

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

В.В. Рябинин

# **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Учебное пособие*

Благовещенск  
Издательство АмГУ  
2013

ББК31.2  
П78

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета*

***Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»***

*Рецензенты:*

*Дмитрий Анатольевич Голубев, зам. начальника инженерного центра филиала «Амурские электрические сети» ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»*

Рябинин, В. В. Программные средства автоматизации профессиональной деятельности: учеб. пособие / сост. : В. В. Рябинин – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 134 с.

Учебное пособие содержит теоретические сведения по курсу «Программные средства автоматизации профессиональной деятельности». Рассмотрены средства и методы автоматизированного проектирования, основы машинной графики, методы выполнения математических и инженерных расчётов в энергетике с помощью персональных компьютеров, программные продукты, используемые в эксплуатации энергетических компаний.

Пособие предназначено для студентов всех профилей, обучающихся по направлению 13.03.02 (140400.62) – «Электроэнергетика и электротехника».

***В авторской редакции.***

***ББК31.2***

©Амурский государственный университет, 2013

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время инженер практически не может обойтись без специальных программных и компьютерных средств в практической работе и проектировании. Это объясняется постоянным ростом требований к качеству проектных работ и точности вычислений.

Используемые ранее упрощенные методики расчетов перестали удовлетворять требованиям, предъявляемым к современной проектно-конструкторской разработке. Автоматизация математических и инженерных расчётов в энергетике – насущная необходимость из-за больших временных затрат, трудоемкости и ограниченных возможностей ручных вычислений. Использование более совершенных методик расчета, а также рассмотрение большого числа проектных решений вынуждает инженера использовать современные программные комплексы и пакеты программ с целью снижения собственных трудозатрат и увеличения времени на творческую проработку проекта.

Например, инженер, работающий в службе управления режимами, ежедневно сталкивается с необходимостью расчета установившихся режимов электрических сетей в связи с изменением их параметров и конфигурации. Это приводит к большому количеству вычислений, которые быстро и эффективно без использования вычислительной техники и современного программного обеспечения выполнить практически невозможно.

Следовательно, формирование у будущих бакалавров теоретических знаний и практических навыков работы с современным программным обеспечением, а также получение теоретических и практических знаний по проектированию в энергетике будет способствовать появлению и закреплению у студента навыков инженера-проектировщика, а также содействовать его практической работе и его карьерному росту.

**Целями** освоения дисциплины «Программные средства автоматизации профессиональной деятельности» являются формирование систематизированных знаний в области автоматизированного проектирования и инженерных расчётов, приобретение бакалаврантами практических навыков работы с системами автоматизированного проектирования (САПР) и программно-вычислительными комплексами (ПВК), которые используются в эксплуатации энергетических компаний для решения распространенных задач в электроэнергетике.

Освоение данной дисциплины помогает студенту в приобретении следующих **компетенций**:

- способность к обобщению, анализу и восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

- способность и готовность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией (ОК-11);

- способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-15);

- способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области (ПК-1);

- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3);

- готовность использовать информационные технологии в своей предметной области (ПК-10);

- способность использовать методы анализа и моделирования линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока (ПК-11);

- способность графически отображать геометрические образы изделий и объектов электрооборудования, схем и систем (ПК-12);

- способность использовать современные информационные технологии, управлять информацией с применением прикладных программ; использовать сетевые компьютерные технологии, базы данных и пакеты прикладных в своей предметной области (ПК-19);

- готовность понимать существо задач анализа и синтеза объектов в технической среде (ПК-41).

Дисциплина «Программные средства автоматизации профессиональной деятельности» входит в математический и естественнонаучный цикл (Б2), вариативную часть и относится к дисциплинам по выбору.

Знания, полученные при освоении дисциплины, могут быть востребованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

Настоящее учебное пособие – очередная часть комплекта учебно-методических материалов, разрабатываемого кафедрой энергетики Амурского государственного университета, в которой найдут отражение разделы, предусмотренные государственными образовательными стандартами при изучении дисциплины «Программные средства автоматизации профессиональной деятельности» и родственных ей.

В пособии в основном содержатся материалы лекционной части дисциплины. Часть разделов может быть использована при подготовке к лабораторным занятиям и при выполнении самостоятельной работы.

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

## 1.1. Общие сведения

Под *проектированием* понимается комплекс работ по изысканиям, исследованию, расчетам и конструированию, имеющих целью получение описания, необходимого и достаточного для создания нового изделия или реализации нового процесса, удовлетворяющих заданным требованиям.

Выделяют 3 основных способа реализации проектирования:

- если весь процесс проектирования осуществляется человеком, то проектирование называют *неавтоматизированным*.

- проектирование, при котором происходит взаимодействие человека и ЭВМ называется *автоматизированным*. Автоматизированное проектирование, как правило, осуществляется в режиме диалога человека с ЭВМ на основе применения специальных языков общения с ЭВМ.

- проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляется без участия человека, называется *автоматическим*.

Совокупность проектных документов в соответствии с установленным перечнем, в котором представлен результат проектирования, называется *проектом*.

*Система автоматизированного проектирования* (САПР, в английской нотации CAD) – организационно-техническая система, представляющая собой комплекс средств автоматизированного проектирования, взаимосвязанный с подразделениями проектной организации и выполняющий автоматизированное проектирование.

Под *автоматизацией* проектирования понимают систематическое применение ЭВМ в процессе проектирования при научно обоснованном распределении функций между проектировщиком и ЭВМ и научно обоснованном выборе методов машинного решения задач [1].

*Цели автоматизации:*

- повысить качество проектирования;
- снизить материальные затраты на него;
- сократить сроки проектирования;
- ликвидировать рост числа инженерно-технических работников, занятых проектированием и конструированием.

Научно обоснованное распределение функций между человеком и ЭВМ подразумевает, что человек должен решать задачи, носящие творческий характер, а ЭВМ – задачи, решение которых поддается алгоритмизации.

Существенным отличием автоматизированного проектирования от неавтоматизированного является возможность замены дорогостоящего и занимающего много времени физического моделирования математическим моделированием.

## **1.2 Операции, процедуры и этапы проектирования [1]**

Процесс проектирования делится на этапы, которые, в свою очередь, делятся на процедуры и операции.

*Проектная процедура* – формализованная совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением.

*Проектное решение* – промежуточное или окончательное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

*Проектная операция* – действие или совокупность действий, составляющих часть проектной процедуры, алгоритм которых остается неизменным для ряда проектных процедур. Примерами проектных операций являются составление таблиц с данными вычисления, вычерчивание топологии, ввод и вывод данных и т. п. Соответственно проектная процедура, алгоритм которой остается неизменным для различных объектов проектирования или различных стадий проектирования одного и того же объекта, называется *унифицированной проектной процедурой* [1].

*Этап проектирования* – условно выделенная часть процесса проектирования, состоящая из одной или ряда проектных процедур. Иногда в процессе проектирования выделяют ту или иную последовательность процедур и (или) этапов под названием «маршрут проектирования».

Различают два способа проектирования (два типа маршрутов).

*Восходящее проектирование (проектирование снизу-вверх)* имеет место, если выполнение процедур в низких иерархических уровнях предшествует выполнению процедур, относящихся к более высоким иерархическим уровням.

*Нисходящее проектирование (проектирование сверху-вниз)* характеризуется противоположной последовательностью выполнения процедур и этапов. Восходящее проектирование обычно применяется на тех иерархических уровнях, на которых проектируются типовые объекты. Нисходящее проектирование охватывает те уровни, на которых проектируются объекты, ориентированные на использование в качестве элементов в одной конкретной системе.

### **1.3 Преимущества автоматизации профессиональной деятельности, ее роль и значение в развитии экономики страны**

Для решения различных задач в области промышленной энергетики, сопровождающихся большим количеством вычислений, объем и сложность которых непрерывно возрастает, упрощенные вычисления и приближенные методики перестали удовлетворять требованиям, предъявляемым к современной проектно-конструкторской разработке. Уровень развития вычислительной техники и используемое базовое и прикладное программное обеспечение позволяют проводить проектно-конструкторские работы при выполнении курсового и дипломного проектирования в автоматизированном режиме. Следовательно, одной из основных задач подготовки инженеров-энергетиков, является приобретение студентами навыков проектирования с использованием персональных компьютеров (ПК), овладение техническими средствами поддержки автоматизированного проектирования и знакомство с современным информационным обеспечением, т.е. подготовка их как

пользователей существующих автоматизированных рабочих мест (АРМ), широко используемых в проектных организациях и на производстве.

Энергетика является одной из важнейших отраслей в экономике государства, т.к. она теснейшим образом связана со всеми отраслями народного хозяйства и является базой их дальнейшего развития. Поэтому повышение эффективности и качества проектирования, а также сокращение его сроков представляет собой одну из важнейших задач динамического развития экономики в рыночных условиях. Эта задача может быть решена путем автоматизации инженерного труда при проектировании, реализующимся по двум основным направлениям:

- выполнение оптимизационных расчетов с использованием специальных математических методов оптимизации принятия проектных решений;

- автоматизация выполнения всех легко формализуемых вычислительных и логических операций при инженерном проектировании, базирующемся на традиционной методике, оставляя за проектировщиком решение нестандартных вопросов, требующих творческой целеустремленности и инициативы, основанных на накопленном опыте.

Изучение процесса проектирования в электроэнергетике показывает, что практически все основные трудоемкие технические и экономические расчеты могут быть без особых затруднений формализованы и выполнены с помощью современных ПК, причем необязательно профессиональных, а наиболее распространенных.

С помощью этих ПК можно автоматизировать выполнение следующих расчетов:

- определение электрических нагрузок, расчет центра электрических нагрузок, расчет оптимального размещения компенсирующих устройств;

- технико-экономические расчеты при сравнении различных вариантов конфигурации сети, при выборе силовых трансформаторов и др.;

- проверка электрических сетей на потерю и регулирование напряжения;

- расчет токов коротких замыканий (КЗ) и проверка оборудования на устойчивость токам КЗ;

- расчет установившихся и послеаварийных режимов в электрической сети;

- расчеты уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линий электропередачи;

- расчеты молниезащиты открытых распределительных устройств.

Применение средств вычислительной техники для проектирования в области энергетики дает ощутимый экономический эффект и позволяет получить реальную прибыль при решении задач оптимизации:

- значительно сокращаются сроки разработки проекта, что позволяет использовать в проекте более современные технические решения, а также использовать законченные разработки по технологической части проекта;

- решаемые с помощью ПК задачи имеют меньшие расчетные затраты и максимальную прибыль, благодаря тому, что найденный вариант будет близок к оптимальному;

- квалифицированный инженерно-технический персонал освобождается от утомительной рутинной расчетной работы, исключаются субъективные ошибки в расчетах и проектной документации, что повышает качество проектной разработки;

- резко повышается производительность труда каждого проектировщика независимо от опыта работы и уровня квалификации.

## 2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И МАШИННАЯ ГРАФИКА

*Программное обеспечение* (англ. *software*) – совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ [26].

Программное обеспечение (ПО) является одним из видов обеспечения вычислительной системы, наряду с техническим (аппаратным), математическим, информационным, лингвистическим, организационным и методическим обеспечением.

### 2.1 Классификация программного обеспечения [26]

Классически ПО принято подразделять по назначению:

- системное;
- прикладное;
- инструментальное.

*Системное ПО* – комплекс программ, которые обеспечивают управление компонентами компьютерной системы, такими как процессор, оперативная память, устройства ввода-вывода, сетевое оборудование, выступая как «межслойный интерфейс», с одной стороны которого аппаратура, а с другой – приложения пользователя. В отличие от *прикладного ПО*, системное не решает конкретные практические задачи, а лишь обеспечивает работу других программ, предоставляя им сервисные функции, абстрагирующие детали аппаратной и микропрограммной реализации вычислительной системы, управляет аппаратными ресурсами вычислительной системы.

Отнесение того или иного ПО к системному условно, и зависит от соглашений, используемых в конкретном контексте. Как правило, к системному ПО относятся операционные системы, утилиты, системы программирования, системы управления базами данных (СУБД), широкий класс связующего ПО.

