


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

 А.В. Бушманов
« 15 » 07 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ


на тему: Разработка программного комплекса для решения электросетевых задач

Исполнитель
студент группы 857ом

 09.07.2020
(подпись, дата)

Н.С. Бурмашин

Руководитель
доцент, канд. техн. наук

 10.07.2020
(подпись, дата)

О.В. Жилиндина

Руководитель научного
содержания программы
магистратуры профессор,
доктор техн. наук

 10.07.2020
(подпись, дата)

И.Е. Еремин

Нормоконтроль
доцент, канд физ-мат наук

 10.07.2020
(подпись, дата)

В.В. Еремина

Рецензент
директор ООО
«Джи-Эс-Ти»

 14.07.2020
(подпись, дата)

А.А. Малынов


Благовещенск 2020 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

 А.В. Бушманов
« 20 » 02 2020 г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Бурманина Никиты Сергеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Разработка программного комплекса для решения электросетевых задач. (Утверждено приказом от 30.04.2020 № 810-уч)
2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 06.07.2020
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: предметная область, нормативно – правовая документация, перечень литературы
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):
 - теоретическая часть;
 - архитектурный проект программного комплекса;
 - описание программного комплекса.
5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.)
 - Техническое задание программного комплекса для решения электросетевых задач
 - Спецификация требований программного обеспечения
 - Копии сертификатов участника научных конференций
 - Копии статей научных публикаций
6. Дата выдачи задания 20.02.2020
7. Руководитель выпускной квалификационной работы: Жилиндина О.В., доцент, канд. тех. наук
8. Задание принял к исполнению 20.02.2020: _____


(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 87 с., 27 рисунков, 27 формул, 1 таблицу, 4 приложения, 41 источников.

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, РАСЧЕТ НАГРУЗОК, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ, РАСЧЕТ ТОКОВ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, VISUAL STUDIO, WPF, ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫЕ ЗАДАЧИ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЭКОНОМИКА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС.

Объектом исследования являются методы разработки программного комплекса для решений электросетевых задач с целью повышения эффективности расчётов и сокращению числа ошибок при проведении расчётов электроэнергетических систем, как на этапе проектирования, так и эксплуатации.

Цель работы: разработка программного комплекса для решений электросетевых задач.

Данное исследование включает в себя несколько этапов. Первый этап предназначен для изучения предметной области, программного обеспечения и выявления требований к разрабатываемой системе. На втором этапе происходит анализ архитектурной структуры программного комплекса. На третьем этапе описываются разработанный программный продукт, а так же, полученные результаты.

По теме диссертации опубликовано 3 работы в том числе: первая статья Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XX региональной научно - практической конференции (23 мая 2019 г., Благовещенск): в 3 томах. – Благовещенск: Издательство Амурского гос. ун-та, 2019, вторая статья опубликована в международном научно-практическом журнале Экономика и социум №1 (68) январь 2020, третья статья опубликована в международном научно-практическом журнале Экономика и социум №3 (70) март 2020.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретическая часть	15
1.1 Предметная область	15
1.2 Используемые математические модели и методы	25
1.3 Анализ программных комплексов и их сравнение	37
2 Архитектурный проект программного комплекса	43
2.1 Жизненный цикл. Выбор и обоснование модели жизненного цикла для разрабатываемого программного средства	43
2.2 Диаграмма вариантов использования	46
2.3 Диаграмма последовательности	47
2.4 Диаграмма состояний	48
2.5 Диаграмма основных функций программного средства	49
2.6 Обоснование выбора средств для реализации задачи	51
2.7 Тестирование программного средства	56
3 Описание программного комплекса	59
3.1 Структура программного комплекса и его возможности	59
3.2 Экранные формы	61
3.3 Руководство пользователя	64
3.3.1 Область применения	64
3.3.2 Краткое описание возможностей	64
3.3.3 Уровень подготовки пользователя	64
3.3.4 Виды деятельности, функции	64
3.3.5 Начало работы программного средства	65
3.3.6 Работа с графическими элементами схемы	65
3.3.7 Структура программы, загрузка и сохранение данных	71
3.3.8 Расчёт схем электросети	72
3.3.9 Создание отчёта и меню настроек	73
3.3.10 Меню настройки	74

3.3.11 Работа с отчётами	74
3.4 Пример применения конечного продукта	75
Заключение	81
Библиографический список	83
Приложение А Техническое задание программного комплекса для решения электросетевых задач	88
Приложение Б Спецификация требований программного обеспечения	92
Приложение В Копии сертификатов участника научных конференций	97
Приложение Г Копии статей научных публикаций	99

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

ГОСТ 2.104-68 ЕСПД Основные надписи

ГОСТ 2.105-95 ЕСПД Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 2.106-96 ЕСПД Текстовые документы

ГОСТ 2.111-68 ЕСПД Нормоконтроль

ГОСТ 19.101-77 ЕСПД Виды программ и программных документов

ГОСТ 19.106-78 ЕСПД Требования к программным документам выполненным печатным способом

ГОСТ 19.201-93 ЕСПД Техническое задание, требования к содержанию и оформлению

ГОСТ 19.401-78 ЕСПД Текст программы. Требования к содержанию и оформлению

ГОСТ 19.402-78 ЕСПД Описание программы

ГОСТ 19.504-79 ЕСПД Руководство программиста, требования к содержанию и оформлению

ГОСТ 34.602-89 КСАС Техническое задание на создание автоматизированной системы

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПС – подстанция;

КЗ – короткое замыкание;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ВЛ – воздушная линия;

ПО – программное обеспечение;

ПК – программный комплекс;

АО «СО ЕЭС» — Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»;

ЕЭС – единая энергетическая система;

ОЭС – объединённая энергетическая система;

ЭСГ – электроснабжение городов;

ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство;

РП – распределительная подстанция;

ГПП – главная понижающая подстанция;

ЛЭП – линия электропередач;

СНГ – Союз Независимых Государств;

ЖЦ – жизненный цикл;

ЭЭС – электроэнергетическая система.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика – является отраслью энергетики, включающей в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии. Она является одной из важнейших отраслей, поскольку электроэнергия обладает такими преимуществами перед другими, как относительная лёгкость её передачи на большие расстояния.

Согласно Федеральному закону «Об энергетике», электроэнергетическая отрасль имеет следующее определение. Это отрасль экономики РФ, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства, передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных или иных объектов входящих в Единую энергетическую систему России. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения.

Основными видами деятельности электроэнергетики является оказание различных услуг, и проведение различной деятельности:

- 1) передача электрической энергии потребителям;
- 2) распределение электрической энергии между потребителями с системами энергетики;
- 3) управление режимами энергоснабжения и потребления оперативно-диспетчерскими службами и их соблюдение;
- 4) присоединение к эксплуатируемым электрическим сетям;
- 5) сбор, передача и обработка данных измерений и учёта электроэнергии как технологической информации;
- 6) безопасное обслуживание электротехнического оборудования, подключенного к электрическим сетям для потребителей;
- 7) эксплуатация электрических сетей участвующих работе Единой энергетической системы РФ;

8) проведение научно-исследовательских и конструкторских работ, в которые входят проектно-сметные и изыскательские работы;

9) услуги транспортно-экспедиционные;

10) установление параллельной работы Единой энергетической системы России;

11) эксплуатация объектов электросетевого хозяйства согласно договорам с собственниками энергетических объектов;

12) технологическое регулирование объектов электросетевого хозяйства с обеспечением бесперебойной работоспособности и исправности энергетического оборудования в соответствии с требованиями, а так же проведение обслуживания, диагностики, ремонта сетей;

13) проведение прогнозов, планов развития электросетевого хозяйства, исследование научно-технических, экономических и социальных целевых программ;

14) развитие электросетей и других объектов электросетевого хозяйства посредством проведения проектирования и инженерных изысканий, проведения строительства и реконструкции сетей, а так же их техническое перевооружение, монтаж и наладку;

15) обеспечение развития технологической связи, улучшение методов измерений и учета.

16) связанное с электросетевым хозяйством релейная защита и противоаварийная автоматика, а так же другое оборудование, должно проходить технологическое улучшение.

Целями этих задач является обеспечение надежной и качественной работы электротехнического оборудования на подстанциях и линиях электропередач, повышение производительности труда, внедрения прогрессивных технологии и передовых методов ремонта и эксплуатации электрооборудования, улучшение технико-экономических показателей ремонта и технического обслуживания электрооборудования подстанций и линий электропередач, а так же раз-

работка прогрессивных методов проектирования, ремонта и эксплуатации электроэнергетической системы.

Актуальность создания программного средства обусловлена тенденциями развития применения информационных технологий во всех сферах жизни, и особенно оно может помочь в расчёте сложных математических формул которые производит человек, тем самым сокращая объём труда затрачиваемых человеком на проведение этих расчётов. Возможность применения в проводимых расчётах позволит увеличить точность получаемых результатов, скорость и сложность труда человека применяющего информационные технологии.

Так же программное средство способно облегчить решения, принимаемые на этапе расчётов, таких как выбор оборудования, подбор наилучшего технико-экономического решения в электрических сетях. Это существенно улучшит качество не только проектируемых систем электроснабжения, но так же и систем электроснабжения нуждающихся в реконструкции, расширении и последующей эксплуатации. Подбор технико-экономического решения сетей с применением информационных технологий позволит с большей точностью показать экономическую привлекательность проектов реконструкции, расширения и проектирования систем электроснабжения.

В использовании информационных технологий применяемых в энергетической сфере деятельности, основной информационной технологией является система принятия решений. Системы энергоснабжения хранят в себе большое количество данных необходимых для корректной работы конкретного работника, в эти данные входят установленное оборудование, различные требования и правила использования этих данных для работы с этим оборудованием и особенностями их проектирования или эксплуатации. С этими данными как правило работают ответственные инженеры, задача которых хорошо знать эти данные и уметь их применять для различных работ, начиная от простой расчётной деятельности объектов и установке различного дополнительного оборудования, до проектирования будущих проектов

развития уже существующих систем или созданию качественно новых систем, рассчитанных на растущие нужды потребителей электроэнергии.

Основным преимуществом применения технологий поддержки принятия решения в информационных системах, в системах энергетики в частности, это абсолютно новый метод организации взаимодействия и работы между рабочим персоналом и компьютером. Система поддержки принятия решения происходит в качестве определённого процесса в котором принимают участие в установленных ролях:

- в роли вычислительного блока и предмета управления и регулирования системы, выступает система поддержки принятия;

- в роли управляющего над системой выступает рабочий персонал, цель которого задавать исходные данные для проведения расчёта и исследования системы электроснабжения и по мере получения результатов проделанной работы оценить полученный результат.

Завершение установленного процесса взаимодействия между компьютером и работающим с ним персоналом происходит по воле работника в зависимости от проделанной работы и полученных результатов деятельности этого взаимодействия. В следствие этого можно считать, что возможности взаимодействия между информационной системой и технологией принятия решений совместно с пользователем или рабочим персоналом могут создать новый подход к решению проблемы принятия решений в энергетических системах.

К особенностям применения данной технологии в сфере развития электроэнергетических систем можно ещё отнести целый ряд её функциональных характеристик и направленностей применения:

- направленность технологии на применение в поиске решения плохо структурированных задач;

- взаимодействие в работе как традиционных методов получения и обработки компьютерных данных об энергосетях в виде различных счётчиков и датчиков оперативно-диспетчерского персонала, так и возможности

применения современных, сложных математических моделей и методов для решения электросетевых задач;

- ориентирование на способствование работы в сложных информационных системах для неквалифицированного работника, знакомого с инженерными особенностями отрасли на низком базовом уровне, или не знакомым со сферой деятельности в целом;

- ориентирование на высокую адаптивность к особенностям различного производства работ в технической, методической, теоретической, реальной сфере решения электротехнических задач и её проблем, приспособливая под эту деятельность все доступные технические и аппаратные средства.

На основании проведённых научных исследований в вопросе применения программных средств используемых для решения вышеперечисленных задач, часть из которых является научными публикациями в различных научных журналах, а так же тезисами научных конференций, можно сделать вывод, что тема магистерской диссертации, с научной точки зрения, является актуальной.

Для достижения поставленной цели работы решаются следующие задачи:

- изучение модели предметной области;
- построение модели предметной области;
- сбор знаний и накопление базы знаний в предметной области;
- проектирование систем расчёта;
- проведение анализа исследуемой предметной области;
- принятие решений для реализации программного продукта в исследуемой предметной области;
- реализация программного продукта на основе исследуемой предметной области;
- подробное описание разработанного программного продукта.

Целью магистерской диссертации является создание ПО для расчёта электросетевых задач. Основными функциями ПО является решение следующих задач:

- 1) графическое отображение объектов электрической сети;

- 2) установка исходных данных для объектов электрической сети;
- 3) расчёт основных характеристик установленных объектов электросетевого хозяйства;
- 4) расчёт основного оборудования необходимого для работы электрической сети;
- 5) проверка выбранного оборудования на соответствие требованиям безопасности и качества электроснабжения потребителей;
- 6) расчёт экономической составляющей составленной электрической сети;
- 7) составление подробного отчёта о результатах каждого проведённого этапа построения схемы, проведения расчёта и итогов экономического анализа.

Данное программное средство может быть использовано для исследования уже существующих электросетевых систем, а так же для проектирования будущих систем. Оно может проверить системы на предмет безопасного и качественного электроснабжения потребителей, а так же осуществить экономический расчёт этих систем на предмет капиталовложений, издержек, прочих затрат, содержания систем, и их окупаемости.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Предметная область

С каждым днём численность городского населения в Российской Федерации растет. В результате этого увеличивается объём и площадь жилой застройки, вследствие чего так же расширяются и территории городов, развиваются отрасли инфраструктуры и промышленный комплекс. Все это приводит к постоянному росту количества потребляемой электроэнергии. Однако, согласно данным АО «СО ЕЭС», электропотребление в Единой энергосистеме России в январе 2020 года составило 98,9 млрд. кВт•ч, что на 3,3 % меньше объема потребления за январь 2019 года.

Общие объёмы потребления и выработки электроэнергии в целом по Российской Федерации складываются из показателей электропотребления и выработки объектов электросетевого хозяйства, расположенных в Единой энергетической системе Российской Федерации, и объектов энергетики, работающих в технологически изолированных территориальных энергосистемах. Действительные показатели по объёмам потребления и выработки энергосистем технологически изолированных территорий представлены субъектами оперативно-диспетчерского управления этих энергосистем. С 2019 года показатели потребления и выработки по ЕЭС России и ОЭС Востока формируются с учетом Западного и Центрального энергорайонов энергосистемы Республики Саха (Якутия).

В систему электроснабжения городов входит совокупность всех объектов электрических сетей, расположенных на территории городов, которые предназначены для его обеспечения электроэнергией потребителей. Для питания потребителей, расположенных на территории городов, электроэнергией создаются специальные электрические сети, имеющие свои характерные особенности, по сравнению с электрическими сетями энергетических систем. Наиболее детально эти характерные особенности выявляются во время создания электрических

сетей в больших городах. В настоящее время эти характерные особенности в городских электрических сетях образуют специфические системы электроснабжения для большинства городов.

Вследствие развития промышленных, жилых, коммунально-складских, транспортных и внешне транспортных зон, возникает проблема рационального обеспечения электроснабжением городских систем, в результате происходит расширение электрических сетей, расположенных на территории городов, предназначенных для электроснабжения их потребителей.

Система электроснабжения городов предназначена для обеспечения коммунально-бытовых, промышленных, транспортных и других секторов, находящихся в городах и на территориях, прилегающих к ним, электроэнергией.

Системы ЭСГ включают в себя:

- источники питания;
- питающие сети 10 кВ;
- распределительные сети 10 кВ;
- внутренние сети напряжением до 1 кВ.

Перед началом проектирования и реконструкции городских электрических сетей необходимо ознакомиться с рядом требований:

– системой ЭСГ бесперебойное питание потребителей электроэнергии должно обеспечиваться в пределах требуемых показателей качества электроэнергии, а так же её безопасностью;

– предлагаемая схема электрической сети должна быть экономически обоснованной, то есть иметь экономическую выгоду, включать в себя оборудование относительно недорогую по стоимости и иметь минимальные затраты на строительство и последующее содержание эксплуатируемой проектируемой сети;

– возможность дальнейшего расширения и развития электрической сети без ее коренного переустройства должна быть учтена.

Однако, на сегодняшний день не все эксплуатируемые электрические сети и энергетические системы соответствуют этим требованиям и

поддерживают необходимую надежность и качество электроэнергии на необходимом уровне. На некоторых эксплуатируемых подстанциях установлено электрооборудование с превышенным сроком эксплуатации, в соответствии с нормативами, а часть схем распределительных сетей не удовлетворяют критериям надежности и качества электроэнергии. Вследствие чего возникают недопустимые незапланированные отключения электроэнергии, которые в условиях нынешних условий функционирования городских систем являются неприемлемыми.

Для обеспечения передачи электроэнергии по сетям электроснабжения, с высокой надёжностью и качеством, для потребителя, требуется тщательный подход к реализации непрерывного контроля и управления над режимами объектов находящих в эксплуатации электроэнергетической системы.

Техническая политика в области развития электросетей и систем электроэнергетической отрасли требует учитывать возможность усовершенствования и расширение электросетевого хозяйственного комплекса при возможности использования для управления процессом распределения электроэнергии интеллектуальных систем.

Целями этой политики в области энергетики являются: эффективное проведение управления системами электросетевого хозяйства, стремление к обеспечению надёжного и безопасного электроснабжения потребителей, при оптимальных условиях этих систем. Выполнение установленной цели достигается решением следующих задач:

- развитие возможностей управления сетями и применение современных методов для планирования и развития сетей;
- устранение проблемы старения электрооборудования путём увеличения масштабов реконструкции и технического перевооружения;
- применение современных технологических решений в системах управления, обслуживания и защиты оборудования, передачи информации, связи и систем учета электроэнергии, а так же использования автоматизированных систем управления;

- эксплуатация объектов с применением современных средств диагностики, технических и информационно-измерительных систем;
- использование новых технических решений и технологий для обеспечения современного высокого технического уровня сетей;
- снижение затрат эксплуатации и фактических потерь электроэнергии в сетях, с целью эффективности функционирования сетевых объектов;
- обеспечение деятельности по улучшению нормативно-технических и методических методов обслуживания объектов электроэнергетических систем и электросетей.

Поставленные задачи можно решить путём решения проблемы реализации различных математических моделей с помощью информационных технологий, которые будут способны заменить устаревшие существующие методы решения задач вручную. Решение таких больших и комплексных задач для инженеров занимает большое количество времени и вместе с этим имеют риск решения этих задач с получением ошибочных результатов, в основном из-за человеческого фактора.

Основные нагрузки городской электрической сети приходятся на различных бытовых и коммунально-бытовых потребителей. На первом этапе проектирования систем электроснабжения городов производится расчёт электрических нагрузок потребителей, в ходе которой определяется расчётная нагрузка. Расчётной нагрузкой называют нагрузку, по которой определяют данные для выбора оборудования, применяемого на различных объектах электросети, мощность источников питания, питающих электроэнергетические системы и сети, сечение кабелей и проводов, мощность трансформаторов, необходимых для начала функционирования систем электроснабжения, а так же осуществляют проверку полученных данных по соответствию условиям качества и надёжности электроснабжения.

Одной из особенностей расчёта в системах электроснабжения городов является то, что электротехнические характеристики электроприемников и их данные могут быть не известны.

Распределение потребителей, в зависимости от характера их нагрузок, входит в основу определения расчетных электрических нагрузок потребителей.

По характеру нагрузок, потребители различаются на:

- бытовые;
- коммунально-бытовые;
- промышленные.

Следует учитывать, что в коммунально-бытовые нагрузки входят общественные здания и сооружения, объекты ЖКХ и городской электрифицированный транспорт.

Электрическая сеть при проектировании должна соответствовать необходимым требованиям в надёжности сети. Это означает, что проектируемые сети должны выполнять заданные функции и сохранять необходимые показатели эксплуатации, иметь полезный отпуск, а так же наилучшее качество электропитания. Требования по надёжности и качеству электропитания потребителей определяются категориями электроприемников.

Различают следующие категории электроприемников:

1) Первая категория электроприемников – нарушение снабжения электроэнергией этих приемников, может создать опасность для жизни, значительный ущерб и повреждения народному хозяйству, основному оборудованию, нарушение технологического процесса и массовый брак продукции, неполадки в функционировании особо важных элементов коммунального хозяйства. Данная категория электроприемников должна обеспечиваться электроэнергией от двух взаимно резервирующих и независимых источников питания. Нарушение электропитания данной категории возможно только на время автоматического ввода резервного питания.

2) Особая группа электроприемников – внезапное нарушение электропитания данных электроприемников, создают угрозу для жизни людей или могут привести к крупным разрушениям основного оборудования объекта электросетевого хозяйства. Для избегания подобной ситуации

предусматривается аварийный взаимно резервирующий и независимый источник питания. Мощность такого источника должна быть достаточна для безаварийной остановки производства, он автоматически должен включаться при исчезновении напряжения на основных источниках питания.

3) Электроприемники второй категории – нарушение электроснабжения данных электроприемников может вызвать массовый недоотпуск продукции, нарушением работы рабочих, механизмов, а так же промышленного транспорта, деятельности значительного количества городских и сельских объектов электросетевого хозяйства. Вторую категорию электроприемников обеспечивают электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Допустимо нарушение электропитания на время, необходимое для окончания работ дежурного персонала или выездной бригадой по включению резервного питания. Электроснабжение электроприемников второй категории можно осуществить по одной воздушной линии или кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, при условии обеспечения возможности для проведения ремонта линии или замены поврежденного трансформатора в течение суток, питание можно осуществлять от одного аппарата, или от одного трансформатора.

4) Электроприемники третьей категории – электроприемники не подходящие под условия остальных категорий. Эта категория электроприемников, при условии, что необходимый перерыв для ремонта и замены повреждённого элемента сети не превышает суток, может питаться от одного источника питания.

Из вышперечисленного можно сделать вывод, что каждая категория электроприемников и их взаимосвязи в схемах электросети имеет большое значение в эксплуатации как отдельных энергетических систем, так и Единой энергетической системы в принципе. Категории потребителей играют большую роль в формировании существующих и проектируемых электросетей, а так же планов по развитию и расширению систем, так как каждая категория приемни-

ков влияет на техническое и качественное исполнение объектов сетевого хозяйства, а так же будущую эксплуатацию объектов электросети.

Одним из наиболее важных этапов проектирования электрической сети, является выбор наилучшего варианта схемы проектируемой сети. Нахождение нужного варианта электрической сети является результатом работы инженера-проектировщика. Выбор схемы сети не должен заканчиваться чисто геометрическим ее построением, так как в выборе схемы должны быть заложены идеи, направленные на лучшее электроснабжение потребителей, с наименьшими затратами на её сооружение и эксплуатацию. Так же должно учитываться количество потребляемой энергии у приемников, качество электроснабжения, удобство и безопасность эксплуатации сети, возможность ее дальнейшего развития при подключении новых потребителей. Поэтому при разработке схемы необходимо учитывать экономичность технических решений, проектируя, как правило, несколько наиболее целесообразных вариантов, следуя следующим принципам составления вариантов схем электроснабжения:

- исключение обратных перетоков мощности в разомкнутых сетях;
- разветвление электрической сети целесообразно осуществлять в узлах нагрузок;
- должен быть только один уровень номинального напряжения в кольцевых сетях;
- исключение объединения маломощных подстанций с крупными в замкнутых сетях;
- желательно обеспечить связность сети по возможности;
- проектируемые варианты сети должны предусматривать обеспечение требуемого уровня надежности электроснабжения;
- магистрально-радиальные сети, по сравнению с кольцевыми имеют большую протяженность ВЛ в одноцепном исполнении, но менее сложные схемы распределительных устройств, меньшую стоимость потерь электроэнергии, кольцевые сети более надежны и удобны при оперативном исполнении;

– в пунктах потребления необходимо предусмотреть возможность увеличения электрических нагрузок;

– технический вариант электрической сети должен быть осуществимым, т.е. должно существовать электрооборудование, выпускаемое промышленностью на рассматриваемые нагрузки, сечение линий, уровни напряжения и т.д..

