(i,e_k)} \left[\left(x_{T\max} - x_{T\min} \right) + \left(y_{T\max} - y_{T\min} \right) \right] \qquad (3.25)$$

где $e_к$ – ячейки, выбранные до к-го шага.

Ячейка выбирается по min F_T.

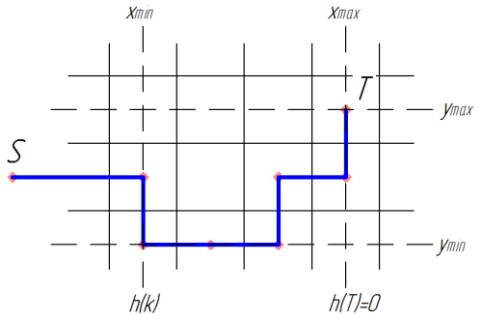


Рис. 3.10

В приложении 4 представлен пример трассировки жгута.

3.6. Анализ системы распределения электрической энергии грузового автомобиля

Система электроснабжения грузового автомобиля состоит из систем генерирования и распределения электроэнергии [7,77-79] (рис. 3.11).

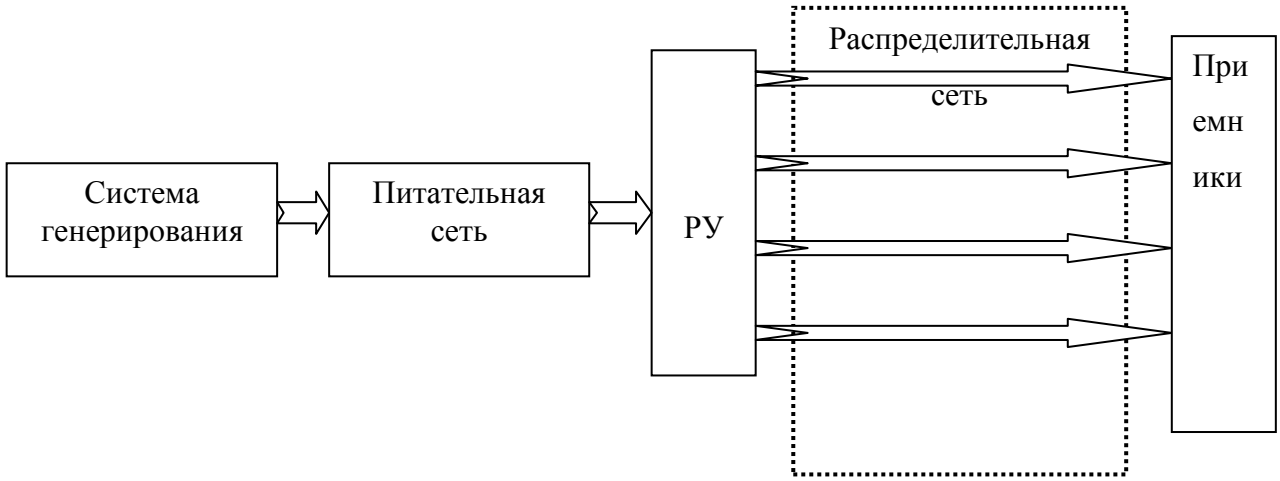


Рис. 3.11

Распределительная сеть системы электроснабжения грузового автомобиля может быть разделена на первичную (магистральную) и вторичную (электросхемы систем). Первичная распределительная сеть образована цепями, реализующими передачу электроэнергии от источников (генератора и аккумуляторной батареи) до блоков предохранителей и цепями, связывающими эти блоки между собой. В эти цепи может входить также коммутационная аппаратура (реле, выключатели, кнопки и т.д.). Типовая схема первичной распределительной сети приведена на рис. 3.12.

По цепям питания аппараты защиты, входящие в один блок, могут делиться на секции. Каждая секция состоит из группы эквипотенциально связанных аппаратов. С точки зрения расчетов секцию можно рассматривать как единую шину, к которой подключены фидеры питания (главные цепи) потребителей электроэнергии. Цепи, к которым присоединяются генератор и аккумуляторная батарея, образуют центральную шину. В результате типовая расчетная схема первичной распределительной сети автомобиля приобретает вид, приведенный на рис. 3.13.

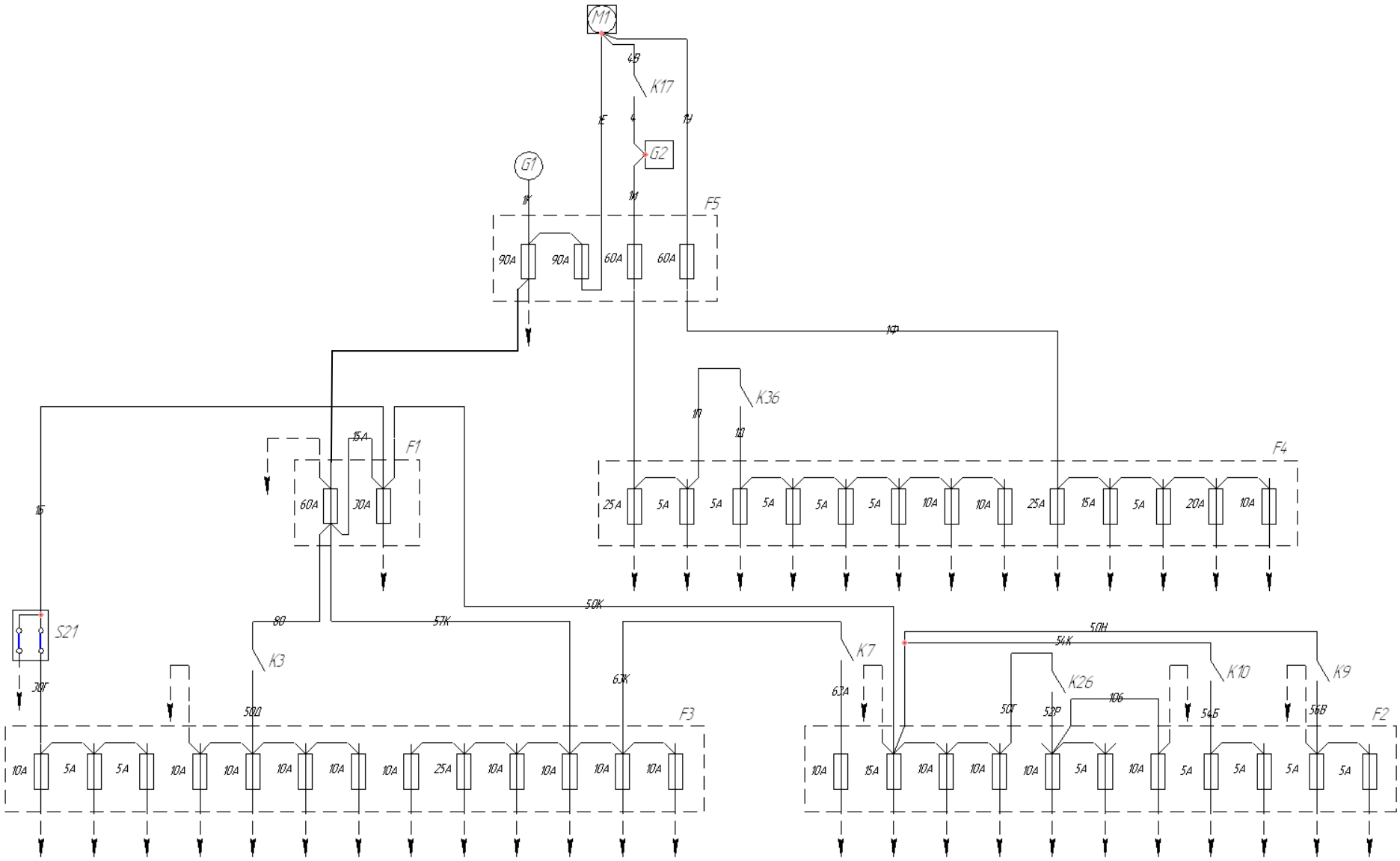

M1
G1
G2
K17
F5
90A
90A
60A
60A
K36
F1
15A
60A
30A
F4
25A
5A
5A
5A
5A
5A
10A
10A
25A
15A
5A
20A
10A
S21
K3
K7
K26
K10
K9
F3
F2
10A
5A
5A
10A
10A
10A
10A
10A
25A
10A
10A
10A
10A
10A
15A
10A
10A
10A
5A
10A
5A
5A
5A
5A
5A

Рис. 3.12

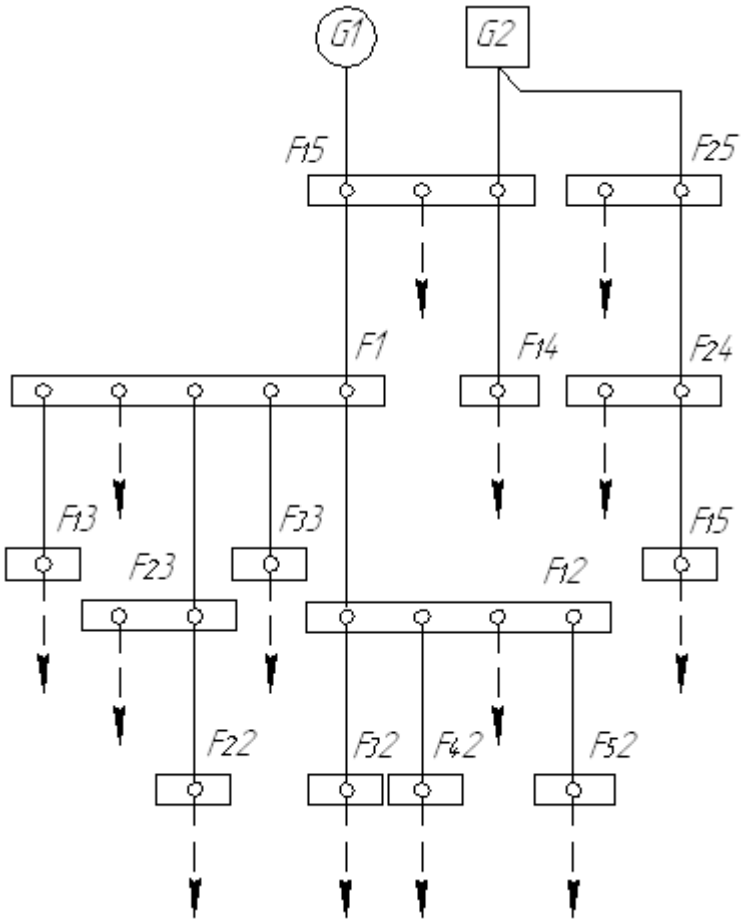


Рис. 3.13

Вторичная сеть состоит из главных цепей, исходящих от аппаратов защиты блоков предохранителей и питающих потребители определенной функциональной системы автомобиля, группы функционально не связанных потребителей или одиночные приемники электроэнергии. Пример фидерной схемы приведен на рис. 3.14.

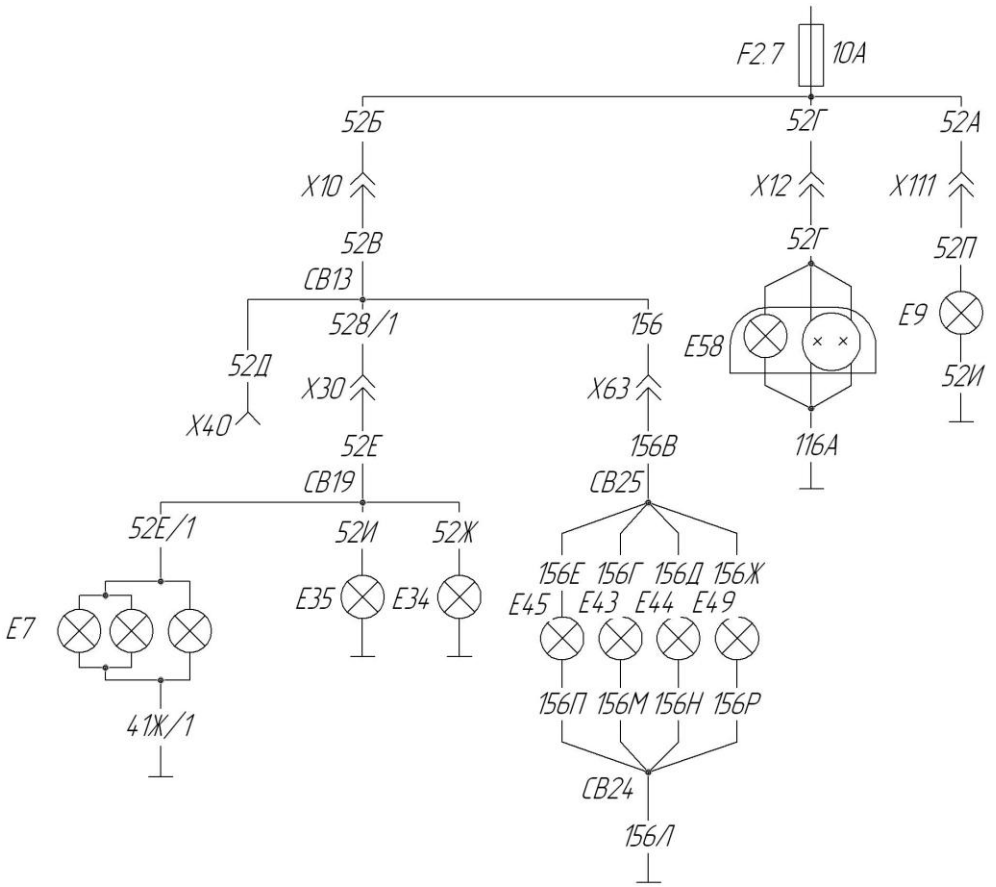


Рис. 3.14 Фидерная схема грузового автомобиля

Таблица 3.1

Поз. об.	Наименование
F2.7 10A	Блок предохранителей БПР-13-05 Ф54.811.000 ТУ
X10	Разъем 35-контактный
X40	Розетка прицепа ПС325-3723100 ТУ37.003.616.80
X30	Разъем 8-контактный
E7	Фонарь задний левый ФП130-В
E34	Фонарь освещения номерного знака ФП131-АБ
E35	Фонарь освещения номерного знака ФП131-АБ
X63	Разъем четырехконтактный
E43	Фонарь боковой габаритный 43.3731-01 ТУ4573-042-05808936
E44	Фонарь боковой габаритный 43.3731-01 ТУ4573-042-05808936
E45	Фонарь боковой габаритный 43.3731-01 ТУ4573-042-05808936
E49	Фонарь контурный задний 381-3731 ТУ4573-042-05808936
X12	Разъем 35-контактный (AMP)
E58	Блок-фара (левая) 311.3775 ТУ 4573-018-51105893-07
X111	Разъем двухконтактный
E9	Фонарь габаритный 26.3172-10 ТУ4573-042-05808936-2005
СВ13, СВ19, СВ24, СВ25	Места ультразвуковой сварки или сбивки

По результатам анализа распределительных электрических сетей грузового автомобиля можно выделить следующую конфигурацию:

1. по роду тока и напряжению система распределения электрической энергии:

- постоянного тока с номинальным напряжением 24В;

2. по системе передачи электроэнергии:

- однопроводная сеть;

При передаче постоянного тока приемники электроэнергии соединяются с источником питания плюсовым проводом, а минусовые выводы приемников и источников соединяются с корпусом автомобиля (рис. 3.15). К переходным сопротивлениям между отдельными частями автомобиля предъявляются жесткие требования, поэтому потери напряжения в минусовой цепи при расчетах обычно не учитываются.

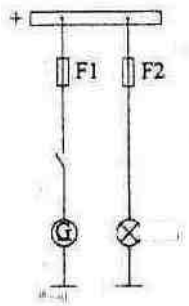


Рис. 3.15

3. по системе (способу) распределения электроэнергии:

- централизованная система. Централизованная система распределения электроэнергии характеризуется тем, что все источники электроэнергии и все приемники подключаются к шинам одного распределительного устройства (РУ) (рис. 3.16). Аппараты защиты фидеров источников и приемников, аппаратура управления и контроля источников устанавливаются на РУ;

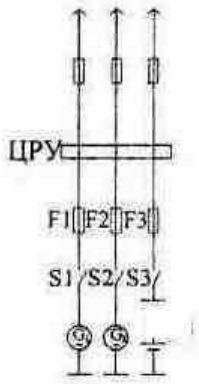


Рис. 3.16

4. по конфигурации:

- разомкнутая радиальная сеть (вторичная). Простейшей радиальной распределительной сетью является одноканальная линия (рис. 3.17, а). Такая сеть имеет минимальную массу, для нее легко обеспечивается селективность защиты, просто рассчитывается, удобна в монтаже и эксплуатации.

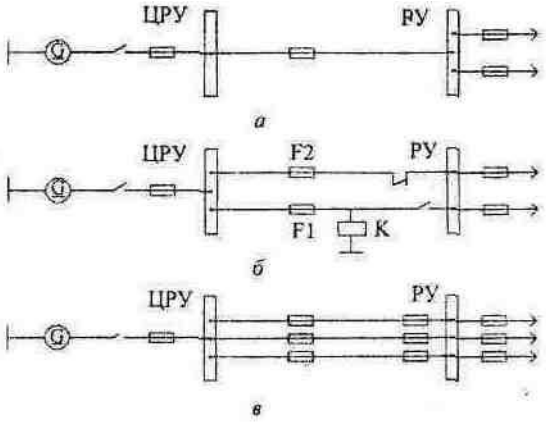


Рис. 3.17

3.7. Оптимизация сечений проводов системы распределения электрической энергии

Разрабатываемая методика позволяет определить оптимальные сечения проводов распределительной сети грузового автомобиля с учетом требований по предельным токовым нагрузкам проводов, допустимой потере напряжения, с учетом прочностных факторов и многорежимности работы потребителей. В качестве критерия оптимизации используется суммарная масса проводов расчетной схемы. [56,57].

В качестве расчетной схемы, в зависимости от стоящей проектной задачи, могут быть выбраны цепи питания отдельного потребителя, цепи питания группы потребителей, либо цепи питания всех потребителей, запитываемых через общий предохранитель. Потребителем считается единичный токопотребляющий элемент изделия.

Задача оптимального выбора сечений проводов решается на этапах, когда известна конфигурация схемы электрических соединений и определены длины проводов участков всей распределительной сети или той ее части, которая содержит расчетную схему.

Кроме того, должно быть известно взаимодействие функциональных систем автомобиля и состав потребителей, включаемых (отключаемых) в заданных расчетных режимах.

Сечения проводов распределительной сети автомобиля должны удовлетворять следующим условиям:

– ток нагрузки всех участков сети не должен превышать максимально допустимую для выбранной марки величину во всех режимах работы соответствующей системы с учетом условий прокладки и условий окружающей среды;

– напряжения на клеммах конечных приемников электроэнергии для всех режимов работы потребителей и системы генерирования автомобиля должны

удовлетворять нормам задаваемым [80] и\или техническими условиями производителя;

– ближайший аппарат защиты сети должен защищать провод во всем диапазоне токов перегрузки и коротких замыканий;

– ограничения по механической прочности.

Удовлетворяя условиям качества и надежности электроснабжения потребителей, выбранные сечения проводов в совокупности должны быть оптимальными. В качестве критерия оптимальности может быть задана суммарная масса, стоимость или другой критерий.

При решении задачи выбора сечений должна учитываться дискретность оптимизируемых сечений. Номенклатура сечений и марок проводов определяется [81].

Режимы работы потребителей, рассматриваемые при выборе сечений, регламентируются [82,83], а также определяются коммутацией в фидерах, входящих в расчетную схему.

В основе методики и алгоритма оптимизации сечений проводов распределительной сети используется метод динамического программирования (ДП) [84]

Исходной информацией для работы алгоритма ДП является:

– конфигурация схемы общая (нулевого режима, $r = 0$) и схемы расчетных режимов работы $r = 1,2,\ldots,R$ (r - номер режима, R – количество расчетных режимов);

– ранг узлов и участков расчетной схемы $p= 1, \ldots, P$;

– токи участков по расчетным режимам I_{jr} (j=1,2,…, B; $r = 1,2,\ldots,R$), (здесь B – количество участков (ветвей) расчетной схемы нулевого режима);

– минимальные значения сечений проводов участков S_{jmin} (j=1,2,…,B);

– максимальное возможное для расчетной схемы сечение провода S_{max};

– перечень потребителей расчетной схемы общий и подмножества потребителей, включенных в каждом из расчетных режимов H_{ir} (i=1,…, N ; r = 0,1,2,…,R);

– токи нагрузки потребителей расчетной схемы I_i (i=1,…, N);

– напряжения в точке присоединения E_r (r = 1,2,…,R).