Существует два вида системного ПО: *базовое* и *сервисное*. Базовое ПО состоит из минимального набора программных средств, которые занимаются обеспечением работы компьютера. Базовое ПО уже поставляется вместе с

компьютером. *Сервисное ПО* – это программы и программные комплексы, которые расширяют возможности базового ПО и организуют более удобную среду работы пользователя.

*Прикладное ПО* – программы, предназначенные для выполнения определенных пользовательских задач и рассчитанные на непосредственное взаимодействие с пользователем. В большинстве операционных систем прикладные программы не могут обращаться к ресурсам компьютера напрямую, а взаимодействуют с оборудованием посредством операционной системы. Прикладное ПО состоит из отдельных прикладных программ и пакетов прикладных программ, предназначенных для решения различных задач пользователей, а также автоматизированных систем, созданных на основе этих пакетов.

*Инструментальное ПО* – программное обеспечение, предназначенное для использования в ходе проектирования, разработки и сопровождения программ, в отличие от прикладного и системного ПО.

## **2.2 Пакеты прикладных программ [12, 23]**

*Пакет прикладных программ (ППП)* – это комплекс взаимосвязанных программ для решения определенного класса задач из конкретной предметной области. На текущем этапе развития информационных технологий именно ППП являются наиболее востребованным видом прикладного ПО. Это связано с упомянутыми ранее особенностями ППП. Рассмотрим их подробнее:

- ориентация на решение класса задач. Одной из главных особенностей является ориентация ППП не на отдельную задачу, а на некоторый класс задач, в том числе и специфичных, из определенной предметной области;

- наличие языковых средств. Другой особенностью ППП является наличие в его составе специализированных языковых средств, позволяющих расширить число задач, решаемых пакетом или адаптировать пакет под конкретные нужды. Поддерживаемые языки могут быть использованы для формализации исходной задачи, описания алгоритма решения и начальных данных, организации доступа к внешним источникам данных, разработки

программных модулей, описания модели предметной области, управления процессом решения в диалоговом режиме и других целей;

- единообразии работы с компонентами пакета. Еще одна особенность ППП состоит в наличии специальных системных средств, обеспечивающих унифицированную работу с компонентами. К их числу относятся специализированные банки данных, средства информационного обеспечения, средства взаимодействия пакета с операционной системой, типовой пользовательский интерфейс и т.п.

#### 2.2.1 Обзор основных этапов развития, эволюция, современное состояние

Первые ППП представляли собой простые тематические подборки программ для решения отдельных задач в той или иной прикладной области, обращение к ним выполнялось с помощью средств оболочки операционной системы или из других программ.

Современный пакет является сложной программной системой, включающей специализированные системные и языковые средства. В относительно короткой истории развития вычислительных ППП можно выделить 4 основных поколения (класса) пакетов. Каждый из этих классов характеризуется определенными особенностями входящих в состав ППП компонентов – входных языков, предметного и системного обеспечения.

*Первое поколение.* В качестве входных языков ППП первого поколения использовались универсальные языки программирования (Фортран, Алгол-60 и т.п.) или языки управления заданиями соответствующих операционных систем. Проблемная ориентация входных языков достигалась за счет соответствующей мнемоники в идентификаторах. Составление заданий на таком языке практически не отличалось от написания программ на алгоритмическом языке.

*Второе поколение.* Разработка ППП второго поколения осуществлялась уже с участием системных программистов. Это привело к появлению специализированных входных языков на базе универсальных языков программирования. Проблемная ориентация таких языков достигалась не только за счет использования определенной мнемоники, но также применением

соответствующих языковых конструкций, которые упрощали формулировку задачи и делали ее более наглядной. Транслятор с такого языка представлял собой препроцессор (чаще всего макропроцессор) к транслятору соответствующего алгоритмического языка.

*Третье поколение.* Третий этап развития ППП характеризуется появлением самостоятельных входных языков, ориентированных на пользователей, не являющихся программистами. Особое внимание в таких ППП уделяется системным компонентам, обеспечивающим простоту и удобство. Это достигается главным образом за счет специализации входных языков и включения в состав пакета средств автоматизированного планирования вычислений.

*Четвертое поколение.* Четвертый этап характеризуется созданием ППП, эксплуатируемых в интерактивном режиме работы. Основным преимуществом диалогового взаимодействия с ЭВМ является возможность активной обратной связи с пользователем в процессе постановки задачи, ее решения и анализа полученных результатов.

### 2.2.2 Перспективы развития ППП

Большое внимание в настоящее время уделяется проблеме создания «интеллектуальных ППП». Такой пакет позволяет конечному пользователю лишь сформулировать свою задачу в содержательных терминах, не указывая алгоритма ее решения. Синтез решения и сборка целевой программы производятся автоматически. Такой способ решения иногда называют концептуальным программированием, характерными особенностями которого является программирование в терминах предметной области, использование ЭВМ уже на этапе постановки задач, автоматический синтез программ решения задачи, накопление знаний о решаемых задачах в базе знаний.

На сегодняшний день в качестве основных факторов, влияющих на функциональность ППП и сложность их разработки, можно отметить следующие:

- рост производительности персональных компьютеров;

- расширение классов решаемых задач;
- увеличение общего числа пользователей;
- значительное количество ранее созданного (наследованного) ПО;
- развитие Интернет и корпоративных сетей.

Разработка приложений с учетом этих факторов привела к появлению прикладных пакетов и интегрированных сред, которые по своим характеристикам выходят за рамки ППП четвертого поколения. Перечислим отличительные черты ПО нового поколения:

- интеграция компонентов прикладного пакета не только с приложениями пакета, но и с окружением;
- широкое использование отраслевых стандартов;
- использование инфраструктуры глобальной сети Интернет;
- платформонезависимость (кроссплатформенность).

Ввиду повсеместного проникновения Интернета можно говорить о том, что прикладное ПО будет переходить в разряд сервиса, то есть пользователи будут работать с необходимым программным обеспечением через Сеть. В основе технологий, обеспечивающих подобные возможности, лежит ряд совместных наработок ведущих производителей ПО и организаций по стандартизации. К ним относятся сервисно-ориентированная архитектура корпоративных приложений (веб-сервисы) и стандартизованные форматы документов.

Перспективным направлением в развитии ППП является использование унифицированных форматов документов на основе открытых стандартов. Открытый стандарт – общедоступная спецификация, свободная от лицензионных ограничений при использовании. Использование открытых форматов в ППП позволяет гарантировать возможность доступа к данным из любого совместимого приложения без оглядки на лицензионные права и технические спецификации.

## 2.3 Машинная графика [2]

*Компьютерная графика* (также *машинная графика*) – область деятельности, в которой компьютеры используются как для синтеза изображений, так и для обработки визуальной информации, полученной из реального мира. Также компьютерной графикой называют и результат этой деятельности.

Формальное определение машинной графики – создание, хранение и обработка моделей объектов и их изображений с помощью ЭВМ.

Под *интерактивной компьютерной графикой* понимают раздел компьютерной графики, изучающий вопросы динамического управления со стороны пользователя содержанием изображения, его формой, размерами и цветом на экране с помощью интерактивных устройств взаимодействия.

Под *компьютерной геометрией* понимают математический аппарат, применяемый в компьютерной графике.

Необходимо отметить следующую отличительную черту компьютерных изображений. Изображения, которые мы встречаем в нашей повседневной жизни, реальные картины природы, можно бесконечно детализировать, выявлять все новые цвета и оттенки. Изображения, хранящиеся в памяти компьютера, независимо от способа их получения и представления всегда являются усеченной моделью картины реального мира. Их детализация возможна лишь с той степенью, которая была заложена при их создании или получении, и их цветовая гамма будет не шире заранее оговоренной.

Одно и то же изображение может быть представлено в памяти ЭВМ тремя принципиально различными способами. Рассмотрим подробнее эти способы представления изображений, выделим их основные параметры и определим их достоинства и недостатки.

### 2.3.1 Растровая графика [2]

Под *растровым* (англ. *bitmap, raster*) понимают способ представления изображения в виде совокупности отдельных точек (*пикселей*) различных

цветов или оттенков. Это наиболее простой способ представления изображения, потому что таким образом видит глаз человека.

Достоинством такого способа является возможность получения фотореалистичного изображения высокого качества в различном цветовом диапазоне, а также высокая скорость обработки сложных изображений, если не требуется масштабирование. Недостатком – высокая точность и широкий цветовой диапазон требуют увеличения объема файла для хранения изображения и оперативной памяти для его обработки. Еще один недостаток – невозможность выполнить идеальное масштабирование без потери качества.

Под растровой графикой понимается формирование изображения в том виде, как оно выводится на экран монитора и на печать. Основным элементом растрового изображения является точка. Таким образом изображение может быть представлено в виде матрицы элементов – пикселей.

Растровую графику применяют при разработке электронных и полиграфических изданий, изображения, выполненные с помощью растровой графики, создаются с помощью сканирующих устройств, а также при использовании цифровых фото- и видеокамер. Графические редакторы, предназначенные для работы с растровыми изображениями, в основном ориентированы не на создание изображений, а на их цифровую обработку.

Растровые изображения обычно хранятся в сжатом виде. В зависимости от типа сжатия может быть возможно или невозможно восстановить изображение в точности таким, каким оно было до сжатия (сжатие без потерь или сжатие с потерями соответственно). Так же в графическом файле может храниться дополнительная информация: об авторе файла, фотокамере и её настройках, количестве точек на дюйм при печати и др.

Основные графические растровые форматы беспотерьного сжатия:

- **BMP** (*Windows Bitmap*) – формат хранения растровых изображений, разработанный компанией Microsoft. В формате BMP изображения могут храниться как есть или же с применением некоторых распространённых алгоритмов сжатия;

- **GIF** (*Graphics Interchange Format*) – устаревающий формат, поддерживающий не более 256 цветов одновременно. Всё ещё популярен из-за поддержки анимации;

- **PCX** (*PCExchange*) – устаревший формат, позволявший хорошо сжимать простые рисованные изображения (при сжатии группы подряд идущих пикселей одинакового цвета заменяются на запись о количестве таких пикселей и их цвете);

- **PNG** (*Portable Network Graphics*) – спроектирован для замены устаревшего и более простого формата GIF, а также, в некоторой степени, для замены значительно более сложного формата TIFF. Формат PNG позиционируется прежде всего для использования в Интернете и редактирования графики.

Основные графические форматы сжатия с потерями:

**TIFF** (*Tagged Image File Format*) – формат стал популярным для хранения изображений с большой глубиной цвета. Он используется при сканировании, отправке факсов, распознавании текста, в полиграфии, широко поддерживается графическими приложениями. Изначально формат поддерживал сжатие без потерь, впоследствии формат был дополнен для поддержки сжатия с потерями в формате JPEG;

**JPEG** (*Joint Photographic Experts Group*, по названию организации-разработчика) – алгоритм JPEG в наибольшей степени пригоден для сжатия фотографий и картин, содержащих реалистичные сцены с плавными переходами яркости и цвета. Наибольшее распространение JPEG получил в цифровой фотографии и для хранения и передачи изображений с использованием сети Интернет. С другой стороны, JPEG малоприспособен для сжатия чертежей, текстовой и знаковой графики, где резкий контраст между соседними пикселями приводит к появлению заметных *артефактов* (искажений изображения, вызванных сжатием с потерями).

### 2.3.2 Векторная графика [2]

Для *векторной* графики характерно разбиение изображения на ряд *графических примитивов* – точки, прямые, ломаные, дуги, полигоны. Таким образом, появляется возможность хранить не все точки изображения, а координаты узлов примитивов и их свойства (цвет, связь с другими узлами и т. д.).

При использовании векторного представления изображение хранится в памяти как база данных описаний примитивов. Основные графические примитивы, используемые в векторных графических редакторах: точка, прямая, кривая Безье, эллипс (окружность), полигон (прямоугольник). Примитив строится вокруг его узлов (*nodes*). Координаты узлов задаются относительно координатной системы макета.

Каждому узлу приписывается группа параметров, в зависимости от типа примитива, которые задают его геометрию относительно узла. Например, окружность задается одним узлом и одним параметром – радиусом. Такой набор параметров, которые играют роль коэффициентов и других величин в уравнениях и аналитических соотношениях объекта данного типа, называют *аналитической моделью примитива*. Отрисовать примитив – значит построить его геометрическую форму по его параметрам согласно его аналитической модели.