При одинаковых характеристиках сети, например номинальном напряжении, выбор производится на основе сравнения: длин линий, длин трасс линий, протяженности двухцепных линий, числа выключателей на подстанциях, значений наибольшей потери напряжения, надежности электроснабжения потребителей, гибкости сети, возможности производить переключения без перерывов в электроснабжении, а так же рассматривая перспективы расширения проектируемой сети.

Длина ВЛ и трасс определяется с учетом непрямолинейности этих ВЛ и трасс. К действительной длине ВЛ и трасс прибавляется 10% длины, измеренной по прямой линии. В процессе предварительных расчётов уровня напряжения на подстанциях, уровень потерь напряжения можно признать удовлетворительным в тех случаях, когда при нормальном режиме сети потери не превосходят 15%, а в послеаварийных режимах – 20%. При сравнении вариантов с разными напряжениями, дополнительно сравниваются капиталовложения, необходимые для их выполнения. Однако основным применяемым методом в сравнении предложенных вариантов электрических сетей является метод сравнивающий преимущественно похожие варианты сетей – повариантный метод.

Повариантный метод сравнения вариантов – это метод сравнения, согласно которому на несколько групп все предложенные конфигурации схем разбиваются по схожести. Данный метод часто применяется в проектной практике. Суть использования этого метода заключается в том, что предложенные конфигурации схем сравниваются по таким важным параметрам в расчёте экономической привлекательности как: длина линий, количество линий питающих объекты электросети, количество устанавливаемого оборудования, наличием возможности резервного питания части схемы в случае аварийного режима, техни-

ческой и экономической составляющей сети и объектов электроснабжения и т.д.. Вместе с использованием повариантного метода сравнения вариантов, перед его применением, проектировщики и инженеры используют общие принципы проектирования сети, которые должны обеспечивать её экономическую целесообразность. Только после проектирования будущих или развивающихся электроэнергетических систем в разных конфигурациях согласно общим принципам проектирования, происходит повариантное сравнение предложенных конфигураций.

Общие принципы проектирования экономически целесообразной сети электроэнергии:

- по возможности, схема сети должна быть простой, и передача электроэнергии потребителям должна осуществляться по кратчайшему пути, это обеспечивает снижение стоимости сооружения линий и потерь мощности и электроэнергии;

- трансформации напряжения в электрической сети, по количеству, должны стремиться к минимуму, это снизит установленную мощность необходимую для трансформаторов и автотрансформаторов, а также уменьшит потери мощности и электроэнергии на подстанциях;

- в схемах электросети величины номинального напряжения должны обеспечивать выполнение технических ограничений электрооборудования линий и подстанций, а так же качество электроснабжения потребителей.

Требованием к системе электроснабжения в схеме и конструктивном исполнении является обеспечение возможности развития системы электроснабжения, в случае увеличения числа потребителей электроэнергии без существенного изменения системы электроснабжения, так же необходимо учитывать различные категории потребителей по требованиям надёжности и безопасности электроснабжения. Эти требования не должны нарушаться при проектировании и реализации во время развития электроэнергетической системы.

Соблюдение этих требований реализуется с помощью выбора схем электрических соединений. Схемы электрических соединений выбирают, с учетом следующих факторов:

- тип проектируемой подстанции;
- категоричности потребителей электрической энергии по надежности электроснабжения;
- уровней напряжения;
- количества питающих линий и отходящих присоединений;
- величин токов короткого замыкания;
- экономичности принимаемых вариантов;
- гибкости и удобства в эксплуатации;
- безопасности в обслуживании.

Так же при выборе соединений учитываются следующие особенности систем электроэнергетического снабжения, эти особенности связаны с такими параметрами схем как: номинальное напряжение на присоединениях, схемах работы объектов электроснабжения, наличием различных защитных аппаратных устройств, используемых для предохранения работы этих объектов, например выключатели, разъединителей и т.д..

Если количество присоединений на стороне 110 кВ является малым, то в этом случае применяют упрощенные схемы. В этих схемах отсутствуют сборные шины, а так же уменьшено число выключателей. Так же в некоторых упрощённых схемах не предусматривают выключатели высокого напряжения. Упрощенные схемы позволяют уменьшить затраты на сооружение и обслуживание электрооборудования, снизить стоимость строительного материала, распределительного устройства, а так же ускорить сооружение и монтаж необходимого оборудования.

На трансформаторных подстанциях 110 кВ, при наличии двух и более трансформаторов применяются схемы блоков трансформатор-линия, которые снабжены неавтоматической перемычкой из двух разъединителей, один из которых в нормальном режиме должен быть отключен, это необходимо для

большой гибкости в эксплуатации подстанции. В ТП 35-220 кВ применяются блочные схемы, в этих схемах соединение элементов электроустановки выполняется последовательно, без поперечных связей с другими блоками.

В схемах трансформаторных подстанций 6-10 кВ, наиболее часто используются простой схемой электроустановок, которой является схема с одной системой сборных шин с разделением сборных шин на секции. Число сборных шин, как правило, соответствует числу источников питания. У промышленных предприятий подстанции с секционным выключателем обычно отключены выключатели в целях ограничения токов короткого замыкания в нормальном режиме.

1.2 Используемые математические модели и методы

Основными применяемыми в работе математические модели и методы, являются формулы для расчёта ряда характеристик в электрической сети, например, общей мощности потребления энергии, активной мощности, токов в сети, сопротивлений и т.д..

Особенностью расчёта в городских системах является то, что расчёт производится с помощью метода удельных электрических нагрузок.

Основные формулы, используемые для расчёта параметров электрических сетей:

$$P_p = P_{n,уд} \cdot n, \quad (1)$$

Формула для расчёта активной нагрузки потребителей, где $P_{n,уд}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка.

$$P_{кв} = P_{кв,уд} \cdot n, \quad (2)$$

Формула для расчёта активной нагрузки жилых домов, где $P_{кв,уд}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка жилого дома, n – количество квартир в доме.

После расчёта активной нагрузки потребителей для полного расчёта нагрузки каждого потребителя, необходимо определить реактивную нагрузку потребителей.

Формула для расчёта реактивной нагрузки потребителей:

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi, \quad (3)$$

Полученное значение применяется для расчёта полной нагрузки объекта.

Полная расчетная нагрузка потребителей рассчитывается по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (4)$$

После определения данных по потребителям электроэнергии расчёт системы электроснабжения переходит к расчёту характеристик и выбору такого оборудования сети, как трансформатор.

Трансформатором является электромагнитным аппаратом, который предназначен для изменения величины переменного тока с высокой стороны напряжения, который аппарат принимает по цепи электроснабжения, на величину переменного тока другого напряжения, находящегося на низкой стороне, который передаёт электричество дальше по цепи электроснабжения, данный процесс называется трансформацией напряжения.

Устройство трансформатора как правило состоит из неподвижных обмоток проводов, число таких обмоток может быть больше двух состоит из двух. Эти обмотки располагаются на ферромагнитном проводе. Ток, проходящий через обмотки, формирует магнитное поле которое создаёт магнитную связь между обмотками по переменному магнитному полю. Процесс трансформации тока и напряжения на трансформациях связан с количеством обмотки на ферромагнитном проводе, так как она предназначен для усиления магнитной связи между обмотками.

Поэтому трансформатор, устанавливаемый на повышающих, понижающих и распределительных подстанциях, считается важнейшим оборудованием на подстанции и считается как один из важнейших, среди прочих важных, элементов электрической сети и энергоснабжения в целом. Одним из отличительных свойств применения трансформатора в электроэнергетических системах связано с возможностью передачи электроэнергии с мест её производства до мест её распределения и потребления на большие расстояния, а так же возмож-

ность её трансформации в шестикратном размере для повышающих и понижающих трансформаторных подстанций.

Поэтому правильный и точный расчёт характеристик трансформатора очень важен для точного определения технического состава и дальнейшего определения функционирования сети.

Согласно нормативным правилам по эксплуатации трансформаторов, трансформаторы на понижающих ПС рекомендуется выбирать из условия допустимой перегрузки до 70-80% на время послеаварийных режимах. Длительность допустимой перегрузки в таком случае по продолжительности не должна быть более 6 часов в течение не более 5 суток в период суточного максимума потребления электроэнергии. С потребителями первой категории как составляющие часть нагрузки на ПС число устанавливаемых трансформаторов должно быть не менее двух.

Для начала расчёта выбираемого трансформатора на подстанции необходимо решить задачу по нахождению коэффициента перегрузки трансформатора при условиях возникновения самой крупной возможной аварии, для проектируемой подстанции, этот коэффициент называется – коэффициент аварийной перегрузки. Перед нахождением значения коэффициента аварийной перегрузки для трансформаторов необходимо воспользоваться правилами устройства электрооборудования. Согласно правилам устройства электрооборудования трансформатор на подстанции можно перегружать на 40% на время максимумов потребления электроэнергии общей продолжительностью 6 часов в сутки в течение не более 5 суток, при возникновении аварийного режима, такой режим может возникнуть, например, в случае выхода из строя одного из трансформаторов на подстанции или иного оборудования. Однако коэффициент загрузки трансформатора, при нормальном режиме его работы во время суточного максимума нагрузки на сеть потребителями, должен находиться в пределах от 0,7 до 0,9.

$$S_{\text{прп}} \geq S_p / (K_3 \cdot N), \quad (5)$$

Формула для расчёта мощности трансформаторов, где K_3 – номинальный коэффициент загрузки трансформатора (0,7-0,9), N – количество трансформаторов.

Номинальная мощность одного трансформатора находится по формуле, МВА:

$$S_{расч} = \frac{S_{ВН}}{0,7} \quad (6)$$

Формула для нахождения коэффициента эффективной загрузки трансформатора:

$$K_{эф} = S_p / (S_{нтр} \cdot N), \quad (7)$$

где $S_{нтр}$ – номинальная мощность трансформатора;

N – количество трансформаторов.

Перегрузка обычно является симметричным режимом трансформатора, характеризующимся появлением сверхтоков во всех фазах. Поэтому защита от перегрузки выполняется одним реле тока. Защиту от перегрузки устанавливают со стороны питания.

Перегрузка трансформаторов обычно, бывает симметричной. Поэтому защита от перегрузки выполняется с помощью максимальной токовой защиты, включенной на ток одной фазы. Защита действует с выдержкой времени на сигнал, а на необслуживаемых подстанциях – на разгрузку или отключение трансформаторов.

Защита от перегрузок для двухобмоточных трансформаторов устанавливается со стороны основного питания, для трехобмоточных трансформаторов она должна устанавливаться со стороны основного питания и обмотки, где питание отсутствует. В случае если трёхобмоточный трансформатор питается с трёх источников питания, то защита от перегрузок устанавливается всех трех сторон.

Оборудованием, которым происходит снабжение потребителей электроэнергией, является линией электропередач, сокращённо ЛЭП. Для выбора тех-

нического и конструктивного исполнения линий передачи электроэнергии необходимо рассчитать токи короткого замыкания.

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{осн}}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (8)$$

Формула для расчёта тока короткого замыкания, где Z – полное сопротивление до точки КЗ, ОМ, $U_{осн}$ – напряжение в сети.

Затем после расчёта токов КЗ происходит расчёт определяющий выбор сечения ЛЭП их конструктивное исполнение, в конструктивное исполнение: входит тип линий, способ прокладки, их марка, типы защиты и изоляции и т.д.. После этого расчёта выбирается необходимое количество линий для питания потребителей. При этом мощность распределяется по возможности равномерно, чтобы обеспечить схеме большую гибкость при оперативных включениях и отключениях. Трасса линии выбирается так, чтобы не загромождать проезжую часть и обходится без дополнительных опор при устройстве вводов в здания.

Размер сечения провода, является важным параметром ЛЭП, чем больше его размер сечения, тем больше для линий электропередач увеличиваются затраты на сооружение, а так же амортизационные отчисления.

Методом экономических токовых интервалов производится выбор сечения ЛЭП. Пригодность сечений, выбранных данным методом, производится расчетом физических величин проводов при послеаварийном режиме.

Ещё один метод для выбора сечения, является выбор сечения по расчетному току, после выбора сечения таким методом происходит проверка выбранного сечения проводов на величину потери напряжения. Линии которые работают при нормальном режиме параллельно, вместо обычного расчётного тока при нормальном режиме используют расчётный ток для послеаварийных режимов, который получается в ходе проводимых расчётов.

В зависимости от величины расчётного тока, по справочным данным определяют ближайшее стандартное сечение для рассчитываемого провода, затем выбранное сечение сопоставляется с конкретными условиями среды и способа прокладки проводов.

Расчетный ток для упомянутого метода определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_{p.l}}{U_n \cdot \sqrt{3}}, \quad (9)$$

где $P_{p.l}$ – расчетная нагрузка линии, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ.

По значению, полученному в ходе решения формулы (9) расчетного тока определяется сечение линий. Этот выбор происходит с помощью применения справочных материалов, с которыми и сравнивается выбранное сечение, а также выбираются остальные характеристики ЛЭП, например, их конструктивное исполнение для необходимого соблюдения установленных требований. После проведения выбора, сечение провода должно быть проверенно:

- по условию нагрева, на допустимые токовые нагрузки в нормальном и послеаварийном режимах;
- по токам КЗ, на термическую стойкость;
- по потребителю, на допустимое отклонение напряжения;
- при возникновении однофазных, междуфазных КЗ и перегрузках на надежное срабатывание плавких предохранителей или автоматических выключателей.

Так же каждое сечение имеет дополнительные проверки в зависимости от номинального напряжения сети, в которых будет эксплуатироваться линии электропередач. Выбранные сечения кабелей в сети 10 кВ, питающей между собой трансформаторные подстанции от РП проходят проверку по допустимой потере напряжения, как и кабели в сети 0,4 кВ. Согласно ГОСТ 32144-2013 отклонение напряжения не должно превышать $\pm 5\%$ в нормальном режиме, и $\pm 10\%$ в аварийном режиме.

Потеря напряжения в линиях определяется по формуле.

$$\Delta U = \frac{I \cdot L \cdot \sqrt{3}}{U_{ном}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где I – рабочий максимальный ток, А;

L – длина линии в км;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, кВ;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивление Ом/км.

В сетях от 6 до 20 кВ рациональным напряжением считается напряжение в 10 кВ, так как в таких сетях, как правило, нет высоковольтных потребителей, вся нагрузка в сети является низковольтной.

Сети в 10 кВ обычно прокладываются кабельными линиями. В основном потому что такие сети находятся на небольшом расстоянии от ГПП и возведение ЛЭП для обеспечения электроэнергией будет нерациональным, с точки зрения экономических затрат и требований безопасности.

По техническим и экономическим условиям выбирают жилы кабелей и размер их сечения. В технические условия по выбору сечений относят, нагрев расчетным током, условия коронирования, механическую прочность, нагрев от тока КЗ вызывающий кратковременный нагрев кабеля, потерю напряжения при нормальном и послеаварийном режимах. В условия экономического выбора сечений относят, приведенные затраты на сооружение линий, данные затраты должны быть минимальными.

В сети до 20 кВ на территории городов в их селитебной зоне, а так же в районах застройки, где располагаются здания с высотой четыре этажа и выше, должны выполняться, как правило, кабельными линиями электроснабжения. В остальных случаях по районам застройки ЛЭП следует, как правило, выполнять воздушными линиями.

После выбора сечения, происходит выбор марки провода, который должен соответствовать требованиям надёжности исходя из исправной эксплуатации при следующих климатических условиях: условия по толщине гололедных образований, ветровому давлению, грозовой активности, интенсивности «пляски» проводов, рельефу местности. Так же в соответствии с этими параметрами выбираются унифицированные опоры.

Для воздушной линии используется различная линейная арматура, при сооружении унифицированных опор. К линейной арматуре используемой для

ВЛ относятся: изоляторы штыревые и подвесные, гирлянды в виде сцепки изоляторов, различные крепления изоляторов к опорам, молниезащитные тросы. Перечисленная линейная арматура выбирается по соответствию арматуры ее конкретным назначением, номинальным напряжением ВЛ, маркам проводов и их числа в расщепленных фазах и т.д.

Отсутствие условий по коронированию для выбора жил кабелей обуславливается тем, что стандартные сечения кабелей, а так же их марок заранее обеспечивает отсутствие коронирования.

Так же для кабеля не происходит выбор сечения по механической прочности, так как минимальное стандартное сечение и марки кабелей заранее удовлетворяет этому условию.

Если кабельная линия будет иметь релейную защиту, то в таком случае, при выборе сечения кабельной линии электропередач, так же начинают учитывать воздействие тока КЗ на ЛЭП. Если кабельные линии, будут иметь защитные плавкие токоограничивающие предохранители, то тогда при срабатывании КЗ выделяемое тепло не будет в состоянии нагреть кабель до высокой опасной температуры, так как время срабатывания таких предохранителей очень мало и поэтому термическую стойкость кабелей с такими предохранителями к токам КЗ не проверяют.

В результате проводимых расчётов можно получить множество вариантов выбираемого оборудования. Сопоставление этих вариантов осуществляется в сравнения результате расчетов экономической эффективности. Расчёт экономической эффективности происходит путём определения экономических составляющих каждого объекта принимающего участия в работе электроэнергетической системы, к этим экономическим составляющим относятся: капитальные вложения в трансформаторы на ПС, линий электропередач соединяющих ПС и потребителей, расходы на эксплуатацию оборудования за год, издержки на амортизацию, затраты на ремонт, экономические потери энергии, доходность, периоды и сроки окупаемости и т.д.. Критерием экономики, которым оп-

ределяют наилучший вариант выбираемого оборудования, является минимальные приведенные экономические затраты.

Минимальные приведенные экономические затраты определяются по следующей формуле:

$$Z = E_H \cdot (K + I), \quad (11)$$

где K – капитальные вложения, тыс.руб.; необходимые для сооружения сети, причем предполагается, что ее строительство будет продолжаться не более одного года;

I – ежегодные эксплуатационные расходы, тыс.руб./год; предполагаемые неизменными в течении всего рассматриваемого периода эксплуатации;

E_H – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений; $E_H = 0,125$ 1/год.

Для трансформаторных подстанций размер капитальных вложений в сооружение подстанции определяются по формуле:

$$K_{\Sigma TP} = K_{TP} + K_{IP} + K_{СМР}, \quad (12)$$

где K_{TP} – капиталовложения в силовые трансформаторы, тыс. руб.;

$K_{СМР}$ – стоимость строительно-монтажных работ (50%), тыс.руб.;

K_{IP} – прочие затраты (5%), тыс.руб..

Для прокладки ЛЭП размеры капитальных вложений при сооружении этих линий зависят от затрат на подготовительные работы по исследованию будущей территории и подготовке её прокладке линий и подготовка к возведению трасс. Расчёт капитальных затрат на провода, опоры, изоляторы и прочего оборудования, а так же на их транспортировку к месту их установки, монтажные и другие работы зависят от экономических характеристик провода, и условий его эксплуатации.

$$K_{ВЛ} = K_{ВЛО} \cdot l \quad (13)$$

где $K_{ВЛО}$ – удельная стоимость сооружения одного километра линии.

В результате расчёта этих формул определяются данные, которые используются как основа для дальнейшего расчёта экономических характеристик с целью определения остальных важных экономических характеристик для исследуемой системы электроснабжения в целом. К этим экономическим характеристикам относятся такие характеристики как: амортизационные отчисления, ежегодные затраты на ремонт, ежегодные затраты на обслуживание и эксплуатацию, сроки окупаемости системы и т.д..

Издержки на амортизацию или же амортизационные отчисления представляют собой денежное выражение стоимости основных фондов в себестоимости продукции и определяются по выражению:

$$I_{ам} = K_{\Sigma TP} \cdot \alpha_{ам}, \quad (14)$$

где $K_{\Sigma TP}$ – капитальные вложения, руб.;

$\alpha_{ам}$ – нормы отчислений на амортизацию в год, о.е.

В свою очередь, нормы отчислений на амортизацию определяются как:

$$\alpha_{ам} = \frac{1}{T_{сл}}, \quad (15)$$

где $T_{сл}$ – срок службы оборудования.

Ежегодные затраты на текущий и капитальный ремонт, а также техническое обслуживание энергетического оборудования определяются по формуле:

$$I_{экс} = K_{\Sigma TP} \cdot \alpha_{экс}, \quad (16)$$

где $\alpha_{экс}$ – нормы отчислений на обслуживание элементов электрических сетей и ремонты в год, о.е.

Расчёт затрат на потерю электроэнергии является одним из важных параметров технико-экономического расчёта, так как она позволяет определить издержки при эксплуатации оборудования в сетях, а так же издержки на ремонт оборудования и экономические потери, которые тоже учитываются при общем расчёте издержек при сооружении или обслуживании системы.

Потери энергии за год в трансформаторах находятся по формуле:

$$\Delta W_{\text{тр}\Sigma\text{ТП}} = \Delta W_{\text{ХХ}} + \Delta W_{\text{КЗ}}, \quad (17)$$

$$\Delta W_{\text{тр}\Sigma\text{ТП}} = 2 \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot K_3^2 \cdot \tau. \quad (18)$$

где $\Delta W_{\text{ХХ}}$ – холостые потери электроэнергии за год,

$\Delta W_{\text{КЗ}}$ – потери электроэнергии при возникновении КЗ,

$\Delta P_{\text{ХХ}}$ – потеря мощности при холостом ходе,

$\Delta P_{\text{КЗ}}$ – потери мощности при КЗ.

Определяем стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах:

$$I_{\Delta W} = \Delta W_{\text{тр}\Sigma\text{ТП}} \cdot C_{\Delta W}, \quad (19)$$

где $C_{\Delta W}$ – удельная стоимость потерь электроэнергии.

Эксплуатационные издержки необходимые для обеспечения эксплуатации оборудования электрических сетей в течение одного года, является вторым важным технико-экономическим показателем. Он определяется сложением издержек на эксплуатацию, амортизацию и стоимости потерь электроэнергии.

Определяем ежегодные эксплуатационные расходы:

$$I = I_{\text{экс}} + I_{\text{ам}} + I_{\Delta W}, \quad (20)$$

Определение себестоимости передачи электрической энергии в исследуемой сети, осуществляется после расчёта основных эксплуатационных расходов и расчёта потерь электроэнергии. Данный показатель является одним из основных показателей окупаемости проекта наравне с другими, поэтому этот показатель очень важен.

Определение себестоимости передачи электрической энергии определяются по формуле:

$$C = \frac{I_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} \quad (21)$$

где I_{Σ} – суммарные издержки для всего варианта с учётом потерь электрической энергии;

W_{Σ} – среднегодовое электропотребление проектируемой сети.

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{cpi}^3 \cdot T_3 + \sum_{i=1}^n P_{cpi}^л \cdot T_л \quad (22)$$

где P_{cpi}^3 и $P_{cpi}^л$ – средняя зимняя и летняя активная мощность.

После этого можно перейти к главному технико-экономическому показателю системы электроснабжения – окупаемости системы. Окупаемость системы электроснабжения разделяется на простой срок окупаемости и период окупаемости. Отличием простого срока окупаемости от периода окупаемости отличается тем, что простой срок окупаемости не учитывает всех издержек при строительстве и эксплуатации системы.

Простой срок окупаемости находится по формуле:

$$T_{ок.} = \frac{K}{Пч + Иам} \quad (23)$$

Где K – капиталовложения;

$Пч$ – чистая прибыль;

$Иам$ – амортизационные издержки.