В качестве расчетных принимаются режимы эксплуатации автомобиля, предусмотренные [82]*:*

– r=1 - зима, город, день; r=2 - зима, город, ночь;

– r=3 - зима, шоссе, день; r=4 - зима, шоссе, ночь;

– r=5 - лето, город, день; r=6 - лето, город, ночь;

– r=7 - лето, шоссе, день; r=8 - лето, шоссе, ночь;

Задача оптимизации сечений проводов распределительной сети сводится к задаче дискретного математического программирования

$$\sum_{j=1}^{B} m_j(S_j) \longrightarrow \min \qquad (3.26)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{B} n_{ijr} U_{jr}(S_j) \le \Delta U_{ir} \text{ для всех } i = 1,\ldots,N \text{ и } r = 1,\ldots,R \qquad (3.27)$$

$$S_{jmin} \le S_j \le S_{max};\ S_j \in \Omega_S,\ (j=1,2,\ldots,B); \qquad (3.28)$$

где $m_j(S_j)$ - масса, стоимость или другой параметр j- *го* участка

U_{jr} – падение напряжения на j-*ом* участке в r -*ом* режиме;

n_{ijr} - элементы контурной матрицы (матрица точка присоединения – нагрузка);

ΔU_i – допустимая величина падения напряжения от точки присоединения до i- той нагрузки ;

Ω_S - множество стандартных значений сечений автомобильных проводов.

В задаче (3.26)-(3.28)

$$m_j(S_j) = \gamma_j(S_j) l_j; \qquad (3.29)$$

$$U_{jr} = I_{jr}\,(\rho_j(S_j) l_j + R_{kj}) + \Delta U_j; \qquad (3.30)$$

$$\Delta U_{ir} = E_r - U_i \qquad (3.31)$$

$$S_{jmin} = \max\{\, S_{jmin1}\,; S_{jmin2}\,; S_{jmin3}\} \qquad (3.32)$$

где $\gamma_j(S_j)$ - масса (приведенная стоимость) одного метра провода j-го участка;

$\rho_j(S_j)$ - сопротивление постоянному току одного метра провода j-го участка;

R_{kj} - сопротивление контактов коммутационной аппаратуры отнесенное к j-му участку;

ΔU_j - падение напряжения на контактах коммутационной аппаратуры отнесенное к j-му участку для случаев $\Delta U_j = Const$;

E_r - расчетная величина напряжения в точке присоединения расчетной схемы;

U_i - минимально-допустимая величина напряжения на клеммах *i-й* нагрузки.

S_{jmin1} - минимально-допустимое из условий предельной токовой нагрузки значение сечения провода;

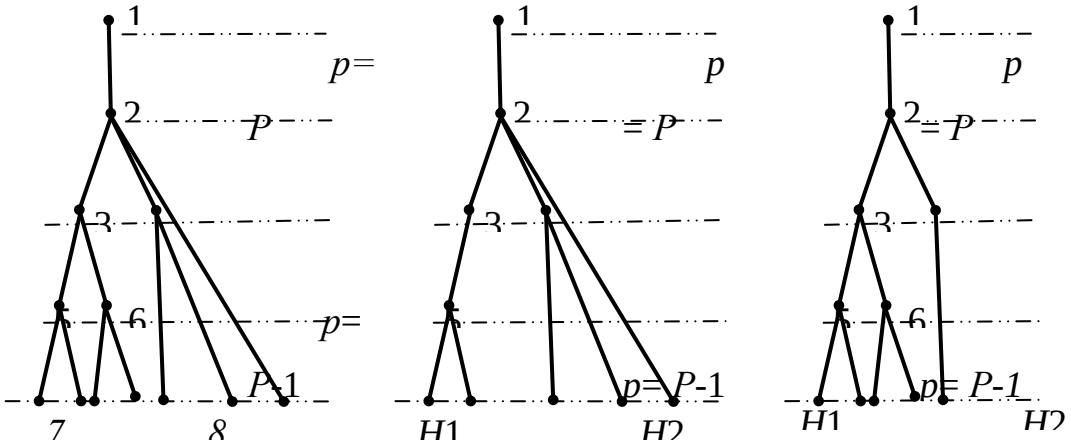
S_{jmin2} – минимальное сечение, удовлетворяющее условию защищенности провода заданным аппаратом защиты;

S_{jmin3} - минимальное сечение, соответствующее ограничениям по прочности либо другим конструкторским и технологическим ограничениям;

В основе алгоритма решения задачи (3.26)-(3.28) оптимизации сечений проводов используется метод динамического программирования (ДП). В соответствии с этим методом организуется пошаговый вычислительный процесс. Процесс ДП строится на схеме нулевого режима и развивается от ее периферии к точке присоединения.

Для организации вычислительного процесса узлы и участки схемы ранжируются. Высший уровень (ранг $p=P$) имеет точка присоединения расчетной сети. Низший уровень (p=0) приписывается нагрузочным узлам (рис.3). Узлы, инцидентные точке присоединения, имеют ранг $p=P$-1. Узлы, инцидентные узлам первого уровня, если они не являются нагрузочными, получают ранг $p=P$-2 и т.д. .

Ранг участка определяется рангом его начального узла. Исключение составляют участки, концы которых подключены к нагрузочным узлам. Им присваивается ранг $p=P$ вне зависимости от ранга их начального узла.



(r = 0) (r = 1) (*r* = *R*)

Рис. 3.18

В табл.3.2 и 3.3 приведен пример ранжирования узлов и участков

Таблица 3.2. Ранг узлов.

p=4	*p*=3	*p*=2		*p*=1		*p=0*			
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*		*HN*

Таблица 3.3. Ранг участков.

ранг	*p*=4	*p*=3		*p*=2		*p*=1						
участок	*1-2*	*2-3*	*2-4*	*3-5*	*3-6*	*5-7*	*5-8*	*6-9*	*6-10*	*4-11*	*4-12*	*2- HN*
номер участка	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*

За алгоритмическую основу процесса ДП берется список ранжированных участков (табл. 3.3). Участки схемы рассматриваются в порядке возрастания их ранга (от *p*=1 к *p=P*).

На *p-м* шаге процесса (*p*= 1,2,…,*P)* рассматриваются все участки *p-го* ранга ($j \in J_p$). Для каждого из них ищется оптимальное решение периферийной части схемы в функции напряжения его начального узла $E_p(\xi)$. В результате определяется оптимальное $S_j(\xi)$ рассматриваемого участка и параметр $\psi(\xi)$, соответствующий оптимальному решению периферии присоединенной к нему. При этом используется рекуррентное соотношение вида

$$M_{jp}(\xi) = \min_{\psi} \{ m_{jp}(S_j) + \sum_{j(p-1)} M_{j(p-1)}(\psi)\} \qquad (3.33)$$

при ограничениях :

$$Ujr(Sj) \le Ep(\xi) - E(p-1)r(\psi),\ r= 1,\dots,R\ ,\ Ep(\xi) \in E \qquad (3.34)$$

$$Sjmin \le Sj \le Smax \; ; \; Sj \in \Omega S \; , \; (j \in Jp \,) \qquad (3.35)$$

$$\xi = 1,\ldots,D; \; \psi = 1,\ldots,D \qquad (3.37)$$

Здесь:

$M_{jp}(\xi\ )$ - минимальное значение массы периферийной части схемы инцидентной *j –тому* участку *p-го* уровня ;

$M_{\ j(p\text{-}1)}\ (\psi)\}$ - полученное на предыдущем шаге ДП минимальное значение массы периферийной части схемы, присоединенной *j –тому* участку (*p*- 1)-*го* уровня ;

J_p – множество номеров участков *p*-го уровня ;

E – множество дискретизации пространства напряжений.

E = { E_{min} ,…, E_{max} }

Суммирование в $\sum\limits_{j(p-1)} M_{\ j(p\text{-}1)}\ (\psi)$ ведется по всем периферийным участкам, инцидентным рассматриваемому на шаге участку $j \in J_p$ *p-го* уровня.

Найденные оптимальные величины $S_j(\xi)$ *и* $\psi(\xi)$ запоминаются для использования на последующих шагах.

Соответственно найденному решению производится корректировка элементов массива дискретизации напряжений узлов

$$Epr(\xi) = E(p\text{-}1)r(\psi) + Uir(Sj) \; r = 1,\ldots,R \qquad (3.38)$$

В пошаговом процессе ДП рассматриваются ветви в последовательности от низшего к высшему уровню.

Выводы

1. Разработан оптимизационный алгоритм компоновки конструктивных узлов, особенностью которого является критерий минимума электрических связей с учетом коэффициента цепи минимального сечения.

2. Разработан оптимизационный алгоритм размещения элементов и конструктивных узлов электрооборудования системы распределения электрической энергии, особенностью которого является критерий минимальной длины связей с учетом коэффициента цепи минимального сечения на 3D модели монтажного пространства грузового автомобиля с ортогональной метрикой.

3. Разработан оптимизационный алгоритм разводки электрических цепей межблочного монтажа с построением связывающих деревьев специального вида: деревьев Штейнера.

4. Разработан оптимизационный алгоритм формирования жгутов межблочного монтажа с использованием вычислительной процедуры приближенного метода.

5. Разработан оптимизационный алгоритм трассировки жгутов межблочного монтажа с применением эвристического метода.

6. Проведен анализ конфигураций электрических сетей и схем электрических соединений, позволяющий применить разработанные оптимизационные алгоритмы.

7. Разработан оптимизационный алгоритм выбора сечений проводов грузового автомобиля на основе метода динамического программирования.

Глава IV Программная реализация методик синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля

4.1. Общие вопросы разработки программного обеспечения

Разработка САПР системы распределения электрической энергии грузового автомобиля осуществляется на основе изложенного в разделах 2 и 3 прикладного математического обеспечения логической схемы, с использованием единого информационного обеспечения и с учетом всех этапов жизненного цикла объекта проектирования.

Составными структурными частями САПР системы распределения электрической энергии, отражающими задачи проектирования [20,85,86], являются следующие проектирующие модули: компоновка конструктивных узлов, размещение конструктивных узлов, разводка электрических цепей межблочного монтажа, формирование жгутов межблочного монтажа, трассировка жгутов, анализ режимов работы системы распределения электрической энергии, выбор аппаратов защиты, оптимизация сечений проводов, расчет баланса электрической энергии и др.

К настоящему времени закончено поэтапное внедрение в практику КБ автомобилестроения разработанной первой версии САПР системы распределения электрической энергии грузового автомобиля. В ее состав в виде пакета прикладных программ (ППП) вошли: модуль «Анализ режимов работы системы распределения электрической энергии», модуль «Выбор аппаратов защиты», модуль «Оптимизация сечений проводов», модуль «Расчет баланса электрической энергии» [87-91].

Поэтапный ввод проектирующих модулей не противоречит принципам построения САПР [16]. Первая версия ППП в большей степени определяется подходом, при котором предусматривается автоматизация выполнения процедур и операций по решению оптимизационных задач параметрического синтеза системы распределения электрической энергии. Таким образом, достигается скорейшее получение практических результатов, технический и экономический эффект. Проявляется и готовность конструкторов к переходу от неавтоматизированного проектирования

к овладению навыков общения со специализированным программным обеспечением. Наличие выходной электронной документации позволяет осуществить единое информационное пространство между конструкторами, технологами и др.

Модуль «Анализ режимов работы системы распределения электрической энергии» обеспечивает анализ режимов работы распределительной сети грузового автомобиля с целью проверки обеспечения требуемого качества электроснабжения потребителей и защиты сети от коротких замыканий [82]. В ходе проведения анализа решаются следующие задачи:

- расчет токов на участках цепей питания и напряжений в узлах расчетной схемы для нормальных режимов с учетом изменения токораспределения по режимам потребления;
- определение максимальных токов участков и минимальных напряжений узлов схемы;
- расчет силы тока цепи короткого замыкания;
- проверка проводов по допустимому току и защищаемости предохранителем;
- проверка по допустимому номинальному напряжению на зажимах потребителей;
- проверка правильности выбора предохранителя по номинальному току;
- определение максимального времени отключения места короткого замыкания предохранителем при минимальном токе короткого замыкания;
- проверка правильности выбора предохранителя при перегрузках в случае электродвигательных нагрузок;
- проверка чувствительности предохранителя.

Общий алгоритм модуля «Анализ режимов работы системы распределения электрической энергии» представлен на рис. 4.1.

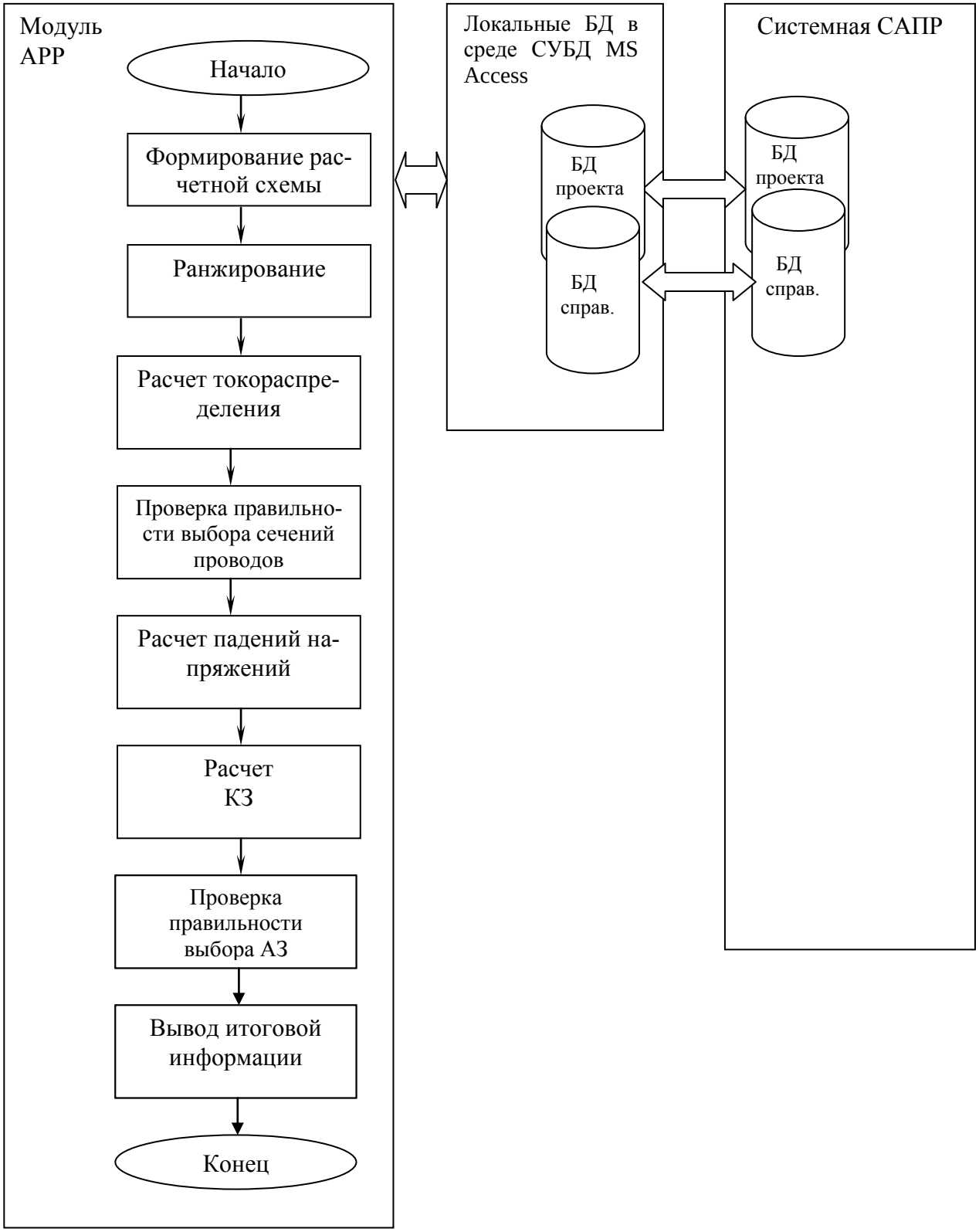


Рис. 4.1

Модуль «Выбор аппаратов защиты» обеспечивает:

- - расчет номинального тока аппарата защиты (АЗ) при максимальной рабочей силе тока нагрузки потребителей с учетом: характера токовой нагрузки потребителей; многорежимности работы фидеров; типовых режимов работы потреби-

телей (по ОСТ 37.003.054-77); расчет минимального тока АЗ в режиме короткого замыкания (КЗ);

- - расчет максимальное время срабатывания АЗ.
- - проверка АЗ по условиям: соответствия номинала АЗ токовым нагрузкам для всех расчетных режимов работы фидера; защищаемости проводов всех сечений фидера в нормальном режиме и аварийных режимах; чувствительности АЗ.

Модуль «Расчет баланса электрической энергии» обеспечивает проверку правильности выбора параметров генератора и его привода проектируемых, опытных и подготавливаемых к серийному производству грузовых автомобилей, а также проверка влияния на баланс электроэнергии изменения нагрузок электропотребителей, параметров генератора и кинематических параметров его привода у серийных грузовых автомобилей [93].

Модуль «Оптимизация сечений проводов» обеспечивает расчет токов участков расчетной схемы для всех расчетных режимов; расчет минимальных сечений проводов участков по допустимому току, аппаратам защиты и условиям механической прочности; оптимизацию сечений проводов по выбранному критерию и ограничениям по допустимым величинам напряжений на клеммах потребителей с учетом многорежимности работы расчетной схемы.

Общий алгоритм модуля «Оптимизация сечений проводов» представлен на рис. 4.2.

Модули САПР системы распределения электрической энергии представляют собой выделенные по некоторым признакам части САПР, обеспечивающие получение законченных проектных решений и соответствующих проектных документов. Структурное объединение модулей в систему проводится с помощью связей между компонентами САПР. На рис. 4.3 представлена структурная схема САПР системы распределения электрической энергии грузового автомобиля КАМАЗ с существующим и создаваемым специальным программным обеспечением. Информационная взаимосвязь создаваемых специализированных модулей с другими программами и системной базой данных осуществляется посредством интерфейсных программ (скриптов) [89-91].

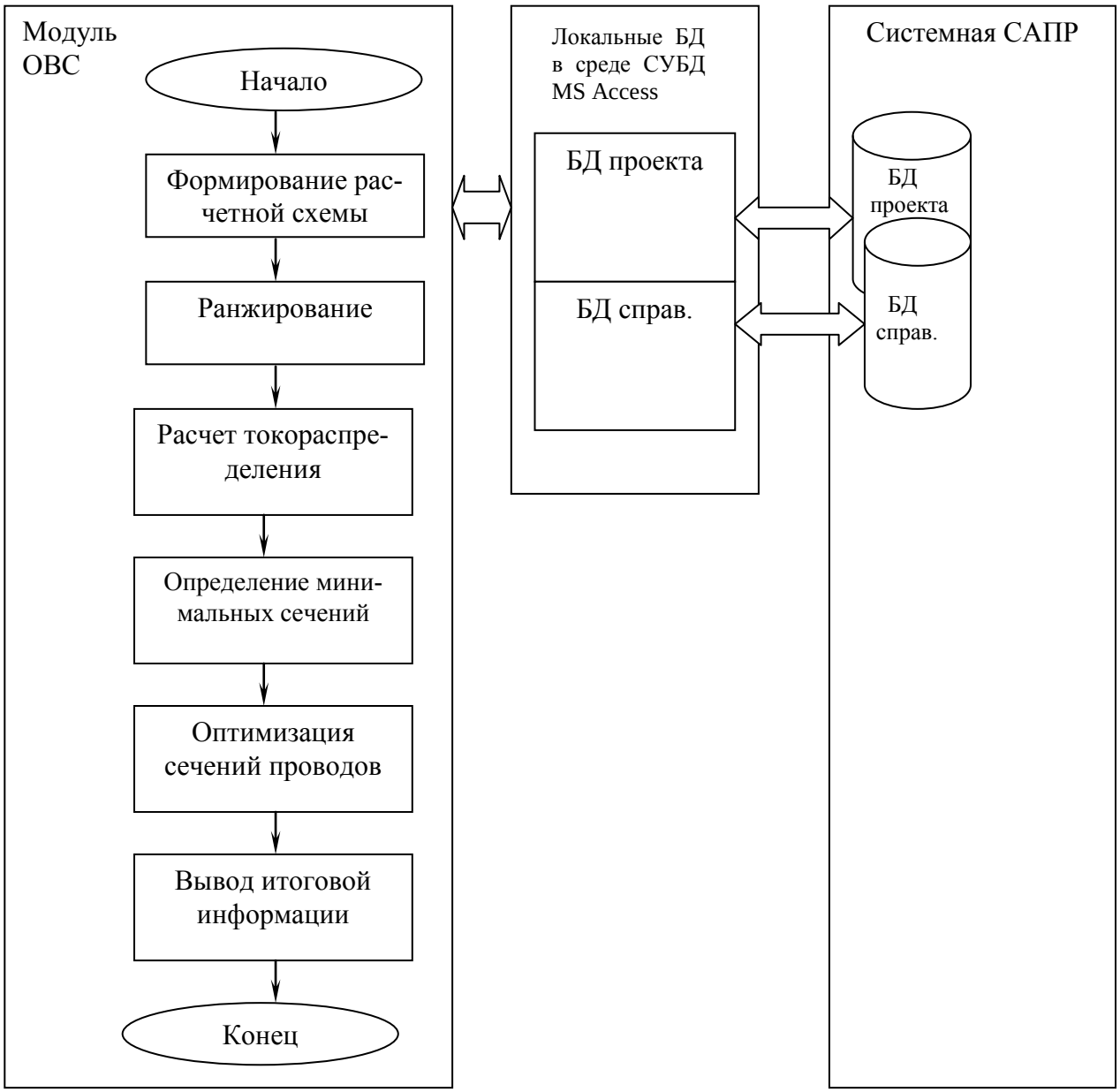

Модуль ОВС
Начало
Формирование расчетной схемы
Ранжирование
Расчет токораспределения
Определение минимальных сечений
Оптимизация сечений проводов
Вывод итоговой информации
Конец
Локальные БД в среде СУБД MS Access
БД проекта
БД справ.
Системная САПР
БД проекта
БД справ.