Векторное изображение может быть легко масштабировано без потери деталей, так как это требует пересчета сравнительно небольшого числа координат узлов.

Самой простой аналогией векторного изображения может служить аппликация. Все изображение состоит из отдельных кусочков различной формы и цвета (даже части растра), «склеенных» между собой. Понятно, что таким образом трудно получить фотореалистичное изображение, так как на нем сложно выделить конечное число примитивов, однако существенными достоинствами векторного способа представления изображения, по сравнению с растровым, являются:

- векторное изображение может быть легко масштабировано без потери качества, так как это требует пересчета сравнительно небольшого числа координат узлов;

- графические файлы, в которых хранятся векторные изображения, имеют существенно меньший, по сравнению с растровыми, объем (порядка нескольких килобайт).

Сферы применения векторной графики очень широки. В энергетике – от создания принципиальных электрических схем до 3D-визуализации энергообъектов. Все, что мы называем машинной графикой, 3D-графикой, графическими средствами компьютерного моделирования и САПР – все это сферы приоритета векторной графики, т.к. эти ветви дерева компьютерных наук рассматривают изображение исключительно с позиции его математического представления.

Векторным можно назвать только способ описания изображения, а само изображение для глаза человека всегда растровое. Таким образом, задачами векторного графического редактора являются растровая прорисовка графических примитивов и предоставление пользователю сервиса по изменению параметров этих примитивов. Все изображение представляет собой базу данных примитивов и параметров макета (размеры холста, единицы измерения и т. д.). Отрисовать изображение – значит выполнить последовательно процедуры прорисовки всех его деталей.

К основным **форматам векторных изображений** относятся следующие:

- **DXF** (*Drawing Exchange Format*) - открытый формат файлов для обмена графической информацией между приложениями САПР. Был создан фирмой Autodesk для системы AutoCAD. Поддерживается практически всеми CAD-системами на платформе PC;

- **OpenVG** – формат, предназначенный для аппаратно-ускоряемой двумерной векторной графики. Он предназначается в первую очередь для мобильных телефонов и смартфонов, медиа- и игровых консолей и для других электронных устройств;

- **WMF** (*Windows MetaFile*) – универсальный формат векторных графических файлов для Windows приложений. Формат разработан Microsoft и является неотъемлемой частью Windows.

### 2.3.3 Фрактальная графика [2]

*Фрактальная графика*, как и векторная – вычисляемая, но отличается от неё тем, что никакие объекты в памяти компьютера не хранятся. Изображение строится по уравнению, или по системе уравнений. Изменяя коэффициенты уравнений, можно получать различные фрактальные изображения.

*Фракталом* называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Одним из основных свойств фракталов является самоподобие. Объект называют *самоподобным*, когда увеличенные части объекта походят на сам объект и друг на друга. Перефразируя это определение, можно сказать, что в простейшем случае небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале.

Способность фрактальной графики моделировать образы живой природы вычислительным путём часто используют для автоматической генерации необычных иллюстраций.

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПАКЕТ MATHCAD

Во все времена инженерам, исследователям (т.е. специалистам в своих областях) был необходим удобный и достаточно эффективный (для своего времени) инструмент для решения своих задач. В этот «инструментальный» ряд можно включить логарифмическую линейку, арифмометр, калькулятор, универсальную ЭВМ, персональный компьютер. При использовании вычислительной техники встала проблема реализации алгоритмов решения в виде так называемых программ.

Разработка программы (даже с использованием языков высокого уровня) требует и соответствующей подготовки, и достаточно большего количества времени (и то и другое часто отсутствует у «обычного пользователя»).

Поэтому, начиная с 90-х годов прошлого века, широкую известность и заслуженную популярность приобрели так называемые системы компьютерной математики [3] или, проще, математические пакеты. К ним можно отнести MathCAD [5, 6], MatLab [8], Mathematica [7], Maple [4].

Одним из наиболее подходящих для выполнения научноинженерных расчетов является математический пакет MathCAD, особенно его последние версии MathCAD 14 и 15. Эти версии содержат тщательно сбалансированные средства численных и символьных вычислений с графической визуализацией результатов в сочетании с современным интерфейсом пользователя, поддержкой современных операционных систем, мощной справочной системой, обширными пакетами расширений (ориентированных на решение определенного класса задач) и средствами для работы в Internet.

#### 3.1 Элементы языка MathCAD [11]

К основным элементам математических выражений MathCAD относятся операторы, константы, переменные, массивы и функции.

##### 3.1.1 Операторы

**Операторы** – элементы MathCAD, с помощью которых можно создавать математические выражения. К ним, например, относятся символы

арифметических операций, знаки вычисления сумм, произведений, производной, интеграла и т.д.

Оператор определяет:

а) действие, которое должно выполняться при наличии тех или иных значений операндов;

б) сколько, где и какие операнды должны быть введены в оператор.

**Операнд** – число или выражение, на которое действует оператор. Например, в выражении  $5!+3$  числа  $5!$  и  $3$  – операнды оператора «+» (плюс), а число  $5$  – операнд факториала (!).

Любой оператор в MathCAD можно ввести двумя способами:

- нажав клавишу (сочетание клавиш) на клавиатуре;

- используя математическую панель.

Для присвоения или вывода содержимого ячейки памяти, связанной с переменной, используются следующие операторы:

▪ **:=** ▪ – знак присвоения (вводится нажатием клавиши **:** на клавиатуре (двоеточие в английской раскладке клавиатуры) или нажатием соответствующей кнопки на панели **Калькулятор**, рис. 3.1);

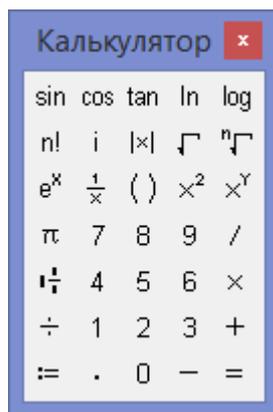


Рисунок 3.1 – Панель инструментов «Калькулятор»

Такое присвоение называется *локальным*. До этого присваивания переменная не определена и ее нельзя использовать.

■ ≡ ■ – глобальный оператор присвоения. Это присвоение может производиться в любом месте документа. К примеру, если переменной присвоено таким образом значение в самом конце документа, то она будет иметь это же значение и в начале документа.

■ = ■ – оператор приближенного равенства. Используется при решении систем уравнений. Вводится нажатием клавиши ; на клавиатуре (точка с запятой в английской раскладке клавиатуры) или нажатием соответствующей кнопки на *Булевой панели* (рис. 3.2).

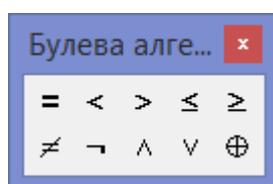


Рисунок 3.2 – Панель инструментов «Булева алгебра»

= – оператор (простое равно), отведенный для вывода значения константы или переменной.

### 3.1.2 Простейшие вычисления

Процесс вычисления осуществляется при помощи панели «Калькулятор»



панели «Математический анализ»



и панели «Вычисление»



Если необходимо поделить все выражение в числителе, то его нужно первоначально выделить, нажав пробел на клавиатуре или поместив в скобки.

### 3.1.3 Константы

**Константы** – поименованные объекты, хранящие некоторые значения, которые не могут быть изменены.

Например,  $\pi = 3.14$ .

**Размерные константы** – это общепринятые единицы измерения. Например, метры, секунды и т.д.

Чтобы записать размерную константу, необходимо после числа ввести знак \* (умножить), выбрать пункт меню **Вставка** подпункт **Юнит**. В

измерениях наиболее известные вам категории: **Length** – длина (м, км, см); **Mass** – вес (гр, кг, т); **Time** – время (мин, сек, час).

#### 3.1.4 Переменные

**Переменные** являются поименованными объектами, имеющими некоторое значение, которое может изменяться по ходу выполнения программы. Переменные могут быть числовыми, строковыми, символьными и т.д. Значения переменным задаются с помощью знака присвоить ( $:=$ ).

MathCAD прописные и строчные буквы воспринимает как разные идентификаторы.

#### **Системные переменные**

В **MathCAD** содержится небольшая группа особых объектов, которые нельзя отнести ни к классу констант, ни к классу переменных, значения которых определены сразу после запуска программы. Их правильнее считать *системными переменными*. Это, например, TOL [0.001]- погрешность числовых расчетов, ORIGIN [0] – нижняя граница значения индекса индексации векторов, матриц и др. Значения этим переменным при необходимости можно задать другие.

#### **Ранжированные переменные**

Эти переменные имеют ряд фиксированных значений, либо целочисленных, либо изменяющихся с определенным шагом от начального значения до конечного.

Для создания ранжированной переменной используется выражение:

$$Name = N_{begin}, (N_{begin} + Step) .. N_{end}, \quad (3.1)$$

где  $Name$  – имя переменной;

$N_{begin}$  – начальное значение;

$Step$  – заданный шаг изменения переменной;

$N_{end}$  – конечное значение.

Ранжированные переменные широко применяются при построении графиков. Например, для построения графика некоторой функции  $f(x)$  прежде

всего необходимо создать ряд значений переменной  $x$  – для этого она должна быть ранжированной переменной.

Если в диапазоне изменения переменной не указывать шаг, то программа автоматически примет его равным 1.

**Пример.** Переменная  $x$  изменяется в диапазоне от  $-16$  до  $+16$  с шагом  $0.1$

Чтобы записать ранжированную переменную, нужно ввести:

- имя переменной ( $x$ );
- знак присвоения ( $:=$ );
- первое значение диапазона ( $-16$ );
- запятую;
- второе значение диапазона, которое является суммой первого значения и шага ( $-16+0.1$ );
- многоточие ( $..$ ) – изменение переменной в заданных пределах (многоточие вводится нажатием точки с запятой в английской раскладке клавиатуры);
- последнее значение диапазона ( $16$ ).

В результате у вас получится:  $x := -16, -16+0.1..16$ .

### ***Таблицы вывода***

Любое выражение с ранжированными переменными после знака равенства инициирует таблицу вывода.

В таблицы вывода можно и вставлять числовые значения и корректировать их.

### ***Переменная с индексом***

*Переменная с индексом* – это переменная, которой присвоен набор не связанных друг с другом чисел, каждое из которых имеет свой номер (индекс).

Ввод индекса осуществляется нажатием левой квадратной скобки на клавиатуре или при помощи кнопки  $x_n$  на панели **Калькулятор**.

В качестве индекса можно использовать как константу, так и выражение. Для инициализации переменной с индексом необходимо ввести элементы массива, разделяя их запятыми.

**Пример.** Ввод индексных переменных.

$i := 0..2$  – индекс изменяется от 0 до 2 (индексная переменная будет содержать 3 элемента).

$s_i :=$

-2
2
5.75

– ввод числовых значений в таблицу производится через запятую;

$s_1 = 2$  – вывод значения первого элемента вектора S;

$s_0 = -2$  – вывод значения нулевого элемента вектора S.

### 3.1.5 Массивы

**Массив** – имеющая уникальное имя совокупность конечного числа числовых или символьных элементов, упорядоченных некоторым образом и имеющих определенные адреса.

В пакете MathCAD используются массивы двух наиболее распространенных типов:

- одномерные (векторы);
- двумерные (матрицы).

Вывести шаблон матрицы или вектора можно одним из способов:

- выбрать пункт меню Вставка - Матрица;
- нажать комбинацию клавиш Ctrl + M;
- нажать кнопку  на *Панели векторов и матриц*.

В результате появится диалоговое окно, в котором задается необходимое число строк и столбцов (Rows – **число строк**, Columns – **число столбцов** рис. 3.2).