Перед расчётом простого срока окупаемости системы электроснабжения, необходимо рассчитать чистую прибыль от эксплуатации исследуемой системы. В учёте чистой прибыли системы входят учёт доходов от снабжения энергии и вычет из доходов различных издержек и налогов.

Чистая прибыль определяется по следующей формуле:

$$Пч = O - И - Н \quad (24)$$

Где O – доход от полезного отпуска;

$И$ – суммарные издержки;

$Н$ – налог на прибыль.

Налог на прибыль равен:

$$Н = 0,2 \cdot (O - И) \quad (25)$$

Доход от полезного отпуска можно определить по формуле:

$$O = W_{\Sigma} \cdot T \quad (26)$$

Где W – полезный отпуск;

T – значение тарифа на услуги по передачи электроэнергии по сетям.

Как уже было сказано выше, в отличие от простого срока окупаемости, полный период окупаемости системы электроснабжения полностью учитывает все существующие затраты и издержки при строительстве и эксплуатации системы.

Формула для нахождения полного периода окупаемости:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{3 - И}; \quad (27)$$

1.3 Анализ программных комплексов и их сравнение

Программным комплексом – является набор технических и программных средств согласованных по функциям и форматам, имеющие единообразные точно определённые интерфейсы, совместно работающие для решения поставленных задач.

В настоящее время в Российской Федерации и в странах СНГ преимущественно используются несколько основных программных комплексов для решения электросетевых задач:

1. RastrWin – ООО «Фонд кафедры АЭС им. Д.А. Арзамасцева» г. Екатеринбург.
2. Mustang – ВДЦ Балтии, Латвия.
3. DAKAR – ELEKS Software Представительство в СНГ – Львов, Украина.
4. АНАРЭС-2000 – ООО «ИДУЭС» и ЗАО «Энергетические технологии».
5. PSS/E – компания Siemens, Германия.
6. DigSilent – компания DigSILENT GmbH, Германия.
7. EUROSTAG – компания Tractebel Engineering, Бельгия.

Эти программные средства характеризуются наличием определённых особенностей. Часть из этих особенностей характерна только для определённых программных комплексов, и в тоже время есть некоторые общие черты, которые имеют все ПО для решения электросетевых задач энергетики.

Одной из таких черт является направленность указанного ПО в проведении работы, по получению необходимых результатов, используя для этого исходные данные, с которыми пользователь работает, которые задаются в типичном для таких программ текстовом виде, по средством таблиц используемых для проведения основной работы в программных комплексах

Для оценки их функциональных возможностей были изучены документации пользователей перечисленных программных комплексов для расчёта режимов.

Из проведённого анализа документации были сделаны выводы, что наиболее функциональными программными комплексами являются DigSilent, PSS/E, АНАРЭС-2000 и DAKAR – они позволяют решать большой объём электросетевых задач. Программный комплекс RastrWin используют для расчёта и анализа установившихся режимов и их повреждений. Mustang и EUROSTAG предназначены для проведения анализа устойчивости статической и динамической системы.

Однако не каждое ПО имеет поддержку русского языка. Из-за этого применение перечисленных программных комплексов на территории РФ сильно усложняется ввиду малого понимания принципов, возможностей, функций и интерфейса ПО для обычного пользователя.

Поскольку анализа функциональности недостаточно для полной оценки программных комплексов, так же была осуществлена оценка их достоинств и недостатков.

RastrWin:

Достоинства: Интерфейс программы с возможностью применения различных алгоритмов, макросов и создания формул для расчёта режимов, а так же импорт и экспорт полученных данных в файл Excel.

Недостатки: Отсутствие библиотек электросетевых элементов. Неудобное воссоздание схем в графическом виде.

Mustang:

Достоинства: Простой в использовании, бесплатное распространение программного средства, возможность задания характеристик автоматики.

Недостатки: Неудобное графическое отображение данных, отсутствие готовых наборов автоматик.

DAKAR:

Достоинства: Наличие базы данных сетевых элементов, многофункциональность.

Недостатки: Неудобный интерфейс и отсутствие возможности вести историю изменений схемы замещения.

АНАРЭС-2000:

Достоинства: Наличие базы данных сетевых элементов, многофункциональность.

Недостатки: Неудобный интерфейс и отсутствие возможности вести историю изменений схемы замещения.

PSS/E:

Достоинства: Совмещение исходных данных с сервисами Google и графическое отображение электрических сетей.

Недостатки: Отсутствие русскоязычного интерфейса и невозможность адаптации для использования в электрических сетях Российской Федерации.

DigSilent:

Достоинства: Моделирование рынка генерации, передачи и распределения электроэнергии.

Недостатки: Отсутствие русскоязычного интерфейса, отсутствие библиотеки электросетевых элементов и невозможность адаптации для использования в электрических сетях Российской Федерации.

EUROSTAG:

Достоинства: Возможности задавать данные для расчёта переходных процессов нетрадиционных источников питания электроэнергией, а так же наличие готового набора различной автоматики для применения в схемах.

Недостатки: Необходимость в полном задании необходимых характеристик для каждого элемента, чтобы реализовать моделирование возможных переходных процессов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ ПК

Функции	Rastr Win	DAKAR	АНАРЭС	DigSILENT	EUROSTAG	Mustang	PSS/E
Расчет электрического режима	+	+	+	+	+	+	+
Расчет токов короткого замыкания	+	+	+	+	-	+	+
Оптимизация режима	+	-	-	+	-	+	-

Продолжение таблицы 1

Эквивалентирование схемы энергосистемы	+	+	+	-	-	+	+
Наличие стандартных моделей РЗ и ПА	-	+	+	-	-	-	+
Наличие базы элементов электрической сети	-	+	+	-	-	-	+
Расчет электромагнитных переходных процессов	-	-	-	-	+	-	-
Расчет электромеханических переходных процессов	-	+	+	+	+	-	+
Ограничения на размерность математической модели	-	-	-	-	+	-	-

Проанализировав выше представленные программные комплексы можно сделать следующие выводы:

1. Программные комплексы имеют незначительные различия, связанные с представлением исходных данных и возможностями их экспорта и импорта.

2. Программные комплексы производства СНГ, имеют, как правило, узкую направленность на конкретные технологические задачи.

3. Продукты зарубежного производства позиционируются как комплексные инструменты, способные решать большинство режимных задач, а так же на решение задач технико-экономического анализа систем электроснабжения в условиях рынка электроэнергии.

В связи с этими выводами, становится понятно, что наиболее комплексным и оптимальным решением электросетевых задач является разработка программного комплекса, способного на решение большого количества электросетевых задач.

Решением данной задачи является разработка программного комплекса совмещающим в себе решение таких электросетевых задач как:

1. Расчёт электрического режима.
2. Расчёт экономической составляющей электроэнергетической системы.
3. Проектирование электрической схемы снабжения.

Наиболее важным этапом в разработке является определение порядка получения и обработки данных, с целью вывода нужного результата. Основной идеей разработки является переориентирование с традиционного предоставления исходных данных в текстовом виде, на их графическую модель. Вследствие этого необходимо создать программные модели необходимые для графического представления исходных данных. Этими моделями будут являться основные элементы электрической сети, таких как трансформаторы, линии электропередач и типовые потребители.

В связи с этим требуется разработка удобного, простого и интуитивно понятного графического интерфейса программного комплекса с возможностью составления подробной электрической сети, а так же возможностью её анализа и изменения.

Ещё одним требованием к программному комплексу является необходимость возможности исключения полного и подробного предоставления данных по характеристикам каждого элемента сети. Это связано с основными принципами расчёта электрических сетей.

И завершающей идеей разработки программного комплекса является создание экономической базы данных элементов электрической сети, на основе которой будут подбираться экономически обоснованное оборудование в соответствии с требованиями безопасности и качества электроэнергии.

Алгоритмом достижения целей работы, является выполнение следующих задач:

1. Создание математической модели для расчёта основных характеристик электрической сети и её реализация.
2. Создание математической модели для принятия решений по выбору основных элементов электрической сети.
3. Создание математической модели для дальнейшего расчёта параметров электрической сети, на основе выбранных элементов, с целью определения её основных характеристик используемых для анализа устойчивости системы.
4. Создание математической модели для расчёта экономических характеристик электрической сети.
5. Создание удобного графического интерфейса программного комплекса.
6. Отладка и тестирование полученного результата.

2. АРХИТЕКТУРНЫЙ ПРОЕКТ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

2.1 Жизненный цикл. Выбор и обоснование модели жизненного цикла для разрабатываемого программного средства

Жизненный цикл программного обеспечения, это период времени, начинающийся во время принятия решения, когда возникнет необходимость создания необходимого программного обеспечения, который заканчивается в момент его полного завершения эксплуатации. У жизненного цикла есть определённые фазы или этапы. В эти фазы входят весь процесс работы ПО, от начала его проектирования до окончания этапов разработки и тестирования, с введением разработанного ПО в эксплуатацию. Переходы и условия этих переходов от одного этапа к следующему заранее сформулированы. Исключением может являться случай на определённых фазах разработки принимается решение или получение разрешения по продолжению разработки программного продукта.

Моделью жизненного цикла ПО называется структура, в которой определяется последовательность выполнения процессов и их взаимосвязи, а так же других действий и задач на протяжении жизненного цикла.

Она зависит от специфики, масштаба и сложности проекта и специфики условий, в которых система создается и функционирует.

Модель ЖЦ ПО включает в себя:

1. стадии;
2. результаты выполнения работ на каждой стадии;
3. ключевые события — точки завершения работ и принятия решений.

Стадия – часть процесса создания ПО, ограниченная определенными временными рамками и заканчивающаяся выпуском конкретного продукта (моделей, программных компонентов, документации), определяемого заданными для данной стадии требованиями.

Со стадии анализа начинается жизненный цикл разработки программного обеспечения. Во время этой стадии участники процесса обсуждают предъяв-

ляемые к конечному продукту требования. Целью стадии анализа является определение детальных требований к системе конечного продукта, кроме того, все участники разработки ПО согласовывают поставленные задачи и реализацию требований к продукту.

Следующей стадией является – стадия проектирования. На этой стадии процесса создания ПО, руководствуясь согласованными поставленными задачами и требованиями, программисты и системные архитекторы начинают разработку высокоуровневый дизайн системы продукта.

Разнообразные технические вопросы, возникающие в процессе проектирования, обсуждаются со всеми заинтересованными сторонами, включая заказчика. Определяются технологии, которые будут использоваться в проекте, нагрузка команды, ограничения, временные рамки и бюджет. В соответствии с уточненными требованиями выбираются наиболее подходящие проектные решения.

Следующей стадией является – разработка. Эта стадия начинается после утверждения требований и дизайна продукта. На этой стадии процесса создания ПО начинается написание кода программы в соответствии с ранее определенными требованиями.

Все вышеперечисленные стадии жизненного цикла ПО, применяются в любой модели разработки, но их продолжительность и порядок следования могут отличаться в зависимости от вида жизненного цикла ПО.

Существуют следующие виды жизненных циклов ПО:

- каскадная
- итерационная
- спиральная

Жизненным циклом программного средства был выбрана итерационная модель – модель с промежуточным контролем и наличием обратных связей между этапами.

Является альтернативой последовательной модели. Итерационность модели проявляется в обработке ошибок. При возникновении ошибки следует повторить все предыдущие этапы.

По мере проведения каждой итерации, программное средство и её система совершенствуется, обретает функционал соответствующий установленным требованиям, который был заранее оговорён всеми участниками разработки ПО, в итоге получая финальную рабочую версию ПО.

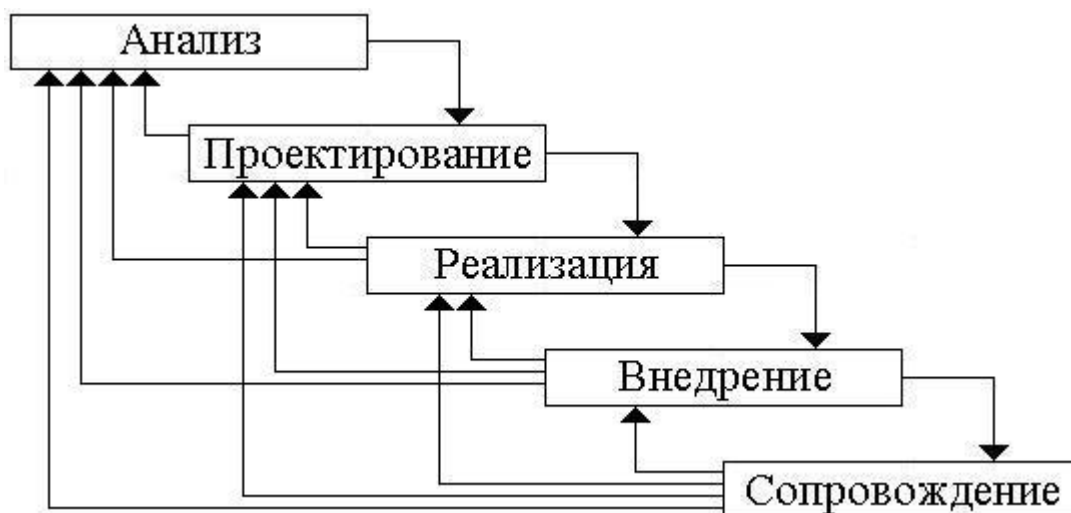


Рисунок 1 – Итерационный жизненный цикл программного средства

Недостаток данного жизненного цикла заключается в том, что при изменении начальных требований, модель может оказаться неэффективной.

Проблемы с архитектурой и накладные расходы – при работе с хаотичными требованиями и без проработанного глобального плана архитектура приложения может пострадать, а на её приведение к адекватному виду могут потребоваться дополнительные ресурсы.

Нет фиксированного бюджета и сроков, а также нужна сильная вовлеченность заказчика в процесс – для некоторых заказчиков это неприемлемые условия сотрудничества с разработчиком, им лучше подойдет водопадная модель.

Преимущества данного жизненного цикла:

- минимизации затрат на их устранение рисков путём снижения серьёзных рисков на ранних стадиях проекта;
- создание продукта отвечающего указанным требованиям благодаря организации эффективной обратной связи проектной команды с потребителем;

- акцент усилий на наиболее важные и критичные направления проекта;
- успешность продукта обеспечивается путём проведения непрерывного итеративного тестирования в целом;
- раннее обнаружение конфликтов между требованиями, моделями проекта на ранних стадиях его развития;
- нагрузка на участников участвующих в разработке проекта является более равномерной;
- опыт, накопленный за время реализации программного продукта, применяется более эффективно;
- уверенность заказчиков и других участников в успешном завершении продукта обеспечивается реальной оценкой текущего состояния проекта;
- затраты определяются во время всех этапов реализации проекта, а не рассчитываются в его конце.

2.2 Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования, описывает функциональное назначение системы с позиций различных групп пользователей, другими словами, то, что система будет делать в процессе своего функционирования в результате действий различных пользователей. Диаграмма вариантов использования является исходным концептуальным представлением или концептуальной моделью системы в процессе ее проектирования и разработки.

Рассмотрим диаграмму вариантов для разрабатываемого программного продукта. Пользователь имеет доступ ко всем данным системы и имеет право на добавление, удаление, обновление используемых элементов сети, может получать отчетную информацию, например о результатах технико-экономического расчёта системы электросети.

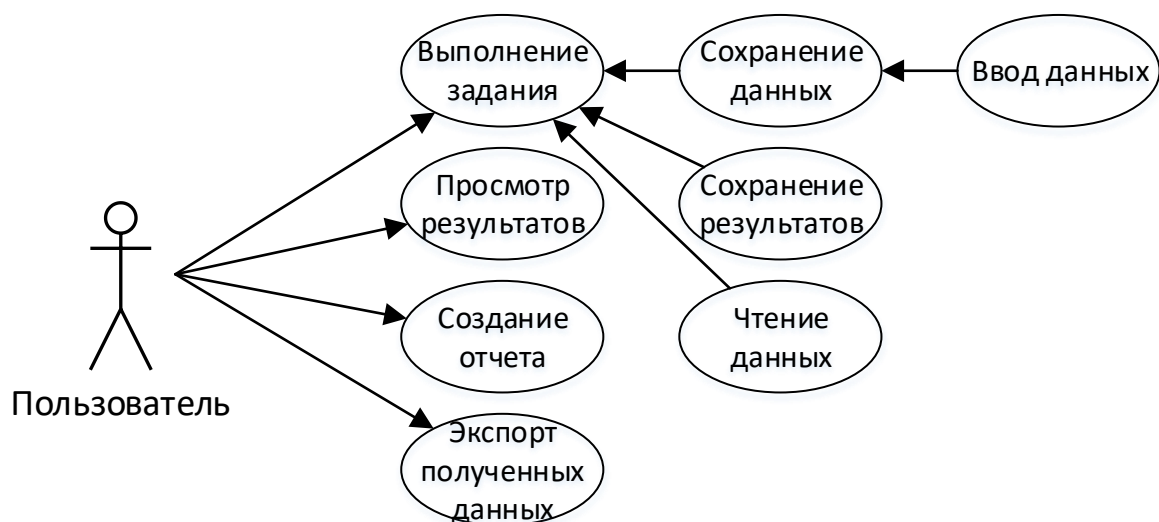


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования программного средства для пользователя

2.3 Диаграмма последовательности

Диаграмма последовательности представляет собой диаграмму на которой представлен жизненный цикл объектов ПО и их взаимодействие с пользователями. Взаимодействие между пользователем и объектами ПО отображается специальными стрелками, определяющих взаимосвязи управления отправителя, то есть пользователя, к получателю объекту функционала ПО.

Рассмотрим диаграмму последовательности для разрабатываемого программного продукта. При запуске ПО пользователь попадает в рабочее окно программы. После этого он приступает к работе в рабочем окне, проектируя схему электросети и вводя исходные данные используемых объектов. После проведения проектировочных работ, пользователь приступает к расчёту и анализу полученной энергетической схемы, в ходе которой он получает результаты проделанной работы и выводит отчёт.

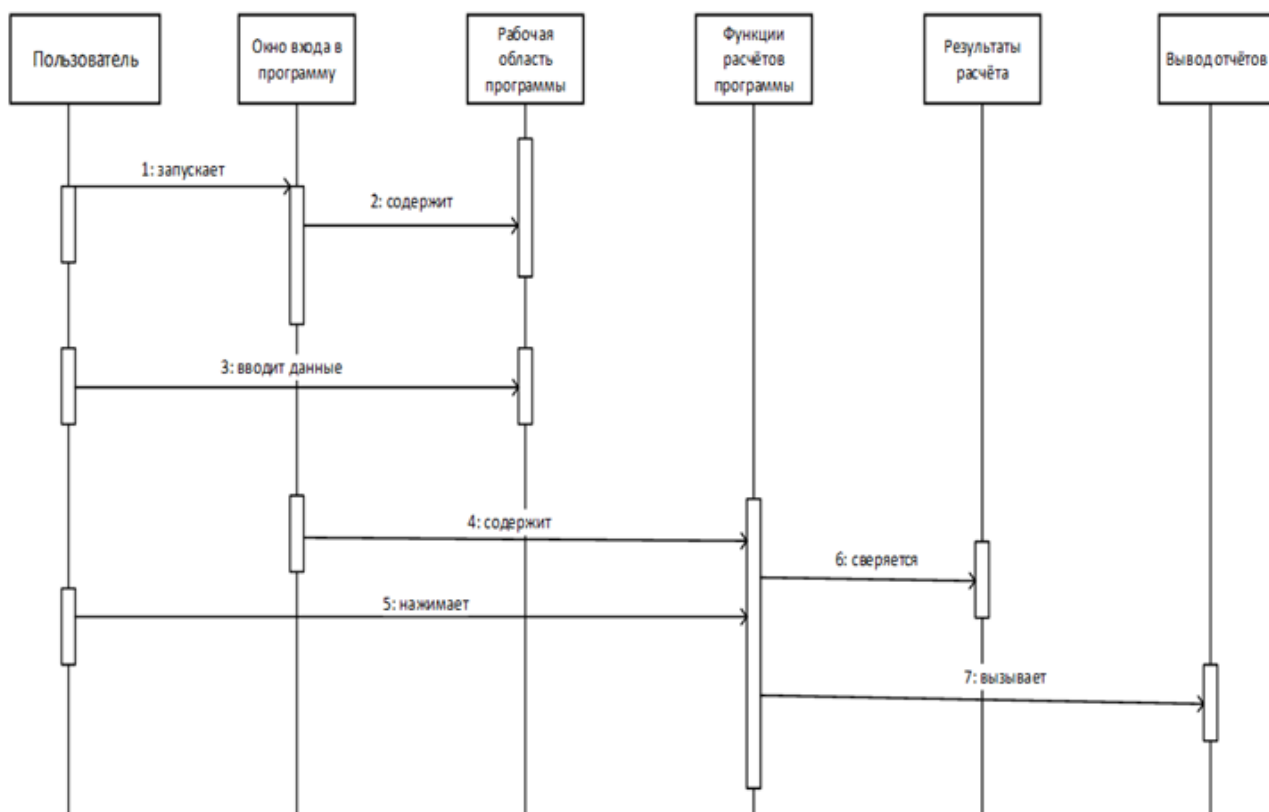


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов последовательности работы пользователя

Основными элементами диаграммы последовательности являются обозначения объектов (прямоугольники с названиями объектов), вертикальные «линии жизни», отображающие течение времени, прямоугольники, отражающие деятельность объекта или исполнение им определенной функции (прямоугольники на пунктирной «линии жизни»), и стрелки, показывающие обмен сигналами или сообщениями между объектами.

На данной диаграмме объекты располагаются слева направо.

2.4 Диаграмма состояний

С помощью использования диаграммы состояний можно описать возможные состояния и переходы, а так же их последовательности. В совокупности это характеризует поведение системы. Диаграмма состояний представляет собой различное поведение сущностей, на основе их спецификации реакций на восприятие некоторых конкретных событий. Данные диаграммы описывают поведение отдельных систем и подсистем. Другим применением данных диаграмм может являться спецификация

функциональности экземпляров отдельных классов, для моделирования всех возможных изменений состояний конкретных объектов.

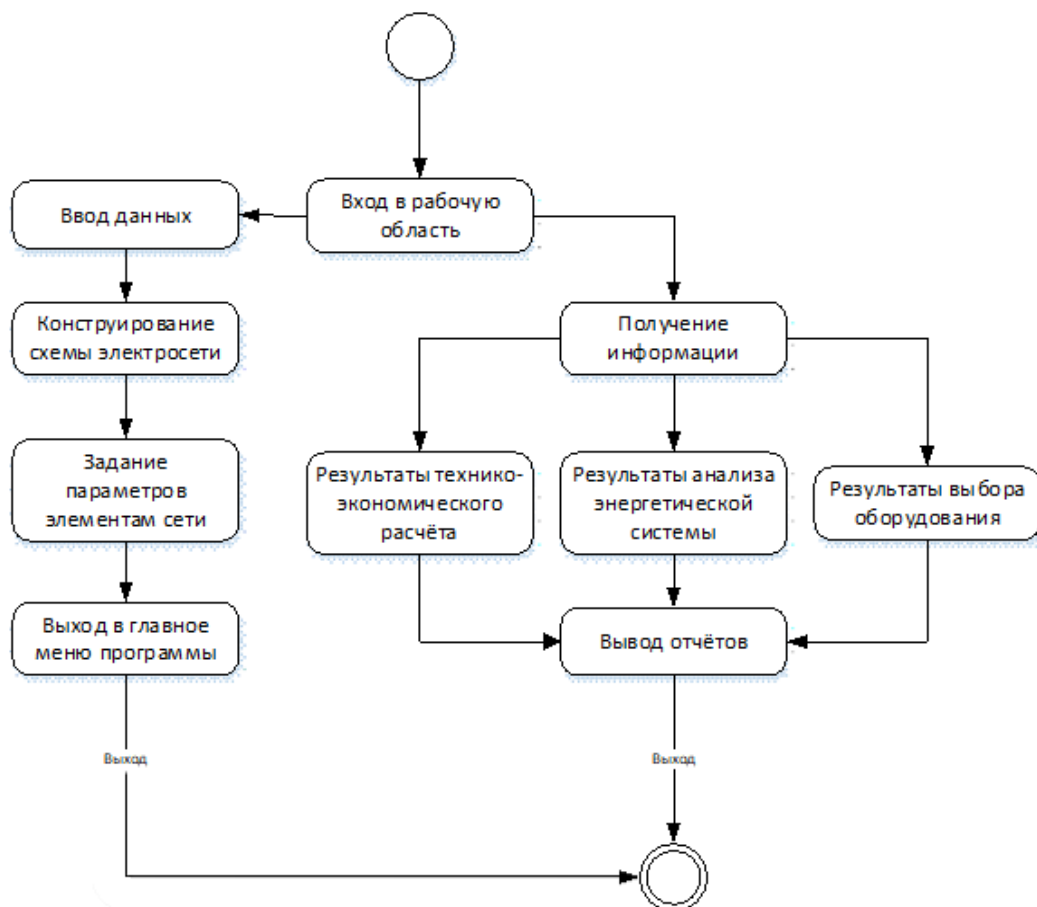


Рисунок 4 – Диаграмма вариантов состояний

Эта диаграмма используется в ходе анализа, чтобы показать динамику поведение системы, и в ходе проектирования – для выражения поведения отдельных классов или их взаимодействия.