Рис. 4.2

Концептуальное (сквозное) проектирование системы распределения электрической энергии грузового автомобиля КАМАЗ

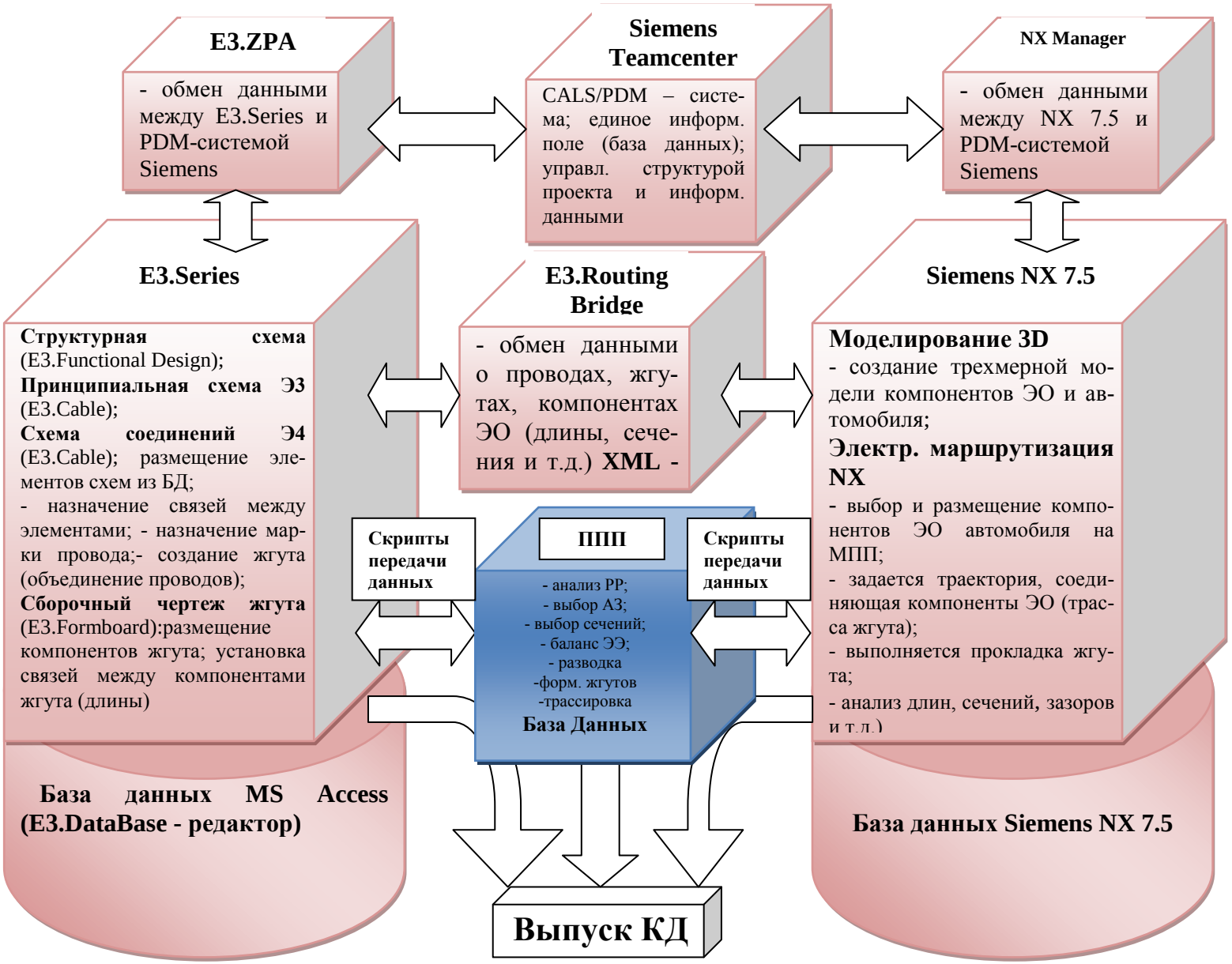


Рис. 4.3

4.2. Информационное обеспечение

Информационное обеспечение пакета прикладных программ (ППП) построено в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями [92]. Основой информационного обеспечения являются совокупности взаимосвязанных данных – баз данных (БД), хранящихся в файлах и поддерживаемых системой управления базами данных (СУБД) Microsoft Access 2003 [94-99].

Базы данных программных модулей ППП состоят из базы проектных данных и базы нормативно-справочных данных. Эти базы предназначены для подбора проектной и нормативно-справочной информации по электрооборудованию автомобиля, заполнения базы данных конкретным содержанием и для разработки удобных для конструктора пользовательских интерфейсов.

База проектных данных описывает состав и конфигурацию электрических схем автомобилей, результаты расчетов и анализа. Общая структура базы проектных данных приведена на рис. 4.4.

В табл. 4.1 приведены характеристики файлов базы данных проектной информации.

Новые изделия (*R_IZDEL*) вводятся через файл *R_CXEMA*. Потребление изделий (*R_LOAD*) вводится через файл изделий (*R_IZDEL*). То есть, доступ к данным осуществляется по цепочке файлов: *R_CXEMA -> R_IZDEL -> R_LOAD*. Не рекомендуется прямое заполнение файла *R_LOAD* или его заполнение через файл режимов потребления (*R_CONSUMER*).

Соединения вводятся напрямую в файл R_WIRES с выбором изделий (откуда и куда) из соответствующих списков. При этом при выборе изделий (откуда и куда) учитывается течение тока от генератора к изделию.

Для неразрывности электрических связей необходимо в файл R_WIRES ввести дополнительные соединения между контактами выключателей, электронных блоков, стеклоомывателя и т.д.

Таблица 4.1

Имя файла	Название файла	Основное содержание полей данных файла
R_CXEMA	Электрическая схема автомобиля	Название автомобиля; Чертежный номер схемы
R_IZDEL	Изделия	Ссылка на схему; Позиционное обозначение; Тип изделия; Функциональное назначение; Условное обозначение класса изделия (доступ к БД нормативно-справочной информации); Напряжение точки регулирования, В; Номинальный ток аппараты защиты, А
R_WIRES	Соединения	Позиционное обозначение провода; Позиционное обозначение жгута; Ссылка на изделие «откуда»; Номер электросоединителя «откуда; Номер контакта «откуда»; Ссылка на изделие «куда»; Номер электросоединителя «куда»; Номер контакта «куда»; Серия (тип) контакта «куда»; Марка провода; Сечение провода, мм^2; Длина провода, мм; Суммарное сопротивление соединения, Ом; Температура провода; Цвет провода
R_REGIME	Сведения о проведенных расчетах	Ссылка на схему; Тип режима (0 – нормальный режим; 1 – режим короткого замыкания); Адрес узла короткого замыкания (позиционное обозначение изделия); Имя файла расчета нормального режима работы или режима короткого замыкания
R_CONSUMER	Режимы потребления электроэнергии	Наименование режима потребления электроэнергии; Номер режима потребления электроэнергии
R_LOAD	Режимы потребления изделий	Задает связь между приемниками и режимами потребления; Ссылка на режим потребления; Ссылка на изделие

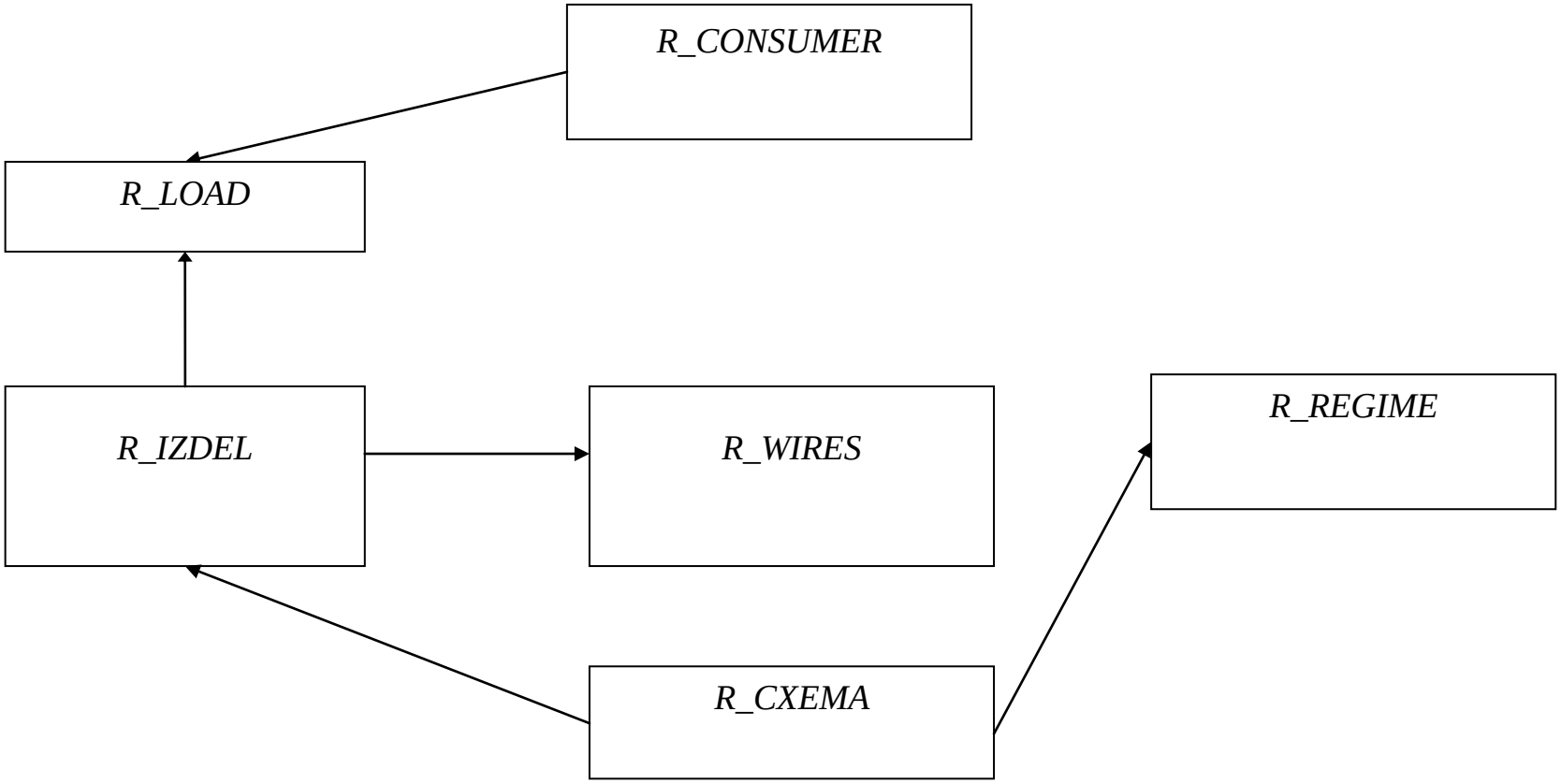


Рис. 4.4

База нормативно-справочных данных описывает характеристики аппаратов защиты, генераторов, аккумуляторов, электродвигателей, изделий электрооборудования, проводов, информацию о падение напряжения на контакте изделия и о падение напряжения на контакт – проводе.

По функциональному признаку изделия электрооборудования автомобиля разделяются на следующие типы (классы):

- B - датчики;
- E - приемники электроэнергии (фара, указатель поворота и т.д.);
- F - блоки предохранителей, предохранители, аппараты защиты;
- G - генераторы, аккумуляторные батареи;
- H - звуковые сигналы;
- K - реле, контакторы;
- M - электродвигатели (стартеры, стеклоомыватели, стеклоочистители);
- S - выключатели, переключатели, кнопки включения;
- V - блоки (электронные, приборов и т.д.);
- X - соединители (разъемы, розетки, колодки);
- Y - электромагнитные клапаны;
- Z - преобразователи напряжения.

Общая структура базы нормативно-справочных данных приведена на рис. 4.5.

В таблице 4.2 приведены характеристики файлов базы данных нормативно-справочной информации.

Таблица 4.2

Имя файла	Название файла	Основное содержание полей данных файла
R_AZ	Основные характеристики аппаратов защиты	Тип аппарата защиты; Код варианта аппарата защиты (0 – плавкий предохранитель, 1 – биметаллический предохранитель); Зона разброса времени срабатывания аппарата защиты
R_AZ_PARAM	Характеристики аппаратов защиты по номинальному току	Ссылка на аппарат защиты; Номинальный ток, А; Сопротивление, Ом; Номинальное напряжение, В
R_AZ_WA	Время-токовые характеристики аппаратов защиты	Ссылка на характеристику аппарата защиты; Ток короткого замыкания, А; Время срабатывания аппарата защиты, сек
R_GEN	Основные характеристики генераторов	Тип генератора; Мощность, Вт; Номинальное напряжение, В; Минимальное напряжение, В; Максимальное напряжение, В
R_GEN_TURN	Токоскоростная характеристика генератора	Ссылка на генератор; Ток, А; Частота вращения, об/мин
R_ACCUM	Характеристики аккумуляторов	Тип аккумулятора; Номинальный ток, А; Номинальное напряжение, В; Сопротивление заряда, Ом; Сопротивление разряда, Ом; Емкость аккумулятора, А×ч
R_MOTOR	Характеристики электродвигателей	Тип (марка) двигателя; Номинальный ток, А; Мощность, Вт; Минимальное допустимое напряжение, В; Контакт потребителя
R_MOTOR_PUSK	Пусковые характеристики электродвигателей	Ссылка на электродвигатель; Пусковой ток, А; Время пуска, сек;
R_PROVOD	Основные характеристики проводов	Марка провода; Температурный коэффициент сопротивления; Максимальная температура провода, °С
R_PR_CROSS	Характеристики проводов, зависящие от сечения	Ссылка на провод; Сечение провода, мм^2; Погонное сопротивление постоянному току, Ом/м; Погонная масса, кг/км
R_CROSS_SURGE	Перегрузочная характеристика провода	Ссылка на характеристики провода; Ток перегрузки, А; Время, сек

Имя файла	Название файла	Основное содержание полей данных файла
R_CROSS_IT	Токовая нагрузка проводов от сечения и температуры	Ссылка на характеристики провода; Допустимая токовая нагрузка, А; Температура, °С
R_KON	Падение напряжения на контакте	Серия (тип) контакта; Падение напряжения, В; Ток контакта, А
R_KON_PR	Падение напряжения на контакт – проводе	Ссылка на контакт; Сечение, мм^2; Падение напряжения, В; Ток контакт – провода, А
R_ISD_EL	Основные характеристики изделий	Тип (марка) изделия; Условное обозначение класса изделия; Наименование изделия; Сопротивление коммутационной аппаратуры, Ом
R_ISD_CONSUMER	Характеристики изделий по клеммам соединителей	Ссылка на изделие Функциональное назначение изделия (элемента); Минимально допустимое напряжение питания, В; Номинальный ток, А; Сопротивление изделия, Ом; Мощность изделия, Вт; Время работы, сек; Время паузы, сек; Номер соединителя входной; Номер клеммы входной; Номер соединителя выходной; Номер клеммы выходной

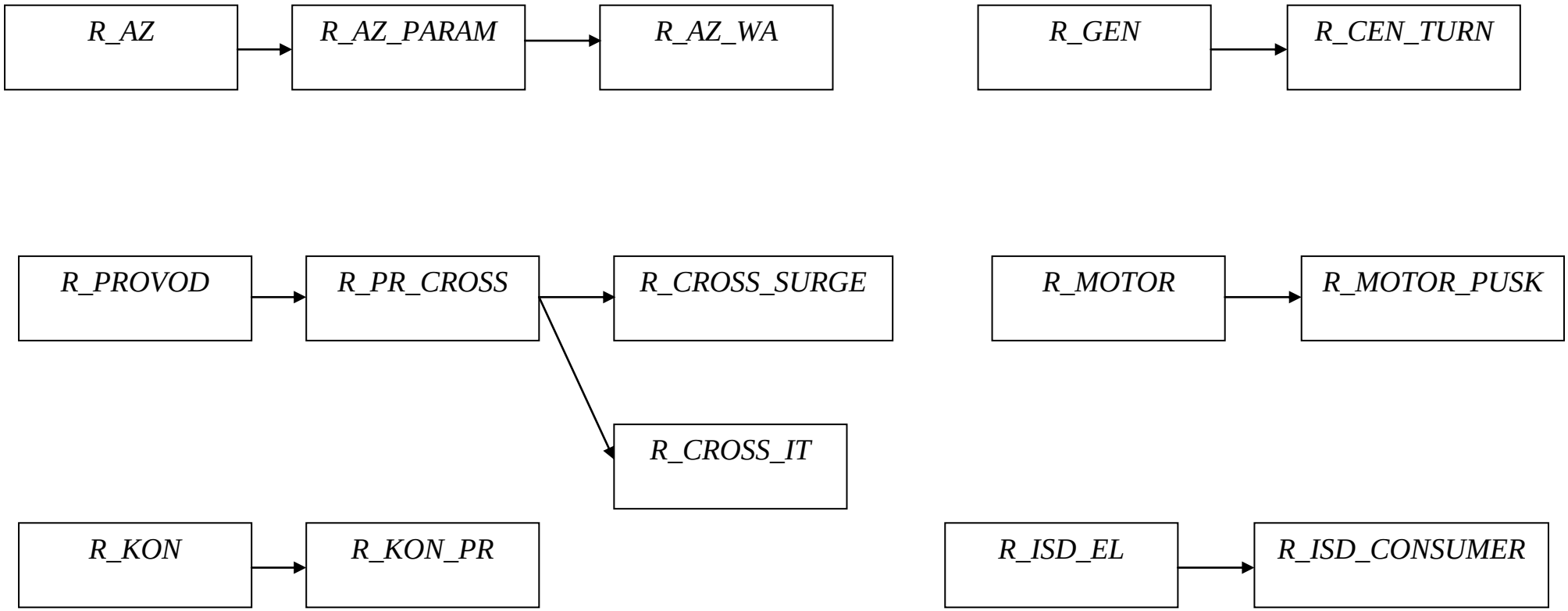

R_AZ
R_AZ_PARAM
R_AZ_WA
R_GEN
R_CEN_TURN
R_PROVOD
R_PR_CROSS
R_CROSS_SURGE
R_MOTOR
R_MOTOR_PUSK
R_CROSS_IT
R_KON
R_KON_PR
R_ISD_EL
R_ISD_CONSUMER

Рис. 4.5

При вводе ампер-секундной характеристики время срабатывания АЗ не должно быть равным нулю. Наименьшее время – 0,0001 сек. Характеристики генераторов обслуживаются через цепочку файлов R_GEN -> R_GEN_TURN. Характеристики электродвигателей обслуживаются через цепочку файлов R_MOTOR -> R_MOTOR_PUSK. При отсутствии информации о пусковой характеристике электродвигателя в файл R_MOTOR_PUSK вводится пусковой ток $I_{пуск}$ и время пуска $t_{пуск.}$, взятые из паспорта двигателя.