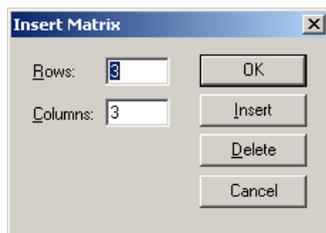
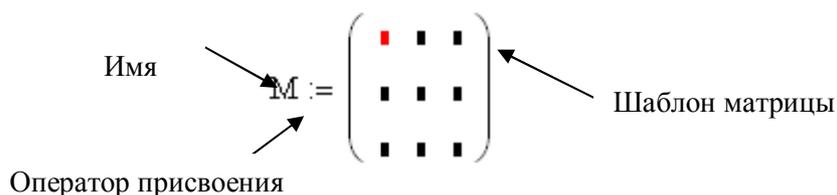


Рисунок 3.2 – Вставка матрицы

Если матрице (вектору) нужно присвоить имя, то вначале вводится имя матрицы (вектора), затем – оператор присвоения и после – шаблон матрицы.

Например:



*Матрица* – двумерный массив с именем  $M_{n,m}$ , состоящий из  $n$  строк и  $m$  столбцов.

С матрицами можно выполнять различные математические операции.

### 3.1.6 Функции

*Функция* – выражение, согласно которому производятся некоторые вычисления с аргументами и определяется его числовое значение. Примеры функций:  $\sin(x)$ ,  $\tan(x)$  и др.

Функции в пакете MathCAD могут быть как встроенными, так и определенными пользователем. Способы вставки встроенной функции:

- Выбрать пункт меню Вставка – Функция.
- Нажать комбинацию клавиш Ctrl + E.
- Щелкнуть по соответствующей кнопке на панели инструментов.
- Набрать имя функции на клавиатуре.

Функции пользователя обычно используются при многократных вычислениях одного и того же выражения. Для того чтобы задать функцию пользователя необходимо:

- ввести имя функции с обязательным указанием в скобках аргумента, например,  $f(x)$ ;
- ввести оператор присвоения ( $:=$ );
- ввести вычисляемое выражение.

### 3.2 Форматирование чисел [11]

В MathCAD можно изменить формат вывода чисел. Обычно вычисления производятся с точностью 20 знаков, но выводятся на экран не все значащие цифры. Чтобы изменить формат числа, необходимо дважды щелкнуть на нужном численном результате. Появится окно форматирования чисел, открытое на вкладке *Number Format* (Формат чисел) со следующими форматами:

- *General* (Основной) – принят по умолчанию. Числа отображаются с порядком (например,  $1.22 \times 10^5$ ). Число знаков мантиссы определяется в поле *Exponential Threshold* (Порог экспоненциального представления). При превышении порога число отображается с порядком. Число знаков после десятичной точки меняется в поле *Number of decimal places*.

- *Decimal* (Десятичный) – десятичное представление чисел с плавающей точкой (например, 12.2316).

- *Scientific* (Научный) – числа отображаются только с порядком.

- *Engineering* (Инженерный) – числа отображаются только с порядком, кратным трем (например,  $1.22 \times 10^6$ ).

Если после установления нужного формата в окне форматирования чисел выбрать кнопку **OK**, формат установится только для выделенного числа. А если выбрать кнопку **Set as Default**, формат будет применен ко всем числам данного документа.

Автоматически числа округляются до нуля, если они меньше установленного порога. Порог устанавливается для всего документа, а не для конкретного результата. Для того чтобы изменить порог округления до нуля, необходимо выбрать пункт меню Форматирование – Результат и во вкладке *Tolerance*, в поле *Zero threshold* ввести необходимое значение порога.

### 3.3 Работа с текстом [11]

Текстовые фрагменты представляют собой куски текста, которые пользователь хотел бы видеть в своем документе. Это могут быть пояснения, ссылки, комментарии и т.д. Они вставляются при помощи пункта меню Вставка – Текстовый регион.

Вы можете отформатировать текст: поменять шрифт, его размер, начертание, выравнивание и т.д. Для этого нужно его выделить и выбрать соответствующие параметры на панели шрифтов или в меню **Форматирование – Текст**.

### **3.4 Работа с графикой [11]**

При решении многих задач, где производится исследование функции, часто возникает необходимость в построении ее графика, где наглядно будет отражено поведение функции на определенном промежутке.

В системе MathCAD существует возможность построения различных видов графиков: в декартовой и полярной системе координат, трехмерных графиков, поверхностей тел вращения, многогранников, пространственных кривых, графиков векторного поля. Мы рассмотрим приемы построения некоторых из них.

#### **3.4.1 Построение двумерных графиков**

Для построения двухмерного графика функции необходимо:

- задать диапазон значений аргумента;
- задать функцию;

- установить курсор в то место, где должен быть построен график, на математической панели выбрать кнопку Graph (график) и в открывшейся панели кнопку X-Y Plot (двухмерный график);

- в появившемся шаблоне двухмерного графика, представляющем собой пустой прямоугольник с метками данных, в центральную метку данных по оси абсцисс (ось X) ввести имя переменной, а на месте центральной метки данных по оси ординат (ось Y) ввести имя функции;

- щелкнуть мышью вне шаблона графика – график функции будет построен.

Диапазон изменения аргумента состоит из 3-х значений: начальное, второе и конечное.

Пусть необходимо построить график функции на интервале  $[-2,2]$  с шагом 0.2. Значения переменной  $t$  задаются в виде диапазона следующим образом:

$$t := -2, -1.8 .. 2, \quad (3.2)$$

где:  $-2$  – начальное значение диапазона;

$-1,8$  ( $-2 + 0,2$ ) – второе значение диапазона (начальное значение плюс шаг);

$2$  – конечное значение диапазона.

Многоточие вводится нажатием точки с запятой в английской раскладке клавиатуры.

**Пример.** Построение графика функции  $y = x^2$  на интервале  $[-5,5]$  с шагом  $0.5$  (рис. 3.3).

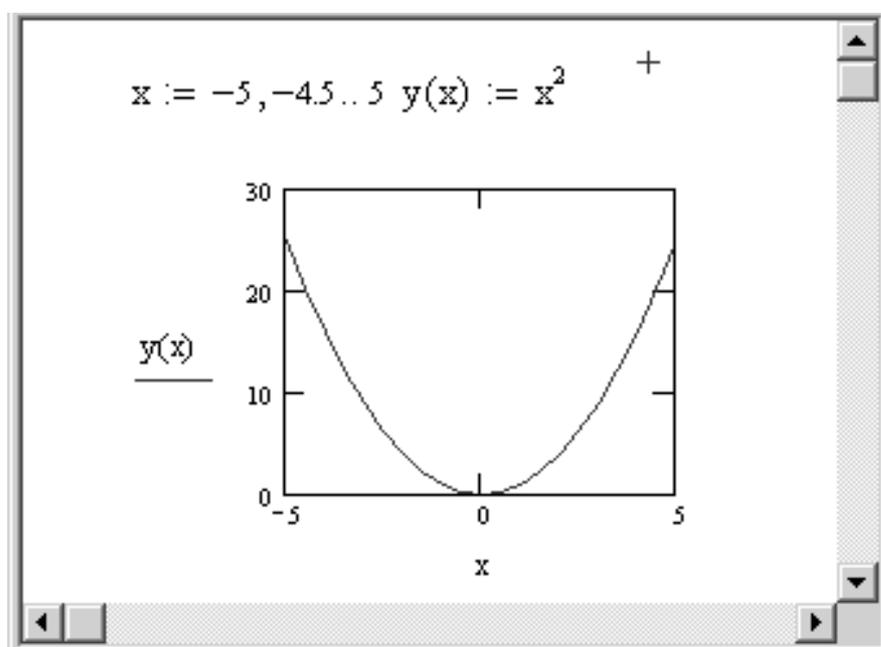


Рисунок 3.3 – Построение графика функции  $y = x^2$

При построении графиков необходимо учитывать следующее:

- если диапазон значений аргумента не задан, то по умолчанию график строится в диапазоне  $[-10,10]$ ;

- если в одном шаблоне необходимо разместить несколько графиков, то имена функций указываются через запятую;

- если две функции имеют различные аргументы, например,  $f1(x)$  и  $f2(y)$ , то на оси ординат (Y) через запятую указываются имена функций, а по оси абсцисс (X) – имена обеих переменных тоже через запятую.

Крайние метки данных на шаблоне графика служат для указания предельных значений абсцисс и ординат, т.е. они задают масштаб графика. Если оставить эти метки незаполненными, то масштаб будет установлен автоматически. Автоматический масштаб не всегда отражает график в нужном виде, поэтому предельные значения абсцисс и ординат приходится редактировать, изменяя вручную.

Если после построения график не принимает нужный вид, можно:

- уменьшить шаг;
- изменить интервал построения графика;
- уменьшить на графике предельные значения абсцисс и ординат.

**Пример.** Построить окружность с центром в точке (2,3) и радиусом  $R = 6$ .

Уравнение окружности с центром в точке с координатами  $(x_0, y_0)$  и радиусом  $R$  записывается в виде:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2. \quad (3.3)$$

Выразим из этого уравнения  $y$ :

$$\begin{aligned} (y - y_0)^2 &= R^2 - (x - x_0)^2; \\ y - y_0 &= \pm \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2}; \\ y &= \pm \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} + y_0. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Таким образом, для построения окружности необходимо задать две функции: верхнюю и нижнюю полуокружности. Диапазон значений аргумента вычисляется следующим образом:

- начальное значение диапазона =  $x_0 - R$ ;
- конечное значение диапазона =  $x_0 + R$ ;
- шаг лучше взять равным 0,1 (рис. 3.4).

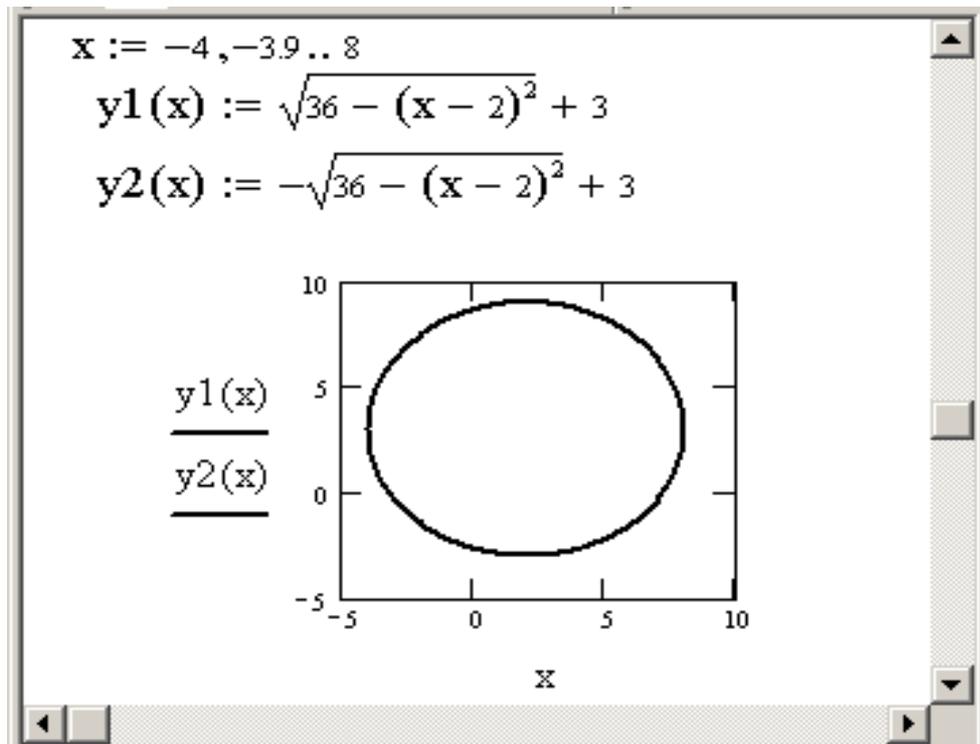


Рисунок 3.4 – Построение окружности

При необходимости шаг можно изменить.

### 3.4.2 Параметрический график функции

Иногда бывает удобнее вместо уравнения линии, связывающего прямоугольные координаты  $x$  и  $y$ , рассматривать так называемые параметрические уравнения линии, дающие выражения текущих координат  $x$  и  $y$  в виде функций от некоторой переменной величины  $t$  (параметра):  $x(t)$  и  $y(t)$ . При построении параметрического графика на осях ординат и абсцисс указываются имена функций одного аргумента.