2.5 Диаграмма основных функций программного средства

Диаграмма основных функций программы описывает основные функции программного средства, используемые во время работы в нём. Основные функции представлены в самой программе в виде элементов управления, каждый из которых выполняет свою функцию.

Работа с элементами схемы имеет элементы управления ответственные за графическое отображение схемы электроснабжения в рабочей области программы.

Меню «Файл» отвечает за работу с файлами программного средства, позволяет создавать новые файлы, открывать и продолжать работу с уже созданными файлами электрических схем, а так же сохранять схемы и данные созданные за время работы в программе.

Меню «Расчёт» предоставляет набор элементов управления программным средством, в которых производятся последние этапы расчёта данных исследуемой схемы электросети. Эти элементы управления отвечают за расчёты исходных данных потребителей сети, рассчитывает исходные данные и производит расчёт характеристик, необходимых для принятия решения по выбору оборудования в схеме, а так же позволяет произвести экономический расчёт созданной сети на основе полученных данных схемы.

Меню «Отчёт» позволяет сформировать текстовый файл, который представляет собой отчёт по проделанной работе и полученными в результате этой работы данными. Так же элементы управления позволяют обновить данные отчёта в случае изменения каких-либо элементов схемы или данных в них.

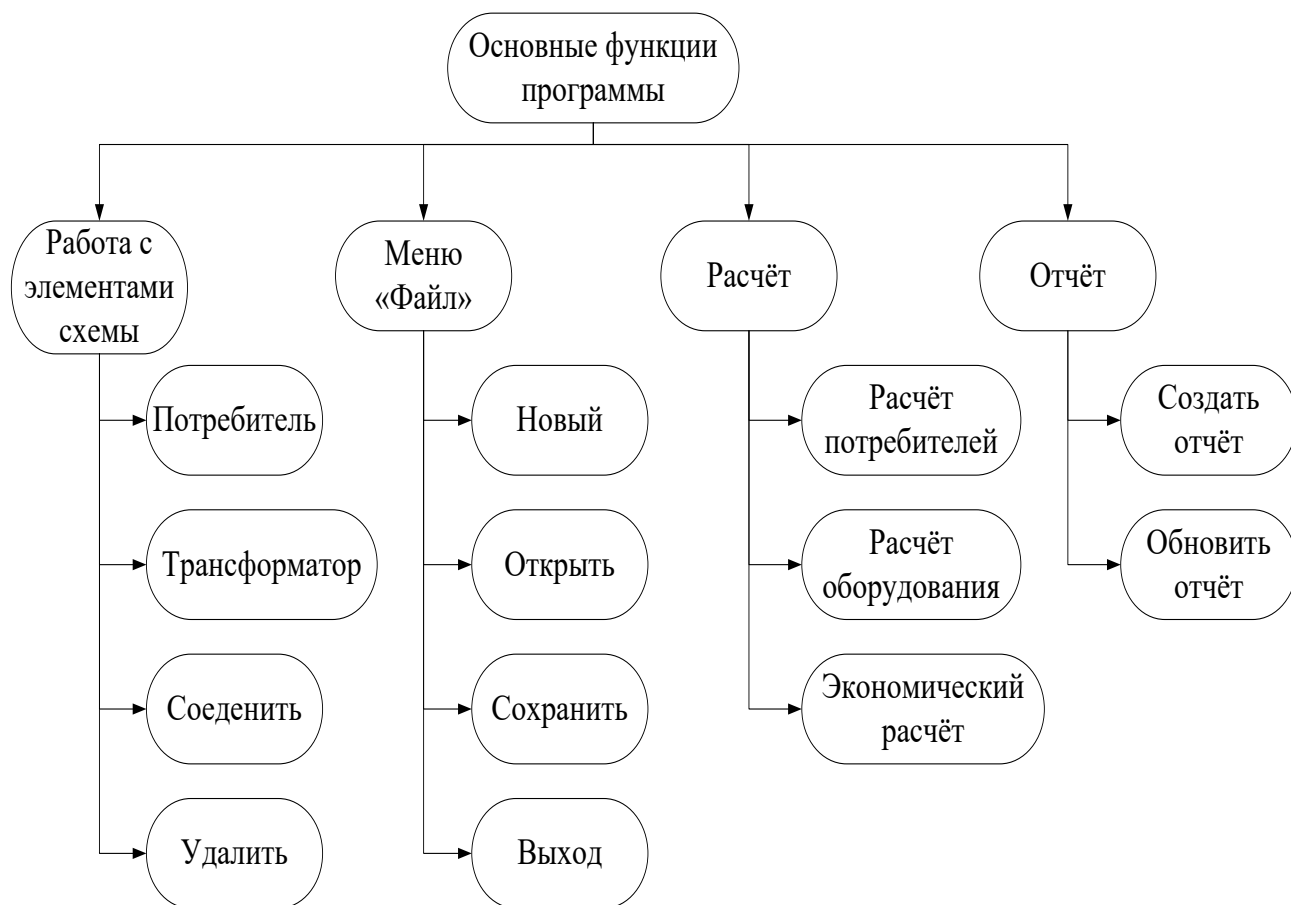


Рисунок 5 – Диаграмма основных функций программы

2.6 Обоснование выбора средств для реализации задачи

Основным программным средством для разработки программного комплекса является среда разработки Microsoft Visual Studio. Данное средство было выбрано благодаря её широкому функционалу, а так же доступности использования этой среды разработки благодаря студенческой лицензии.

Интегрированная среда разработки Visual Studio — это стартовая площадка для написания, отладки и сборки кода, а также последующей публикации приложений. Интегрированная среда разработки (IDE) представляет собой многофункциональную программу, которую можно использовать для различных аспектов разработки программного обеспечения. Помимо стандартного редактора и отладчика, которые существуют в большинстве сред IDE, Visual Studio включает в себя компиляторы, средства автозавершения кода, графические конструкторы и многие другие функции для упрощения процесса разработки.

Выбранным языком программирования, для реализации программного комплекса, был выбран язык C# – объектно-ориентированный язык программирования. Он был выбран благодаря своей лёгкости в освоении, простоты в создании графического интерфейса приложений.

Разработка современных приложений все больше тяготеет к созданию программных компонентов в форме автономных и самоописательных пакетов, реализующих отдельные функциональные возможности. Главная особенность таких компонентов в том, что они представляют собой модель программирования со свойствами, методами и событиями. У них есть атрибуты, предоставляющие декларативные сведения о компоненте. Они включают в себя собственную документацию. C# предоставляет языковые конструкции, непосредственно поддерживающие такую концепцию работы. Благодаря этому C# подходит для создания и применения программных компонентов.

На рисунке 6, показана рабочая среда Visual Studio с открытым проектом и несколькими окнами основных инструментов, с которыми предстоит работать пользователю:

Обозреватель решений (вверху справа) позволяет просматривать файлы кода, перемещаться по ним и управлять ими. Обозреватель решений позволяет упорядочить код путем объединения файлов в решения и проекты.

В панель элементов находятся элементы управления, которые можно применить в окне редактора для реализации графического интерфейса программного средства. Эти элементы можно редактировать в соответствии с их функционалом.

В окне редактора (центр), отображается содержимое файла. Здесь вы можете редактировать код или разрабатывать пользовательский интерфейс, например окно с кнопками или текстовые поля.

Team Explorer (правый нижний угол) позволяет отслеживать рабочие элементы и использовать код совместно с другими пользователями с помощью технологий управления версиями, таких как Git и система управления версиями Team Foundation (TFVC).

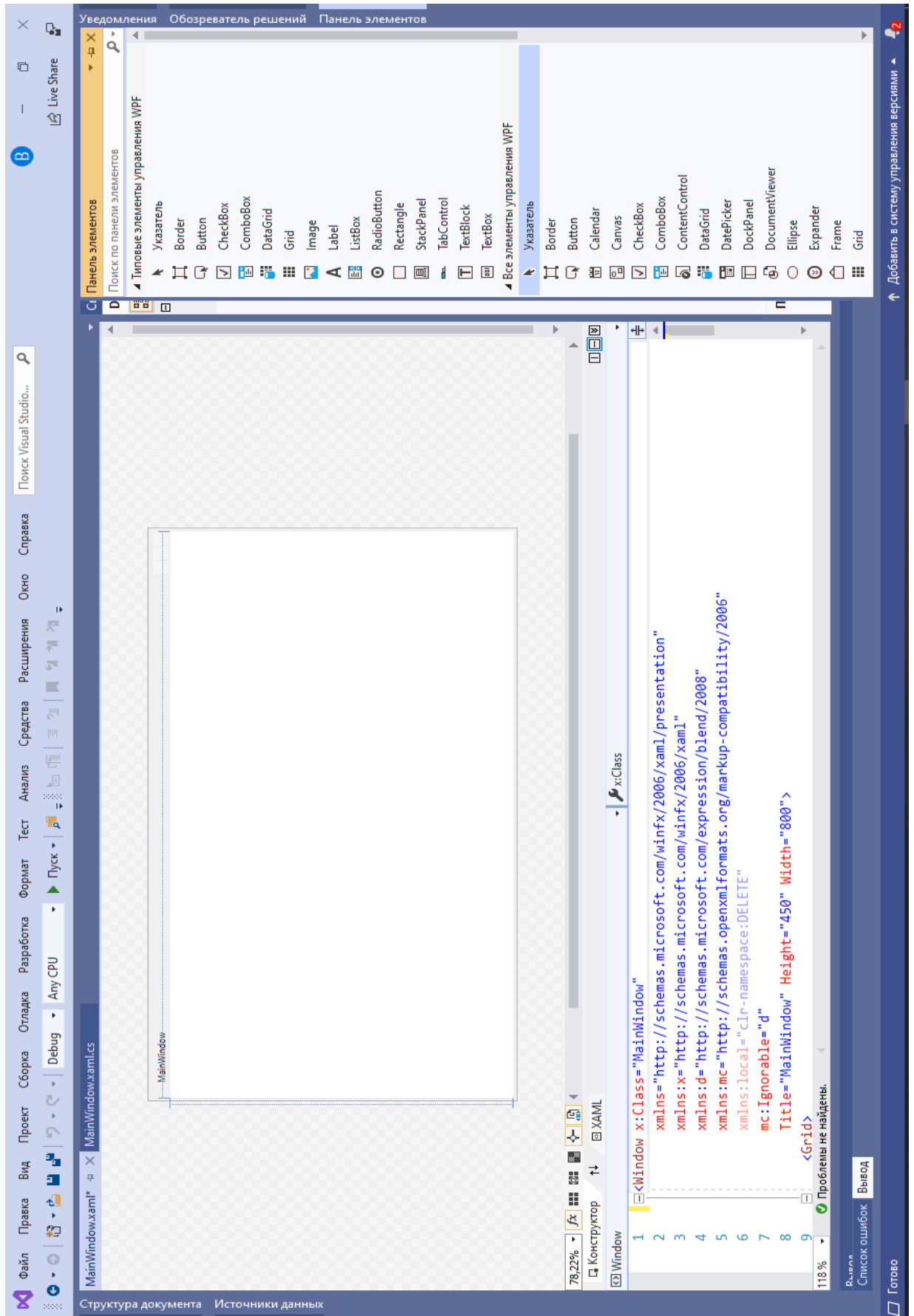


Рисунок 6 – Рабочее окно Visual Studio

Технология WPF (Windows Presentation Foundation) является частью экосистемы платформы .NET и представляет собой подсистему для построения графических интерфейсов.

Приложения, использующие технологию WPF, основаны на DirectX. В этом состоит ключевая особенность работы графики в WPF: используя WPF, значительная часть работы по отрисовке графики, как простейших её элементов, так и сложных 3D-моделей, ложится на графический процессор на видеокарте.

Одной из особенностей технологии WPF, является использование языка декларативной разметки интерфейса XAML, основанного на XML. Это позволяет создавать графический интерфейс, используя декларативное объявление интерфейса, или код на управляемых языках C# и VB.NET, а так же в случае необходимости совмещать и то и другое.

Преимущества WPF:

1) Использование традиционных языков .NET-платформы – C# и VB.NET для создания логики приложения.

2) Возможность декларативного определения графического интерфейса с помощью специального языка разметки XAML, основанном на xml и представляющем альтернативу программному созданию графики и элементов управления, а также возможность комбинировать XAML и C#/VB.NET.

3) Независимость от разрешения экрана: поскольку в WPF все элементы измеряются в независимых от устройства единицах, приложения на WPF легко масштабируются под разные экраны с разным разрешением.

4) Новые возможности, например, создание трехмерных моделей, привязка данных, использование таких элементов, как стили, шаблоны, темы и др.

5) Взаимодействие с WinForms, благодаря чему в приложениях WPF можно использовать традиционные элементы управления из WinForms.

6) Большое количество возможностей по применению различных инструментов: это и мультимедиа, и двумерная и трехмерная графика, и

богатый набор встроенных элементов управления, а также возможность создавать новые элементы, создание анимаций, привязка данных, стили, шаблоны, темы и многое другое.

7) Аппаратное ускорение графики – вне зависимости от того, работаете ли вы с 2D или 3D, графикой или текстом, все компоненты приложения транслируются в объекты, понятные Direct3D, и затем визуализируются с помощью процессора на видеокарте, что повышает производительность, делает графику более плавной.

8) Создание приложений под множество ОС семейства Windows – от Windows XP до Windows 10.

Также стоит учитывать, что в сравнении с приложениями, созданными на основе Windows Forms, объем программ на WPF и потребление ими памяти в процессе работы в среднем несколько выше. Это компенсируется более широкими графическими возможностями и повышенной производительностью при использовании графики.

Платформа WPF предоставляет широкий, гибкий и масштабируемый набор графических функций, который обладает перечисленными ниже преимуществами:

- Независимость графики от разрешения и устройства.

Основной единицей измерения в графической системе WPF является аппаратно-независимый пиксель, размер которого составляет 1/96 дюйма вне зависимости от разрешения экрана. Это создает основу для независимой от разрешения и аппаратной платформы отрисовки. Каждый аппаратно-независимый пиксель автоматически масштабируется в соответствии с заданным в системе количеством точек на дюйм (DPI).

- Повышение точности.

Система координат WPF основана на числах двойной точности с плавающей запятой, а не числах одинарной точности. Значения преобразования и прозрачности также выражаются числами двойной точности. Платформа WPF

также поддерживает широкую цветовую палитру (scRGB) и имеет встроенную поддержку управления входными данными из разных цветовых схем.

- Расширенная поддержка графики и анимации.

Платформа WPF упрощает программирование графики, автоматически управляя анимированными сценами. Вам не нужно беспокоиться об обработке сцен, циклах отрисовки и билинейной интерполяции. Кроме того, WPF обеспечивает поддержку проверки попадания и полную поддержку альфа-версии компоновки.

- Аппаратное ускорение.

Система графики WPF использует возможности графического оборудования, чтобы снизить нагрузку на ЦП.

Как и любую другую платформу разработки, WPF можно использовать разными способами для получения нужного результата. Чтобы ваши приложения WPF обеспечивали требуемый уровень удобства и отвечали потребностям пользователей в целом, следует придерживаться рекомендаций в отношении специальных возможностей, глобализации, локализации и производительности.

2.7 Тестирование программного средства

После реализации задач программного средства в соответствии с установленными требованиями необходимо провести тестирование ПО.

Этапом тестирования является проверка соответствия требований реализованного программного продукта с требованиями, установленными на предыдущих этапах разработки. Проходит эта проверка путем наблюдения во время специальных ситуаций за работой ПО, эти специальные ситуации выбираются определенным образом. Эти наблюдения проводятся с целью поиска и исправления ошибок, допущенных в процессе разработки спроектированной системы. После завершения процесса тестирования может повыситься надежность и улучшиться функциональность протестированной системы. Но нельзя полностью протестировать систему в сжатые сроки с ограниченными ресурсами. Поэтому существует несколько видов тестирования, каждый из которых предлага-

ет разные методики для построения тестов для максимальной вероятности обнаружения ошибки в системе. При разумном выборе такого подхода работу по тестированию можно сделать с максимальной эффективностью.

Видов тестирования невероятное множество, в зависимости от функций и типов проводимых тестирований, можно условно классифицировать эти тестирования на группы:

1. функциональные;
2. нефункциональные;
3. связанные с изменениями.

Функциональные виды тестирования основаны на функциях и их особенностях, такие тесты рассматривают внешнее поведение системы.

Тесты нефункционального тестирования позволяют определить характеристики программного обеспечения, которые могут быть измерены различными величинами.

Основные типы:

- 1) тестирование производительности:
 - 1.1) нагрузочное тестирование
 - 1.2) стрессовое тестирование
 - 1.3) тестирование надежности
 - 1.4) объемное тестирование
- 2) тестирование установки;
- 3) тестирование удобства использования;
- 4) тестирование на отказ и восстановление;
- 5) конфигурационное тестирование;

Виды тестирования, связанные с изменениями, производятся после устранения ошибки системы, на проверку того факта, что проблема действительно решена. Тесты, которые производятся после установки программного обеспечения, для подтверждения работоспособности приложения или верного исправления ошибки:

1. дымовое тестирование;

2. регрессионное тестирование;
3. тестирование сборки.

Программное обеспечение предназначено для работы единственного пользователя, которому во время работы необходимо выполнять различные задания, связанные с электросетью. Для того чтобы проанализировать, как ПО будет функционировать при разном уровне нагрузки, следует произвести нагрузочное тестирование. Целью такого тестирования является определение граничных нагрузок на систему, при которой она продолжает поддерживать стабильную работу. Также данные тесты могут помочь оценить способность системы к функционированию в том случае, когда допустимые или планируемые уровни нагрузок будут превышены.

3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Структура программного комплекса и его возможности

Основными кодовыми процедурами (формулами) в работе программного комплекса являются расчёт полных электрических нагрузок объектов электросети, а так же их проверка их выбора на основе существующих требований обеспечения безопасности и надёжности электроснабжения объектов.

На основе полученных результатов данных процедур строится дальнейший расчёт электроэнергетической системы.

Класс «Потребитель» содержит в себе минимальные исходные данные, необходимые для ввода, например активная мощность потребителей, их количество и т.д.. Введённые величины (нагрузка потребителя, тип потребителя и т.д.) применяются в методах следующих по иерархии классов, таких как «Трансформатор»

Класс «Трансформатор» содержит в себе ряд атрибутов, данных и функций, необходимых для принятия решения, по выбору устанавливаемого в сети трансформатора. Он использует данные, полученные в ходе выполнения вычислений в методах класса «Потребитель», в расчётах связанных с установкой величин необходимых для принятия решения по выбору трансформатора.

В данные «Трансформатора» входят его номинальные значения, характеристики и свойства, такие как напряжение в сети, их количество и т.д.. В функции «Трансформатора» входят его методы, свойства, события и т.д.

В ходе выполнения методов в классе, выполняется определение расчётных характеристик трансформатора, на основе которых выполняется выбор номинального трансформатора с его номинальными характеристиками, которые впоследствии будут использоваться для расчёта технико-экономических показателей системы.

Класс «Кабель» содержит в себе ряд атрибутов, данных и функций, необходимых для принятия решения по выбору устанавливаемых кабелей или ли-

ний электропередач между потребителями и трансформаторами, например такие данные как напряжение в сети. Данные о выбранных элементах в дальнейшем используются для расчёта технико-экономических показателей системы.

Методы «Выбор трансформатора» и «Выбор кабеля» используют данные полученные в результате выполнения процедур заложенных в классах, для выполнения действий, в ходе которых происходит выбор необходимых элементов сети, а так же их проверка по требованиям безопасности и качеству электропитания.

Класс «Экономический расчёт трансформаторов» использует полученные данные о выбранных трансформаторах в сети, и выполняет действия по расчёту их экономических составляющих, запоминая экономические характеристики этих элементов сети и передавая их в «Общий экономический расчёт».

Класс «Экономический расчёт линий и кабелей» использует полученные данные о выбранных линиях и кабелях в электросети, и выполняет действия по расчёту их экономических составляющих, запоминая экономические характеристики этих элементов сети и передавая их в «Общий экономический расчёт».

Класс «Общий экономический расчёт» использует полученные данные о выбранных элементах сети, и выполняет последние действия по экономическому расчёту исследуемой сети, подготавливая эти экономические характеристики для передачи в виде отчёта.

Так же описаны методы создания графических моделей элементов на рабочем окне.

Классы «Создание трансформатора», «Создание потребителей», «Соединение линий» и «Удаления элементов» используются для создания графических моделей в рабочей области программного комплекса и создания объектов для классов, которые используют данные объектов в дальнейших расчётах.

3.2 Экранные формы

Здесь приведены экранные формы программного комплекса. На рисунке 7, представлен интерфейс рабочего окна программного комплекса, он состоит из различных рабочих окон, элементов управления и прочего функционала.