Характеристики проводов обслуживаются через цепочку файлов R_PROVOD -> R_PR_CROSS -> R_CROSS_IT. Данные по перегрузочной характеристике провода (R_CROSS_ SURGE) вводятся и редактируются отдельно. Характеристики по падению напряжения на контакте обслуживаются через цепочку файлов R_KON -> R_KON_PR. Характеристики по изделиям электрооборудования обслуживаются через цепочку файлов R_IZD_EL -> R_ISD_CONSUMER.

Панель инструментов СУБД Access обеспечивает мощные средства сортировки, фильтрации и поиска записей. На рис. 4.6 показаны инструменты сортировки, фильтрации и поиска данных СУБД Access, доступные в основной экранной форме.

Рис. 4.6

Сортировка упорядочивает данные по содержимому определенного поля (применяется так называемая лексикографическая упорядоченность: сначала сравниваются первые символы текста, при совпадении сравниваются вторые символы текста и т.д.). Записи сортируются либо в порядке возрастания, либо в порядке убывания. Фильтрация осуществляет отбор записей, которые удовлетворяют заданным условиям.

Обмен данными базы данных проектной и нормативно-справочной информации ППП и базы данных системной САПР электрооборудования грузового автомобиля происходит следующим образом:

- данные из системной БД с помощью специальных программ «скриптов» выгружаются в промежуточные файлы;
- выгруженные данные обрабатываются расчетными программами;
- расчетные данные (т.е. результаты расчетов) с помощью специальных программ «скриптов» из промежуточных файлов загружаются из БД E3.Series

Процесс обмена данными приведен на рис. 4.7

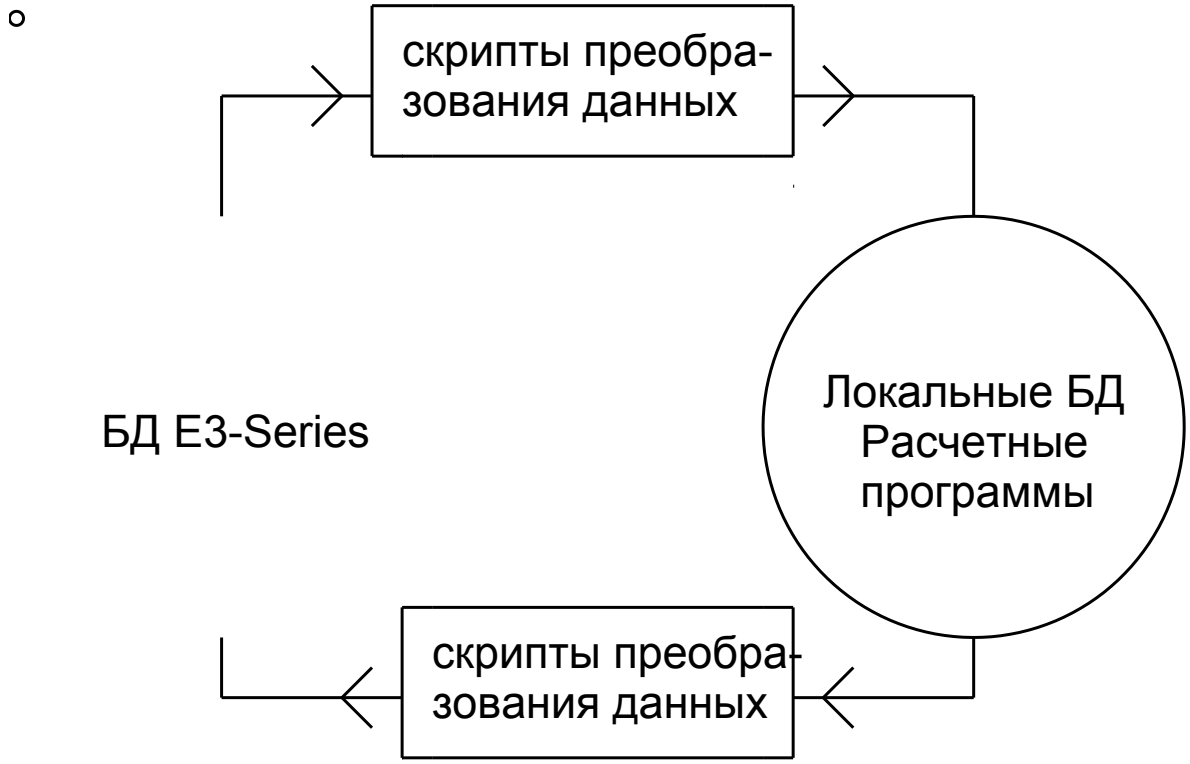


Рис. 4.7

Скрипты создаются на VBScript (Visual Basic Script Edition, VBS) - язык программирования, используемый при создании программ в операционных системах Microsoft Windows [100-101].

Для полноценной работы ППП записи в системной БД должны включать в себя определенные поля из локальной базы проектных данных. Для этого в системной БД всем изделиям проекта назначаются атрибуты, необходимые для ППП, и им присваиваются определенные значения.

Кроме атрибутов, информация, необходимая для ППП извлекается из самого проекта. Упомянутые поля и атрибуты приведены в табл.4.3.

Таблица 4.3

Таблица проектной БД	**Атрибут в БД проекта E3.Series**
R_CONSUMER	Номер режима потребления
	Наименование режима потребления
R_CXEMA	Чертежный номер схемы
	Название автомобиля
R_IZDEL	Позиционное обозначение изделия в проекте
	Тип изделия
	Наименование изделия
	Напряжение точки регулирования, В
	Номинальный ток, А
R_WIRES	Сечение, мм^2
	Температура, ^{0}С
	Цвет

4.3. Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) ППП включает общесистемное ПО: операционную систему Windows XP /Vista /7, СУБД Microsoft Access, систему коллективного пользования Teamcenter, системные САПР грузового автомобиля E3.Series и Siemens NX, специальное ПО в виде ППП

Требования к составу аппаратных средств ППП: процессор – Pentium III от 500 МГц; оперативная память – от 512 Мб; свободная емкость жесткого диска – около 1 Гб для хранения баз данных, программ, результатов расчетов, документации.

Программное обеспечение ППП реализовано в среде системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access 2003 и состоит из следующих файлов:

– *analyzCar_схема.MDB*, обслуживающая программа;

– *prj_EECAD_car.MDB*, база проектных данных (размещение файла - произвольное);

– *std_EECAD_car.MDB*, база нормативно-справочных данных (размещение файла - произвольное);

– *analyz.INI*, конфигурационный файл (должен размещаться в одном каталоге с обслуживающей программой).

Установка пакета программ заключается в копировании первых трех файлов в заданные каталоги. Файл *analyz.INI* создается обслуживающей программой. Возможно размещение баз данных на сервере с доступом через локальную сеть. Если с программой работают несколько пользователей, то на сервере желательно размещать только базу нормативно-справочных данных.

Конфигурационный файл «*analyz.INI*» имеет следующую структуру:

– каталог результат [каталог хранения файлов результатов расчетов];

– каталог временный [каталог хранения временных данных];

– каталог ПРОЕКТ [каталог размещения базы проектных данных];

– каталог СПРАВОЧНИК [каталог размещения базы нормативно-справочных данных];

– каталог E3 [каталог файлов импорта из системы E^3].

До установки ППП необходимо проверить наличие следующих допустимых ссылок:

– Visual Basic for Application;
– OLE Automation (…\system32\stdole2.tlb);
– Microsoft DAO 3.6 Object Library;
– Microsoft ActiveX Data Objects 2.1 Object Library;
– Microsoft Form2.0 Object Library (...\system32\FM20.dll);
– Microsoft Windows Common Controls 6.0 (..\system32\MSCOMCTL.OCX).
– Microsoft Access 12.0 Object Library;
– Microsoft Office 12.0 Object Library;
– Microsoft Word 12.0 Object Library;
– Microsoft Graph 12.0 Object Library.

В состав пакета входят следующие модули (табл. 4.4).

На рис. 4.8 приведена общая структура ППП.

Таблица 4.4

Название модуля	Краткое описание
_descript	Модуль описаний (имя, описание переменных)
accessBD	Библиотека функций доступа к базе проектных данных
accessSBD	Библиотека функций доступа к базе нормативно-справочных данных
analyz_pgms	Библиотека служебных функций анализа электрической схемы (часть 1)
analyz_proc	Библиотека служебных функций анализа электрической схемы (часть 2)
basQuckSort	Сортировка объектов
calculate_AZ	Выбор аппаратов защиты
calculate_BAL	Расчет баланса электроэнергии
calculate_KZ	Расчет режима короткого замыкания на изделии
calculate_NR	Расчет нормального режима работы текущей схемы автомобиля
cross_section	Оптимизация сечений проводов
math_Library	Библиотека математических функций
My Library	Библиотека стандартных функций
nodes_pgms	Библиотека создания списка узлов электрической схемы
study_procs	Исследовательские функции
Провода.vbs Изделия.vbs	Файлы передачи данных между системной БД и БД ППП
Word_AZ_Library	Библиотека выгрузки результатов анализа защищаемости проводов/потребителей аппаратами защиты в MS Word
Word_BAL_Library	Библиотека выгрузки результатов расчета баланса электроэнергии в MS Word
Word_KZ_Library	Библиотека выгрузки результатов расчета коротких замыканий в MS Word
Word_Library	Библиотека функций создания документов в MS Word
Word_List_Library	Библиотека выгрузки списка проводов/изделий/потребителей в MS Word
Word_NR_Library	Библиотека выгрузки результатов расчета нормального режима в MS Word

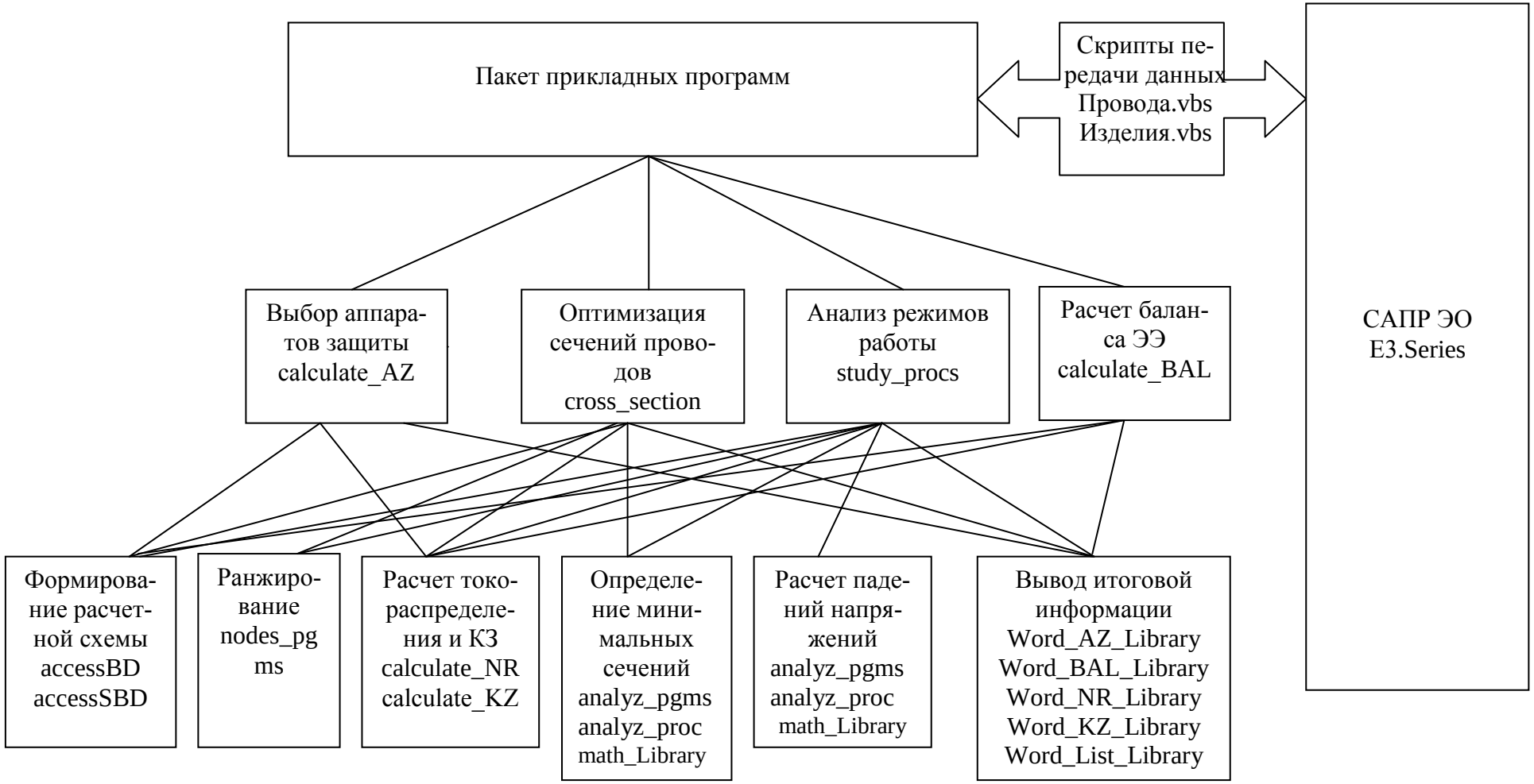

Пакет прикладных программ
Скрипты передачи данных
Провода.vbs
Изделия.vbs
САПР ЭО
E3.Series
Выбор аппаратов защиты
calculate_AZ
Оптимизация сечений проводов
cross_section
Анализ режимов работы
study_procs
Расчет баланса ЭЭ
calculate_BAL
Формирование расчетной схемы
accessBD
accessSBD
Ранжирование
nodes_pgms
Расчет токораспределения и КЗ
calculate_NR
calculate_KZ
Определение минимальных сечений
analyz_pgms
analyz_proc
math_Library
Расчет падений напряжений
analyz_pgms
analyz_proc
math_Library
Вывод итоговой информации
Word_AZ_Library
Word_BAL_Library
Word_NR_Library
Word_KZ_Library
Word_List_Library

Рис. 4.8

4.4. Внедрение результатов разработки в промышленности

Создание ППП проводилось в рамках комплексного проекта «Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат» при участии научно-технического центра (НТЦ) ОАО «КАМАЗ», министерства образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Первая версия ППП внедрена в конструкторском отделе электрооборудования НТЦ ОАО «КАМАЗ» при разработке новых автомобилей, модификаций и доработках существующих моделей грузовых автомобилей КАМАЗ.

Внедрение в промышленную эксплуатацию позволило значительно сократить время расчетов и трудоемкость при проектировании системы распределения электрической энергии, увеличить надежность расчетов из-за устранения механических ошибок неавтоматизированного проектирования, оперативно вносить изменения в документы, освободить инженеров от рутинной работы. Кроме того, использование расчетной и проектной информации как входных данных для программ по получению производственной документации на изготовление и контроль компонентов электрооборудования грузового автомобиля также способствует ускорению освоения изделия промышленным производством. Таким образом, достигается определенный экономический, технический и социальный эффект.

Оценка эффективности разработанных методик топологического и параметрического и синтеза системы распределения электрической энергии зависит от основных параметров поставленной задачи, и определяется точностью решения и временем его получения. Однако проведение такого анализа в общем виде практически невозможно [21]. При рассмотрении этих результатов следует учитывать, что машинное время в значительной мере зависит от характеристик ЭВМ и тщательности программирования.

Разработанные алгоритмы исследовались на ряде модифицированных электрических схем грузовых автомобилей при различных ограничениях. В приложении

5,6 приведены схема и результаты синтеза системы распределения электрической энергии грузового автомобиля КАМАЗ с использованием первой версии ППП в научно-техническом центре ОАО «КАМАЗ».

Время работы ППП с формированием выходной документации:

- время расчета 15,15 сек;
- время создание выходной документации 200,28 сек.

По расчетам ППП выявлены следующие недостатки (ошибки) и рекомендации при проектировании системы распределения электрической энергии:

1. Аппараты защиты, через которые протекает ток, превышающий номинальный (табл. П7);
2. Провода, в которых ток превысил допустимое значение (табл. П8);
3. Селективность срабатывания аппаратов защиты при коротком замыкании (табл. П11);
4. Выбор генератора по режимам работы (табл. П13);
5. Часовой заряд/разряд аккумуляторной батареи (табл. П16);
6. Суточный баланс электроэнергии (табл. П17);

Анализ результатов внедрения первой версии ППП показывает, что сокращение сроков проектирования системы распределения электрической энергии при модификациях электрических схем отдельных систем одного грузового автомобиля составляет порядка 5.5 часов. Также в приложении приведены акты о внедрении ППП. Экономический эффект обуславливается сокращением сроков проектирования на 8-12%.

Одновременно с использованием ППП в промышленности выполнены работы по внедрению его в учебный процесс на кафедре «Электрооборудования» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» в лекционных курсах, при выполнении курсовых и дипломных работ студентами и магистрантами.

Очередной этап создания специализированных модулей компоновки и размещения конструктивных узлов, разводки электрических цепей, формирования и трассировки жгутов связан с необходимостью согласования темпов внедрения

средств автоматизированного проектирования с динамикой развития ПО и финансированием на предприятии.

При создании ППП автором выполнялись основные работы по математическому, информационному обеспечению, разработке общей структуры ППП. Инженерное и информационное обеспечение, программирование, отладка и тестирование программ осуществлялось при участии В.С. Терещука, А.В. Ференца, А.А. Цоя, А.М. Нотариуса, А.Г. Городнова, Н.Ш. Шакирзяновой, Г.С. Хайруллиной, Е.Ю. Просвирякова, Д.А. Булашова.

Большую помощь в разработке организационного обеспечения ППП, постановке инженерных задач при проектировании грузового автомобиля, внедрении результатов разработки оказали сотрудники НТЦ ОАО «КАМАЗ» - М.Э. Садыков, И.Р. Зайниев, Д.А. Бородин, А.С. Кудрявцев и др.

Выводы

1. Разработана первая версия ППП САПР системы распределения электрической энергии грузового автомобиля, включенная в состав САПР грузового автомобиля.

2. Произведено построение информационного обеспечения ППП на базе СУБД MS Access. Разработана логическая структура БД проектной и нормативно-справочной информации. Приведены основные характеристики БД и используемых в них файлов.

3. Исследована архитектура ППП проектирования системы распределения электрической энергии, информационные связи между специализированными модулями ППП.

4. Внедрение ППП в практику работы КБ автомобилестроения позволило получить социальный, технический и экономический эффект. Сократился срок проектирования на 8-12% и уменьшились ошибки при проектировании системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

Заключение

1. Разработанная модель этапа проектирования комплекса электрооборудования грузового автомобиля на основе CALS-технологий в виде логической схемы системы распределения электрической энергии учитывает стадии жизненного цикла электрооборудования (производство, эксплуатация) грузового автомобиля.

2. Разработанная методика топологического синтеза системы распределения электрической энергии, включающая компоновку и размещение конструктивных узлов электрооборудования, разводку электрических цепей, формирование и трассировку жгутов грузового автомобиля позволяет определить оптимальное количество электроконструкций, оптимальную разводку электрических цепей, решить задачу формирования и трассировки жгутов межблочного монтажа.

3. Разработанная методика параметрического синтеза системы распределения электрической энергии, включающая оптимизацию сечений проводов, выбор аппаратов защиты, расчет баланса электрической энергии, анализ режимов работы системы электроснабжения грузового автомобиля позволяет определить правильность выбора сечений проводов, аппаратов защиты, мощности генератора и аккумуляторной батареи с учетом различных режимов работы системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

4. Разработаны рекомендации системного использования предложенных методик при проектировании комплекса электрооборудования в конструкторском бюро автомобилестроения, которые позволяют осуществить взаимодействие существующих систем автоматизированного проектирования, конструкторов и разработанных специализированных программ.