**Пример.** Построение окружности с центром в точке с координатами  $(2,3)$  и радиусом  $R = 6$ . Для построения используется параметрическое уравнение окружности (рис. 3.5):

$$x = x_0 + R\cos(t) \quad y = y_0 + R\sin(t). \quad (3.5)$$

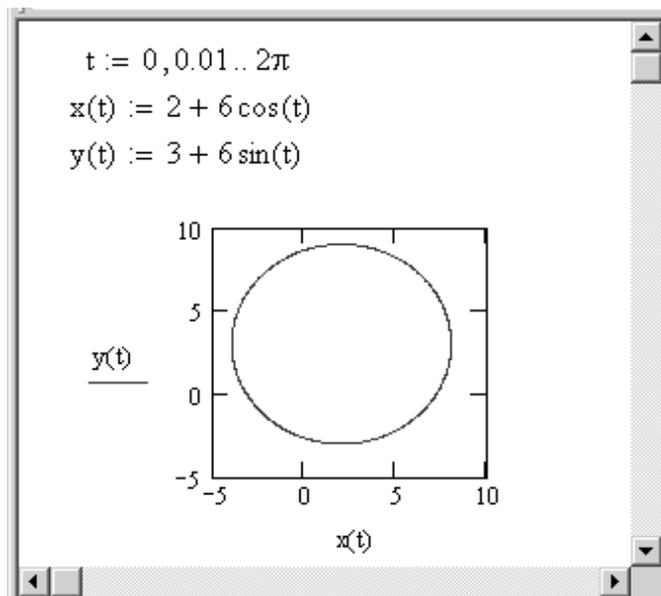


Рисунок 3.5 – Построение окружности

Для построения части окружности параметр можно уменьшить.

### 3.4.3 Форматирование графиков

Чтобы отформатировать график, необходимо дважды щелкнуть по области графика. Откроется диалоговое окно форматирования графика. Ниже перечислены вкладки окна форматирования графика:

а) **X-Y Axes** – форматирование осей координат. Установив нужные флажки можно:

- **Log Scale** – представить численные значения на осях в логарифмическом масштабе (по умолчанию численные значения наносятся в линейном масштабе)

- **Grid Lines** – нанести сетку линий;

- **Numbered** – расставить числа по координатным осям;

- **Auto Scale** – автоматический выбор предельных численных значений на осях (если этот флажок снят, предельными будут максимальные вычисленные значения);

- **Show Marker** – нанесение меток на график в виде горизонтальных или вертикальных пунктирных линий, соответствующих указанному значению на оси, причем сами значения выводятся в конце линий (на каждой оси

появляются 2 места ввода, в которые можно ввести численные значения, не вводить ничего, ввести одно число или буквенные обозначения констант);

- **Auto Grid** – автоматический выбор числа линий сетки (если этот флажок снят, надо задать число линий в поле Number of Grids);

- **Crossed** – ось абсцисс проходит через нуль ординаты;

- **Boxed** – ось абсцисс проходит по нижнему краю графика.

б) **Trace** – форматирование линии графиков функций. Для каждого графика в отдельности можно изменить:

- символ (**Symbol**) на графике для узловых точек (кружок, крестик, прямоугольник, ромб);

- вид линии (**Solid** – сплошная, **Dot** – пунктир, **Dash** – штрихи, **Dadot** – штрих-пунктир);

- цвет линии (**Color**);

- тип (**Type**) графика (**Lines** – линия, **Points** – точки, **Bar** или **Solidbar** – столбики, **Step** – ступенчатый график и т.д.);

- толщину линии (**Weight**).

в) **Label** – заголовок в области графика. В поле **Title** (Заголовок) можно записать текст заголовка, выбрать его положение – вверху или внизу графика (**Above** – вверху, **Below** – внизу). Можно вписать, если надо, названия аргумента и функции (**Axis Labels**).

г) **Defaults** – с помощью этой вкладки можно вернуться к виду графика, принятому по умолчанию (**Change to default**), либо сделанные вами изменения на графике использовать по умолчанию для всех графиков данного документа (**Use for Defaults**).

#### 3.4.4 Построение полярных графиков

Для построения полярного графика функции необходимо:

- задать диапазон значений аргумента;

- задать функцию;

- установить курсор в то место, где должен быть построен график, на математической панели выбрать кнопку **Graph** (график) и в открывшейся панели кнопку **Polar Plot** (полярный график);

- в местах ввода появившегося шаблона необходимо ввести угловой аргумент функции (внизу) и имя функции (слева).

**Пример.** Построение лемнискаты Бернулли:  $\rho = \sqrt{2 \cos(2\phi)}$  (рис. 3.6).

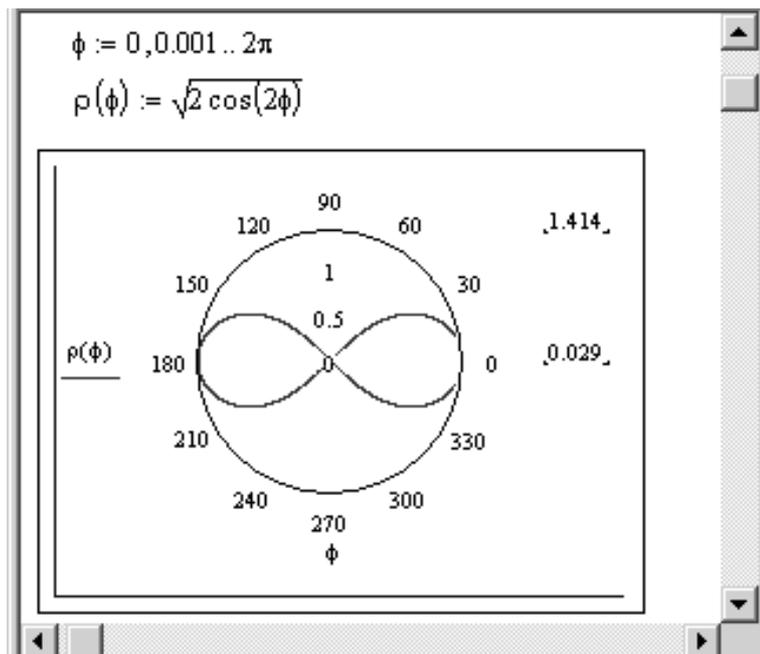


Рисунок 3.6 – Пример построения полярного графика

Полярная система координат особенно полезна в случаях, когда отношения между точками проще изобразить в виде радиусов и углов; в более распространенной, декартовой или прямоугольной системе координат, такие отношения можно установить только путём применения тригонометрических уравнений.

### 3.4.5 Построение графиков поверхностей (трехмерные или 3D-графики)

При построении трехмерных графиков используется панель **Graph** (График) математической панели. Можно построить трехмерный график с помощью мастера, вызываемого из главного меню; можно построить график, создав матрицу значений функции двух переменных; можно задействовать ускоренный метод построения; можно вызвать специальные функции

**CreateMech** и **CreateSpace**, предназначенные для создания массива значений функции и построения графика. Мы рассмотрим ускоренный метод построения трехмерного графика.

Для быстрого построения трехмерного графика функции необходимо:

- задать функцию;

- установить курсор в то место, где должен быть построен график, на математической панели выбрать кнопку **Graph** (График) и в открывшейся

панели кнопку  (Поверхностный график);

- в единственное место шаблона введите имя функции (не указывая переменные);

- щелкнуть мышью вне шаблона графика – график функции будет построен.

**Пример.** Построение графика функции  $z(x,y) = x^2 + y^2 - 30$  (рис. 3.7).

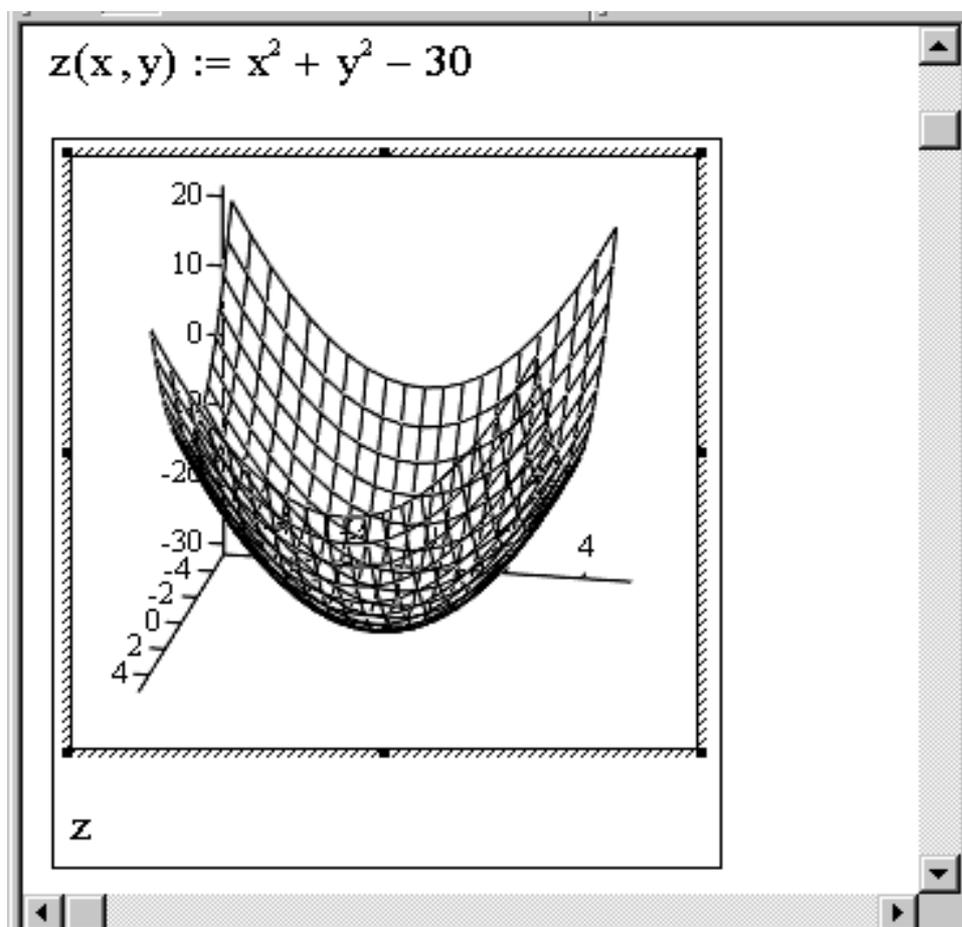


Рисунок 3.7 – Пример быстрого построения поверхностного графика

Построенным графиком можно управлять:

- вращение графика выполняется после наведения на него указателя мыши при нажатой левой кнопке мыши;

- масштабирование графика выполняется после наведения на него указателя мыши при одновременном нажатии левой кнопки мыши и клавиши **Ctrl** (если двигать мышью, график приближается или удаляется);

- анимация графика выполняется аналогично, но при нажатой дополнительно клавише **Shift**. Необходимо только начать вращение графика мышью, дальше анимация будет выполняться автоматически. Для остановки вращения следует щелкнуть левой кнопкой мыши внутри области графика.

Существует возможность построения сразу нескольких поверхностей на одном рисунке. Для этого необходимо задать обе функции и через запятую указать имена функций на шаблоне графика.

При быстром построении графика по умолчанию выбираются значения обоих аргументов в пределах от  $-5$  до  $+5$  и число контурных линий, равное 20. Для изменения этих значений необходимо:

- дважды щелкнуть по графику;

- в открывшемся окне выбрать вкладку **Quick Plot Data**;

- ввести новые значения в области окна **Range1** – для первого аргумента и **Range2** – для второго аргумента (**start** – начальное значение, **end** – конечное значение);

- в поле **# of Grids** изменить число линий сетки, покрывающих поверхность;

- щелкнуть на кнопке **OK**.