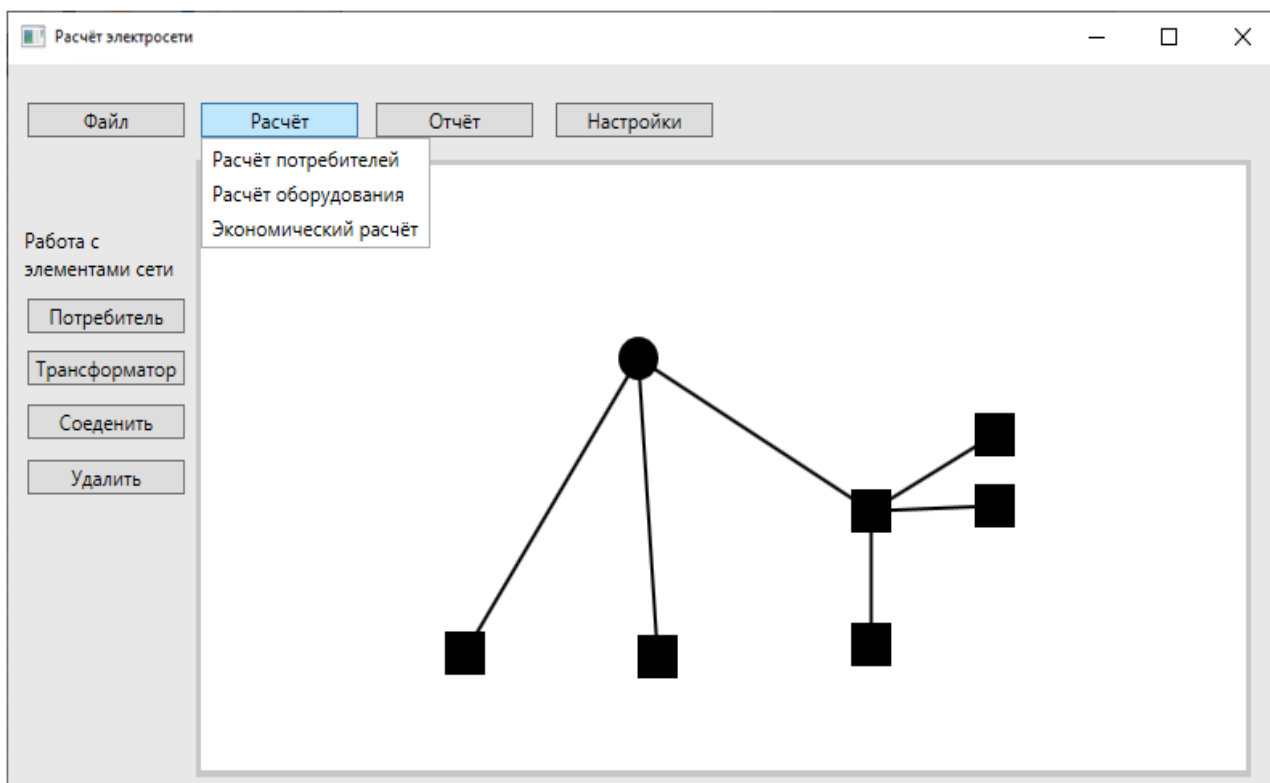


Рисунок 7 – Интерфейс рабочего окна программного комплекса

Интерфейс пользователя реализован в виде человеко-машинного интерфейса, в котором представлены поле для создания электрических схем, на боковой панели программного средства располагаются кнопки ответственные за выполнение основного функционала программы по созданию и редактированию схемы электросети, на верхней рабочей панели представлены кнопки ответственные за работу основного функционала программного средства по проведению работы с файлами программы, расчёта построенной исследуемой схемы сети по технико-экономическим показателям, а так же выводу отчётов о проделанной работе.

Дальше представлены экраны всплывающих окон появляющихся при взаимодействии с конкретными элементами электрической схемы сети.

The dialog box titled "Информация об элементе" (Information about element) contains the following fields and controls:

- Название объекта:
- Активная нагрузка: кВт
- Реактивная нагрузка: квар
- Полная нагрузка: кВА
- Buttons: Отмена (Cancel), Принять (OK)

Рисунок 8 – Окно «информация об элементе» для типовых потребителей

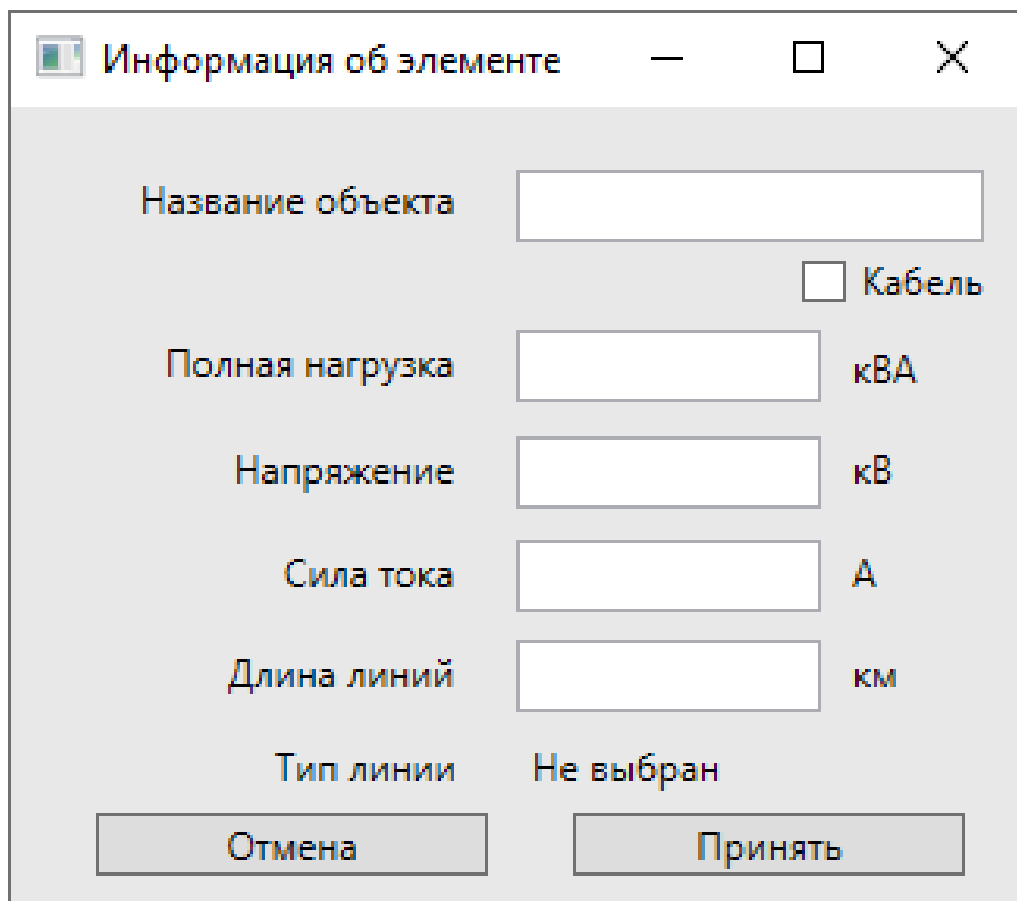
В данные окна «информация об элементе» для типовых потребителей входят: название объекта – служащее для обозначения потребителя в отчёте, активная, реактивная и полная нагрузка для задания значений основных характеристик потребителей.

The dialog box titled "Информация об элементе" (Information about element) contains the following fields and controls:

- Название объекта:
- Активная нагрузка: кВт
- Реактивная нагрузка: квар
- Полная нагрузка: кВА
- Напряжение ВН: кВ
- Напряжение НН: кВ
- Число объектов:
- Тип трансформатора: Не выбран
- Buttons: Отмена (Cancel), Принять (OK)

Рисунок 9 – Окно «информация об элементе» для трансформаторов

В данные окна «информация об элементе» для трансформаторов входят: название объекта – служащее для обозначения трансформатора в отчёте, активная, реактивная и полная нагрузка для задания значений основных характеристик трансформаторов, номинальные напряжения сети и число объектов, необходимые для проведения расчётов по выбору устанавливаемого оборудования в схеме, а так же для дальнейшего расчёта экономической составляющей системы.



The image shows a software dialog box titled "Информация об элементе" (Information about element). It contains several input fields and a checkbox. The fields are: "Название объекта" (Object name) with an empty text box; "Полная нагрузка" (Full load) with a text box and the unit "кВА" (kVA); "Напряжение" (Voltage) with a text box and the unit "кВ" (kV); "Сила тока" (Current) with a text box and the unit "А" (A); "Длина линий" (Line length) with a text box and the unit "км" (km); and "Тип линии" (Line type) with a dropdown menu currently showing "Не выбран" (Not selected). There is also a checkbox labeled "Кабель" (Cable). At the bottom, there are two buttons: "Отмена" (Cancel) and "Принять" (Accept).

Рисунок 10 – Окно «информация об элементе» для кабелей и линий электропередач

В данные окна «информация об элементе» для линий электропередач входят: название объекта – служащее для обозначения ЛЭП в отчёте, полная нагрузка сети, номинальное напряжение сети и сила тока для задания значений основных характеристик ЛЭП, необходимые для проведения расчётов по выбору устанавливаемого оборудования в схеме и длина линии, которая используется в расчёте экономической составляющей расчёта системы.

3.3 Руководство пользователя

3.3.1 Область применения

Программное средство предназначено для решения электросетевых задач на этапе проектирования и эксплуатации сетей. Выявления недочётов уже существующих энергетических схем и проведению экономического анализа как уже эксплуатируемых, так и новых проектируемых электроэнергетических схем.

3.3.2 Краткое описание возможностей

Рабочая панель программного средства предусматривает следующие возможности:

- создание схемы электросети;
- задание основных параметров объектов;
- управление связями электросети;
- производство расчёта основных характеристик элементов электросети и их анализ;
- производство технико-экономического расчёта системы энергетической системы;
- формирование отчёта о полученных результатах;
- управлять настройками программы;
- создавать, открывать и сохранять файлы данных схем электросети.

3.3.3 Уровень подготовки пользователя

Умение работать с персональным компьютером.

3.3.4 Виды деятельности, функции

Система предназначена для автоматизации проектирования системы или анализа уже существующей системы энергетической сети.

Перечень автоматизированных функций:

- расчёт свойств и характеристик потребителей;
- расчёт свойств и характеристик режима сети;
- выбор оборудования;
- технико-экономический расчёт;

– обработка результатов расчёта и формирование отчета.

Большая часть выше перечисленных автоматизированных функций могут использоваться в неавтоматизированном режиме и быть рассчитаны вручную самим пользователем при необходимости.

3.3.5 Начало работы программного средства

Перед началом работы в программном средстве нужно ввести изначальные данные по схеме, объектам электрической сети, нагрузкам, объектам электрической сети для проведения расчётов в программе. Для подготовки программного средства к работе необходимо:

– составить схему электросети с указанием всех потребителей ветвей и трансформаторов;

– для каждого потребителя определить его номинальные характеристики и ввести эти данные в схему;

– для каждой ветви определить полную нагрузку, напряжение сети и максимальную силу тока.

– для трансформаторов определить номинальные значения напряжения в сети, а так же установить их количество на устанавливаемой ПС;

3.3.6 Работа с графическими элементами схемы

В левой части программного средства есть панель, отвечающая за управление графическим отображением схемы электросети. В эту панель входят такие элементы управления как:

1) Потребитель – предназначен для расположения условного потребителя электроэнергии в рабочей области программы. Содержит в себе методы расчёта данных потребителей, которые потом передаются в методы, содержащиеся в классе «Трансформатор».

2) Трансформатор – предназначен для расположения условной трансформаторной подстанции в рабочей области программы. Содержит в себе данные, которые рассчитываются с учётом всех потребителей подключённых к трансформатору через элемент управления «Соединить».

3) Соединить – элемент управления схемой электросети, предназначен для соединения определённых элементов электрической сети между собой, для формирования связи между объектами. Содержит в себе данные кабелей и линий предназначенных для снабжения потребителей.

4) Удалить – элемент управления схемой электросети предназначенный для удаления определённых элементов сети. Необходимо учитывать, что при удалении элемента схемы, данные которые были заданы пользователем или были рассчитаны в нём, посредством выполнения расчётов программы, так же будут удалены.

Рисунки, отображающие работу перечисленных элементов управления, представлены далее, в соответствии с порядком их перечисления.

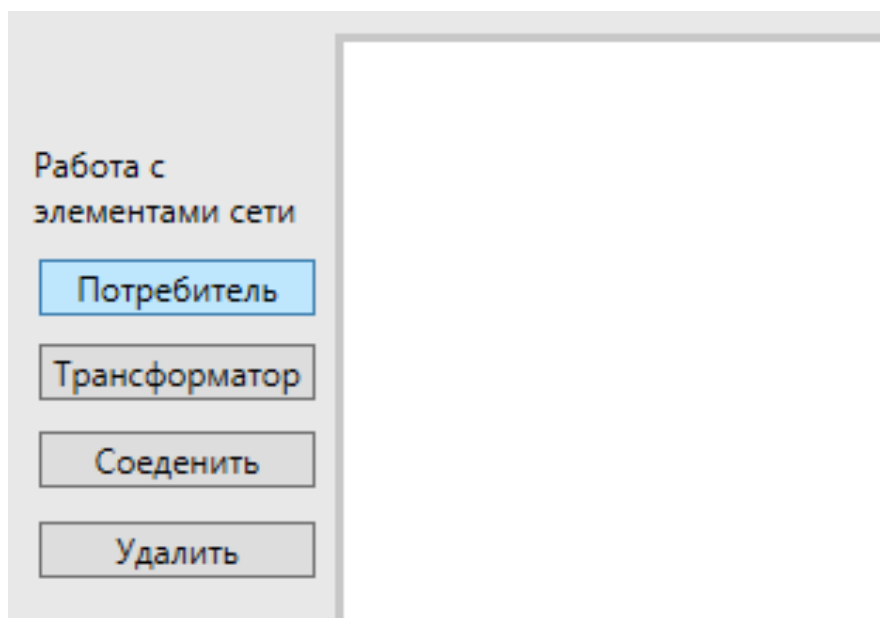


Рисунок 11 – Использование элемента управления «Потребитель»

При нажатии на элемент управления схемой, кнопку «Потребитель» программа определяет, что при следующем нажатии левой кнопкой мыши по рабочей области программы, на месте нажатия, должна появиться квадратная фигура, представляющая условное обозначение потребителя на схеме.

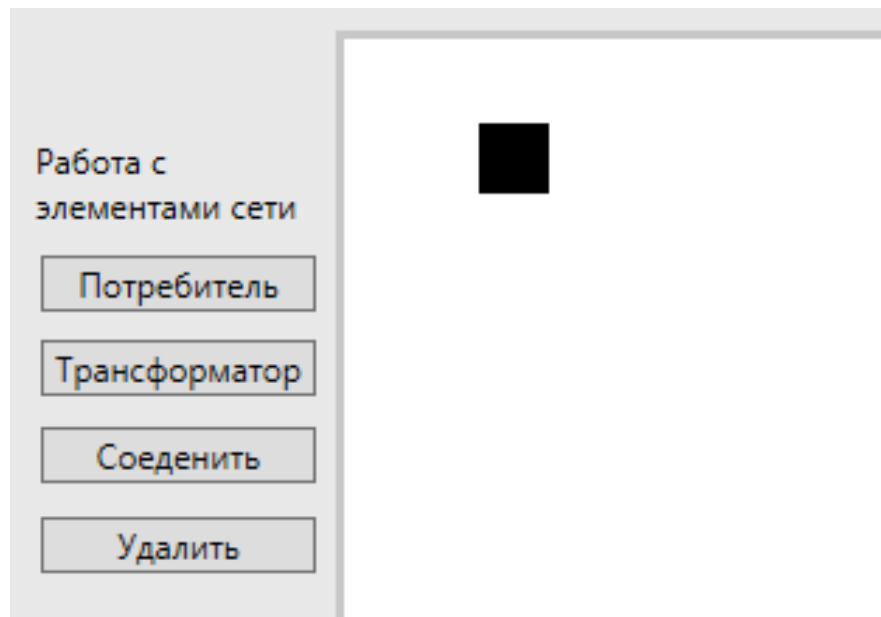


Рисунок 12 – Результат использования элемента управления «Потребитель»

После проделанного действия на рабочей области программного средства появляется квадратная фигура, представляющая собой условное обозначение потребителя на схеме.

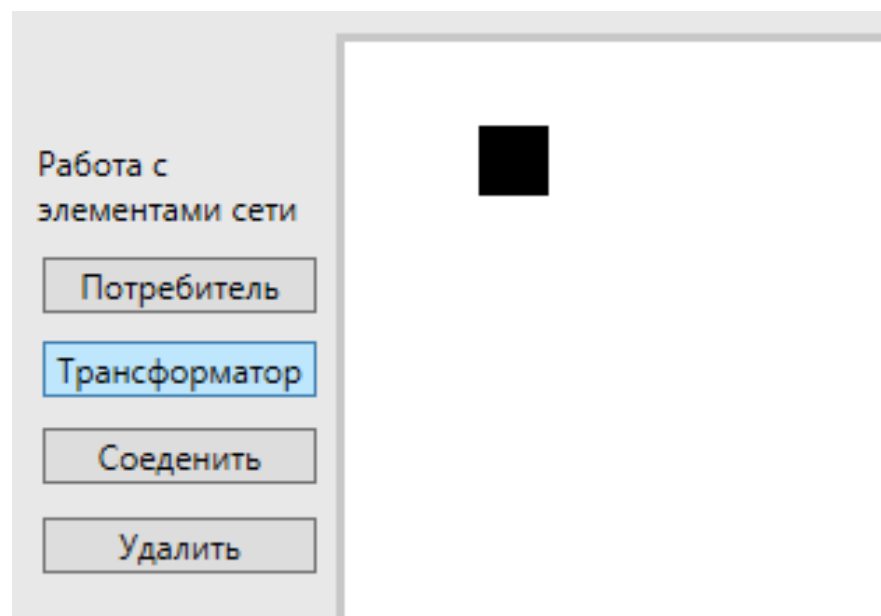


Рисунок 13 – Использование элемента управления «Трансформатор»

При нажатии на элемент управления схемой, кнопку «Трансформатор» программа определяет, что при следующем нажатии левой кнопкой мыши по рабочей области программы, на месте нажатия, должна появиться круглая фигура, представляющая собой условное обозначение трансформатора на схеме.

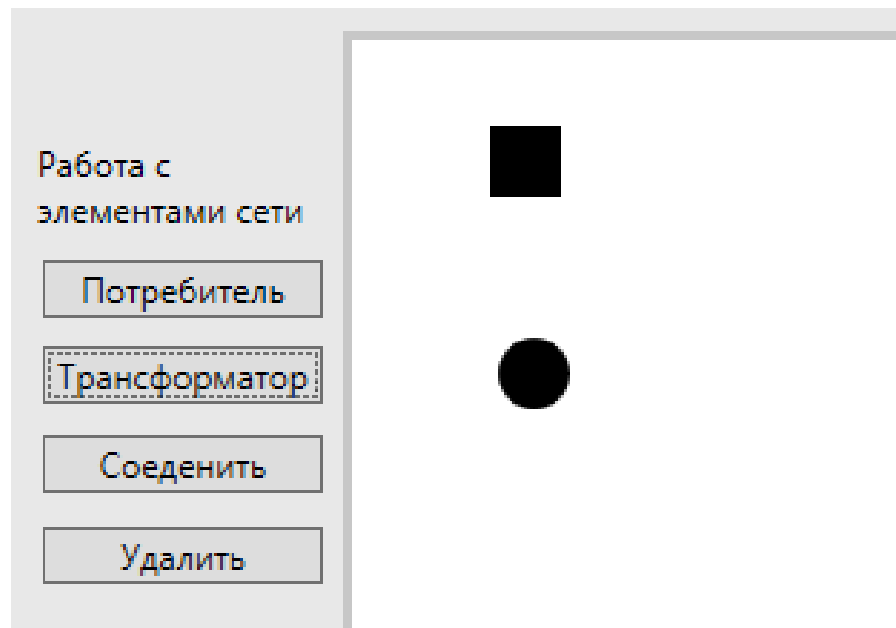


Рисунок 14 – Результат использования элемента управления «Трансформатор»

После проделанного действия на рабочей области программного средства появляется круглая фигура, представляющая собой условное обозначение трансформатора на схеме.

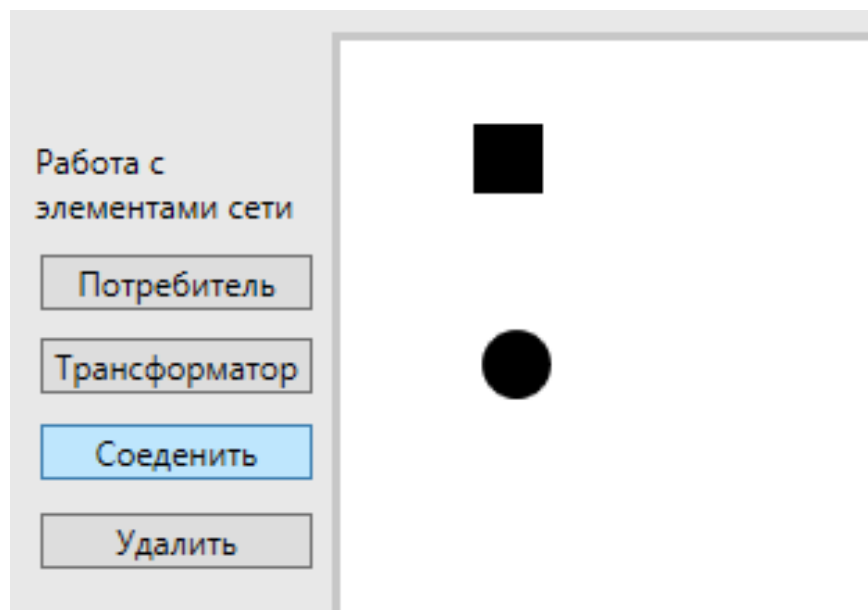


Рисунок 15 – Использование элемента управления «Соединить»

При нажатии на элемент управления схемой, кнопку «Соединить» программа определяет, что при следующем нажатии левой кнопкой мыши по заранее установленным объектам в рабочей области программы между установлен-

ными объектами должна появиться соединяющая их линия, представляющая собой условное обозначение линии электроснабжения на схеме.

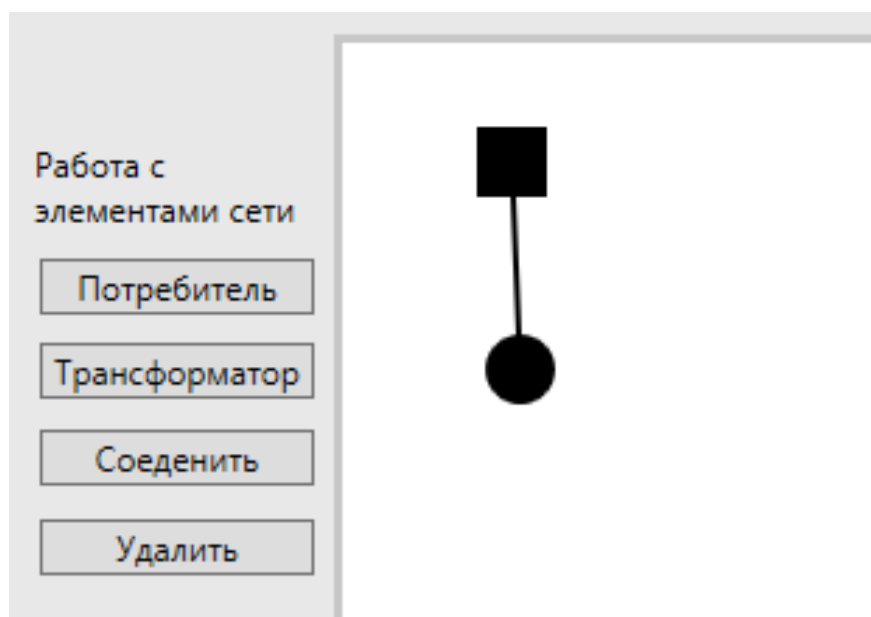


Рисунок 16 – Результат использования элемента управления «Соединить»

После проделанного действия на рабочей области программного средства появляется соединяющая линия между объектами электрической сети, представляющая собой условное обозначение линию электроснабжения на схеме.