5. Промышленная эксплуатация ППП, реализующего результаты диссертационной работы, позволила сократить срок проектирования на 8-12% и уменьшить ошибки при проектировании системы распределения электрической энергии грузового автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Построение современных систем автоматизированного проектирования / К. Д. Жук, А. А. Тимченко, А. А. Родионов и др. – Киев: Наукова думка, 1983. – 248 с.
2. ГОСТ 23501.0–79. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. – Введ. 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
3. Автоматизированное проектирование бортового комплекса электрооборудования / В. Л. Апаров, А. М. Данилов, В. С. Терещук и др. // Авиационная промышленность. – 1978. – №6. – С.26–29.
4. Автоматизированное проектирование бортовых систем распределения электроэнергии / М. Е. Кичкировский, В. С. Терещук, А. А. Цой, Б. И. Шлеймович // Автоматизация проектирования в энергетике и электротехнике. – Иваново: Иванов. энергетич. ин-т, 1978. – С.116–118.
5. Автоматизированное проектирование бортовых сетей / Д.А, Аветисян, О.П. Щедрин, Ю.В. Кирюшкин, Ю.П. Ганыкин и др. // Авиационная промышленность. – 1987. - №2. – с. 23-25
6. Грузовые автомобили / М.С, Высоцкий, Ю.Ю. Беленький, Л.Х. Гилелес и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
7. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей. Учебник для ВУЗов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. – 384 с., ил.
8. Фадеев С.В. Топологический синтез синтем электрооборудования при проектировании автомобилей: Дис…канд. техн. наук: 05.09.03.-Казань, 2000. – 153с.
9. Корячко В. П. И др. Теоретические основы САПР: Учебник для вузов / В. П. Корячко, В. М. Курейчик, И. П. Норенков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.
10. Жук К. Д. Методы системного проектирования как основа разработки САПР. – Киев, 1976. – 24 с. – (Препринт / ИК АН УССР; 76–1).
11. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и

проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
12. Дорин В. С. Общие требования к системам автоматизированного проектирования сложных объектов // Автоматизация проектирования сложных систем. – Минск: Изд-во АН БССР. –1976. – Вып.2. – С.26–30.
13. Prettl group. Innovation and Technology for the future. 2011. - 24p.
14. Чернышев А. В. Технология монтажа и испытаний бортовых систем летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1977.
15. Модернизация электрооборудования вертолета АНСАТ на основе CALS технологий. Разработка электронной эксплуатационно-ремонтной документации по бортовой кабельной сети вертолета АНСАТ: научно-технический отчет о НИР; рук. С.А. Михайлов; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2012. – 99с.
16. Аветисян Д.А. Автоматизация проектирования электротехнических систем и устройств : учеб. пособие для студ. вузов / Д.А. Аветисян.- М.: Высш. школа, 2005.- 511
17. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И.П. Норенков.- 2-е изд., перераб. и доп. .- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 336.- (Информатика в техническом университете)
18. Норенков И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 320 с.
19. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ ИПИ : учеб. пособие для студ. вузов / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, И.М. Ибрагимов [и др.].- М.: Академия, 2007.- 304.- (Высшее профессиональное образование)
20. Городнов А.Г., Садыков М.Э., Терещук В.С., Федоров Е.Ю., Ференец А.В., Хайруллина Г.С., Цой А.А., Шакирзянова Н.Ш. Разработка структурной схемы процесса проектирования электрооборудования автомобиля на основе CALS-технологий // Грузовик с приложением. 2011. №9. С. 13-16.

21. Селютин В. А. Машинное конструирование электронных устройств. – М.: Сов. радио, 1977. – 384 с.
22. Абрайтис Л.В., Шейнаускас Р.И., Жилевичус В.Н. Автоматизация проектирования ЭВМ. – М.: Сов.радио, 1978. – 272с.
23. Морозов К. К., Одиноков В. Г., Курейчик В. М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1983. – 280 с.
24. Моргун Н.В. Автоматизированное проектирование проводных соединений с учетом специальных требований к структуре электрических цепей: Автореферат. дис… канд.техн.наук. – Минск, 1984. – 21с.
25. Терещук В.С. Топологический и параметрический синтез систем бортового электрооборудования при проектировании летательных аппаратов.: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва, 1983. – 401 с.
26. Петренко А. И., Тетельбаум А. Я. Формальное конструирование электронно-вычислительной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1979. –256 с
27. Похилько А.Ф. Задача размещения и алгоритмы ее решения / Ленинг. политехн. ин., - Л., 1980. – 26с.
28. Абрайтис Л. Б. Автоматизация проектирования топологии цифровых интегральных микросхем / Л. Б. Абрайтис.- М.: Радио и связь, 1985.- 198 с.
29. Штейн М. Е., Штейн Б. Е. Методы машинного проектирования цифровой аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1973. – 296 с.
30. Штейн М. Е. Об ортогональных графах и оптимальных соединениях схем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1970. – №2. – С.119 – 127.
31. Нотариус А. М., Терещук В. С. Об алгоритмах автоматизированного проектирования проводного монтажа электроконструкций // Электрооборудование летательных аппаратов: Межвуз. сб. / Казан. авиац. ин-т. – Казань, 1982. – С.60 – 66.
32. Нотариус А.М., Терещук В.С. О разводке соединений электрических цепей с учетом ограниченной вместимости клеммных колодок //

Электрооборудование летательных аппаратов: Межвуз. сб. / Казан. авиац. ин. – Казань, 1983. – с. 47 – 53.

33. Кушниренко В. Н., Нотариус А. М., Терещук В. С. Комбинаторные алгоритмы в задаче автоматизированного проектирования проводного монтажа электроконструкций // Исследование операций и аналитическое проектирование в технике: Межвуз. сб. / Казан. авиац. ин-т. – Казань, 1983. – С.47 – 53.
34. Прим Р. К. Кратчайшие связывающие сети и некоторые обобщения // Кибернетический сборник. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – №2. – С.95 – 107.
35. Штейн М. Е., Гадаенко В. С. О задачах трассировки монтажных соединений // Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств. – М.: Сов. радио, 1968. – С.216 – 227.
36. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Курейчик В.М. Применение графов для проектирования дискретных устройств. – М.: Наука, 1974. – 304с.
37. Бершадский А. М. Применение графов и гиперграфов для автоматизации конструкторского проектирования РЭА. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1983. – 120 с.
38. Теория и методы автоматизации проектирования вычислительных систем / Под ред. М.Брейера. – М.: Мир, 1977. – 285с.
39. Гилберт Э.Н., Поллак Г.О. Минимальные деревья Штейнера // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1971. - №8. – С.19-50
40. Одиноков В.Г., Теребенков А.П. Математическая модель оптимизации жгутового монтажа // Конструкторско-технологические аспекты проектирования РЭА. – М., 1981, - с. 98-103
41. Ультразвуковая сварка многожильных проводов. Оборудование и инструмент для профессионалов 2006 №4 с . 1-3
42. Степанов В.П. Структурно-параметрический синтез бортовых систем распределения электроэнергии постоянного тока: Автореферат дис…канд. техн. наук. – М., 1984. – 18с.

43. Ледер В.Е. Автоматизация проектирования электрического монтажа систем электроснабжения транспортных средств: Автореферат дис…канд. техн. наук. – М., 1985. – 18с.
44. Тузов А.А. Оптимальная кусочно-линейная трассировка жгутовых соединений на плоских поверхностях // Моделирование электрооборудования летательных аппаратов: Межвуз. сб. научных трудов / Казан. авиац. ин. – Казань, 1989. – с.20-23
45. Петропавловский А.Ю. Способ трассировки жгутовых соединений на основе графовой модели сети // Электрооборудования летательных аппаратов: Межвуз. сб. научных трудов / Казан. авиац. ин. – Казань, 1990. – с. 8-13
46. Целковиков Н.В., Шашурин А.К. Трассировка электрической сети с использованием комбинаторной оптимизации // Электрооборудования летательных аппаратов: Межвуз. сб. научных трудов / Казан. авиац. ин. – Казань, 1990. – с. 13-17
47. Кириллов В. Ю. Проектирование оптимальных трасс для прокладки жгутовых электрических соединений в сложных конструкциях // Автоматизация проектирования электротехнических устройств и систем. Сб. научных трудов. / Всесоюзный заочный политехн. ин-т. – М., 1986. – С.20 – 21.
48. Zaoxu Zhu, M.J.L. van Tooren, G. La Rocca. A KBE Application for Automatic Aircraft Wire Harness Routing. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 20th AI 23 - 26 April 2012, Honolulu, Hawaii.
49. Tehranipoor M. CAD Algorithms – Routing. Department of Computer Science and Electrical Engineering, University of Maryland, Baltimore County, 2005.
50. Lee, C. Y. An Algorithm for Path Connections and its Applications // IRE Transactions on Electronic Computers. 1961. vol. EC-10, no. 2. P. 907-914.
51. Hart, P. E.; Nilsson, N. J.; Raphael, B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. SSC4 4 (2). P. 100–107.

52. Seymour Lipschutz. Schaum’s Outline of 'Theory and Problems of Data Structures. — 1st (pb). — McGRAW-HILL BOOK Company, 1986.
53. Автоматизированное проектирование систем электроснабжения транспортных машин / Ефимов В. И., Милютин О. И., Киреев Ю. Н. – Л.: Политехника, 1991. – 255 с.
54. Терещук В.С. Синтез оптимальной самолетной системы распределения электрической энергии при автоматизированном проектировании // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1984. - №1. – с. 64-68
55. Терещук В.С., Шакирзянова Н.Ш. Об анализе внешних бортовых электрических цепей // Электрооборудование летательных аппаратов: Межвуз. сб. / Казан. авиац. ин. – Казань, 1981. – с. 54-56
56. Цой А.А. Оптимизация сечений проводов электрических сетей в системе автоматизированного проектирования электрооборудования летательных аппаратов: Дис…канд. техн. наук: 05.09.03.-Казань, 1980. – 214с.
57. Цой А.А. Об исследовании метода динамического программирования в алгоритмах многорежимной оптимизации сетей летательных аппаратов // Электрооборудование летательных аппаратов: Межвузовский сборник / Казан. авиац. ин-т: Казань, 1979. – С.78–82.
58. Терещук В.С. Анализ электрических цепей при автоматизированном проектировании электрических схем бортовых сетей // Электрооборудование летательных аппаратов: Межвуз. сб. / Казан. авиац. ин. – Казань, 1979. – с. 82-85
59. Булдаков В.А., Горячкин В.П., Терещук В. С., Фадеев С.В., Цой А.А. О системе автоматизированного проектирования электрооборудования автомобилей // Труды юбилейной научно-практической конференции «Перспективы развития автомобилей и двигателей в республике Татарстан», Набережные Челны, 8-9 сентября 1999 г. – С.256 –259.
60. Терещук В. С., Горячкин В. П., Фадеев С. В. О методике выбора аппаратов защиты электрических сетей автомобилей // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2000. – №2. – С.18 – 22.

61. Комплекс расчетных программ САПР электрооборудования автомобилей / Терещук В. С., Горячкин В. П., Нотариус А. М., Шакирзянова Н. Ш., Цой А. А. // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – 1996. – №2. – С.22-26.
62. Быков А. ADEM. История достижения цели // САПР и графика. – 2013. - №5. – с. 24-27
63. Эл Дин. NX 8 от Siemens PLM Software // САПР и графика. – 2012. - №5. – с. 10-13
64. Акимов А., Кононов А. Сквозная система проектирования электрифицированных систем в аэрокосмической отрасли на примере связки E3.series и NX // САПР и графика. – 2011. - №4. – с. 13-17
65. Терещук В. С. Системная модель, логическая схема проектирования и общий алгоритм синтеза оптимальных систем бортового комплекса электрооборудования в САПР // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1986. – №2. – С.62 – 68.
66. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: Учеб. для вузов по спец."Конструирование и технология электрон. вычисл. средств","Конструирование и технология радиоэлектрон. средств" / Курейчик, Виктор Михайлович.- М.: Радио и связь, 1990.- 351с.
67. Бром А.Е., Александров А.А. Разработка экономико-математической модели интеграции участников и процессов жизненного цикла наукоемкой продукции в систему логистической поддержки // Известия вузов. Машиностроение. – 2008. - №3. – с. 73-85
68. Бром А.Е. Разработка концепции и методологических основ создания организационной системы логистической поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции: Автореферат дис…докт. техн. наук: 05.02.22.-Москва, 2009. – 32с.
69. Шарафеев И.Ш. Развитие теоретических основ и практических приложений систем автоматизированного проектирования организаций основного и вспомогательного производства: Автореферат дис…докт. техн. наук:

05.02.22.-Казань, 2010. – 32с.

70. Тимченко А. А. Методика структурного описания систем автоматического управления с управляемой структурой. – Киев, 1974. – 70 с. – (Препринт / ИК АН УССР; 74–33).

71. Кушниренко В. Н., Терещук В. С. Обобщенный алгоритм топологической оптимизации самолетных вторичных систем // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1984. – №4. – С.36 – 41.

72. О монтажном пространстве и трассировке межблочных электрических цепей самолетного оборудования при автоматизированном проектировании / Г.П. Капустин, В.Н. Кушниренко, В.С. Терещук, Н.Ш. Шакирзянова (казан. авиац. ин.). – Казань, 1984. – 19с.

73. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432с.

74. Александров К.К. Электротехнические чертежи и схемы / К.К. Александров, Е.Г. Кузьмина.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 288 с.

75. ГОСТ 23544-84 Жгуты проводов для автотракторного оборудования. Общие технические условия.

76. Федоров Е.Ю., Терещук В.С., Цой А.А. Программный инструмент оптимального синтеза электрожгутов системы электроснабжения грузового автомобиля // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2012. №4, выпуск 2. С. 154-156.

77. Соснин Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей / Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-Р, 2005. – 272 с.

78. Терещук В.С. Построение систем распределения электрической энергии летательных аппаратов / В.С. Терещук – Казань: изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева (КАИ), 2000. – 19 с.

79. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей – 4-е издание, переработанное и дополненное / В.Е. Ютт – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 440 с.: ил.

80. ГОСТ Р 52230-2004г

81. ТУ 16–К81–01–87. Провода автотракторные с поливинилхлоридной изоляцией. Технические условия. – М: Предпр. п/я В-2459, 1987. – 43с.
82. ОСТ 37.003.054-77
83. ОСТ 37.003.045–80. Провода автотракторные низкого напряжения марки ПВА. Выбор сечений по допускаемым токовым нагрузкам и падению напряжения. Нормы длительно допускаемых токовых нагрузок / Министерство автомобильной промышленности, Введ. 01.07.80г. – 4с.
84. Беллман Р. Динамическое программирование : научное издание / Р. Беллман ; 340 Ред. И.М. Андреева.- М.: Изд-во иностр. лит., 1960.- 400
85. Разработка комплекса электрооборудования перспективных грузовых автомобилей на базе CALS технологий /Городнов А.Г., Садыков М.Э., Терещук В.С., Федоров Е.Ю., Ференец А.В., Хайруллина Г.С., Цой А.А., Шакирзянова Н.Ш.// Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовки кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». Книга 3 «Электроника, электромеханические преобразователи и системы управления», 2010. – с. 15-23.
86. Схема и алгоритмы проектирования систем электрооборудования автомобилей с применением программ САПР / Терещук В.С., Горячкин В.П., Фадеев С.В., Шакирзянова Н.Ш. // Труды 3 международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. – с. 645-651
87. Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат. Разработка технических заданий на модули «Оптимизация сечений проводов», «Анализ режимов работы системы электроснабжения», «Выбор аппаратов защиты», «Оптимальный синтез электрожгутов»: отчет о НИР; рук. В.М. Гуреев; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2010. – 53с.
88. Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат.

Разработка технических предложений на модули «Оптимизация сечений проводов», «Анализ режимов работы системы электроснабжения», «Выбор аппаратов защиты», «Оптимальный синтез электрожгутов» для разработки электрооборудования разрабатываемых шасси транспортных средств. Адаптация лицензионных программных комплексов к проектному процессу СЭС автомобилей КАМАЗ: отчет о НИР; рук. В.М. Гуреев; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2011. – 83с.

89. Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат. Разработка эскизных проектов на модули «Оптимизация сечений проводов», «Анализ режимов работы системы электроснабжения», «Выбор аппаратов защиты» «Оптимальный синтез жгутов» для разработки электрооборудования разрабатываемых шасси автотранспортных средств: отчет о НИР; рук. В.М. Гуреев; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2011. – 95с.

90. Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат. Разработка пакетов прикладных программ модулей «Оптимизация сечений проводов», «Анализ режимов работы системы электроснабжения», «Выбор аппаратов защиты» «Оптимальный синтез жгутов»: отчет о НИР; рук. В.М. Гуреев; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2012. – 60с.

91. Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат. Отладка пакета прикладных программ модулей «Оптимизация сечений проводов», «Анализ режимов работы системы электроснабжения», «Выбор аппаратов защиты» «Оптимальный синтез электрожгутов»: отчет о НИР; рук. В.М. Гуреев; исполн.: В.С. Терещук, А.А. Цой и др. – Казань, 2012. – 26с.

92. РД 50-34.698-90«Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов»

93. ОСТ 37.003.034-77 «Баланс электроэнергии автомобилей и автобусов. Методы расчета, критерии оценки»

94. Федоров Е.Ю., Терещук В.С., Цой А.А. Использование современных IT-инструментов в разработке системы автоматизированного проектирования автомобилей // Материалы международной НПК «Информационные технологии: практика применения в производстве, бизнесе и образовании», Нижнекамск, 2011, С. 55-57
95. Федоров Е.Ю., Цой А.А., Шакирзянова Н.Ш., Хайруллина Г.С. Логическая структура базы данных комплекса оптимизационно-расчетных программ САПР ЭО автомобиля // Материалы VI международной НПК «Автомобиль и техносфера». 15-17 июня 2011., Казань: ЗАО «Мир без границ», 2011. С.246-247
96. Киммел П. Освой самостоятельно программирование для Microsoft Access 2000 за 24 часа : Учеб. пособие: Пер. с англ. / П. Киммел.- М.: Вильямс, 2000.- 448с.
97. Феддема Э. Эффективная работа: Access 2002 : пер. с англ. / Э. Феддема.- СПб.: Питер, 2003.- 944с.
98. Литвин П. Access 2002: Разработка настольных приложений. Для профессионалов: пер.с англ. / П. Литвин, К. Гетц, М. Гунделой.- СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2002.- 1008с.
99. Кауфельд Дж. Access 2003 для "чайников" : пер. с англ. / Дж. Кауфельд.- М.: Диалектика, 2004.- 320
100. Дейтел Х.М. Как программировать для Internet & WWW : пер. с англ. / Х.М. Дейтел, П.Дж. Дейтел, Т.Р. Нието.- М.: ЗАО "Изд-во БИНОМ", 2002.- 1184с.
101. К. Гетц, М. Джилберт. Проектирование в Microsoft Office. Для пользователя: пер. с англ. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 384с.

Приложение 1

Размещение элементов и конструктивных узлов электрооборудования грузового автомобиля

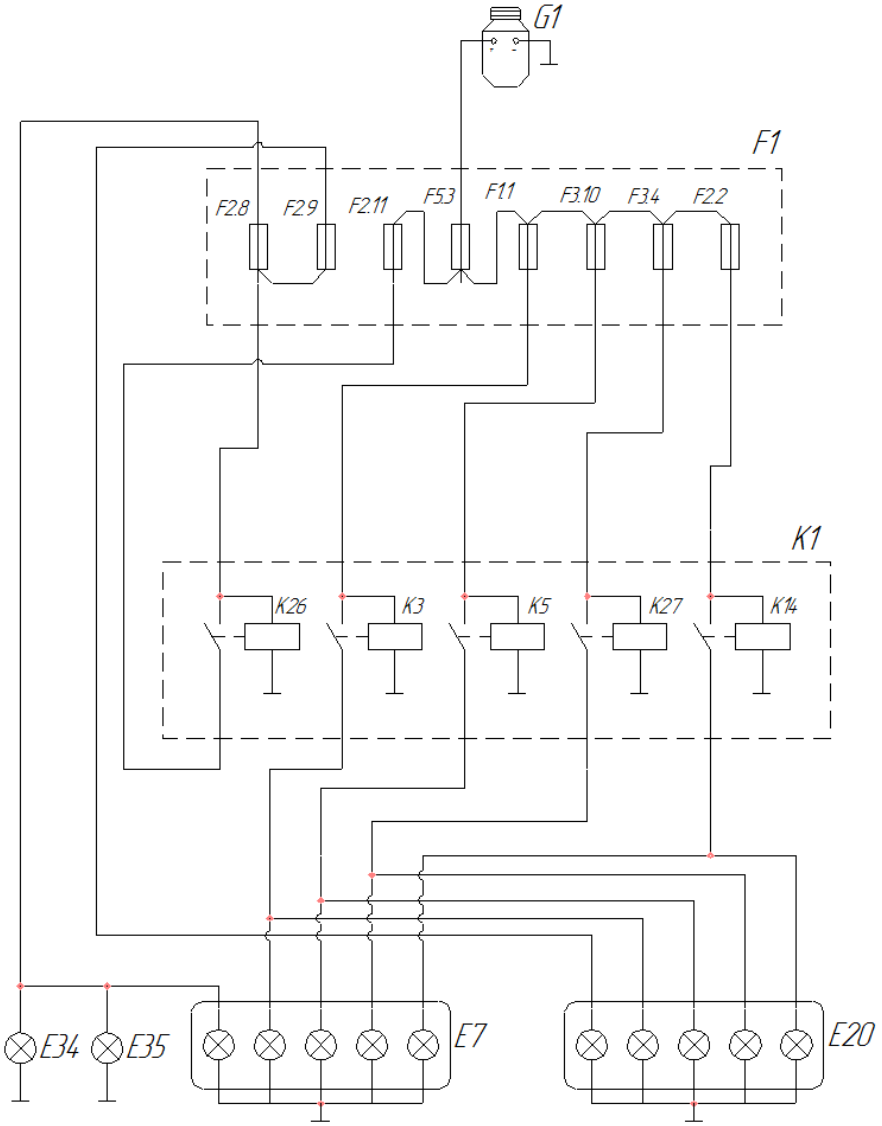


Рис. П1

На рис. П1 представлена принципиальная электрическая схема системы освещения задних фонарей грузового автомобиля. В табл. П1 приведен список элементов и конструктивных узлов. В табл. П2 содержатся данные о связях и проводах между элементами, конструктивными узлами электрооборудования.