**Пример.** Построение графика функции  $z(x,y) = -\sin(x^2 + y^2)$  (рис. 3.8).

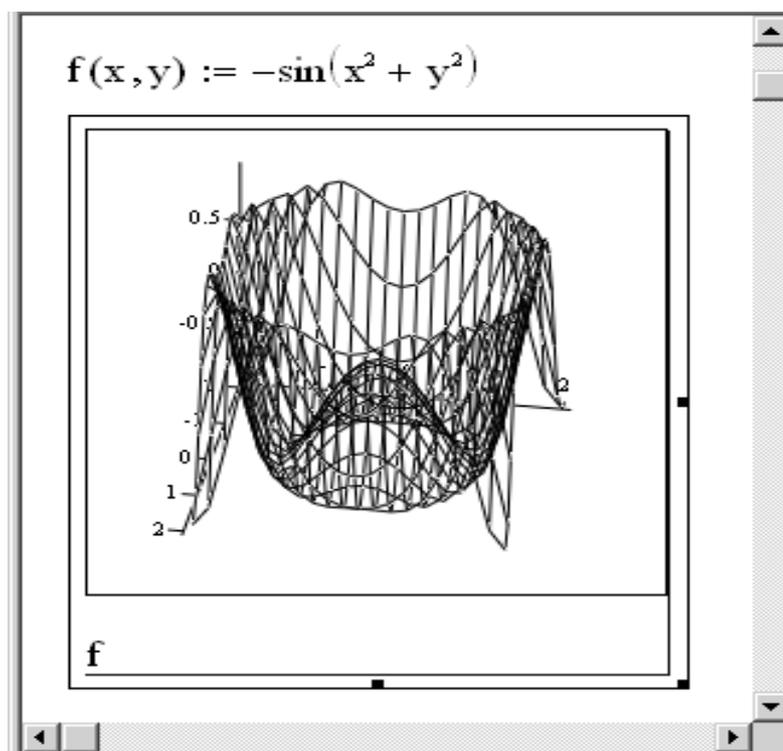


Рисунок 3.8 – Пример построения графика функции  $z(x,y) = -\sin(x^2 + y^2)$

При построении этого графика пределы изменения значений обоих аргументов лучше выбрать от  $-2$  до  $+2$ .

#### 3.4.6 Форматирование трехмерных графиков

Для форматирования графика необходимо дважды щелкнуть по области построения – появится окно форматирования с несколькими вкладками: **Appearance**, **General**, **Axes**, **Lighting**, **Title**, **Backplanes**, **Special**, **Advanced**, **Quick Plot Data**.

Назначение вкладки **Quick Plot Data** было рассмотрено выше.

Вкладка **Appearance** позволяет менять внешний вид графика. Поле *Fill Options* позволяет изменить параметры заливки, поле *Line Option* – параметры линий, *Point Options* – параметры точек.

Во вкладке **General** (общие) в группе **View** можно выбрать углы поворота изображенной поверхности вокруг всех трех осей; в группе **Display as** можно поменять тип графика.

Во вкладке **Lighting** (освещение) можно управлять освещением, установив флажок **Enable Lighting** (включить освещение) и переключатель **On**

(включить). Одна из 6-ти возможных схем освещения выбирается в списке **Lighting scheme** (схема освещения).

### 3.5 Способы решения уравнений в MathCAD [11]

В данном разделе приведена информация о том, каким образом в системе MathCAD решаются простейшие уравнения вида  $F(x) = 0$ . Решить уравнение аналитически – значит найти все его корни, т.е. такие числа, при подстановке которых в исходное уравнение получим верное равенство. Решить уравнение графически – значит найти точки пересечения графика функции с осью  $Ox$ .

#### 3.5.1 Решение уравнений с помощью функции $\text{root}(f(x), x)$

Для решений уравнения с одним неизвестным вида  $F(x) = 0$  существует специальная функция

$$\text{root}(f(x), x), \quad (3.6)$$

где  $f(x)$  – выражение, равное нулю;

$x$  – аргумент.

Эта функция возвращает с заданной точностью значение переменной, при котором выражение  $f(x)$  равно 0.

Если правая часть уравнения  $\neq 0$ , то необходимо привести его к нормальному виду (перенести все в левую часть).

Перед использованием функции **root** необходимо задать аргументу  $x$  начальное приближение. Если корней несколько, то для отыскания каждого корня необходимо задавать свое начальное приближение.

Перед решением желательно построить график функции, чтобы проверить, есть ли корни (пересекает ли график ось  $Ox$ ), и если есть, то сколько. Начальное приближение можно выбрать по графику поближе к точке пересечения.

**Пример.** Решение уравнения  $x^3 = 15x$  с помощью функции **root** представлено на рис. 3.9. Перед тем как приступить к решению в системе MathCAD, в уравнении все перенесем в левую часть.

$$\text{Уравнение примет вид: } x^3 - 15x = 0.$$

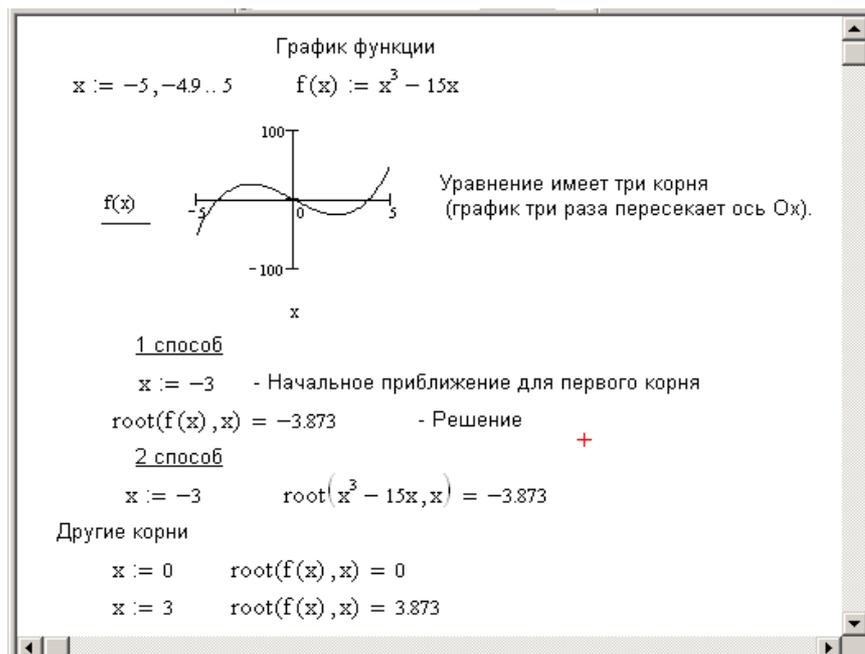


Рисунок 3.9 – Решение уравнения при помощи функции root

### 3.5.2 Решение уравнений с помощью функции Polyroots(v)

Для одновременного нахождения всех корней полинома используют функцию Polyroots(v), где v – вектор коэффициентов полинома, начиная со свободного члена. Нулевые коэффициенты опускать нельзя. В отличие от функции root функция Polyroots не требует начального приближения.

**Пример.** Решение уравнения  $0,75 \cdot x^3 - 8 \cdot x + 5 = 0$  с помощью функции polyroots представлено на рис. 3.10.

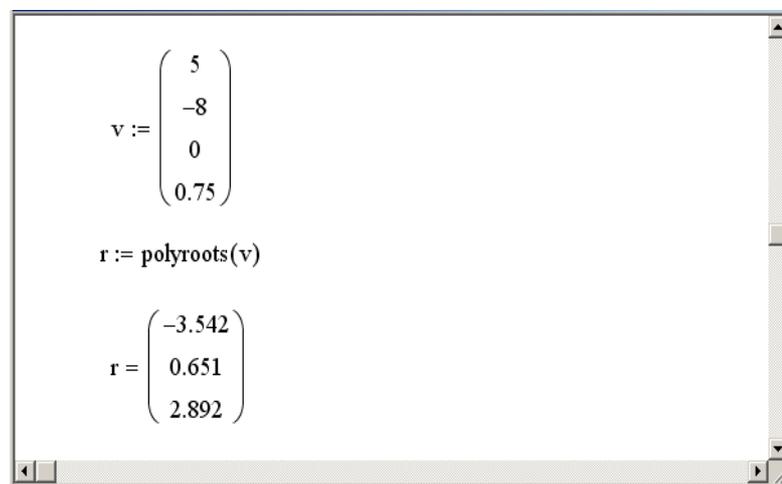


Рисунок 3.10 – Решение уравнения при помощи функции Polyroots

### 3.5.3 Решение уравнений с помощью функции Find(x)

Функция **Find** (Найти) работает в ключевой связке с ключевым словом **Given** (Дано). Конструкция **Given – Find** использует расчетную методику, основанную на поиске корня вблизи точки начального приближения, заданной пользователем.

Если задано уравнение  $f(x) = 0$ , то его можно решить следующим образом с помощью блока **Given – Find**:

- задать начальное приближение;
- ввести служебное слово **Given**;
- записать уравнение, используя знак *жирное равно*;
- написать функцию **Find** с неизвестной переменной в качестве параметра.

В результате после знака равно выведется найденный корень.

Если существует несколько корней, то их можно найти, меняя начальное приближение  $x_0$  на близкое к искомому корню.

**Пример.** Решение уравнения  $x^2 + 8 = e^x$  с помощью функции `find` представлено на рис. 3.11.

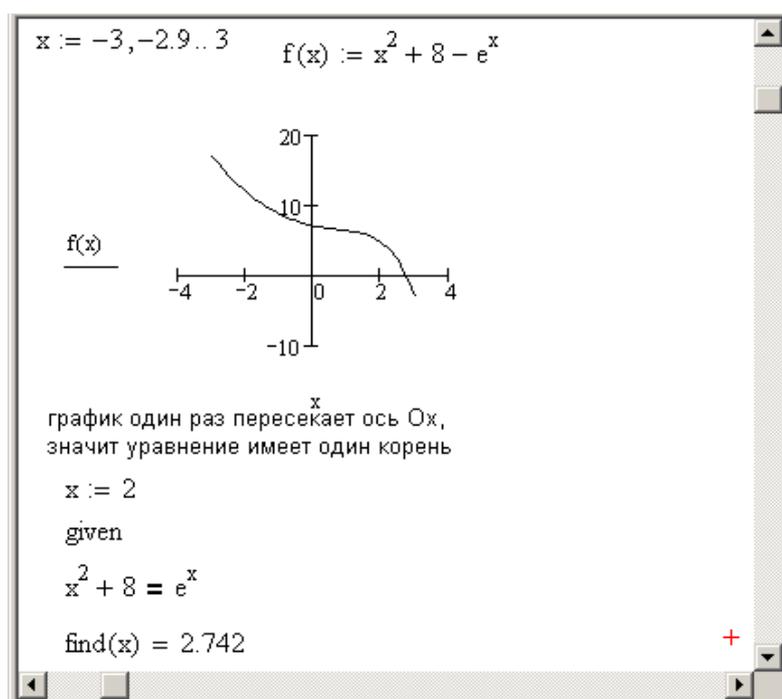


Рисунок 3.11 – Решение уравнения при помощи функции Find

Иногда возникает необходимость отметить на графике какие-либо точки (например, точки пересечения функции с осью  $Ox$ ). Для этого необходимо:

- указать значение  $x$  данной точки (по оси  $Ox$ ) и значение функции в этой точке (по оси  $Oy$ );

- дважды щелкнуть по графику и в окне форматирования во вкладке **Traces** для соответствующей линии выбрать тип графика – **points**, толщину линии – 2 или 3.

**Пример.** На графике отмечена точка пересечения функции  $f(x) = x^2 + 8 - e^x$  с осью  $Ox$ . Координата  $x$  этой точки была найдена в предыдущем примере:  $x = 2,742$  (корень уравнения  $x^2 + 8 - e^x = 0$ ) (рис. 3.12).