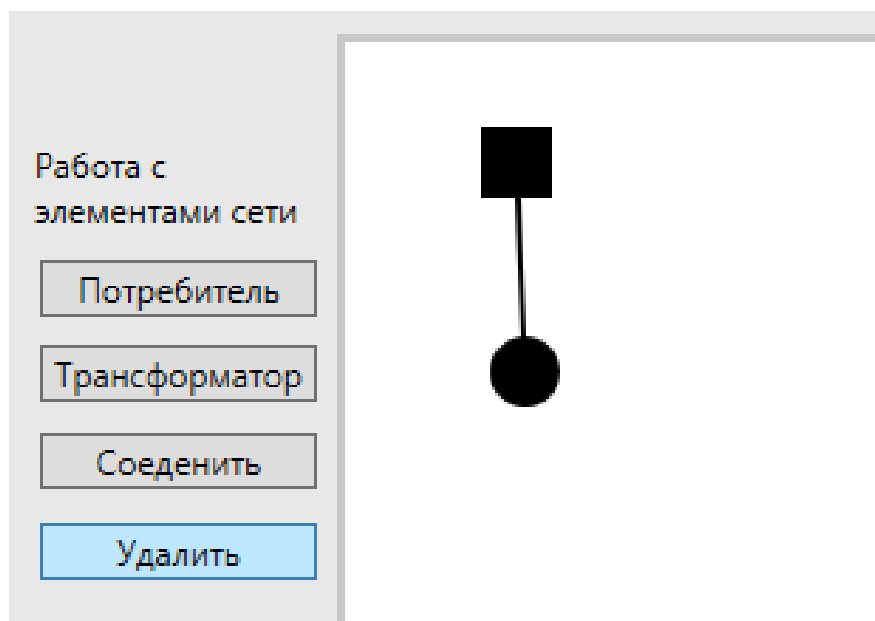


Рисунок 17 – Использование элемента управления «Удалить»

При нажатии на кнопку «Удалить» программа определяет, что при следующем нажатии левой кнопкой мыши по рабочей области программы на заранее установленном объекте электрической схемы, выбранный объект схемы и

существующие связи с ним (линии), должны будут удалиться из схемы в рабочей области программы.

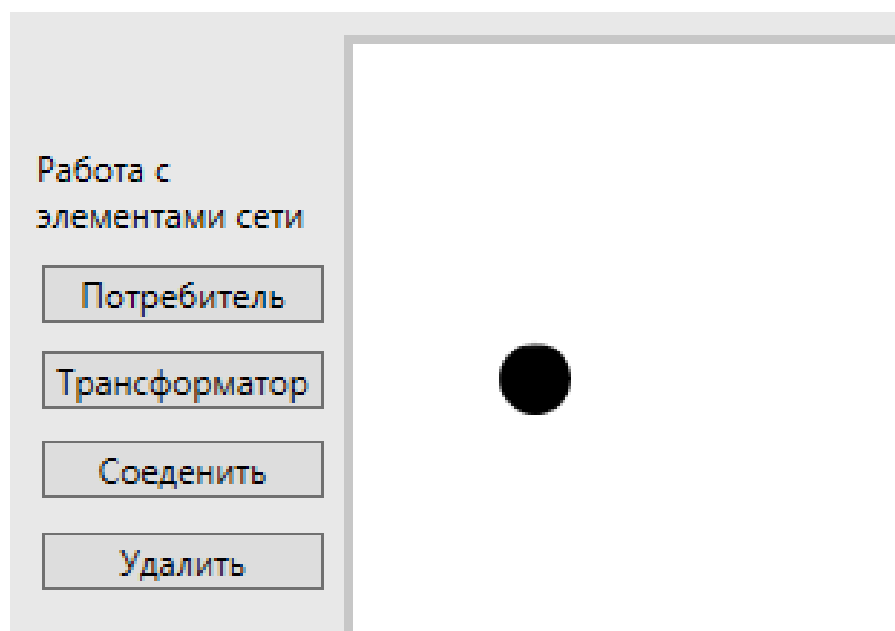


Рисунок 18 – Результат использования элемента управления «Удалить»

После проделанного действия на рабочей области программного средства, на примере нажатия на потребителя, потребитель и соединяющая линия с трансформатором, привязанная к потребителю, удаляется из схемы электросети в рабочей области программы.

После завершения проделанных действий по графическому представлению схемы электросети происходит ввод основных данных схемы.

Ввод данных схемы рекомендуется начинать с данных по потребителям. Для потребителей требуется ввести активную и, если это требуется, реактивную и полную мощность потребления для определения их расчётных характеристик и название их как объектов сети для формирования отчёта.

Затем идёт ввод основных данных по трансформаторам, необходимых для работы системы электроснабжения. К основным данным для трансформаторов относятся активная, реактивная, полная нагрузка, число трансформаторов и их напряжение для определения их расчётных характеристик и название их как объектов сети для формирования отчёта.

После этого осуществляется соединение объектов электросети через линии, которые тоже имеют свои вводные и расчётные данные. К этим данным относятся

Построенная графическая схема может использоваться для введения исходных данных по исследуемой схеме, а так же для изменения уже введённых исходных данных расчетной схемы. Изменения в расчётную схему вносятся с помощью графического интерфейса программы, схема в этом случае является удобным интерфейсом для изменения данных. Все возможные для изменения расчетных величин данные используются при открытии «Информация об элементе» и вызываются через локальное меню по щелчку на элементе сети.

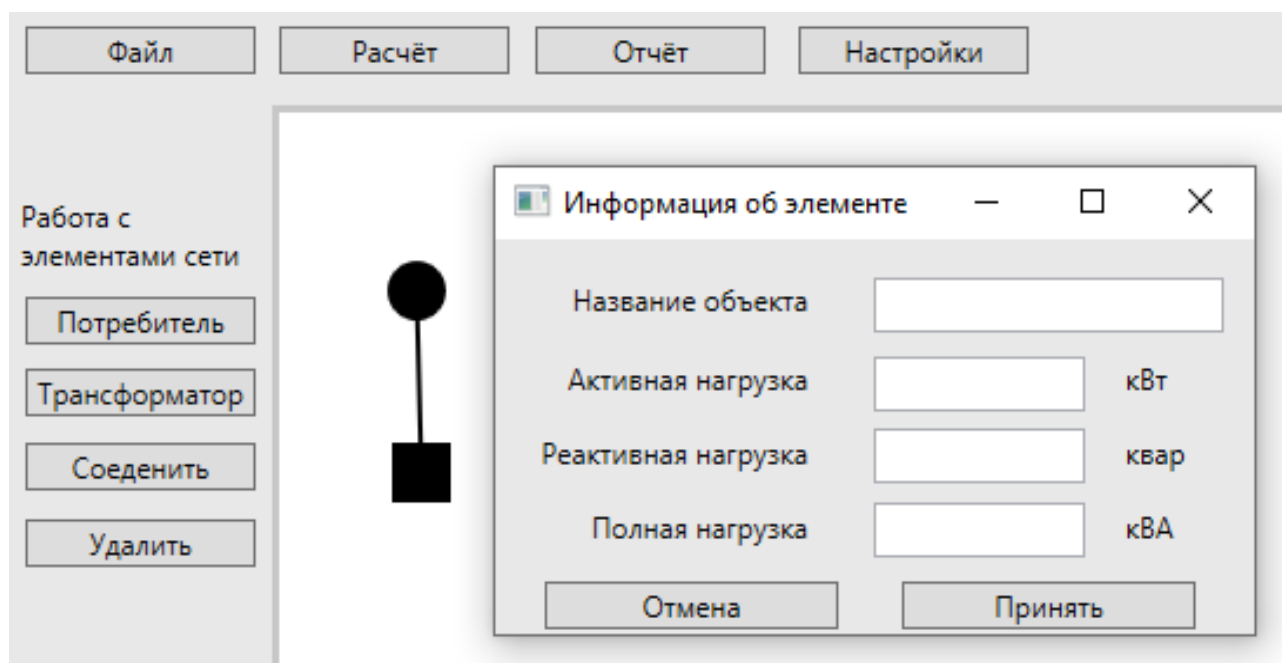


Рисунок 19 – Работа с графической схемой

3.3.7 Структура программы, загрузка и сохранение данных

Команды для работы с файлами сосредоточены в меню «Файл» в верхней панели программы. При проведении открытия и загрузке файлов содержимое рабочего окна автоматически обновляется. Самые часто используемые функции программного средства доступны через верхнюю рабочую панель. Программа работает с созданными в рабочей области режимами электрической сети. Во время работы в программное окно может быть загружено только один файл в рабочем окне программного продукта.

После выполнения различных изменений в данных используются команда «Сохранить» для сохранения данных в виде файла. При выходе из программы, без сохранения проведённой работы в файл, содержимое рабочего окна не сохранится, и при запуске – не восстанавливается.

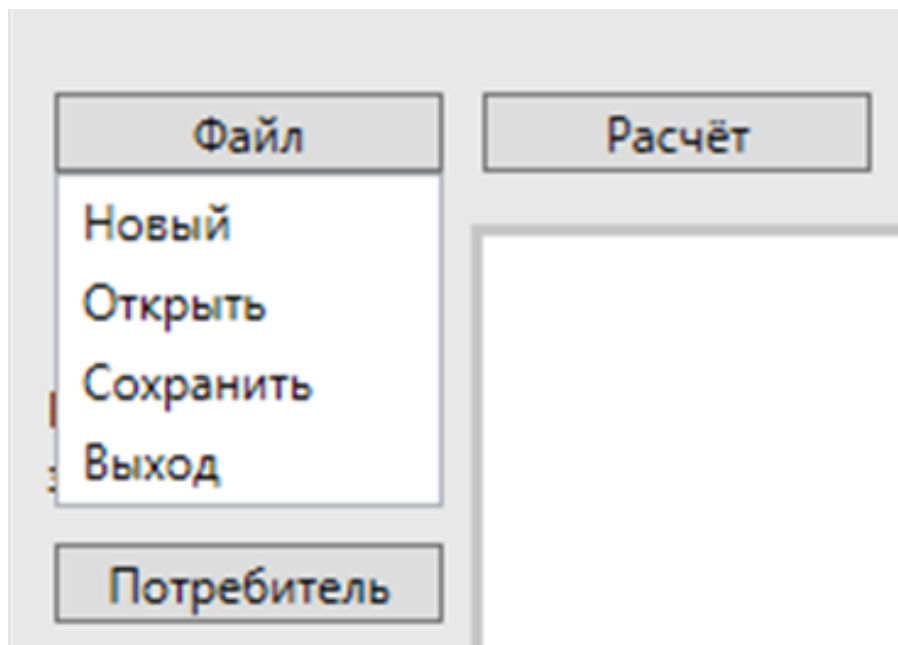


Рисунок 20 – Меню «Файл» и его функции

3.3.8 Расчёт схем электросети

После установки объектов сети на рабочей области программного средства и установки для них исходных данных необходимых для расчёта, пользователь переходит в меню «Расчёт», где ему представляется выбор из проведения определённых расчётов с установленной электросетью. Каждый этап расчётов проводится отдельно от остальных.

Расчёт потребителей – определяет основные характеристики для потребителей, проверяет введённые данные необходимые для дальнейших расчётов.

Расчёт оборудования – определяет характеристики необходимые для выбора устанавливаемого оборудования. Данные полученные на этом этапе применяются для дальнейшего расчёта.

Экономический расчёт – определяет технико-экономические характеристики электросети, капиталовложения, затраты, содержание и экономическую окупаемость данной системы.

После прохождения каждого этапа расчётов в боковой панели программного средства будет всплывать подсказка об успешном или не успешном проведении каждого расчёта.

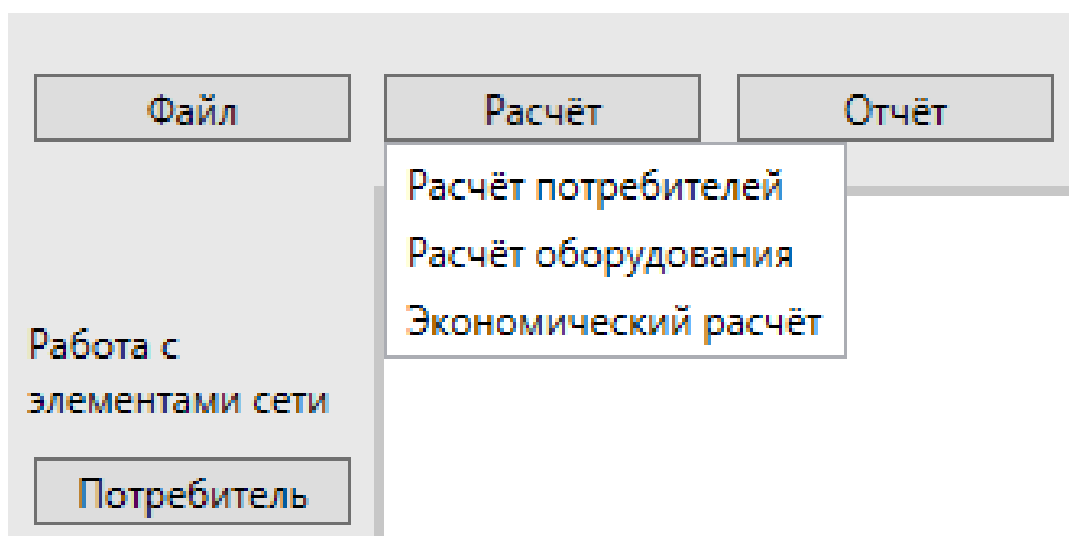


Рисунок 21 – Меню «Расчёт» и его функции

3.3.9 Создание отчёта и меню настроек

После завершения работы по всем предыдущим этапам можно перейти к формированию отчёта по проделанной работе. В меню отчёт используются две функции «Создать отчёт» и «Обновить отчёт». «Создать отчёт» используется для формирования данных энергетической системы, полученных за время работы в программе, и сохранению файла отчёта в текстовом файле. «Обновить отчёт» применяется для обновления файла отчёта в случае проведения каких-либо изменений в исследуемой системе электроснабжения.

Меню «Настройки» применяется для настройки основных характеристик программы и различных постоянных используемых во время расчёта электро-энергетической системы и объектов электросети.

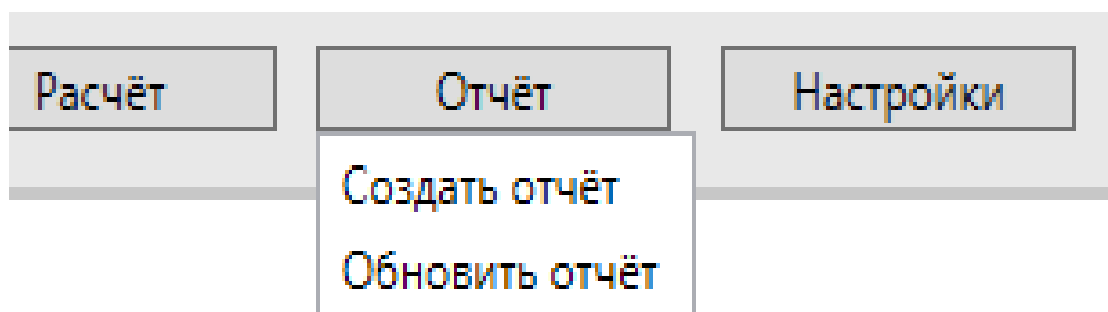


Рисунок 22 – Меню «Отчёт» и «Настройки»

3.3.10 Меню настройки

Меню настройки вызывает специальное окно программы, в котором происходит настройка основных параметров и величин программного средства, которые применяются для всех расчетов, используемых в программном средстве.

Все параметры и величины, представленные в этом окне, являются постоянными величинами, которые требуют изменения только в случае изменения условий расчёта электросетевых задач.

3.3.11 Работа с отчётами

Отчёт – специальный текстовый файл, в который отображает результат выполнения процессов программного средства. Отчёт позволяет рассмотреть результаты выполнения процессов в виде последовательностей различных стадий реализации схемы и её расчёта. Результатами является запись в отчёте, не имеющая других стадий работы программы. Каждый завершённый процесс того или иного процесса программы, при успешном завершении, закрывается в отчёте введением записи об успешности работы процесса. После введения завершающей записи о завершении процесса происходит составление записей по следующим процессам программы с последующей проверкой на успешность её выполнения.

Первыми записями в создаваемом отчёте будут являться сведения о создании и расчёте потребителей, в эти сведения будут входить их параметры и характеристики, полученные в ходе работы ПО. Следом за ними будут указаны сведения о пройденном этапе «расчёт потребителей», в эти сведения входят данные об успешном или не успешном прохождении данного этапа. Такой же порядок получения сведений определяется и для остальных этапов использования ПО.

После прохождения каждого этапа в отчёт будут вложены сведения о том, что стадия написания отчёта прошла успешно. Означает, что в данной стадии нет ошибок, предупреждений и иных сообщений сигнализирующих о неисправности какого-либо этапа. Другое сообщение о стадии выводится в случае, если в стадии есть события, отличные от сообщения об успешных стадиях. В

этом случае выводится сообщение о неисправном выполнении стадии. Существуют следующие возможные события, используемые в написании отчёта:

1) Сообщение об успешном завершении процесса программы. Данное событие в отчёте сортируется в зависимости от приоритета процесса. Это сообщение указывает об успешности действий предпринятых при реализации схемы электросети и успешного завершения функций расчётов.

2) Предупреждение предназначено указания об отклонениях какого-либо процесса от нормы. Выводится оно в конце каждого блока расчётов в случае, возникновения ошибки при условии, что исправить эту ошибку можно согласно установленным правилам.

3) Ошибка выводится если способов устранения ошибки согласно установленным правилам не найдено. В таком случае требуется вмешательства пользователя. Однако при наличии ошибки процесс работы программного средства не прерывается.

4) Системная ошибка возникает, если программное средство не смогло распределить память, открыть файл, выделить ресурсы и т.п. В таких случаях дальнейшее выполнение какого-либо процесса невозможно.

3.4 Пример применения конечного продукта

Рассмотрим пример применения конечного программного продукта на примере расчёта простой схемы электросети. В простую электрическую схему будут входить: один потребитель электроэнергии, один трансформатор, и линия электроснабжения соединяющая их.

Первым этапом работы по расчёту схемы электросети является построение её графической схемы, начиная с установки потребителя. Согласно инструкции применения и использования программного продукта записанного в «Руководстве пользователя», для начала воспользуемся функцией «Потребитель» (рисунок 11 и 12) и расположим его в рабочем окне, где отображается схема электрической сети.

После проведённого действия проведём ввод изначальной информации о потребителе в этой схеме электроснабжения, названием объекта выберем «Су-

пермаркет-1», а параметр его активной нагрузки выберем примерное значение равное 82,5 кВт. Результат первого проделанного этапа работы представлен на рисунке 23, в виде потребителя находящегося на схеме электросети и рабочего окна «Информация об элементе», в котором введены изначальные данные необходимые для расчёта параметров потребителя и электросети в целом.

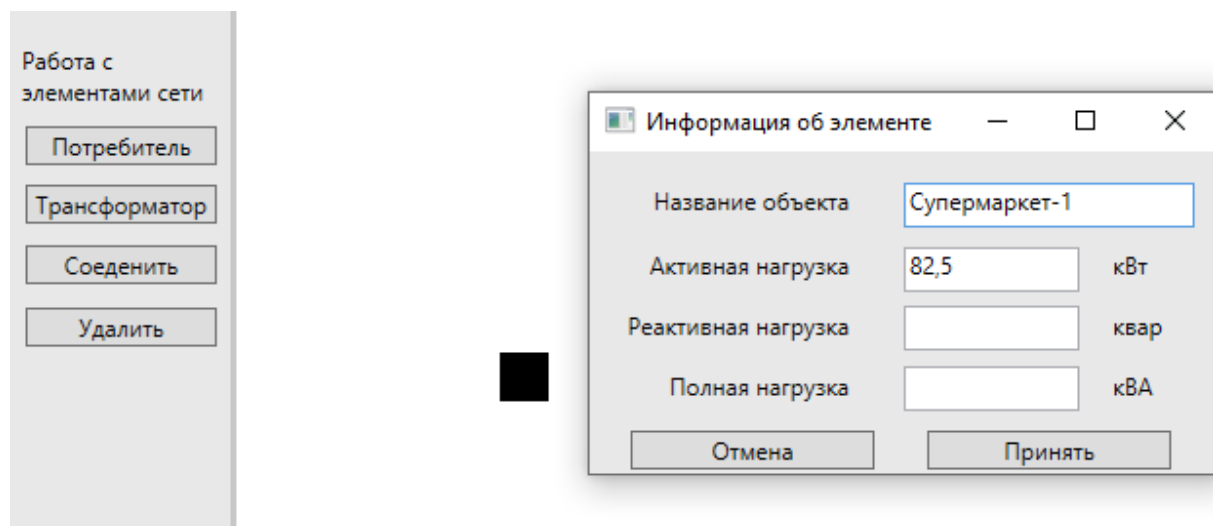


Рисунок 23 – Результат первого этапа работы

Вторым этапом работы по расчёту системы электроснабжения является установка трансформатора, питающего потребителя на рабочей схеме. Для этого мы воспользуемся функцией «Трансформатор» согласно описанию применения этой функции как указано в «Руководстве пользователя» (рисунок 13 и 14), и расположим его на рабочей схеме над потребителем, данное решение по расположению трансформатора на схеме принимается для удобства.

После произведения данных действий трансформатор отобразится, на рабочей схеме электрической сети, и с ним можно будет взаимодействовать. После нажатия по трансформатору возникнет всплывающее окно «Информация об элементе», в котором можно произвести ввод изначальных данных необходимых для расчёта трансформатора и электрической сети. Изначальными данными трансформатора будет являться: название объекта «ПС-1», напряжение на высокой и низкой стороне напряжения, которое устанавливается в соответствии с номинальными величинами напряжения по справочникам, и число объектов, в данном случае трансформаторов, на месте их условного обозначения в схеме.

Затем, необходимо соединить установленные ранее потребителя «Супер-маркет-1» и трансформатор «ПС-1» с помощью функции «Соединить» согласно правилам из руководства пользователя, как представлено на рисунках 15 и 16. В результате мы получим наглядное соединение потребителя и трансформатора по схеме.

Результат проведённых действий представлен на рисунке 24, в виде установленного на схеме трансформатора, который соединён линией электропередач, и окно «Информация об элементе» с введенными исходными данными для дальнейшего расчёта схемы.

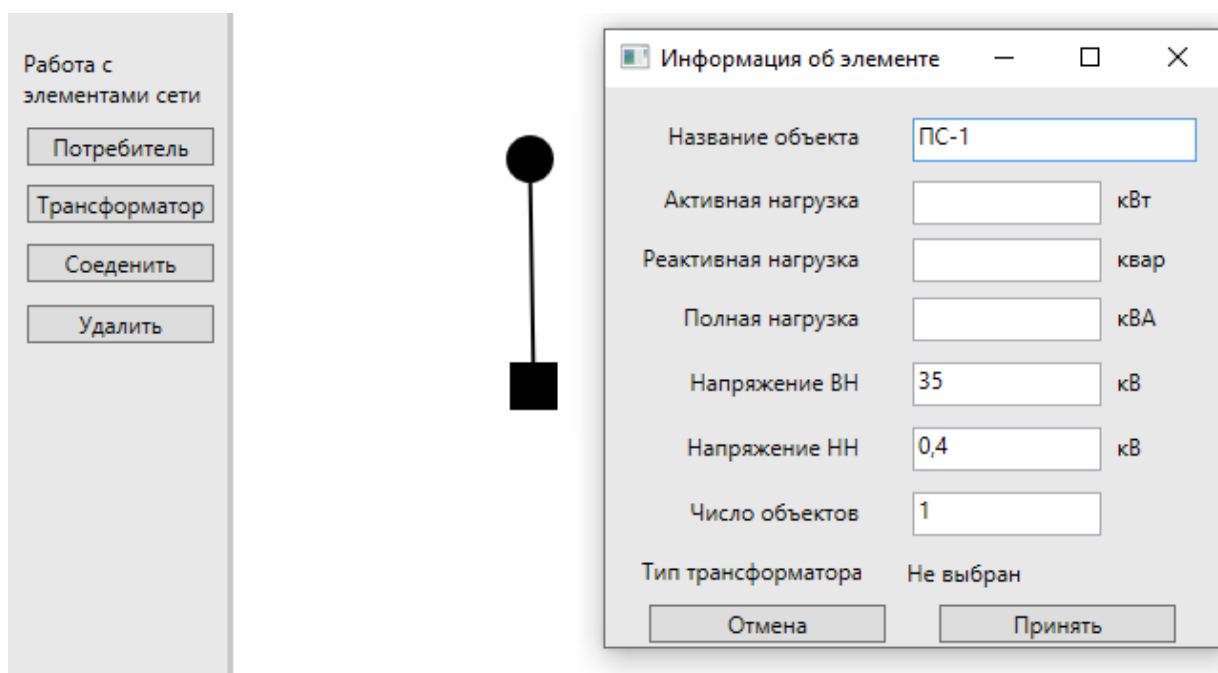


Рисунок 24 – Результат второго этапа работы

Следующим этапом, для расчёта установленных на схеме потребителя и трансформатора с введёнными исходными данными, является использование функций «Расчёт потребителей» и «Расчёт оборудования».