На рис. П2 представлена схема размещения элементов электрооборудования без компоновки конструктивных узлов. Необходимо объединить элементы (реле системы освещения) в конструктивный узел *K1*, и разместить их исходя из новых условий.

Таблица П1

Позиционное обозначение	Наименование
E20	Фонарь задний правый
E7	Фонарь задний левый
E34	Фонарь освещения номерного знака левый
E35	Фонарь освещения номерного знака правый
F1	Блок предохранителей
F1.1	Предохранитель указателей поворота
F2.2	Предохранитель заднего противотуманного фонаря
F2.8	Предохранитель габаритных огней левых
F2.9	Предохранитель габаритных огней правых и фонарей освещения номерного знака
F2.11	Предохранитель габаритных огней и фонарей освещения номерного знака
F3.4	Предохранитель фонарей заднего хода
F3.10	Предохранитель сигналов торможения
F5.3	Предохранитель генератора
G1	Генератор
K1	Блок реле системы освещения задних фонарей
K3	Реле прерывателя указателей поворота
K5	Реле сигналов торможения
K14	Реле заднего противотуманного фонаря
K26	Реле габаритных огней
K27	Реле фонарей заднего хода

Таблица П2

Бирка провода	Откуда	Куда	Марка провода	Сечение S, мм^2
1К	G1	F1 (F5.3)	ПВА	4,0
5Е	K26 (K1)	F1 (F2.8)	ПВА	2,5
5А	F1 (F2.11)	K26 (K1)	ПВА	2,5
25Г	F1 (F1.1)	K3 (K1)	ПВА	2,5
27Ж	F1 (F3.10)	K5 (K1)	ПВА	2,5
23К	F1 (F3.4)	K27 (K1)	ПВА	2,5
25К	F1 (F2.2)	K14 (K1)	ПВА	2,5
63К	K14 (K1)	E7	ПВА	1,0
63М	K14 (K1)	E20	ПВА	1,0
53Г	K27 (K1)	E7	ПВА	1,0
53Д	K27 (K1)	E20	ПВА	1,0
57Д	K5 (K1)	E7	ПВА	1,0
57Е	K5 (K1)	E20	ПВА	1,0
41К	K3 (K1)	E7	ПВА	1,0
42К	K3 (K1)	E20	ПВА	1,0
52Е	F1 (F2.8)	E7	ПВА	1,0
61К	F1 (F2.8)	E34	ПВА	1,0
61З	F1 (F2.8)	E35	ПВА	1,0
58Д	F1 (F2.9)	E20	ПВА	1,0

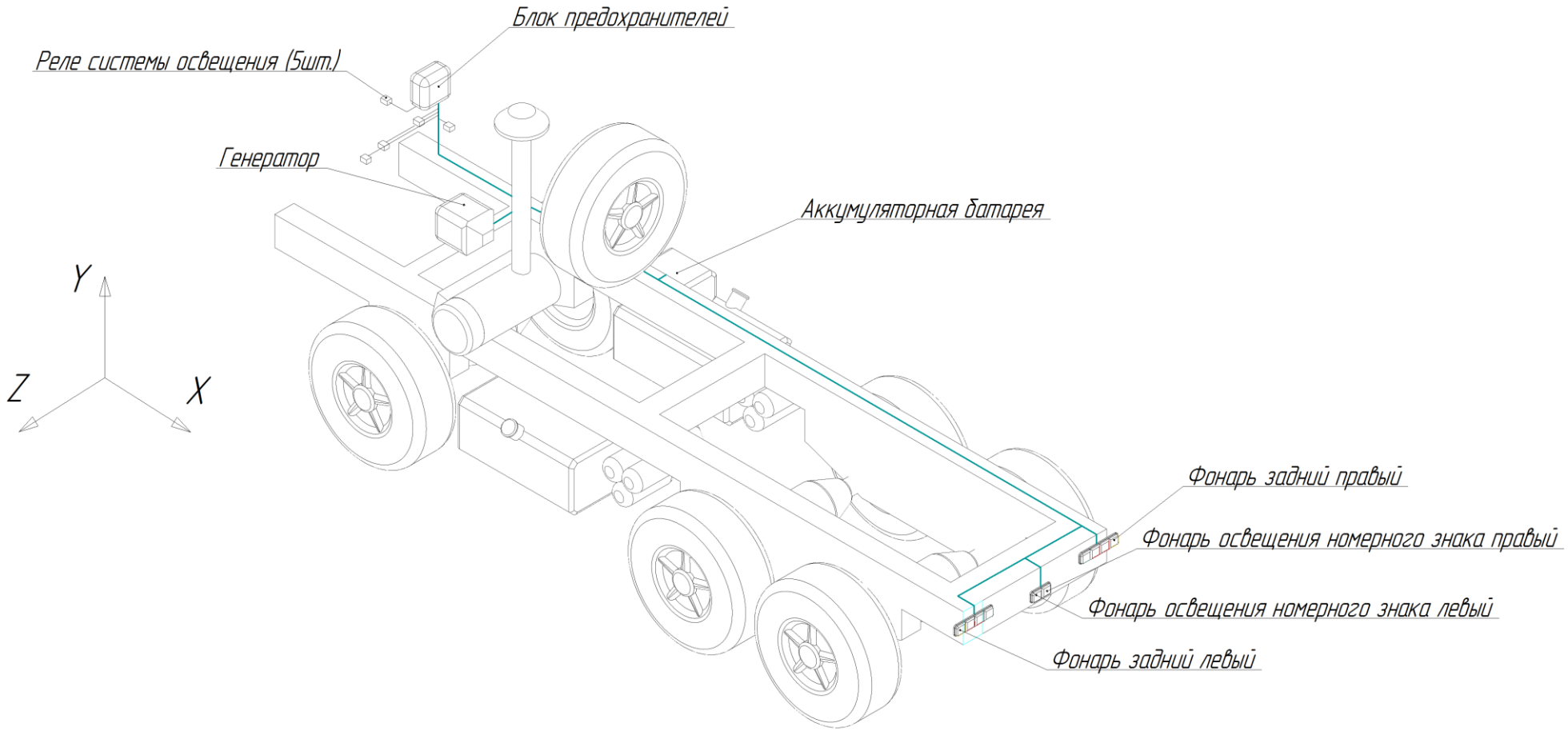

Блок предохранителей
Реле системы освещения (5шт.)
Генератор
Аккумуляторная батарея
Y
Z
X
Фонарь задний правый
Фонарь освещения номерного знака правый
Фонарь освещения номерного знака левый
Фонарь задний левый

Рис. П2

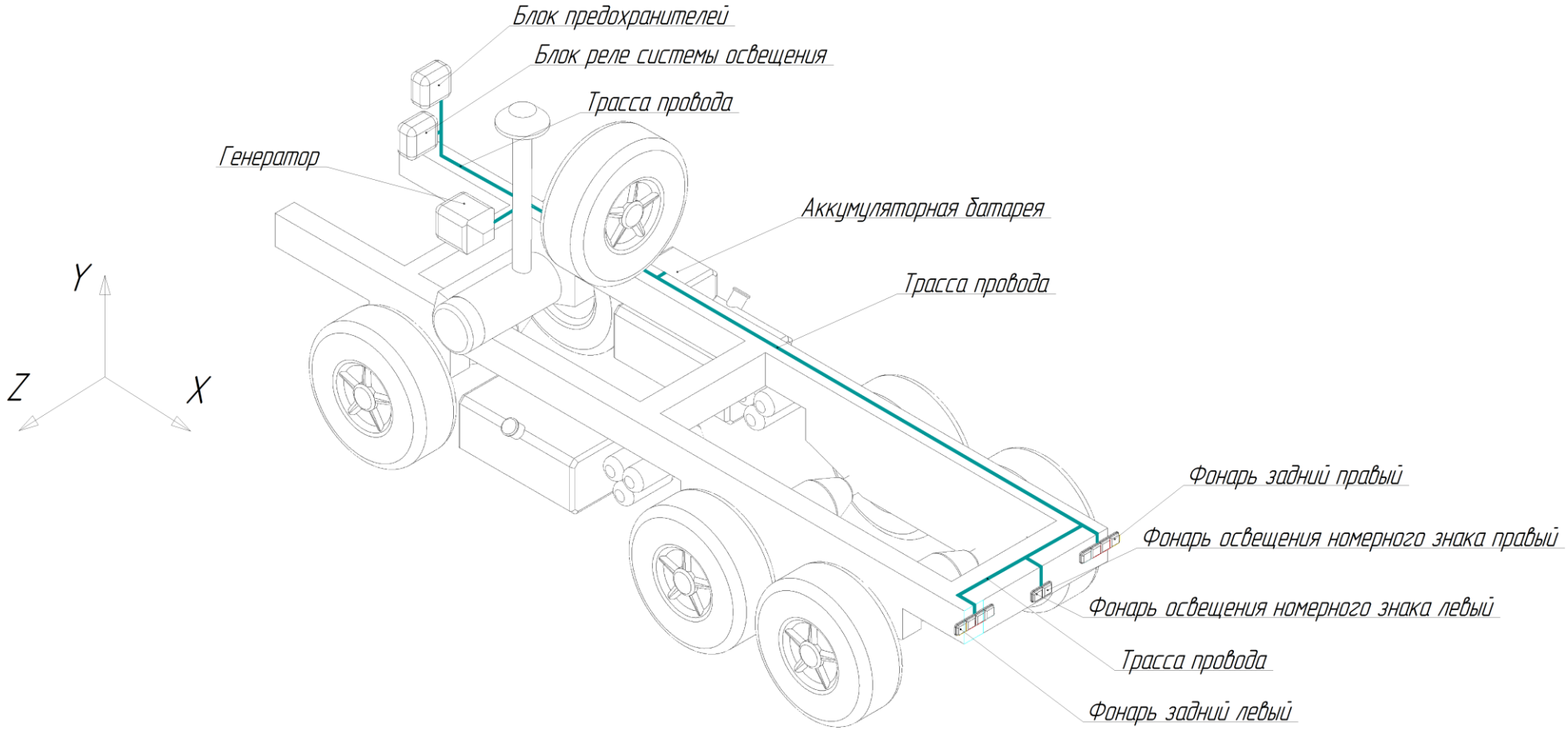

Блок предохранителей
Блок реле системы освещения
Трасса провода
Генератор
Аккумуляторная батарея
Трасса провода
Y
Z
X
Фонарь задний правый
Фонарь освещения номерного знака правый
Фонарь освещения номерного знака левый
Трасса провода
Фонарь задний левый

Рис. П3

На рис. П3 представлена схема размещения элементов и конструктивных узлов электрооборудования грузового автомобиля с использованием разработанного алгоритма. Перед началом размещения элементов или конструктивных узлов электрооборудования определяем установку первого элемента. Такой элемент должен служить центром, вокруг которого группируются остальные элементы. Обычно это элемент с наибольшим числом связей (r_{i*}=max r_i).

Строим матрицу смежности $R = \|r_{ij}\|_{n\times n}$, которая учитывает количество связей между элементами и параметры этих связей (сечение проводов).

$$R = \begin{array}{c|cccccccc} & G1 & F1 & K1 & E7 & E20 & E34 & E35 & Ci \\ \hline G1 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ F1 & 4 & 0 & 19 & 1 & 1 & 1 & 1 & 27 \\ K1 & 0 & 19 & 0 & 4 & 4 & 0 & 0 & 27 \\ E7 & 0 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ E20 & 0 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ E34 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ E35 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Выбираем в качестве первого элемента *F1*, так как он имеет большее количество связей с большим числом элементов ($C_{i*} = 27$). Размещаем *F1* с учетом различных ограничений и требований. Координаты установки (мм):

$$X_{F1} = 384; Y_{F1} = 908; Z_{F1} = 653$$

Далее выбираем по матрице смежности второй элемент *K1* ($C_{i*} = 27$). Выбираем позицию для размещения *K1* с учетом критерия минимума суммарной длины, различных ограничений и требований к установке (мм):

$$X_{K1} = 332; Y_{K1} = 463; Z_{K1} = 740$$

Находим расстояние между элементами *K1* и *F1* (мм):

$$F_{F1-K1} = 584$$

Аналогично находим размещение остальных элементов G1, E7, E20, E34, E35 (мм):

$$X_{G1} = 1346; Y_{G1} = 425; Z_{G1} = 1243;$$

$$X_{E7} = 7316; Y_{E7} = 148; Z_{E7} = 1901;$$

$$X_{E20} = 7316; Y_{E20} = 148; Z_{E20} = 594;$$

$$X_{E34} = 7316; Y_{E34} = 53; Z_{E34} = 1220;$$

$$X_{E35} = 7316; Y_{E35} = 53; Z_{E35} = 1200.$$

По результатам решения задачи размещения длина связей между элементами уменьшилась на 348мм.

Приложение 2

Разводка электрических цепей межблочного монтажа

На рис. П4 представлен пример разводки электрической цепи межблочного монтажа.

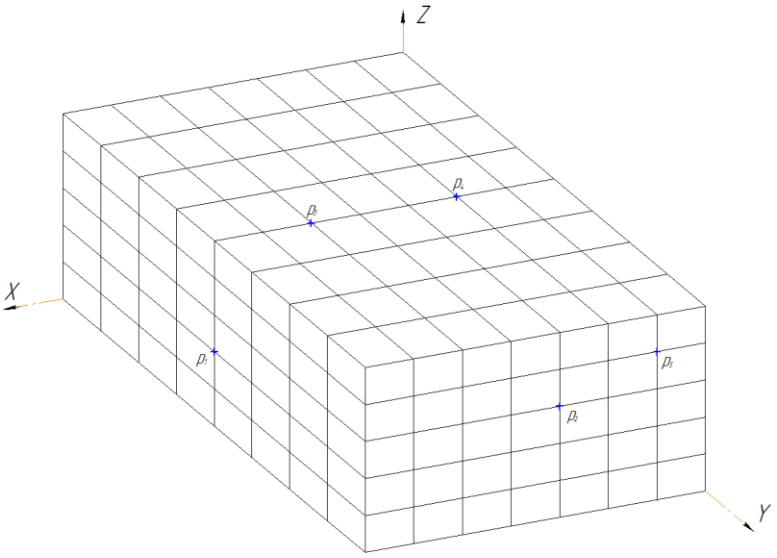


Рис. П4

Пусть $a = 1$ - для ортогональной сетки;

$\mu_0 = 1$; $g_э = 1$ - для всех электрических соединений;

Координаты выводов электрической цепи:

$$p_1(7;4;2)$$
$$p_2(3;8;3)$$
$$p_3(5;4;5)$$
$$p_4(2;4;5)$$
$$p_5(1;8;4)$$

Определяем вес всех возможных электрических соединений:

$$g_{12} = 9 \qquad g_{24} = 7$$
$$g_{13} = 5 \qquad g_{25} = 3$$
$$g_{14} = 8 \qquad g_{34} = 3$$
$$g_{15} = 12 \qquad g_{35} = 9$$
$$g_{23} = 8 \qquad g_{45} = 6$$

Составляем матрицу весов соединений G:

$$G = \begin{array}{c|ccccc} & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 \\ \hline p_1 & 0 & 9 & 5 & 8 & 12 \\ p_2 & 9 & 0 & 8 & 7 & 3 \\ p_3 & 5 & 8 & 0 & 3 & 9 \\ p_4 & 8 & 7 & 3 & 0 & 6 \\ p_5 & 12 & 3 & 9 & 6 & 0 \end{array}$$

Определяем минимальный элемент матрицы G: $g_{25} = 3$ соединяющий выводы p_2, p_5 и $g_{34} = 3$ соединяющий выводы p_3, p_3.

Выбираем выводы p_2, p_5 как наименьшие по номеру.

Строим фрагмент дерева p_2, p_5 и всем точкам фрагмента присваиваем номер 2 (рис. П5).

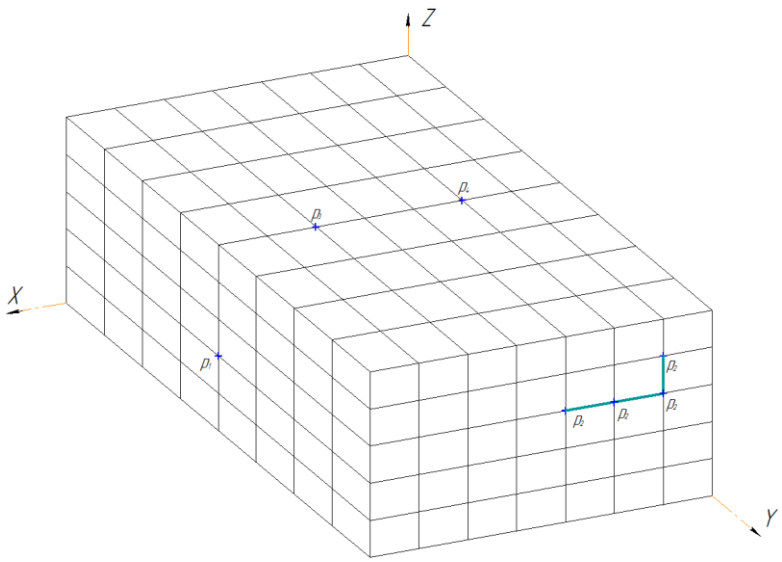


Рис. П5

Определяем вес оставшихся электрических соединений:

$$g_{12} = 9$$
$$g_{13} = 5$$
$$g_{14} = 8$$
$$g_{23} = 8$$
$$g_{24} = 6$$
$$g_{34} = 3$$

Строим матрицу G:

$$G = \begin{array}{c|cccc} & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 \\ \hline p_1 & 0 & 9 & 5 & 8 \\ p_2 & 9 & 0 & 8 & 6 \\ p_3 & 5 & 8 & 0 & 3 \\ p_4 & 8 & 6 & 3 & 0 \end{array}$$

Определяем минимальный элемент матрицы G: $g_{34} = 3$ соединяющий выводы p_3, p_4.

Строим фрагмент дерева p_3, p_4 и всем точкам фрагмента присваиваем номер 3 (рис. П6).