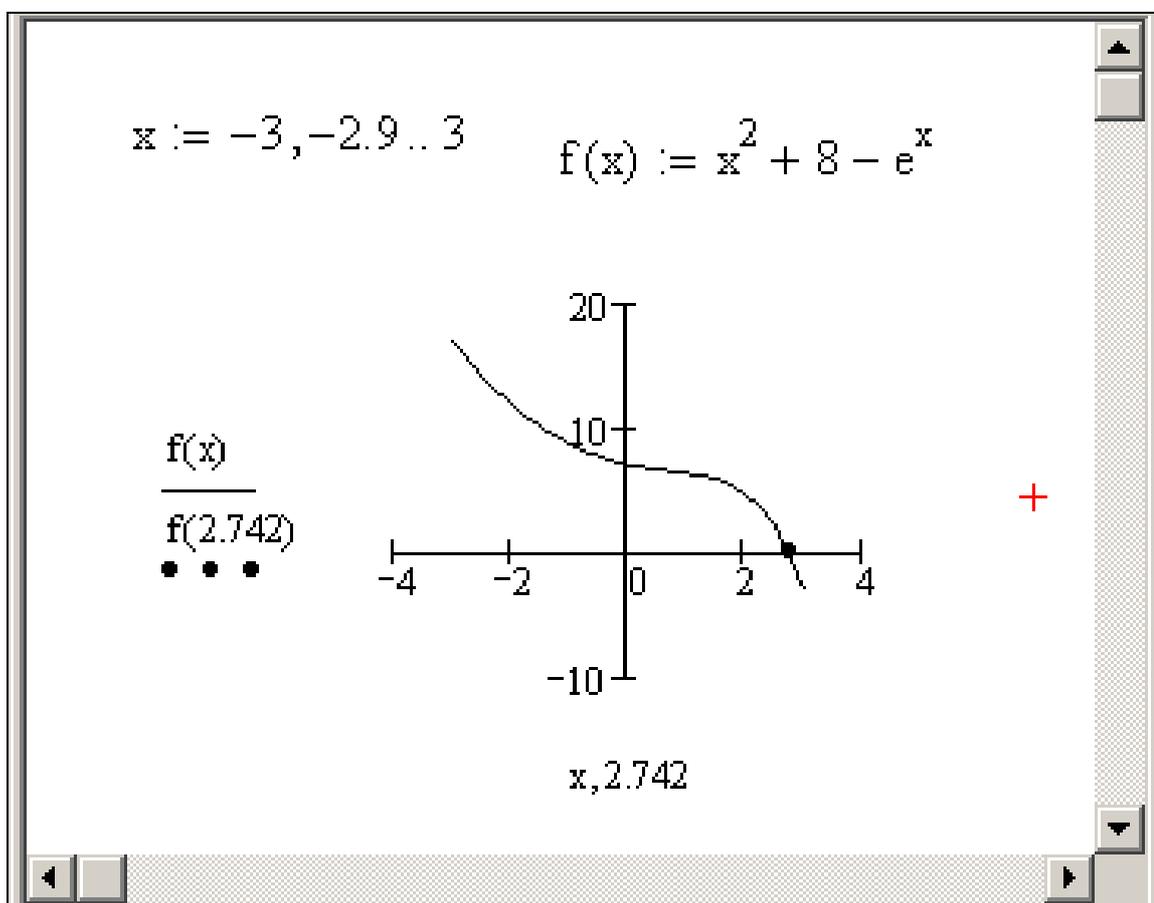


Рисунок 3.12 – График функции  $f(x) = x^2 + 8 - e^x$  с отмеченной точкой пересечения

В окне форматирования графика во вкладке **Traces** для **trace2** изменены: тип графика – **points**, толщина линии – 3, цвет – черный.

### 3.6 Решение систем уравнений в MathCAD [11]

#### 3.6.1 Решение систем линейных уравнений

Систему линейных уравнений можно решить *матричным методом* (или через обратную матрицу, или используя функцию **lsolve(A, B)**) и с использованием двух функций **Find** и функции **Minerr**:

- матричный метод:

**Пример.** Дана система уравнений:

$$\begin{cases} 3x_1 + 4x_2 = 5; \\ 5x_1 + 4x_2 = 3. \end{cases} \quad (3.7)$$

Решение данной системы уравнений матричным методом представлено на рис. 3.13.

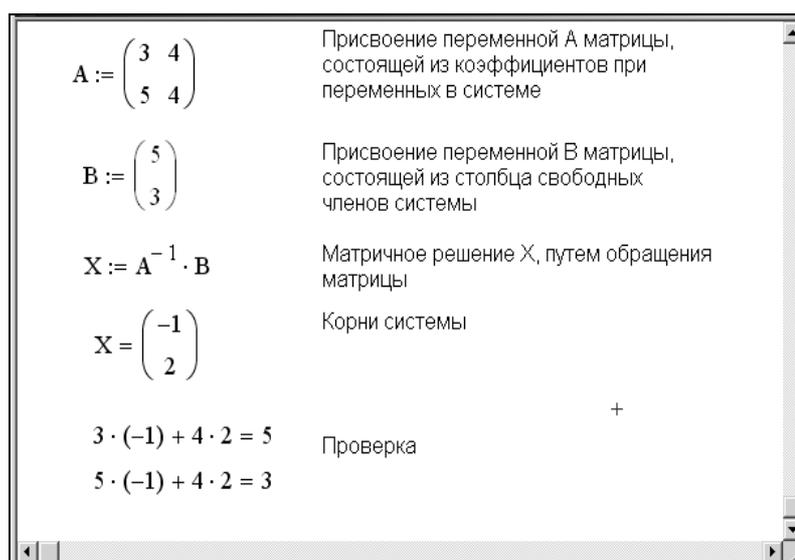


Рисунок 3.13 – Решение системы линейных уравнений матричным методом

- использование функции **lsolve(A, B)**:

**lsolve(A, B)** – это встроенная функция, которая возвращает вектор  $X$  для системы линейных уравнений  $A \cdot X = B$  при заданной матрице коэффициентов  $A$  и векторе свободных членов  $B$ .

**Пример.** Дана система уравнений:

$$\begin{cases} 1,2357x_1 + 2,1742x_2 - 5,4834x_3 = 1; \\ 6,0696x_1 - 6,2163x_2 - 4,6921x_3 = 1; \\ 3,4873x_1 + 6,1365x_2 - 4,7483x_3 = 1. \end{cases} \quad (3.8)$$

Способ решения данной системы с использованием функции `Isolve(A, B)` приведен на рис. 3.14.

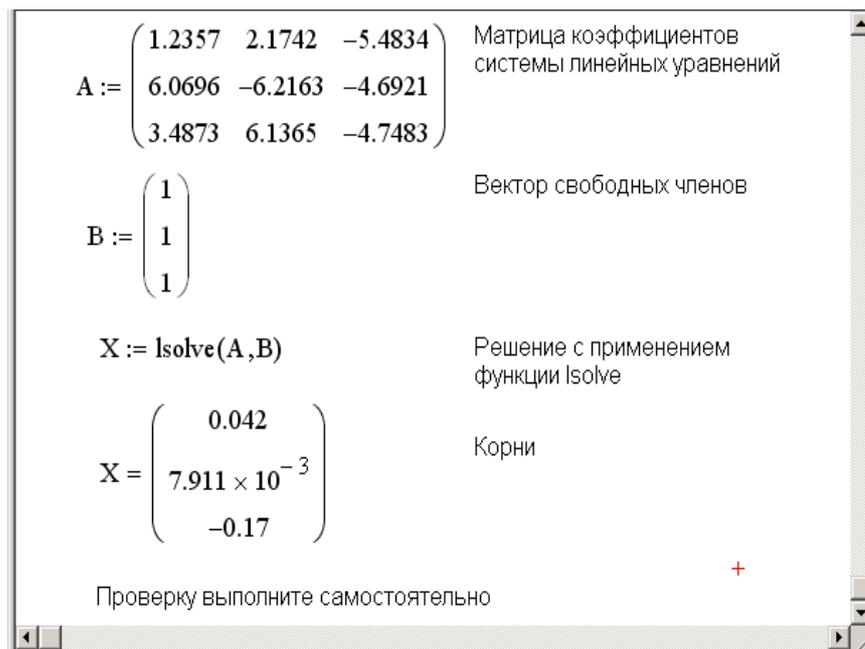


Рисунок 3.14 – Решение системы линейных уравнений с использованием функции **Isolve**

- использование функции **Find**:

При данном методе уравнения вводятся без использования матриц, т.е. в «натуральном виде». Предварительно необходимо указать начальные приближения неизвестных переменных. Это могут быть любые числа, входящие в область определения. Часто за них принимают столбец свободных членов.

Для того чтобы решить систему линейных уравнений с помощью вычислительного блока **Given – Find**, необходимо:

- задать начальные приближения для всех переменных;

- ввести служебное слово **Given**;
- записать систему уравнений, используя знак *жирное равно* (=);
- написать функцию **Find**, перечислив неизвестные переменные в качестве параметров функции.

В результате расчетов выведется вектор решения системы.

**Пример.** Дана система уравнений:

$$\begin{cases} 3x_1 + 4x_2 = 5; \\ 5x_1 + 4x_2 = 3. \end{cases} \quad (3.9)$$

Решение данной системы с помощью вычислительного блока **Given – Find** приведено на рис. 3.15.

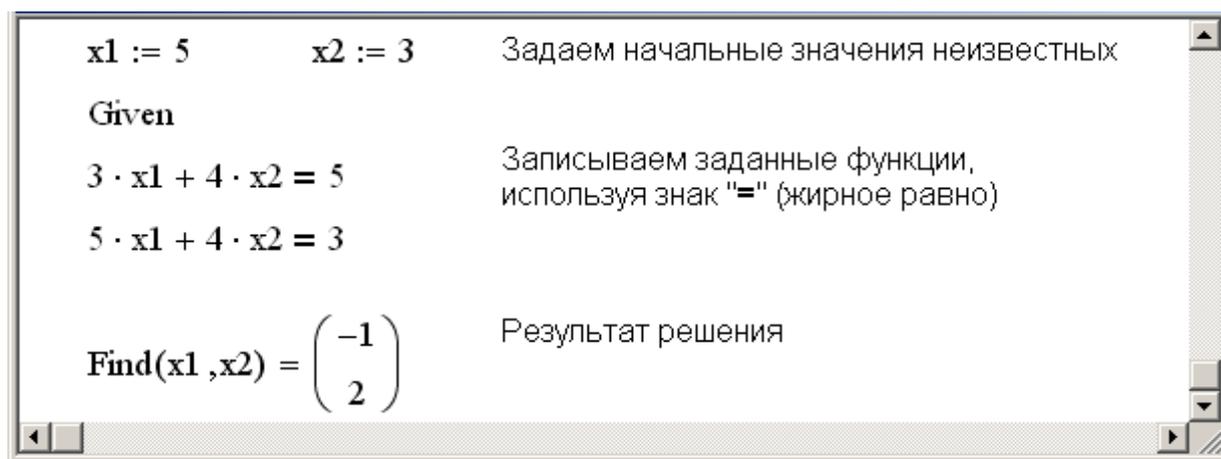


Рисунок 3.15 – Решение системы линейных уравнений с использованием функции **Find**

### 3.6.2 Приближенное решение системы линейных уравнений

Решение системы линейных уравнений с помощью функцию **Minerr** аналогично решению с помощью функции **Find** (используется тот же алгоритм), только функция **Find** дает точное решение, а **Minerr** – приближенное. Если в результате поиска не может быть получено дальнейшее уточнение текущего приближения к решению, **Minerr** возвращает это приближение. Функция **Find** в этом случае возвращает сообщение об ошибке.

Ниже перечислены некоторые рекомендации, которые следует выполнять, если MathCAD не может самостоятельно найти решение:

- можно подобрать другое начальное приближение;

- можно увеличить или уменьшить точность расчетов. Для этого в меню выбрать **Math ► Options** (Математика – Опции), вкладка **Built-In Variables** (Встроенные переменные). В открывшейся вкладке необходимо уменьшить допустимую погрешность вычислений (**Convergence Tolerance (TOL)**). По умолчанию  $TOL = 0,001$ .

При матричном методе решения необходимо переставить коэффициенты согласно возрастанию неизвестных  $x_1, x_2, x_3, x_4$ .

### 3.6.3 Решение систем нелинейных уравнений

Системы нелинейных уравнений в MathCAD решаются с помощью вычислительного блока **Given – Find**.

Конструкция **Given – Find** использует расчетную методику, основанную на поиске корня вблизи точки начального приближения, заданной пользователем.

Для решения системы уравнений с помощью блока **Given – Find** необходимо:

Если решается система из двух уравнений с двумя неизвестными, перед решением желательно построить графики функций, чтобы проверить, есть ли корни у системы (пересекаются ли графики заданных функций), и если есть, то сколько. Начальное приближение можно выбрать по графику поближе к точке пересечения.