Согласно «Руководству пользователя» необходимо перейти в меню «Расчёт», находящиеся в верхнем главном меню программного продукта и по очереди применить функции «Расчёт потребителей» и «Расчёт оборудования». Во время применения этих функций во всех потребителях и трансформаторах, находящихся на схеме, будет проходить расчёт их характеристик и параметров в соответствии с заданными математическими формулами и методами, записан-

ными в коде программного средства. При условии соблюдения правильности введения исходных данных для расчёта всех элементов установленных на рабочем окне схемы программы, под элементами управления схемы возникнет сообщение о том, что применённые функции программы успешно произвели расчёт.

Пример выбора функций «Расчёт потребителей» и «Расчёт оборудования», а так же вывод сообщения об успешном проведении расчёта, показан на рисунке 25.

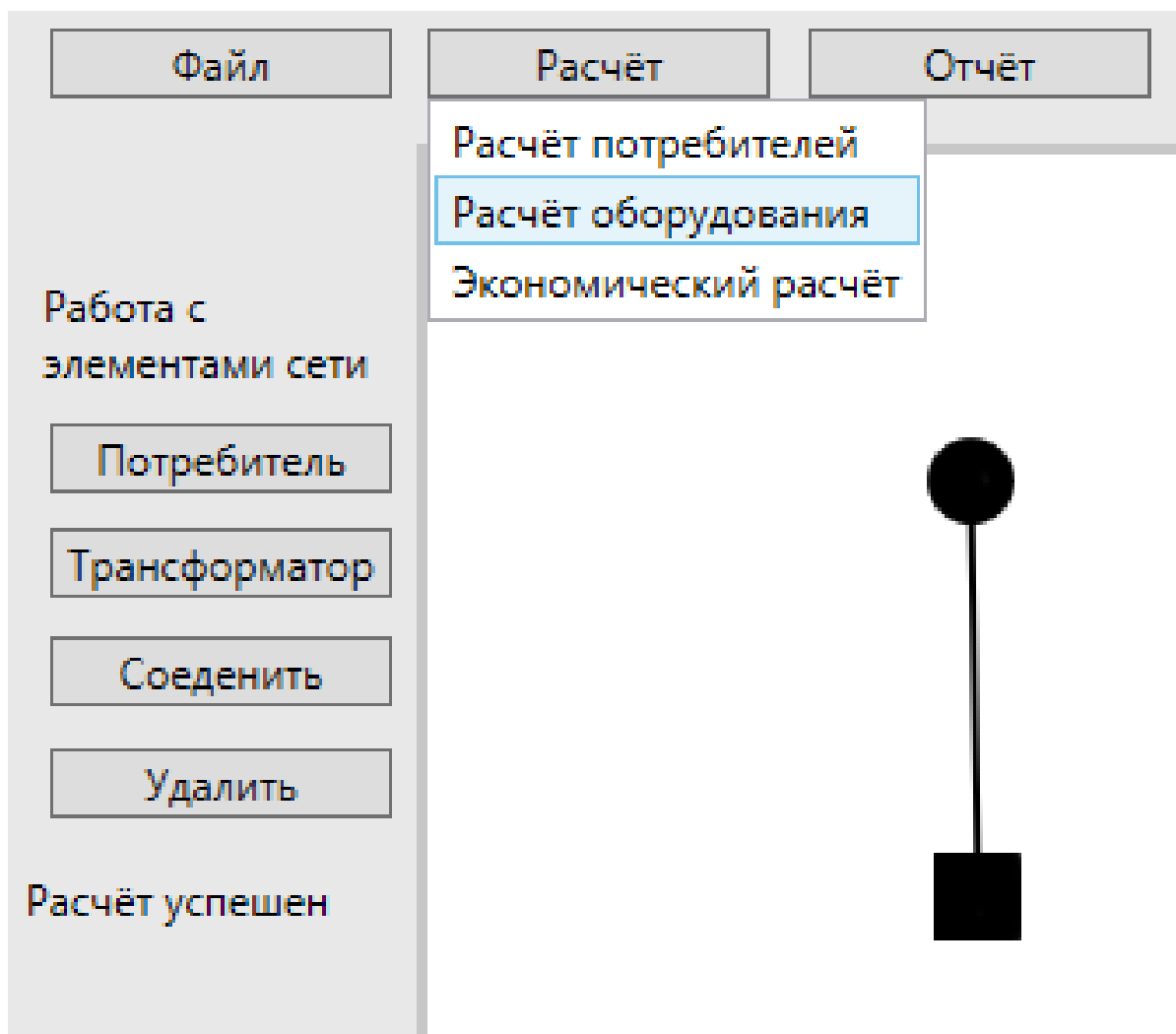


Рисунок 25 – Выбор «Расчёт оборудования» и сигнал об успешном проведении расчёта

После проведения этого этапа работы, установленные с введёнными исходными данными потребитель и трансформатор, определяют остальные свои характеристики, которые в дальнейшем используются для технико-

экономического расчёта функцией «Экономический расчёт». В этом же примере необходимо было получить данные для потребителя и трансформатора, пользуясь лишь вводом базовых исходных данных без подробного описания всех параметров элементов в схеме, что является одним из требований к конечному программному продукту.

Посмотреть результаты проделанных этапов работы можно путём нажатия на интересующие, в примере, установленные элементы сети. После нажатия возникнет всплывающее окно «Информация об элементе», в котором, кроме изначально введённых данных, будут выведены полученные уже в результате расчётов данные.

Результаты проделанных этапов работы для потребителя и трансформатора представлены на рисунках 26 и 27.

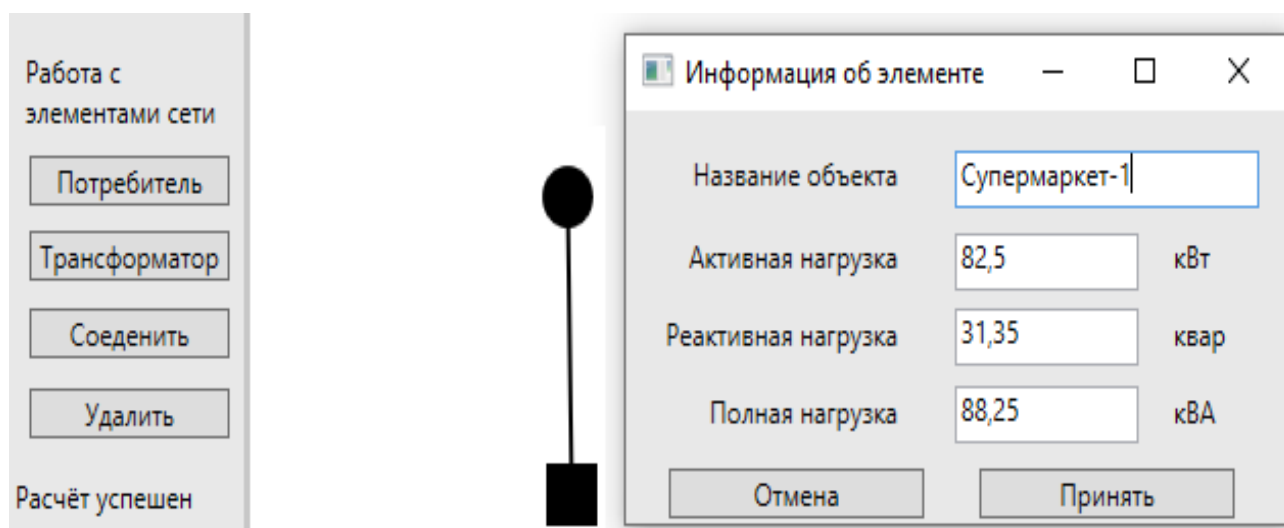


Рисунок 26 – Результаты проведённых этапов для потребителя

Как видно из рисунка остальные параметры потребителя, которые отсутствовали изначально, были рассчитаны и установлены для потребителя «Супермаркет-1» на схеме. Эти расчётные данные применились для расчёта ещё одного установленного элемента сети, трансформатора «ПС-1».

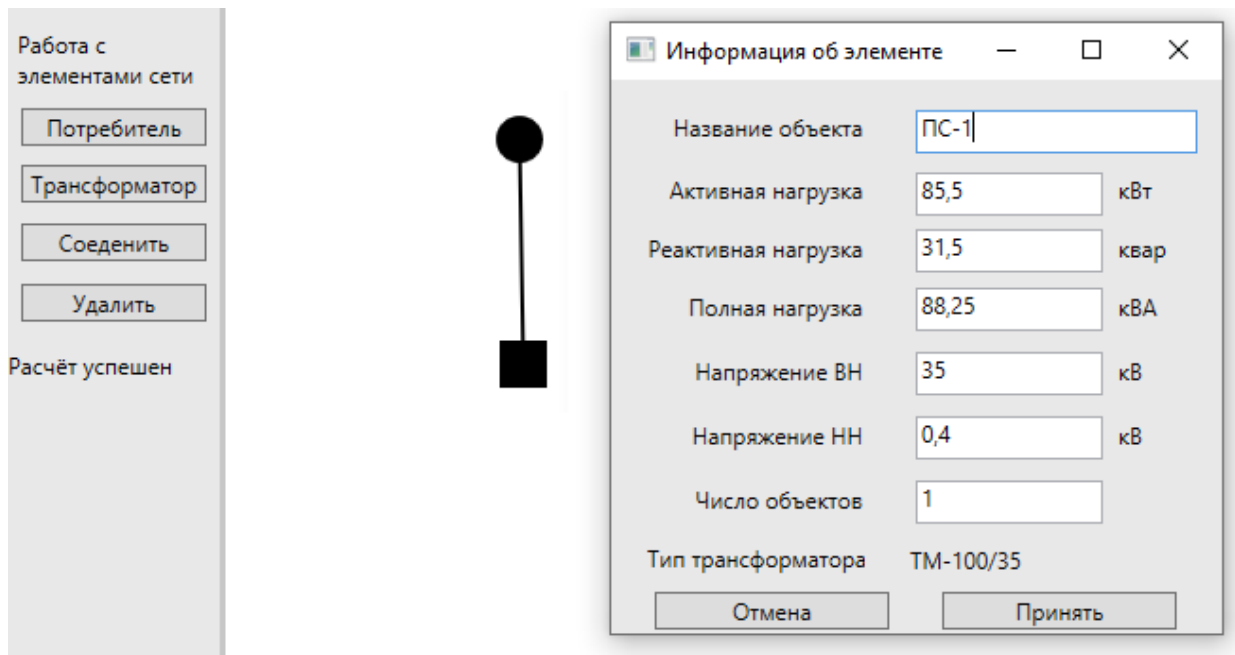


Рисунок 27 – Результаты проведённых этапов для трансформатора

Из рисунка видно, что остальные параметры трансформатора, которые не были введены изначально, рассчитались в зависимости от установленного заранее потребителя, в ходе проведения расчётов внутри программного продукта, так же в зависимости от мощности потребления энергии был выбран тип трансформатора способный на электроснабжение, подключенного к трансформатору, электропотребителя.

Таким образом, была построена и рассчитана простая схема электросети согласно данному примеру, с применением правил и инструкций из «Руководства пользователя». Программный продукт показал соответствие установленным требованиям по всем параметрам и доказал свою пригодность для решения задач электросетей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения высокой надёжности и качества электроснабжения потребителей, как на стадии разработки, так и на стадии эксплуатации, необходимо обеспечивать непрерывное управление и контроль над режимами электроэнергетических систем.

Управление этими режимами строится на решении электросетевых задач. Для решения сложных электросетевых задач в настоящее время необходима реализация сложных математических моделей, которые занимают большое количество времени при обычном ручном расчёте.

Основными электросетевыми задачами в настоящий момент являются: расчёт установившихся режимов электрической сети, оптимизация установившихся режимов ЭЭС, анализ повреждений ЭЭС, анализ статической и динамической устойчивости ЭЭС. С разработкой сложных математических моделей, появляется возможность статистической обработкой моделируемых процессов. Это даёт возможность учесть для изучаемого объекта случайные внешние воздействия. На основе полученных, в ходе экспериментов во время работы этих моделей, результатов, можно сделать статистический отчёт, по которому можно вывести выводы в пользу того или иного варианта реализации реального объекта.

В результате выполнения магистерской диссертации были исследованы и решены следующие задачи:

- изучение и построение модели предметной области;
- сбор знаний и накопление базы знаний в предметной области;
- проектирование модели систем расчёта, анализа и принятия решений в исследуемой предметной области;
- реализация программного продукта;
- подробное описание разработанного программного продукта.

На основании проведённых научных исследований и полученных практических результатов, можно сделать следующие выводы:

1) Тема магистерской диссертации с научной точки зрения является актуальной.

2) Значимость полученных результатов показала пригодность предлагаемого метода решения задач электросети, а так же возможность его дальнейшего изучения и улучшения.

3) Программное средство показало свою пригодность для решения таких электросетевых задач как: проектирование схемы электросети, определение основных характеристик сети, выбор и проверку оборудования для качественного функционирования сети в соответствии с существующими правилами и требованиями, определение основных экономических показателей и прогнозирование доходов и окупаемости электросети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Документация, видео, презентации: [Электронный ресурс] // Программные комплексы RastrWin, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP. URL: www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php
2. Базовый комплекс АНАРЭС: [Электронный ресурс] // АНАРЭС. URL: www.anares.ru
3. DAKAR | Функциональность: [Электронный ресурс] // Комплекс Дакар. URL: www.dakar.eleks.com/page.php?id=9391&
4. Products – DigSILENT: [Электронный ресурс] // DigSILENT URL: <http://www.digsilent.de/en/products.html>
5. [The reference for Power System Dynamic Simulation](http://www.eurostag.be/en/products/eurostag/the-reference-power-system-dynamic-simulation/) [Электронный ресурс] // EUROSTAG and associated products dedicated to the simulation of Power Systems Dynamics. URL: <http://www.eurostag.be/en/products/eurostag/the-reference-power-system-dynamic-simulation/>
6. Справочные материалы программного комплекса Mustang – Латвия, 2005 г.
7. Добро пожаловать в интегрированную среду разработки Visual Studio [Электронный ресурс] // Общие сведения о Visual Studio | Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019>
8. Общие сведения о WPF [Электронный ресурс] // Введение в WPF | Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/framework/wpf/introduction-to-wpf>
9. Сравнение функциональных возможностей существующих программных средств расчета и анализа электрических режимов [Электронный ресурс] // НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА «КИБЕРЛЕНИНКА» URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-funktsionalnyh-vozmozhnostey->

suschestvuyuschih-programmnyh-sredstv-rascheta-i-analiza-elektricheskikh-rezhimov/viewer

10. Стадии цикла разработки ПО - QALight [Электронный ресурс] // Центр подготовки IT-специалистов QALight. URL: <https://qalight.com.ua/baza-znaniy/stadii-tsikla-razrabotki-po/>

11. Справочник по проектированию электрических сетей/Под ред. Д.Л. Файбисовича.-3-е изд., перераб. и доп.-М.:ЭНАС,2009.-392 с:ил

12. РД 34.20.185-98. Инструкция по проектированию городских электрических сетей / Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России». – М.: Энергоатомиздат, 1995. ГОСТ 34.602-89

13. Мясоедов, Ю.В. Электрические станции и подстанции : учебное пособие / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева. – Благовещенск : Изд-во АмГУ. 2013. – 201 с.

14. Неклепаев, Б. И. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования : учеб. пособие для вузов / Б. И. Неклепаев, И. П. Крючков. - 5-е изд., – Санкт-Петербург – Изд-во БХВ: 2013. – 608 с.

15. Кабышев, А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию / А.В. Кабышев. – Томск. : Том. политех. ун-т, 2005. – 168 с.

16. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: Издательство стандартов, 2014. – 7 с.

17. Справочник по проектированию электрических сетей/Под ред. Д.Л. Файбисовича.-3-е изд., перераб. и доп.-М.:ЭНАС,2009.-392 с:ил

18. Правила устройства электроустановок: нормативно-технический материал.-7-е изд.- М. :Энергосервис, 2005.-280 с.

19. Электротехнический справочник под редакцией профессоров МИ/ том 3, 1.М.: энергоиздат

20. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов

короткого замыкания и выбору электрооборудования / Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России». – М.: Издательство ЭНАС, 2001. – 154 с.

21. Козлов, В.А. Электроснабжение городов: Учебное пособие./В.А. Козлов. – Ленинград: Энергия, 1977. – 280 с.

22. Правила электроустановок (шестое и седьмое издание): ПУЭ. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2011. – 465 с.

23. Мясоедов. Ю.В., Савина Н. В., Ротачева А.Г., «Электрическая часть станций и подстанций». Благовещенск 2007.- 192 с.

24. Савина Н.В. Электрические сети в примерах и расчетах / Н.В. Савина, Ю.В. Мясоедов, Л.Н. Дудченко. Учебное пособие. Благовещенск, Издательство АмГУ, 2007. 238с.

25. Файбисович Д.Л., Карапетян И.Г. Укрупнённые стоимостные показатели электрических сетей 35-1150 кВ. М. : Энергетик, 2012.-31 с.

26. Электротехнический справочник, том 3. Под общей редакцией В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского, В.А. Лабунцова, В.П. Морозкина, И.Н. Орлова, А.И. Попова, В.А. Строева. М: Издательство МЭИ, 2007.

27. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

28. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Введ. – 1990-01-01.

29. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий: РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*). Введ. – 01.06.2000 – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 128 с.

30. ГОСТ 12.1.051-90. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Расстояния безопасности в охранной зоне линий электропередачи напряжением свыше 1000 В. Введ. – 1991-07-01– М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

31. Правила устройства электроустановок: нормативно-технический материал.-7-е изд.- М. :Энергосервис, 2005.-280 с.

32. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание, требования к содержанию и оформлению. – М.: Издательство стандартов, 2017. – 8 с.

33. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 10 с.

34. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

35. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. – 2014-07-01 – М.: Росстандарт, 2013.

36. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщиков, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

37. Федеральный закон «Об электроэнергетике» с изменениями на 2 августа 2019 года Введ. – 2003-04-13 – М.: Росстандарт, 2003.

38. Бурманин, Н.С. Разработка программного комплекса для решения электросетевых задач / Н.С. Бурманин, О.В. Жилиндина // Молодежь XXI века: шаг в будущее : материалы XX региональной научно-практической конференции (23 мая 2019 г., Благовещенск) : в 3 томах. – Благовещенск : Изд-во Амурского гос. ун-та, 2019. – Т. 3. – 334 с.

39. Бурманин, Н.С., Жилиндина О.В. Идея разработки интеллектуальной системы принятия решений для выбора оборудования в энергетике / Н.С. Бурманин, О.В. Жилиндина // Экономика и социум: международный научно-практический электронный журнал – Институт управления и социально-экономического развития, 2020 г. – №1(68)

40. Бурманин, Н.С., Жилиндина О.В. Разработка интеллектуальной системы для расчёта экономической составляющей объектов в энергетике / Н.С. Бурманин, О.В. Жилиндина // Экономика и социум: международный научно-практический электронный журнал – Институт управления и социально-экономического развития, 2020 г. – №3(70)

41. Реконструкция системы электроснабжения части города Белогорск с центром питания подстанция Промышленная 35/10 кВ [Текст] : бакалавр. работа / Н. С. Бурманин ; рук. работы П. П. Проценко ; конс. А. Б. Булгаков ; АмГУ, ЭнФ, Каф. Энергетики. - Благовещенск : [б. и.], 2018. - 149 с. + 6 л. черт. прил. - Б. ц.

Техническое задание программного комплекса для решения электросете-
вых задач

1. Введение.

Работа выполняется в рамках проекта «Разработка программного комплекса для решения электросетевых задач».

2. Основание для разработки

2.1 Основанием для данной работы служит Федеральный Закон «Об электроэнергетике (с изменениями на 2 августа 2019 года)» N 300-ФЗ

2.2 Наименование работы:

«Программный комплекс для решения электросетевых задач».

2.3 Краткое наименование работы:

«Расчёт электросети».

3. Исполнитель: Магистрант 2 курса факультета математики и информатики АмГУ Бурманин Никита Сергеевич

3.1 Соисполнители: нет.

3.2 Назначение разработки: Создание программного комплекса для расчёта и анализа электросетевых систем в соответствии требованиями качества и надежности энергетики.

4. Технические требования

4.1. Требования к функциональным характеристикам.

4.1.1. Состав выполняемых функций. Разрабатываемое программное обеспечение должно обеспечивать:

- расчёт и анализ информации о потребителях в данной энергетической системе;
- расчёт и анализ оборудования эксплуатируемого в данной энергетической системе;

Техническое задание программного комплекса для решения электросетевых задач

- предварительный анализ собранной и полученной информации для дальнейшего анализа устойчивости системы;
- выдача рекомендаций по дальнейшей работе;
- расчёт и анализ экономической составляющей.
- создание отчёта о проделанной работе и собранной информации

4.1.2. Организация входных и выходных данных.

Исходные данные в систему поступают в виде значений задаваемых лицом, работающим с программным комплексом. Выходные данные выводятся в виде результатов анализа устойчивости системы и расчётом экономической составляющей энергетической системы..

4.2. Условия эксплуатации и требования к составу и параметрам технических средств.

Для работы системы должен быть выделен ответственный оператор. Требования к составу и параметрам технических средств уточняются на этапе эскизного проектирования системы.

4.3. Требования к информационной и программной совместимости.

Программа должна работать на платформах Windows начиная с XP.

4.4. Требования к транспортировке и хранению.

Программа поставляется на лазерном носителе информации. Программная документация поставляется в электронном и печатном виде.

4.5. Специальные требования.

Программное обеспечение должно иметь дружественный интерфейс, рассчитанный на пользователя (в плане компьютерной грамотности) средней квалификации. Язык программирования – по выбору исполнителя, должен обеспе-

чивать возможность интеграции программного обеспечения с некоторыми видами периферийного оборудования.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Техническое задание программного комплекса для решения электросетевых задач

5. Требования к программной документации

Основными документами, регламентирующими разработку будущих программ, должны быть документы Единой Системы Программной Документации (ЕСПД);

Основной программной документацией необходимой для использования программного продукта является – Руководство пользователя.

6. Техничко-экономические показатели

Эффективность системы определяется удобством использования системы для контроля и управления основными параметрами электросетевой системы, а также экономической выгодой, полученной от внедрения программного комплекса.

7. Порядок контроля и приемки

После передачи Исполнителем отдельного функционального модуля программы Заказчику, последний имеет право тестировать модуль в течение 7 дней. После тестирования Заказчик должен принять работу по данному этапу или в письменном виде изложить причину отказа от принятия. В случае обоснованного отказа Исполнитель обязуется доработать модуль.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Техническое задание программного комплекса для решения электросетевых задач

8. Календарный план работ.