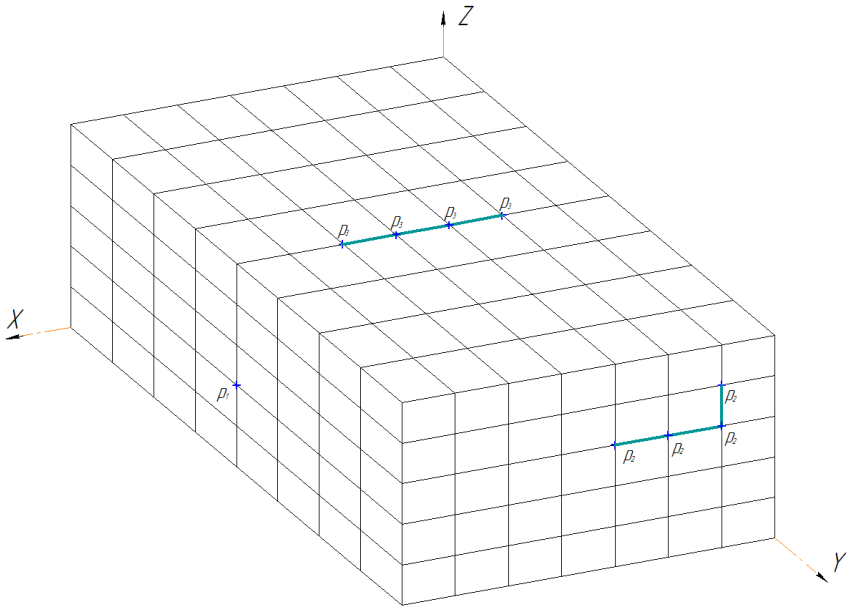


Рис. П6

Определяем вес электрических соединений:

$$g_{12} = 9$$
$$g_{13} = 5$$
$$g_{23} = 6$$

Строим матрицу G:

$$G = \begin{array}{c|ccc} & p_1 & p_2 & p_3 \\ \hline p_1 & 0 & 9 & 5 \\ p_2 & 9 & 0 & 6 \\ p_3 & 5 & 6 & 0 \end{array}$$

Определяем минимальный элемент матрицы G: $g_{13} = 5$ соединяющий выводы p_1, p_3.

Строим фрагмент дерева p_1, p_3 и всем точкам фрагмента присваиваем номер 1 (рис. П7).

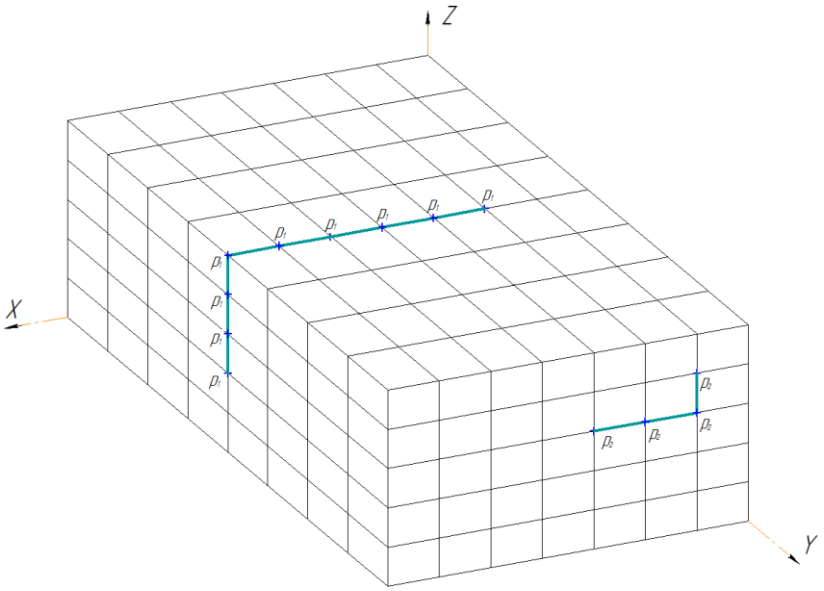


Рис. П7

Определяем минимальный вес электрического соединения $g_{12} = 6$ и строим фрагмент дерева p_1, p_2 (рис. П8). Алгоритм завершен.

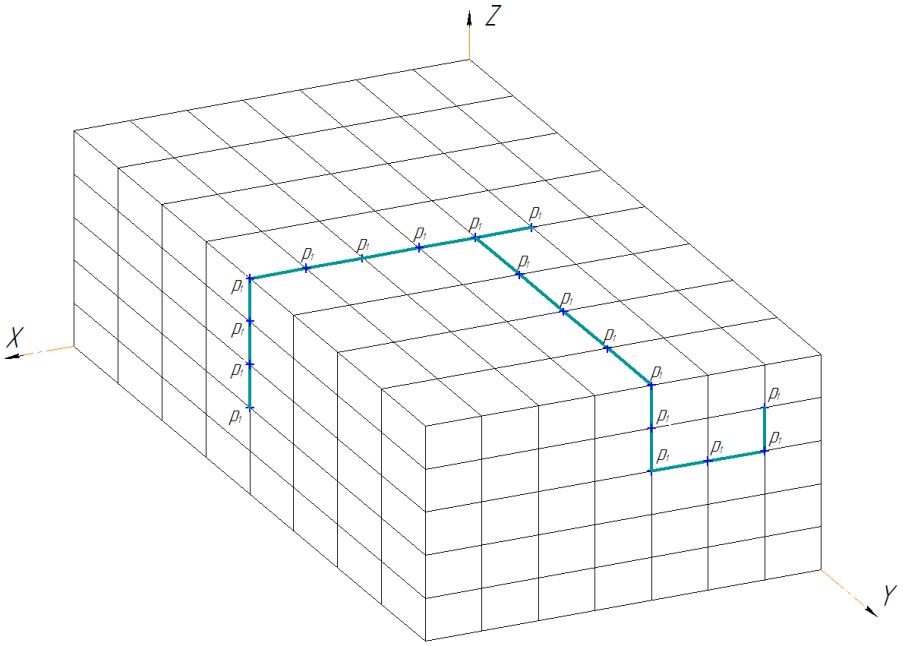


Рис. П8

Приложение 3

Формирование жгутов межблочного монтажа

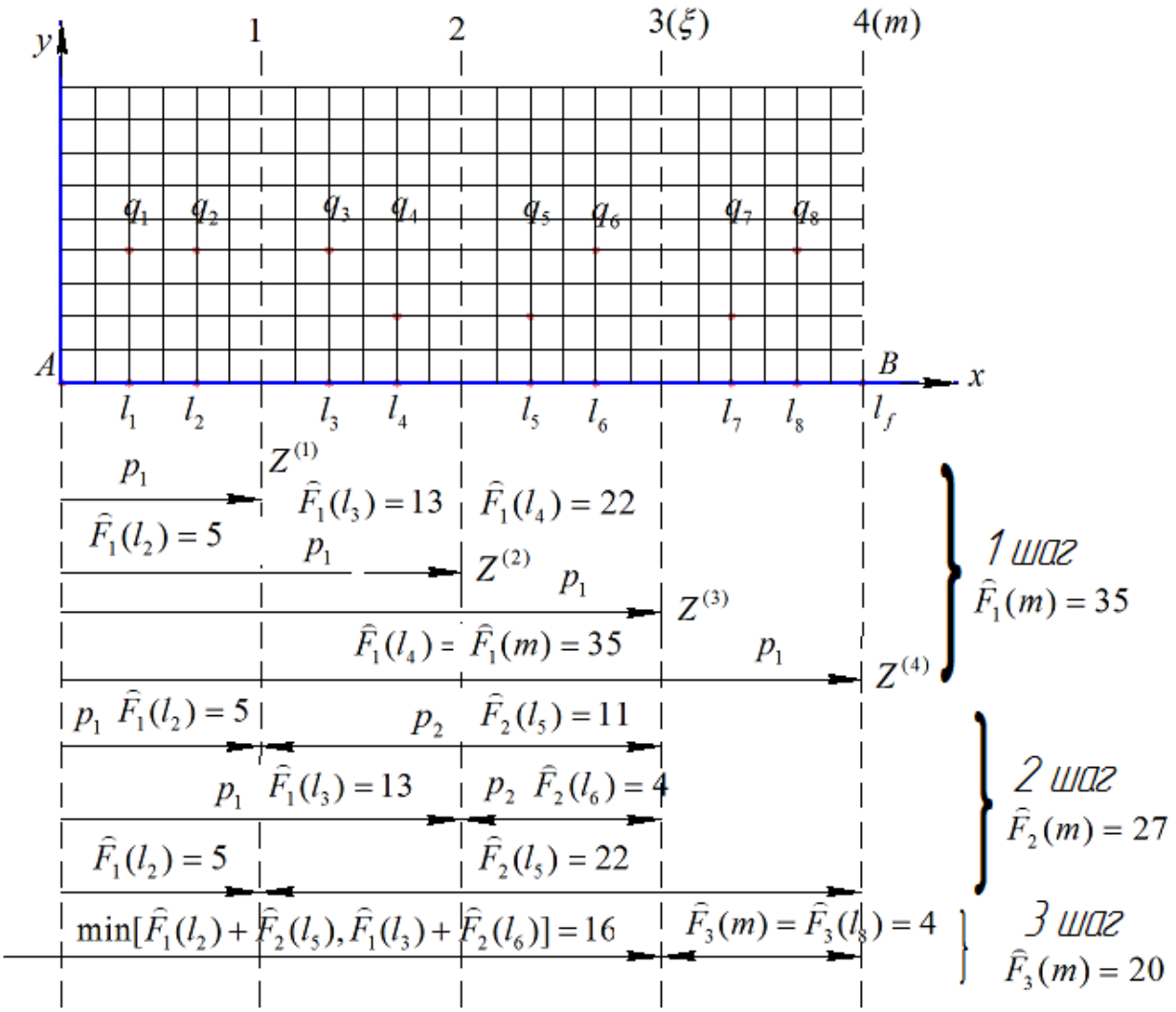


Рис. П9

Обозначения: $\hat{F}_p(l_i)$ - значение целевой функции p-го ответвления, имеющее наименьшее значение в позиции l_i;

$\longrightarrow$ $\longleftrightarrow$ - зона $Z(\xi)$.

Выберем оптимальный вариант:

$$\hat{F}_3(m) = \min[F_1(m), F_2(m), F_3(m)]$$

Выполним обратный ход алгоритма:

1. Третье ответвление располагается в четвертой зоне в позиции l_8;

2. Второе ответвление находится в третьей зоне в позиции l_6;

3. Первое ответвление находится во второй зоне в позиции l_4.

Состав соединительных устройств в ответвлениях:

1 ответвление $q_1 - q_4$;

2 ответвление $q_5 - q_6$;

3 ответвление $q_7 - q_8$.

Объем проводникового материала ответвлений жгута:

$$F_{жг} = \sum_{p=1}^{3} F_p = 35 + 27 + 20 = 82$$

Приложение 4

Трассировка жгутов межблочного монтажа

На рис. П10 и табл. П3 представлен пример использования алгоритма поиска пути:

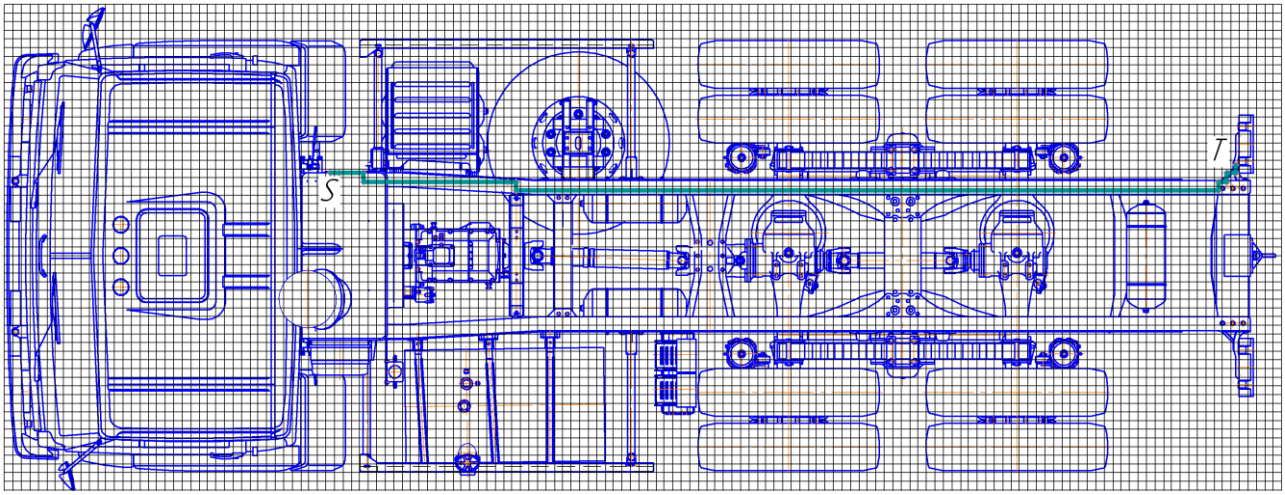


Рис. П10

Табл. П3

Список ячеек	№ ячейки	f	g	h
Закрытый список V	**S = 49,11**	**81**	**0**	**81**
	50,11	81	1	80
	50,12	81	2	79
	50,13	81	3	78
	51,13	81	4	77
	52,13	81	5	76
	53,13	81	6	75
	54,13	81	7	74
	55,13	81	8	73
	56,13	81	9	72
	57,13	81	10	71
	58,13	81	11	70
	59,13	81	12	69
	60,13	81	13	68
	61,13	81	14	67
	62,13	81	15	66
	63,13	81	16	65
	…	…	…	…
	118,13	81	71	10
	119,13	81	72	9
	120,13	81	73	8
	121,13	81	74	7
	122,13	81	75	6
	123,13	81	76	5
	124,13	81	77	4
	124,14	81	78	3

Список ячеек	№ ячейки	f	g	h
	124,15	81	79	2
	124,16	81	80	1
	T = 124,17	**81**	**81**	**0**
Список обследованных ячеек U, V	**S = 49,11**	**81**	**0**	**81**
	48,11	83	1	82
	49,10	83	1	82
	49,12	81	1	80
	50,11	81	1	80
	50,12	81	2	79
	50,13	81	3	78
	49,13	83	4	79
	50,14	81	4	77
	51,13	81	4	77
	51,14	81	5	76
	52,13	81	5	76
	53,13	81	6	75
	54,13	81	7	74
	55,13	81	8	73
	56,13	81	9	72
	57,13	81	10	71
	58,13	81	11	70
	59,13	81	12	69
	60,13	81	13	68
	61,13	81	14	67
	62,13	81	15	66
	63,13	81	16	65
	…	…	…	…
	118,13	81	71	10
	119,13	81	72	9
	119,14	81	73	8
	120,13	81	73	8
	120,14	81	74	7
	121,13	81	74	7
	121,14	81	75	6
	122,13	81	75	6
	122,14	81	76	5
	123,13	81	76	5
	123,14	81	77	4
	124,13	81	77	4
	124,14	81	78	3
	124,15	81	79	2
	123,15	83	80	3
	124,16	81	80	1
	123,16	83	81	2
	T = 124,17	**81**	**81**	**0**

Приложение 5

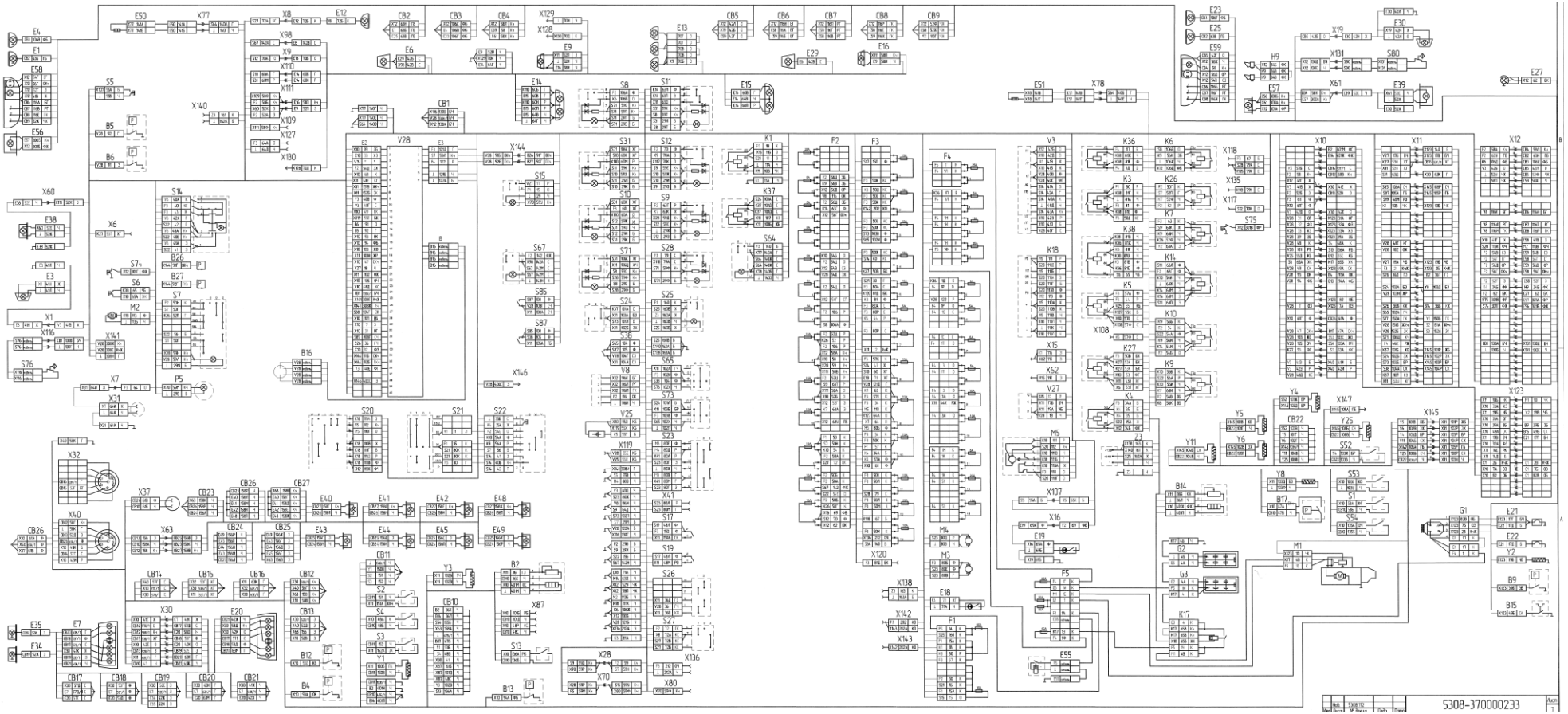


Рис. П11

Результаты расчета и анализа распределительной сети электрической энергии грузового автомобиля

СХЕМА: 5308-3700002Э3

Узел регулирования напряжения: G1 Дата расчета: 30.10.2013

НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ

Табл. П4 Режимы потребления

№	Наименование
1	зима, город, день
2	зима, город, ночь
3	зима, шоссе, день
4	зима, шоссе, ночь
5	лето, город, день
6	лето, город, ночь
7	лето, шоссе, день
8	лето, шоссе, ночь

Табл. П5 Токи в проводах по режимам работы потребителей

БИРКА ПРОВОДА	ЖГУТ	ОТКУДА ИДЕТ, ИЗДЕЛИЕ	ЭС	к-т	КУДА ПОСТУ-ПАЕТ, ИЗДЕЛИЕ	ЭС	к-т	R, ом	I, A (1)	I, A (2)	I, A (3)	I, A (4)	I, A (5)	I, A (6)
1		G1		+	F5.2		1	0,014566	89,67796	83,23269	0	123,76559	72,54019	120,92551
соед.		F5.2		1	F5.3		1	0,0001	28,41949	19,24515	0	77,01874	4,00543	72,97516
1А		F5.3		2	F1.1		1	0,011714	28,41389	19,24785	0	77,02398	4	72,97399
80		F1.1		2	K3.2		30	0,013022	5,97774	2,47778	0	6,92275	0	6,92275
50Д		K3.2		87	F3.2		1	0,015995	5,97781	2,4777	0	6,92284	0	6,92284
50Е		F3.2		1	F3.3		1	0,006723	5,47782	2,47774	0	6,42262	0	6,42262
50Ж		F3.3		1	F3.4		1	0,006723	2,47774	2,47803	0	3,42282	0	3,42282
50И		F3.2		1	F3.1		1	0,006987	0,50014	0	0	0,49987	0	0,49987
15А		F1.1		2	F1.2		1	0,008678	15,18998	11,89492	0	39,84006	0	39,84006
1Б		F1.2		1	S21		30/1	0,0448	0,28001	0	0	0,27997	0	0,27997
30		S21		15/1	F3.5		1	0,042108	0,28002	0	0	0,28002	0	0,28002
80А		F3.5		1	F3.6		1	0,006538	0,06972	0	0	0,07001	0	0,07001
80Р		F3.6		1	F3.7		1	0,006538	0	0	0	0	0	0
50		F1.2		1	F2.11		1	0,009257	14,91002	11,89509	0	39,56	0	39,56
50А		F2.11		1	F2.12		1	0,003965	1,95534	7,82473	0	22,39479	0	22,39479
50Б		F2.12		1	F2.13		1	0,006723	1,90491	1,88505	0	16,45503	0	16,45503
50Г		F2.13		1	K26.2		30	0,017546	1,02999	0,21002	0	14,73005	0	14,73005
52		K26.2		87	F2.8		1	0,021622	1,02998	0,20995	0	14,73	0	14,73
52Ц		F2.8		1	F2.9		1	0,006723	0,40998	0	0	4,84995	0	4,84995
106		F2.8		1	F2.7		1	0,014614	0	0	0	5,81999	0	5,81999
54		F2.11		1	K10.2		30	0,021151	12,95501	0,94498	0	13,96997	0	13,96997
54Б		K10.2		87	F2.5		1	0,027497	5,82999	0	0	5,82999	0	5,82999
56Б		K10.2		30	K9.2		30	0,008845	7,12511	0,9449	0	8,14009	0	8,14009
54Ц		F2.5		1	F2.6		1	0,007054	2,91011	0	0	2,91011	0	2,91011
56В		K9.2		87	F2.2		1	0,028073	7,12495	0,945	0	8,07001	0	8,06995
56Ц		F2.2		1	F2.3		1	0,006538	4,00014	0,94519	0	4,94475	0	4,94504
57		F1.1		2	F3.10		1	0,014839	7,24631	4,87496	0	30,26132	4,00002	26,21117
50К		F3.10		1	F3.11		1	0,006723	4,04985	0	0	4,04985	0	0
50Л		F3.11		1	F3.12		1	0,006723	4,05013	0	0	4,05013	0	0
50М		F3.12		1	F3.13		1	0,006723	4,04985	0	0	4,04985	0	0
34		F3.10		1	F3.9		1	0,006056	0,21008	3,99994	0	22,34988	3,99994	22,35019
57К		F3.9		1	F3.8		1	0,006723	0,20995	0	0	4,52991	0	4,52991
63		F3.9		1	K7.2		30	0,025765	0	0	0	5,82001	0	5,82001
63А		K7.2		87	F2.10		1	0,027881	0	0	0	5,81998	0	5,81998
4		K17.2		1	G3		+	0,006208	61,19416	63,98502	0	46,67153	68,54028	47,88139

Табл. П6 Напряжения на контактах изделий по режимам работы потребителей

ОБОЗНАЧЕНИЕ	ТИП	ЭС	к-т	Iпотр, А	U, в (1)	U, в (2)	U, в (3)	U, в (4)	U, в (5)	U, в (6)	U, в (7)	U, в (8)
E1	ФГ152А		1	2,91	26,249	26,464	0	23,904	26,813	24,053	26,338	26,811
E12	171.3711		1	3,125	26,088	26,038	0	24,266	26,896	24,355	26,207	26,893
E13.1	УП101-В		1	0,2	26,068	26,215	0	24,285	26,896	24,374	26,188	26,893
E13.2	УП101-В		1	0,2	26,068	26,211	0	24,281	26,896	24,37	26,188	26,893
E13.3	УП101-В		1	0,2	26,068	26,208	0	24,278	26,896	24,367	26,188	26,893
E14	П1.3714010		2	1,08	26,248	26,464	0	24,144	26,813	24,293	26,336	26,811
E14	П1.3714010		1	1,08	26,248	26,464	0	24,167	26,813	24,317	26,336	26,811
E15	П1.3714010		1	1,08	26,248	26,464	0	24,142	26,813	24,291	26,336	26,811
E15	П1.3714010		2	1,08	26,248	26,464	0	24,118	26,813	24,268	26,336	26,811
E16	26.3712-10		1	0,2	26,027	26,295	0	23,773	26,896	23,863	26,156	26,893
E18	ПК142Б		1	0,2	26,239	26,464	0	24,664	26,813	24,813	26,328	26,811
E19	ПК142Б		1	0,2	26,068	26,296	0	24,368	26,896	24,457	26,188	26,893
E20	171.3716-01		1	0,875	25,222	25,981	0	23,354	26,896	23,443	25,7	26,887
E20	171.3716-01		3	0,875	25,972	26,209	0	24,308	26,837	24,457	26,363	26,835
E20	171.3716-01		2	0,875	25,869	26,193	0	24,507	26,896	24,596	26,335	26,895
E20	171.3716-01		4	0,6777721	25,53	25,854	0	24,419	26,896	24,509	26,335	26,895
E20	171.3716-01		5	0,21	25,969	26,236	0	23,232	26,896	23,321	26,156	26,893
E23	2012.3711		1	2,91	26,027	26,295	0	22,97	26,896	23,06	26,156	26,893
E25	ФГ152А		1	2,91	26,249	26,464	0	23,991	26,813	24,14	26,338	26,811
E27	ПД308-Б-О		1	0,875	25,998	26,233	0	24,306	26,896	24,395	26,118	26,893
E29	ФП-1-24		1	2,91	26,078	25,677	0	23,848	26,896	23,937	26,197	26,893
E30	56.3726		1	0,875	25,646	25,97	0	24,535	26,896	24,624	26,335	26,895
E34	ФП134Б		1	0,56	26,025	26,295	0	23,497	26,896	23,586	26,153	26,893
E35	ФП134Б		1	0,56	26,025	26,295	0	23,503	26,896	23,592	26,153	26,893
E38	431.3731-01		1	0,66	26,025	26,295	0	23,669	26,896	23,759	26,153	26,893

Табл. П7 Аппараты защиты, через которые протекает ток превышающий номинальный ток аппарата защиты:

ОБОЗНАЧЕНИЕ АЗ	**ТИП АЗ**	**Іном, А**	**Ток провода, А**	**Режим**
F1.1	111.3722	60	77,0241	(4) зима, шоссе, ночь
F1.1	111.3722	60	72,974	(6) лето, город, ночь
F2.7	БПР-13-05	5	5,82	(4) зима, шоссе, ночь
F2.7	БПР-13-05	5	5,82	(6) лето, город, ночь

Табл. П8 Провода, в которых ток превысил допустимое значение

БИРКА ПРОВОДА	ОТКУДА ИДЕТ	КУДА ПОСТУПАЕТ	МАРКА ПРОВОДА	S	Ток провода, А	Iдоп, А	Режим
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	89,678	32,5	(1) зима, город, день
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	83,2327	32,5	(2) зима, город, ночь
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	123,7656	32,5	(4) зима, шоссе, ночь
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	72,5402	32,5	(5) лето, город, день
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	120,9255	32,5	(6) лето, город, ночь
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	86,5309	32,5	(7) лето, шоссе, день
1	G1 - +	F5.2 - 1	ПВА	4.0	72,5893	32,5	(8) лето, шоссе, ночь
1A	F5.3 - 2	F1.1 - 1	ПВА	4.0	77,024	32,5	(4) зима, шоссе, ночь
1A	F5.3 - 2	F1.1 - 1	ПВА	4.0	72,974	32,5	(6) лето, город, ночь
15A	F1.1 - 2	F1.2 - 1	ПВА	2.5	39,8401	24,5	(4) зима, шоссе, ночь
15A	F1.1 - 2	F1.2 - 1	ПВА	2.5	39,8401	24,5	(6) лето, город, ночь
50	F1.2 - 1	F2.11 - 1	ПВА	2.5	39,56	24,5	(4) зима, шоссе, ночь
50	F1.2 - 1	F2.11 - 1	ПВА	2.5	39,56	24,5	(6) лето, город, ночь
54	F2.11 - 1	K10.2 - 30	ПВА	1.0	13,97	13,5	(4) зима, шоссе, ночь
54	F2.11 - 1	K10.2 - 30	ПВА	1.0	13,97	13,5	(6) лето, город, ночь
57	F1.1 - 2	F3.10 - 1	ПВА	2.5	30,2613	24,5	(4) зима, шоссе, ночь
57	F1.1 - 2	F3.10 - 1	ПВА	2.5	26,2112	24,5	(6) лето, город, ночь
34	F3.10 - 1	F3.9 - 1	ПВА	1.5	22,3499	18	(4) зима, шоссе, ночь
34	F3.10 - 1	F3.9 - 1	ПВА	1.5	22,3502	18	(6) лето, город, ночь
1E	F5.2 - 2	M1 - 1	ПВА	2.5	61,2639	24,5	(1) зима, город, день
1E	F5.2 - 2	M1 - 1	ПВА	2.5	63,9849	24,5	(2) зима, город, ночь
1E	F5.2 - 2	M1 - 1	ПВА	2.5	46,7415	24,5	(4) зима, шоссе, ночь
1E	F5.2 - 2	M1 - 1	ПВА	2.5	68,5403	24,5	(5) лето, город, день

Табл. П9 РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ на: E20 - 4

БИРКА ПРОВОДА	ЖГУТ	ОТКУДА ИДЕТ, ИЗДЕЛИЕ	ЭС	к-т	КУДА ПОСТУПАЕТ, ИЗДЕЛИЕ	ЭС	к-т	R, ом	I, A
1		G1		+	F5.2		1	0,014566	0
соед.		F5.2		1	F5.3		1	0,0001	40,32135
1А		F5.3		2	F1.1		1	0,011714	40,31406
80		F1.1		2	K3.2		30	0,013022	40,31407
50Д		K3.2		87	F3.2		1	0,015995	40,31415
50Е		F3.2		1	F3.3		1	0,006723	40,31407
50Ж		F3.3		1	F3.4		1	0,006723	40,31407
50И		F3.2		1	F3.1		1	0,006987	0
15А		F1.1		2	F1.2		1	0,008678	0
1Б		F1.2		1	S21		30/1	0,0448	0
30		S21		15/1	F3.5		1	0,042108	0
80А		F3.5		1	F3.6		1	0,006538	0
80Р		F3.6		1	F3.7		1	0,006538	0
50		F1.2		1	F2.11		1	0,009257	0
50А		F2.11		1	F2.12		1	0,003965	0
50Б		F2.12		1	F2.13		1	0,006723	0

Табл. П10 Напряжения на контактах изделий

ОБОЗНАЧЕНИЕ	ТИП	ЭС	к-т	U, в
E1	ФГ152А		1	22,745
E12	171.3711		1	22,745
E13.1	УП101-В		1	22,745
E13.2	УП101-В		1	22,745
E13.3	УП101-В		1	22,745
E14	П1.3714010		2	22,745
E14	П1.3714010		1	22,745
E15	П1.3714010		1	22,745
E15	П1.3714010		2	22,745
E16	26.3712-10		1	22,745
E18	ПК142Б		1	22,745
E19	ПК142Б		1	22,745
E20	171.3716-01		1	22,745
E20	171.3716-01		3	22,745
E20	171.3716-01		2	21,034
E20	171.3716-01		4	0
E20	171.3716-01		5	22,745
E23	2012.3711		1	22,745
E25	ФГ152А		1	22,745
E27	ПД308-Б-О		1	22,745
E29	ФП-1-24		1	22,745
E30	56.3726		1	9,8713
E34	ФП134Б		1	22,745
E35	ФП134Б		1	22,745
E38	431.3731-01		1	22,745
E39	431.3731-01		1	22,745

Табл. П11. Селективность срабатывания аппаратов защиты при коротком замыкании

===== ПУТЬ от узла КЗ (E20 - 4) до аккумулятора (G3):
------ Время срабатывания 1-го аппарата защиты: F1.1 (111.3722 - 60)
Tср = 100сек Tmin = 50сек Tmax = 150сек Ток в проводе = 40,314А
Время срабатывания АЗ > 7сек
АЗ обладает Кчув < 2.5
------ Время срабатывания 2-го аппарата защиты: F5.3 (БПР4.04 - 90)
Tср = 1000сек Tmin = 500сек Tmax = 1500сек Ток в проводе = 40,321А
****** Защита селективна

Приложение 6

Расчет баланса электрической энергии грузового автомобиля

Предварительный выбор генератора

Расчет проведен 16 января 2014 г. в 16:13:26. Ваш комментарий к тому расчету: *16,01,2014*

Выбранный тип транспортного средства: *Грузовик КАМАЗ-5297*

Расчетный ток нагрузки потребителей

Табл. П12

Режим	Расчетный ток нагрузки потребителей [А]
Город Зима День	33,0
Город Лето День	6,1
Шоссе Зима День	31,5
Шоссе Лето День	4,6
Город Зима Ночь	33,0
Город Лето Ночь	6,1
Шоссе Зима Ночь	31,5
Шоссе Лето Ночь	4,6

Выбраны генераторы для режимов:

Табл. П13

Тип генератора	**U_nom [В]**	**Номинальная мощность генератора [Вт]**	**Требуемая мощность генератора [Вт]**	**Требуемый максимальный ток генератора [А]**
Город Зима День				
NCB2-28V40-110A	28	3080	1153,4	41,2
NCB1-28V35-80A	28	2240	1153,4	41,2
4542.2771	28	2240	1153,4	41,2
40.3771	28	2240	1153,4	41,2
0124A655082	28	2520	1153,4	41,2
Город Лето День				
NCB2-28V40-110A	28	3080	213,3	7,6
NCB1-28V35-80A	28	2240	213,3	7,6
4542.2771	28	2240	213,3	7,6
40.3771	28	2240	213,3	7,6
0124A655082	28	2520	213,3	7,6
Шоссе Зима День				
NCB2-28V40-110A	28	3080	1100,9	39,3
NCB1-28V35-80A	28	2240	1100,9	39,3
4542.2771	28	2240	1100,9	39,3

Тип генератора	U_nom [В]	Номинальная мощность генератора [Вт]	Требуемая мощность генератора [Вт]	Требуемый максимальный ток генератора [А]
40.3771	28	2240	1100,9	39,3
0124A655082	28	2520	1100,9	39,3
Шоссе Лето День				
NCB2-28V40-110A	28	3080	160,8	5,7
NCB1-28V35-80A	28	2240	160,8	5,7
4542.2771	28	2240	160,8	5,7
40.3771	28	2240	160,8	5,7
0124A655082	28	2520	160,8	5,7
Город Зима Ночь				
NCB2-28V40-110A	28	3080	1153,4	41,2
NCB1-28V35-80A	28	2240	1153,4	41,2
4542.2771	28	2240	1153,4	41,2
40.3771	28	2240	1153,4	41,2
0124A655082	28	2520	1153,4	41,2
Город Лето Ночь				
NCB2-28V40-110A	28	3080	213,3	7,6
NCB1-28V35-80A	28	2240	213,3	7,6
4542.2771	28	2240	213,3	7,6
40.3771	28	2240	213,3	7,6

Тип генератора	U_nom [В]	Номинальная мощность генератора [Вт]	Требуемая мощность генератора [Вт]	Требуемый максимальный ток генератора [А]
0124A655082	28	2520	213,3	7,6
Шоссе Зима Ночь				
NCB2-28V40-110A	28	3080	1100,9	39,3
NCB1-28V35-80A	28	2240	1100,9	39,3
4542.2771	28	2240	1100,9	39,3
40.3771	28	2240	1100,9	39,3
0124A655082	28	2520	1100,9	39,3
Шоссе Лето Ночь				
NCB2-28V40-110A	28	3080	160,8	5,7
NCB1-28V35-80A	28	2240	160,8	5,7
4542.2771	28	2240	160,8	5,7
40.3771	28	2240	160,8	5,7
0124A655082	28	2520	160,8	5,7

Табл. П14 Расчетный ток нагрузки потребителей для дневного и ночного режима

шаг № по реальным потребителям	Реальный потребитель	Кол-во стандатных потребителей	Номинальный ток, [А]	Город Зима День: Kt	Город Зима День: Kl	Город Зима День: текущее значение I_n	Город Лето День: Kt	Город Лето День: Kl	Город Лето День: текущее значение I_n	Шоссе Зима День: Kt	Шоссе Зима День: Kl	Шоссе Зима День: текущее значение I_n	Шоссе Лето День: Kt	Шоссе Лето День: Kl	Шоссе Лето День: текущее значение I_n	Город Зима Ночь: Kt	Город Зима Ночь: Kl	Город Зима Ночь: текущее значение I_n	Город Лето Ночь: Kt	Город Лето Ночь: Kl	Город Лето Ночь: текущее значение I_n	Шоссе Зима Ночь: Kt	Шоссе Зима Ночь: Kl	Шоссе Зима Ночь: текущее значение I_n	Шоссе Лето Ночь: Kt	Шоссе Лето Ночь: Kl	Шоссе Лето Ночь: текущее значение I_n
1	Реле	15	0,07	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050	1	1	1,050
2	реле стартера	1	0,07	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070	1	1	0,070
3	Выключатель АБ	1	0,05	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050
4	Выключатель	5	0,05	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250	1	1	0,250
5	Центральный перекл. Света	1	0,05	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050	1	1	0,050
6	Переключатель	7	0,05	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350	1	1	0,350
7	Устройство защиты бортовой сети	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025	1	1	0,025
8	Датчик уровня топлива ТХ-3 с эл.под.	1	9	1	1	9,000	0	0	0,000	1	1	9,000	0	0	0,000	1	1	9,000	0	0	0,000	1	1	9,000	0	0	0,000
9	Комбинация приборов	1	2	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000	1	1	2,000
10	Осушитель	1	0	1	1	0,000	1	1	0,000	1	1	0,000	1	1	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000
11	ФГОТ	1	17,86	1	1	17,860	0	0	0,000	1	1	17,860	0	0	0,000	1	1	17,860	0	0	0,000	1	1	17,860	0	0	0,000
12	Электронное управление АБС	1	5	0,15	1	0,750	0,15	1	0,750	0,05	1	0,250	0,05	0,05	0,013	0,15	1	0,750	0,15	1	0,750	0,05	1	0,250	0,05	1	0,250
13	Электронное управление двигателем	1	10	0,15	1	1,500	0,15	1	1,500	0,05	1	0,500	0,05	0,05	0,025	0,15	1	1,500	0,15	1	1,500	0,05	1	0,500	0,05	1	0,500
сумма						32,955			6,095			31,455			3,883			32,955			6,095			31,455			4,595

Табл. П15 Часовая отдача генератора

Шаг №	Интервалы оборотов	Токоотдача, А-ч/ч	Относительное время t	В точке	Значение I в той же точке
1	3040,0 - 3290,0	3,174	0,047	3165,0	78,350
2	3290,0 - 3540,0	3,708	0,058	3415,0	75,850
3	3540,0 - 3790,0	4,427	0,050	3665,0	82,010
4	3790,0 - 4040,0	4,117	0,067	3915,0	80,510
5	4040,0 - 4290,0	5,379	0,056	4165,0	85,010
6	4290,0 - 4540,0	4,728	0,046	4415,0	83,510
7	4540,0 - 4790,0	3,872	0,044	4665,0	87,340
8	4790,0 - 5040,0	3,837	0,031	4915,0	86,340
9	5040,0 - 5290,0	2,687	0,029	5165,0	88,670
10	5290,0 - 5540,0	2,581	0,020	5415,0	88,170
11	5540,0 - 5790,0	1,739	0,017	5665,0	89,670
12	5790,0 - 6040,0	1,558	0,011	5915,0	89,170
13	6040,0 - 6290,0	0,970	0,008	6165,0	91,253
14	6290,0 - 6540,0	0,697	0,006	6415,0	90,878
15	6540,0 - 6790,0	0,501	0,002	6665,0	90,503
16	6790,0 - 7040,0	0,226	0,001	6915,0	90,128
17	7040,0 - 7290,0	0,093	0,000	7165,0	92,335
18	7290,0 - 7540,0	0,000	0,000	7415,0	92,085
19	7540,0 - 7790,0	0,000	0,000	7665,0	91,835
20	7790,0 - 8040,0	0,000	0,000	7915,0	91,585
21	8040,0 - 8290,0	0,019	0,000	8165,0	92,918
	Сумма	44,239			

Табл. П16 Часовой заряд/разряд батареи

Часовой заряд (+) или разряд (-) батареи в дневном режиме q_ch_d = q_g - I_nd
город зима день -1,48
город лето день -1,48
шоссе зима день -0,48
шоссе лето день -0,01
Часовой заряд (+) или разряд (-) батареи в ночном режиме q_ch_n = q_g - I_nn
город зима ночь -1,48
город лето ночь -1,48
шоссе зима ночь -0,48
шоссе лето ночь -0,48

Табл. П17 Суточный баланс электроэнергии

Режим	Суточный баланс электроэнергии	Относительный часовой заряд батареи ночью, %	Относительный часовой заряд батареи днем, %
город зима	-34,812	-1,481	-1,481
город лето	-34,812	-1,481	-1,481
шоссе зима	-24,812	-0,481	-0,481
шоссе лето	-21,012	-0,481	-0,006