Наименование этапа	Сроки этапа	Результат выполнения этапа
1 Изучение предметной области	02.09.2019 – 30.09.2019	Предложения по разработке программного обеспечения. Выбор жизненного цикла ПО. Проектирование системы. Выбор средства реализации. Разработка системы.
2 Разработка программного модуля по анализу характеристик потребителей.	01.10.2019 – 31.10.2019	Завершение разработки одного из модулей программного средства.
3 Тестирование и отладка модуля.	01.11.2019 – 30.11.2019	Готовая система расчёта и анализа потребителей.
4. Разработка программного модуля по расчёту и анализу системы электросети	01.12.2019 – 31.12.2019	Завершение разработки одного из модулей программного средства.
5. Тестирование и отладка модуля.	01.01.2020 – 31.01.2020	Готовая система расчёта и анализа электросети.
6. Разработка программного модуля по расчёту и анализу экономической составляющей электросети	01.02.2020 – 10.03.2020	Завершение разработки одного из модулей программного средства.
7. Тестирование и отладка модуля.	11.03.2020 – 31.03.2020	Готовая система экономического анализа системы.
8. Финальное тестирование и отладка всего программного комплекса.	01.04.2020 – 31.05.2020	Готовый программный комплекс.

1. Введение

1. Назначение

Программное обеспечение предназначено для решения электросетевых задач на этапе проектирования и эксплуатации электрических систем.

2. Область действия

Программное обеспечение организует работу проектной области деятельности пользователя, а так же отображает и архивирует полученные данные в приложении на компьютере.

3. Определения, акронимы и сокращения

Заказчик – представитель предприятия, для которого разрабатывается данное программное обеспечение.

Исполнитель – студент факультета математики и информатики Бурманин Никита Сергеевич, осуществляющий разработку программного обеспечения.

Пользователь – ответственное лицо, непосредственно работающее на данном оборудовании.

Сервисный инженер – представитель исполнителя на предприятии, осуществляющий установку, настройку и отладку аппаратного и программного обеспечения на территории заказчика.

Отчёт – вывод информации в табличном виде (по ранее представленным формам);

Интерфейс пользователя – графический интерфейс пользователя разрабатывается в соответствии с требованиями заказчика.

4. Ссылки

5. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы.

Спецификация требований программного обеспечения

5. Краткий обзор

ПО предназначено для решения электросетевых задач, согласно заданной математической модели на основе данных, получаемых от пользователя, анализ результата полученных в ходе обработки входных данных, а также его наглядного отображения и архивирования данных и составления отчета по техническим и экономическим характеристикам системы электросети на ПК.

Данные получаемые от пользователя используются в ПО для выполнения ряда электросетевых задач, таких как:

- расчёт нагрузок потребителей
- расчёт потребления электроэнергии
- выбор необходимого устанавливаемого оборудования в схеме
- анализ характеристик исследуемой энергосистемы
- расчёт её технических и экономических показателей

ПО должно обеспечивать точность расчётов и полученных результатов.

Для организации диалога системы с пользователем должен применяться графический оконный пользовательский интерфейс.

Требования к надежности. Система должна обеспечивать корректную обработку аварийных ситуаций, вызванных неверными действиями пользователей, неверным форматом или недопустимыми значениями входных данных. В указанных случаях пользователю должны выдаваться соответствующие аварийные сообщения, после чего возвращаться в рабочее состояние.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Спецификация требований программного обеспечения

2. Общее описание

1. Взаимодействие продукта

ПО для решения электросетевых задач разделено на 3 блока: проектировка и расчёт элементов электросети, расчёт полученной электроэнергетической системы, технико-экономический расчёт и анализ системы.

2. Функции продукта

В проектно-инженерной части оператор составляет схематический план объектов электросети. Вводит необходимые минимальные значения для дальнейшего этапа работы программы.

В части выбора и анализа программное средство проводит математический расчёт в соответствии с требованиями по надёжности и безопасности и предлагает оператору варианты решения в электрической схеме, а затем проводит расчёт анализа и устойчивости системы.

Финальный анализ и технико-экономический расчёт представляет собой последние действия программного средства направленные на составление отчёта включающего в себя полную информацию по технической составляющей системы и представляет экономический расчёт данной системы.

3. Характеристики пользователя

К работе на данном оборудовании может быть допущен персонал, прошедший соответствующее обучение и инструктаж.

4. Ограничения

Установка и настройка должна проводиться сервисным инженером.

5. Допущения и зависимости

При изменении версии необходимо обновление ПО.

3. Детальные требования

1. Требования к внешним интерфейсам

Интерфейсы пользователя

Интерфейс пользователя реализован в виде человеко-машинного интерфейса, в интерфейсе представлены поле для создания электрических схем, на панели программного средства располагаются кнопки ответственные за функционал программы.

Интерфейсы программного обеспечения состоят из рабочего окна программы в котором находятся кнопки выполняющие рабочие функции ПО. Основное пространство рабочего окна представляет собой окно проектирования схемы электросети.

2. Функциональные требования

В функциональные требования программы входит выполнение таких задач как:

- создание и редактирование схем электросети
- ввод данных всех объектов входящих в схему электросети
- автоматический выбор и расчёт устанавливаемого оборудования на основе малого объема исходных данных
- анализ характеристик исследуемой энергосистемы выявление ошибок в схеме и предложение их решения
- расчёт технических и экономических показателей исследуемой энергосистемы.
- формирование подробного отчёта о проделанной работе

Спецификация требований программного обеспечения

3. Требования к производительности

Для функционирования приложения необходимо аппаратное обеспечение в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к конфигурации аппаратного обеспечения клиентской части

Процессор	Intel Core 2 Duo 6450/2.3Ghz, Cache 4 Mb
Оперативная память	1Гб SDRAM
Видеоадаптер	встроен в системную плату
CD-ROM	ATAPI CD-RW
Сетевая плата	Ethernet 100 Мб
Дополнительное оборудование	Монитор SVGA 1024x768, мышь, клавиатура

4. Проектные ограничения

IEEE Std 830-1998

5. Нефункциональные требования

Программное средство должно обладать высокой надёжностью работы и быть доступным для освоения.

6. Другие требования

7. Приложения

8. Алфавитный указатель

Копии сертификатов участника научных конференций

СЕРТИФИКАТ

участника

Бурманин Никита Сергеевич

**XX региональной
научно-практической конференции
«Молодежь XXI века: шаг в будущее»**

Секция Информационные технологии
Мирровизия современного общества

**Председатель
совета ректоров
вузов Амурской области**

Эпики

П.В. Тихончук



**Благовещенск
23 мая 2019 г.**



Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В

Копии сертификатов участника научных конференций



Копии статей научных публикаций

УДК 004.42+621.311.11

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ЗАДАЧ

Бурманин Н.С., магистрант, 1 курс, факультет математики и информатики
Научный руководитель: Жилиндина О.В. канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
blagsburg@yandex.ru

Аннотация: В работе проведён анализ существующих программных средств предназначенных для решения электросетевых задач энергетики, а так же предложено комплексное решение задачи, путём создания программного комплекса, выполняющего ряд электросетевых задач.

Ключевые слова: электросетевые задачи, электроэнергетическая система, программный комплекс.

В связи с возрастающими требованиями по улучшению надёжности и качества электроснабжения потребителей, как на стадии проектирования, так и на стадии обслуживания, возникает необходимость в использовании эффективных методов решения этой задачи. Одним из этих методов является разработка программных комплексов, способных решать электросетевые задачи.

На данный момент основными электросетевыми задачами являются расчёт установившихся режимов электроэнергетической системы, их оптимизация и анализ. Выполнение этих задач решает вопрос контроля и управления электроэнергетическими системами. Для этого требуется создание сложных математических моделей, с возможностью многократного воспроизведения моделируемых процессов с их последующей статистической обработкой. Это позволяет учитывать случайные воздействия на изучаемый объект. И на основе полученной, в ходе моделирования, статистики, делаются выводы в пользу того или иного варианта функционирования либо конструкции реального объекта.

В настоящее время в Российской Федерации и в странах СНГ используются несколько основных программных комплексов для решения электросетевых задач:

1. RastrWin – ООО «Фонд кафедры АЭС им. Д.А. Арзамасцева» г. Екатеринбург.
2. DAKAR – ELEKS Software Представительство в СНГ – Львов, Украина.
3. АНАРЭС-2000 – ООО «ИДУЭС» и ЗАО «Энергетические технологии».
4. DigSILENT PowerFactory – компания DigSILENT GmbH, Германия.
5. EUROSTAG – компания Tractebel Engineering, Бельгия.

Перечисленные программные комплексы имеют, как индивидуальные особенности, так и ряд общих черт. К общим признакам можно отнести традиционную ориентацию на исходные данные в текстовом представлении.

Копии статей научных публикаций

Анализ руководства пользователя данных программных комплексов [1-5] приводит к выводу, что программные комплексы производства СНГ имеют, как правило, узкую направленность на решение конкретных технологических задач, в то время, как зарубежные комплексы позиционируются как комплексные инструменты, сосредоточенные на решении задач экономической оптимизации в условиях рынка электроэнергии.

В связи с этим, выясняется, что наиболее комплексным решением задачи является разработка программного комплекса, способного на решение ряда электросетевых задач.

Наиболее важным этапом в разработке является определение порядка получения и обработки данных, с целью вывода нужного результата. Основной идеей разработки является переориентирование с традиционного предоставления исходных данных в текстовом виде, на их графическую модель. Вследствие этого необходимо создать базы данных необходимые для графического представления исходных данных. Этими базами данных будут являться основные элементы электрической сети, такие как трансформаторы, линии электропередач и типовые потребители.

Поэтому требуется разработка удобного, простого и интуитивно понятного графического интерфейса программного комплекса с возможностью составления подробной электрической сети, а так же возможностью её анализа и изменения.

Так же одной из идей разработки программного комплекса является создание экономической базы данных элементов электрической сети, на основе которой будет подбираться экономически обоснованное оборудование в соответствии с требованиями безопасности и качества электроэнергии.

Библиографический список

1. Документация, видео, презентации: [Электронный ресурс] // Программные комплексы RastrWin, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP. URL: www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php
2. Базовый комплекс АНАРЭС: [Электронный ресурс] // АНАРЭС. URL: www.anares.ru
3. DAKAR | Функциональность: [Электронный ресурс] // Комплекс Дакар. URL: www.dakar.eleks.com/page.php?id=9391&
4. Products – DigSILENT: [Электронный ресурс] // DigSILENT <http://www.digsilent.de/en/products.html>
5. [The reference for Power System Dynamic Simulation](http://www.eurostag.be/en/products/eurostag/the-reference-power-system-dynamic-simulation/) [Электронный ресурс] // EUROSTAG and associated products dedicated to the simulation of Power Systems Dynamics. URL: <http://www.eurostag.be/en/products/eurostag/the-reference-power-system-dynamic-simulation/>

УДК 004.42+621.311.11

Бурманин Н.С.

студент магистратуры

2 курс, факультет «математики и информатики»

ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»

Российская федерация, г.Благовещенск

Научный руководитель: Жилиндина О.В.

канд. техн. наук, доцент

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Аннотация: Проектирование энергетических систем является сложным процессом, который характеризуется значительными затратами ресурсов (финансовых, трудовых, временных), а также множеством возникающих проблем, на этапе выбора оборудования необходимого для функционирования системы. Для надежного и эффективного проектирования энергетической системы необходима разработка интеллектуальной системы принятия решений, которая позволит быстро обработать большие объемы нужной информации, выявить возможные варианты решения задачи выбора, а также проанализировать эффективность применения каждого варианта. Статья посвящена разработке интеллектуальной системы принятия решений для выбора оборудования в энергетике. Проведен анализ деятельности интеллектуальных систем, рассмотрены тенденции и необходимость применения интеллектуальных систем в энергетической отрасли.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г
Копии статей научных публикаций

Ключевые слова: энергетика, энергетическая система, программный комплекс, интеллектуальная система, система принятия решений, проектирование.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г
Копии статей научных публикаций

Burmanin N.S.
graduate student

2 year, faculty of "mathematics and computer science"

FSFEI of HE "Amur State University"

Russian Federation, city Blagoveshchensk

Scientific adviser: Zhilindina O.V.

Cand. tech. sciences, docent

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT DECISION-MAKING SYSTEM
FOR THE SELECTION OF EQUIPMENT IN POWER ENGINEERING

Abstract: Designing energy systems is a complex process, which is characterized by significant resource costs (financial, labor, time), as well as many problems that arise at the stage of selecting facilities necessary for the functioning of the system. For reliable and efficient energy system design, it is necessary to develop an intelligent decision-making system that will allow you to quickly process large volumes of the necessary information, identify possible solutions to the problem of choice, and analyze the effectiveness of each option. The article is devoted to the development of an intelligent decision-making system for the selection of facilities in the energy sector. The analysis of the activity of intelligent systems is carried out, the trends and the need for the use of intelligent systems in the energy industry are considered.

Key words: energy, energy system, software, intelligent system, decision-making system, design.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

Интеллектуальная система — это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока — базу знаний, механизм вывода решений и интеллектуальный интерфейс.

В области технологий для принятия решений интеллектуальная система — это информационно-вычислительная система с интеллектуальной поддержкой, решающая задачи без участия лица, принимающего решение.

Так же информационно-вычислительной системой с интеллектуальной поддержкой называют те системы, в которых логическая обработка информации преобладают над вычислительной обработкой.

Таким образом, любая информационная система, решающая интеллектуальную задачу или использующая методы искусственного интеллекта, относится к интеллектуальным.

Электроэнергетика — отрасль экономики Российской Федерации, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов (в том числе входящих в Единую энергетическую систему России), принадлежащих на праве собственности или на ином предусмотренном федеральными законами основании субъектам электроэнергетики или

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

иным лицам. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения.

Техническая политика в области развития энергетических сетей и систем энергетической отрасли предусматривает совершенствование и развитие распределительного комплекса с использованием интеллектуальных систем управления процессом распределения электроэнергии на всех его этапах.

Во всем мире в настоящее время активно внедряют технологии, позволяющие минимизировать потери, а также улучшить работу энергетических объектов. Любая энергетическая система должна соответствовать таким критериям, как эффективность, надежность и прибыльность. Для достижения высоких показателей, необходимо использовать интеллектуальные технологии, которые уменьшат потери электроэнергии, увеличат генерацию и оптимизируют потребление электроэнергии на всех стадиях проектирования, реализации и эксплуатации.

Проектирование энергетических объектов невозможно без большого опыта работы, высококлассных специалистов и индивидуального подхода к каждому объекту энергетического хозяйства. Необходимо производить комплексную проектировку энергетических объектов, от этапа сбора первичной информации и составления бюджета, до определения техпроцессов и оборудования, требуемого для реализации поставленной задачи.

Проектирование энергетических объектов ведется в полном соответствии со стандартами безопасности, а так же регламентами ГОСТ и СНиП, предъявляемых к энергетическим объектам.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

Для оптимизации затрат при проектировании энергетических объектов, для увеличения стабильности, производительности и надежности электрической инфраструктуры, необходимо производить качественный подбор необходимого оборудования.

Отрасль энергетики активно развивается в настоящее время в связи с растущими требованиями к качественному и эффективному энергоснабжению. Многие компании и предприятия переходят или используют интеллектуальные технологии в электроэнергетике.

Такие технологии подразумевают использование телекоммуникаций и ИТ-навыков, которые в совокупности позволяют создать более эффективную систему производства, распределения и потребления электроэнергии. Если ранее в энергетике отслеживать все процессы человеку приходилось самостоятельно, то теперь возникла высокая необходимость в упрощении труда специалистов.

Для решения задач энергетики требуется создание сложных математических моделей, расчёт которых вручную занимает большое количество времени. В настоящее время в Российской Федерации преимущественно используются несколько основных программных комплексов для решения электросетевых задач:

1. RastrWin – РОО «Фонд кафедры АЭС им. Д.А. Арзамасцева» г. Екатеринбург.

2. АНАРЭС-2000 – ООО «ИДУЭ» и ЗАО «Энергетические технологии».

Эти программные комплексы имеют как ряд общих черт, так и ряд особенностей. Они обладают большим функционалом для решения ряда задач. Однако все необходимые для расчёта данные пользователю необходимо вводить вручную и уже на основе этих данных принимать решение по выбору оборудования в соответствии с установленными правилами и требованиями.

Так как человек не всегда способен принять правильное решение по каждому возникающему вопросу на этапе проектирования энергетической системы, возникла идея передачи данной задачи интеллектуальной системе, которая будет точно подбирать возможные варианты решения задач и принимать наилучший из них с точки зрения эффективности и качества энергоснабжения объектов энергетической сети.

Для разработки интеллектуальной системы принятия решений для выбора оборудования в энергетике необходимо создать математические и логические модели способные к расчёту характеристик будущих объектов с дальнейшим подбором вариантов наиболее близких к эффективному решению поставленной задачи.

Применение интеллектуальных систем в различных научных, производственных и других сферах жизни становится всё более актуальной, ведь эффективность таких систем является крайней высокой, с точки зрения полученных результатов, так же помогает оптимизировать ресурсы, затрачиваемые на выполнение поставленных задач, и позволяет предотвратить возможные ошибки на всех этапах деятельности.

Поэтому идея разработки интеллектуальной системы принятия решений для выбора оборудования в энергетике является актуальной. Применение такой системы позволит решить множество проблем возникающих на этапе проектирования объектов энергетики, а также поможет сократить нагрузку на персонал, проводящий инженерные расчёты, возникающие при проектировании.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

Использованные источники:

1. Документация, видео, презентации: [электронный ресурс] // Программные комплексы RastrWin, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP. URL: www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php
2. Базовый комплекс АНАРЭС: [электронный ресурс] // АНАРЭС. URL: www.anares.ru
3. Федеральный закон «Об электроэнергетике» с изменениями на 2 августа 2019 года Введ. – 2003-04-13 – М.: Росстандарт, 2003.
4. Лисьев Г.А., Попова И.В. Технологии поддержки принятия решений [электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.А. Лисьев, И.В. Попова. — 3-е издание, стереотипное. — М.: Издательство «ФЛИНТА», 2017. — 133 с.

УДК 004.42+621.311.11

Бурманин Н.С.
магистрант

2 курс, факультет «математики и информатики»
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
Российская федерация, г.Благовещенск

Жилиндина О.В.
канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
Российская федерация, г.Благовещенск

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЁТА
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОБЪЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Аннотация: Проектирование энергетических систем является сложным процессом, который характеризуется значительными затратами ресурсов, а также множеством возникающих проблем, на этапе выбора оборудования необходимого для функционирования системы. Для надежного и эффективного проектирования энергетической системы необходима разработка интеллектуальной системы, которая позволит быстро обработать большие объемы нужной информации, выявить возможные издержки капитального строительства объектов энергетики, а также проанализировать их экономическую эффективность. Статья посвящена разработке интеллектуальной системы для расчёта экономической составляющей объектов энергетической отрасли и их экономических характеристик. Проведен анализ деятельности интеллектуальных систем, рассмотрены тенденции и необходимость применения интеллектуальных систем в энергетической отрасли.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г
Копии статей научных публикаций

Ключевые слова: энергетика, энергетическая система, программный комплекс, интеллектуальная система, проектирование, экономика, экономическая модель.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г
Копии статей научных публикаций

Burmanin N.S.

postgraduate student

2 year, faculty of "mathematics and computer science"

FSFEI of HE "Amur State University"

Russian Federation, city Blagoveshchensk

Zhilindina O.V.

Cand. tech. sciences

FSFEI of HE "Amur State University"

Russian Federation, city Blagoveshchensk

DEVELOPMENT OF AN INTELLECTUAL SYSTEM FOR CALCULATION OF THE ECONOMIC COMPONENT OF OBJECTS IN ENERGY

Abstract: The design of energy systems is a complex process, which is characterized by significant costs of resources, as well as many problems that arise at the stage of selecting equipment necessary for the functioning of the system. For reliable and efficient energy system design, it is necessary to develop an intelligent system that will quickly process large volumes of the necessary information, identify possible costs of capital construction of energy facilities, and also analyze their economic efficiency. The article is devoted to the development of an intelligent system for calculating the economic component of energy industry facilities and their economic characteristics. The analysis of the activity of intelligent systems is carried out, the trends and the need for the use of intelligent systems in the energy industry are considered.

Key words: energy, energy system, software, intelligent system, design, economics, economic model.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

В последнее время произошло значительное расширение практического применения информационных технологий и систем в области экономики. Интеллектуальные системы в настоящее время используются в различных сферах экономики.

Интеллектуальная система — это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы.

Основное назначение интеллектуальной системы в экономической сфере - обеспечить обработку и выдачу информации для принятия решения по руководству функционированием и развитием экономического объекта.

Электроэнергетика — отрасль экономики Российской Федерации, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов (в том числе входящих в Единую энергетическую систему России), принадлежащих на праве собственности или на ином предусмотренном федеральными законами основании субъектам электроэнергетики или иным лицам. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения.

В настоящее время активно внедряют технологии, позволяющие минимизировать потери, а также улучшить точность получаемых расчётов. Любая энергетическая система должна соответствовать таким критериям, как эффективность, надежность и прибыльность. Для достижения высоких

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

показателей, необходимо использовать интеллектуальные технологии, которые уменьшат потери электроэнергии, увеличат генерацию и оптимизируют потребление электроэнергии на всех стадиях проектирования, реализации и эксплуатации.

Проектирование энергетических объектов невозможно без большого опыта работы, высококлассных специалистов и индивидуального подхода к каждому объекту энергетического хозяйства. Необходимо производить комплексную проектировку энергетических объектов, от этапа сбора первичной информации и составления бюджета, до определения техпроцессов и оборудования, требуемого для реализации поставленной задачи.

Однако, в настоящее время программных комплексов способных на расчёт экономической составляющей объектов электроэнергетического хозяйства и моделирования рынка электроэнергетики крайне мало. Все подобные программные средства чаще всего применяются зарубежными электроэнергетическими компаниями, для расчёта объектов капитального строительства, возможных инвестиционных вложений и прогноза окупаемости электроэнергетических систем и их объектов.

Реализация в экономической модели объектов электроэнергетики позволяет построить классическую схему управления экономических процессов по следующим этапам:

- планирование работ;
- сбор и анализ данных о происходящих процессах;
- анализ соответствия фактических результатов плановым показателям;
- разработка организационных, финансовых, маркетинговых и иных процедур, снижающих влияние неблагоприятных факторов: снижение рыночного спроса или изменения стоимости комплектующих изделий;

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

- адаптация дальнейших планов работ с учетом сложившихся условий.

Такая схема управления на практике не имеет универсальных решений. Она формируется с учетом специфики и масштаба бизнеса, существующего менеджмента, уровня детализации решаемых задач.

Появляется необходимость в создании и постоянной актуализации нескольких расчетных моделей, что увеличивает риск возникновения ошибок, может снижать точность расчетов и отражается на их качестве. Зачастую это приводит к поиску субподрядчиков на отдельные виды расчетов и, соответственно, к вынужденным финансовым потерям предприятия.

Для разработки интеллектуальной системы для расчёта экономической составляющей в энергетике необходимо создать математические и логические модели способные к расчёту стоимости, затрат на содержание, и доход будущих объектов с получением подробной предварительной экономической оценкой проектируемой или уже обслуживаемой электроэнергетической системы.

Поэтому идея разработки интеллектуальной системы для расчёта экономической составляющей в энергетике является актуальной. Применение такой системы позволит получить экономическую модель проектируемых электроэнергетических систем, исходя из которых, можно будет сделать вывод о предположительных изменениях, обоснованных на экономических характеристиках, в проекте.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Копии статей научных публикаций

Использованные источники:

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» с изменениями на 2 августа 2019 года Введ. – 2003-04-13 – М.: Росстандарт, 2003.
2. Лисьев Г.А., Попова И.В. Технологии поддержки принятия решений [электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.А. Лисьев, И.В. Попова. — 3-е издание, стереотипное. — М.: Издательство «ФЛИНТА», 2017. — 133 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов./В. В. Косов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров и др. – М.: Экономика, 2000.
4. Мисриханов М. Ш., Мозгалев К. В., Неклепаев Б. Н., Шунтов А. В. и др. О технико-экономическом сравнении вариантов электроустановок при проектировании // Электрические станции. 2004. № 2.