**Пример.** Дана система уравнений

$$\begin{cases} y = x^2 + 14; \\ y = 7x + 45. \end{cases} \quad (3.10)$$

Перед решением системы построим графики функций: параболы (первое уравнение) и прямой (второе уравнение). Построение графика прямой и параболы в одной системе координат приведено на рис. 3.16:

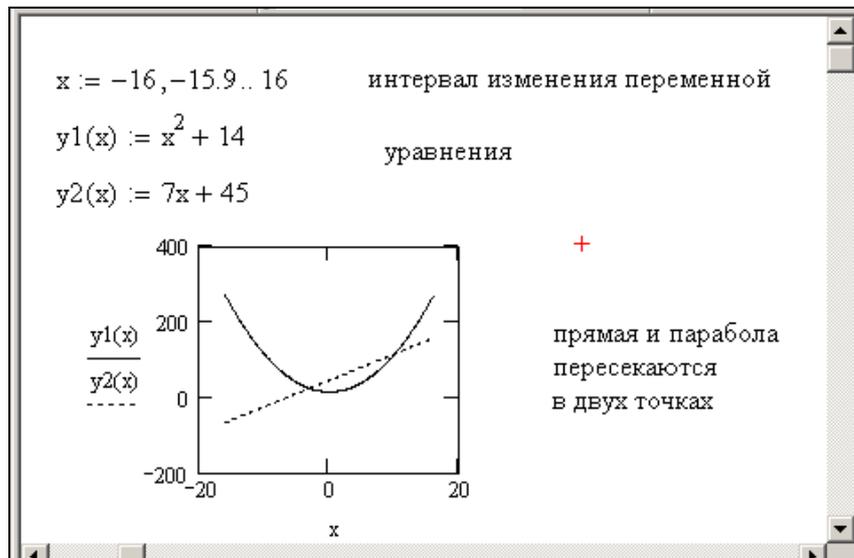


Рисунок 3.16 – Построение графика двух функций в одной системе координат

Прямая и парабола пересекаются в двух точках, значит, система имеет два решения. По графику выбираем начальные приближения неизвестных  $x$  и  $y$  для каждого решения. Нахождение корней системы уравнений представлено на рис. 3.17.

```

x := -4    y := 0
given
y = x2 + 14    y = 7x + 45
  ( x1 )
  ( y1 ) := find(x,y)
  ( x1 ) = ( -3.076 )
  ( y1 ) = ( 23.465 )

x := 10    y := 50
Given
y = x2 + 14    y = 7x + 45
  ( x2 )
  ( y2 ) := Fmd(x,y)
  ( x2 ) = ( 10.076 )
  ( y2 ) = ( 115.535 )

```

Рисунок 3.17 – Нахождение корней системы нелинейных уравнений

Для того, чтобы отметить на графике точки пересечения параболы и прямой, координаты точек, найденные при решении системы, введем по оси  $Ox$  (значения  $x$ ) и по оси  $Oy$  (значения  $y$ ) через запятую. В окне форматирования графика во вкладке **Traces** для **trace3** и **trace4** изменим: тип графика – **points**, толщина линии – 3, цвет – черный (рис. 3.18).

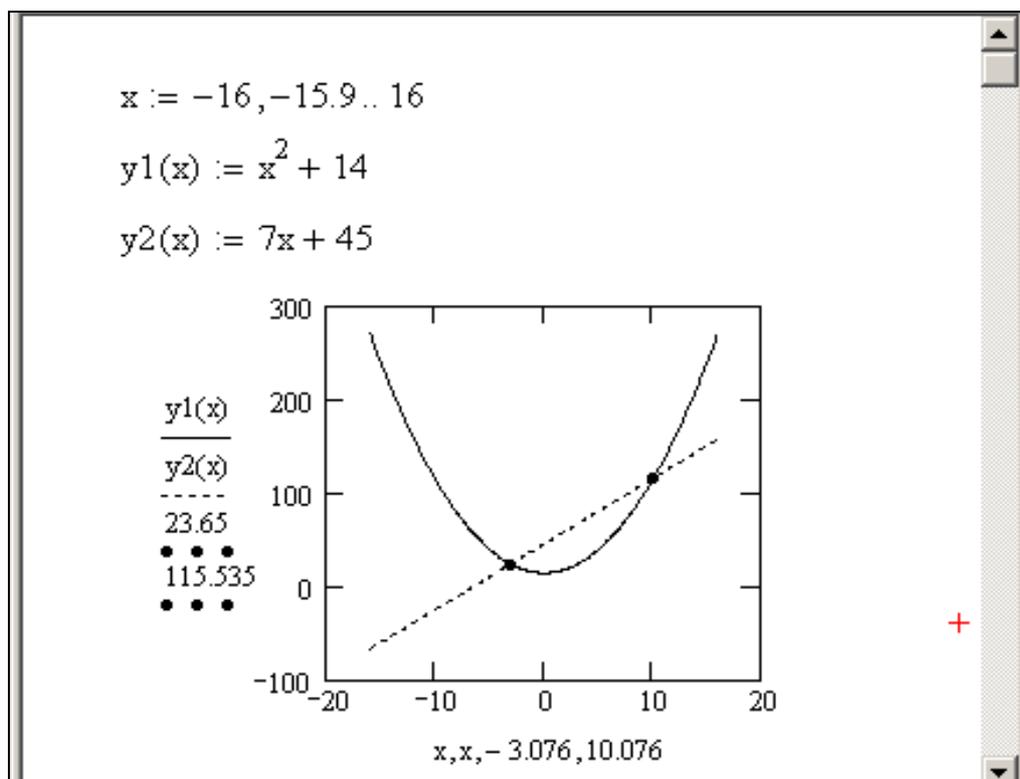


Рисунок 3.18 – Графики функций с отмеченными точками пересечения

Для детального изучения математического пакета MathCAD можно обратиться к литературе [5, 6, 11].

## 4. ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

### 4.1 Программно-вычислительный комплекс RastrWin [13, 19]

Программный комплекс RastrWin3 предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем. RastrWin используется более чем в 150 организациях на территории России, Казахстана, Киргизии, Беларуси, Монголии, Сербии. В России основными пользователями являются Системный Оператор Единой Энергетической Системы (СО ЕЭС) и его филиалы, Федеральная Сетевая Компания (ФСК), МРСК, проектные и научно-исследовательские институты (Энергосетьпроект, ВНИИЭ, НИИПТ и т.д.).

#### 4.1.1 Подготовка исходных данных для расчёта

Перед проведением расчетов по программе нужно подготовить исходные данные по схеме, нагрузкам и генераторам электрической сети в форме, понятной RastrWin3.

Для этого необходимо:

- нарисовать схему с указанием всех узлов и ветвей;
- пронумеровать все узлы электрической сети, включая все промежуточные узлы. Например, электрическая станция может быть представлена двумя узлами – шины генераторного напряжения и шины за трансформатором. Узел в исходных данных программы соответствует электрическим шинам. Номер узла должен быть уникальным положительным числом, сквозная нумерация необязательна. Для простоты ориентации в схеме узлам, относящимся к одному объекту, целесообразно давать похожие номера (7, 17, 107, 1007 и т.д.). Выбранные номера узлов следует нанести на схему сети;
- для каждого узла определить его номинальное напряжение и нанести на схему;

- для каждого узла нагрузки определить активную и реактивную мощность потребления. Если исходные данные заданы активной мощностью и  $\cos\varphi$ , – рассчитать реактивную мощность;

- для узлов с синхронными машинами (генераторы, компенсаторы) определить активную мощность генерации, пределы регулирования реактивной мощности ( $Q_{min} - Q_{max}$ ) и заданный (фиксированный) модуль напряжения ( $V_{zd}$ ). Особенности задания исходных данных для таких узлов объясняются действием регуляторов возбуждения синхронных машин (СМ). Обычно СМ поддерживает неизменным модуль напряжения на шинах высокого напряжения (за трансформатором) или на шинах генераторного напряжения за счет регулирования реактивной мощности, выдаваемой СМ. Минимальная реактивная мощность  $Q_{min}$  соответствует  $\cos\varphi = 0,96$ , а максимальная, как правило,  $\cos\varphi = 0,85$  (для некоторых турбогенераторов минимальное значение  $\cos\varphi = 0,80$ ). В ходе расчета режима RastrWin3 контролирует реактивную мощность и при нарушении одного из заданных пределов фиксирует реактивную мощность на его значении и освобождает модуль напряжения;

- при наличии в узле шунтов на землю – батареи статических конденсаторов (БСК) или шунтирующих реакторов (ШР) – определить их проводимость (в микросименсах) и нанести на схему;

- для линий электропередачи (ЛЭП) определить продольное сопротивление и проводимость на землю (проводимость задается в микросименсах и емкостный характер отражается знаком минус);

- для трансформаторов определить сопротивление, приведенное к стороне высокого напряжения, проводимость шунта на землю и коэффициент трансформации, равный отношению низшего номинального напряжения к высшему (таким образом, коэффициент трансформации будет меньше единицы);

- автотрансформаторы и трехобмоточные трансформаторы представить по схеме звезда с промежуточным узлом и тремя ветвями, две из которых имеют коэффициенты трансформации;

- при наличии в сети группы параллельных линий желательно присваивать каждой из них свой номер в группе;

- определить номер балансирующего узла и его модуль напряжения.

#### 4.1.2 Ввод данных по схеме сети

При вводе данных необходимо иметь схему, подготовленную в соответствии с предыдущим разделом.

Перед вводом новой схемы целесообразно выполнить команду **Файлы-Новый** и отметить галочкой тип файла **режим.rg2** (рис. 4.1). Это приведет к очистке памяти и обнулению числа узлов и ветвей.

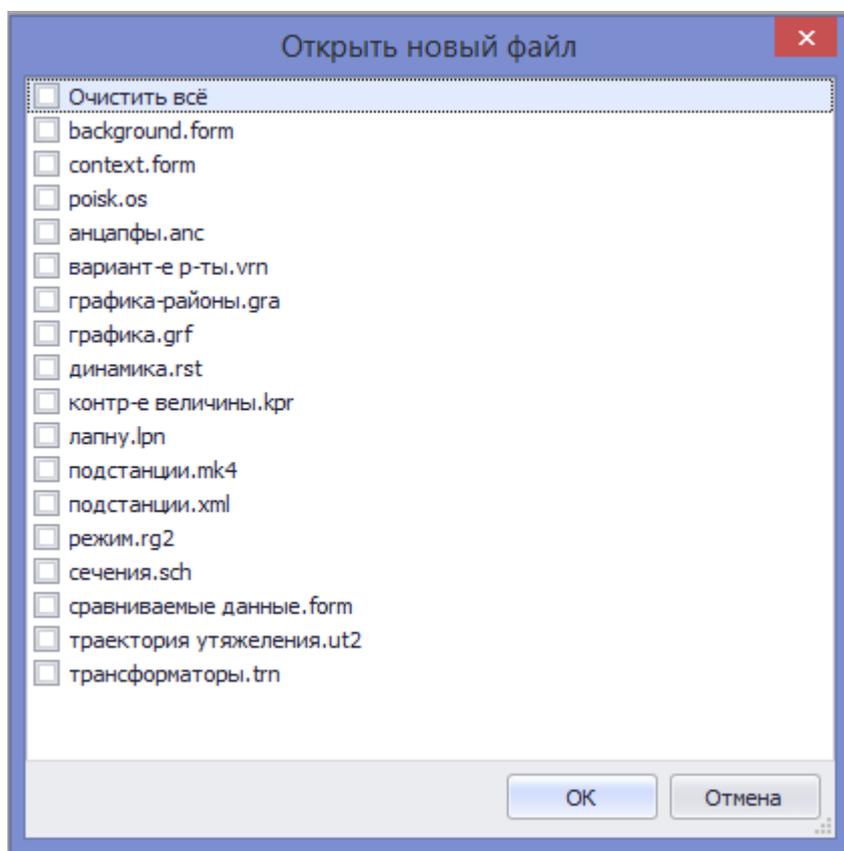


Рисунок 4.1 – Диалог выбора файлов для новой расчётной сессии

Затем надо выбрать меню **Открыть-Узлы-Узлы** и **Открыть-Ветви-Ветви**. На экране появятся две вкладки, содержащие пустые таблицы для ввода узлов и ветвей (рис. 4.2-4.3).

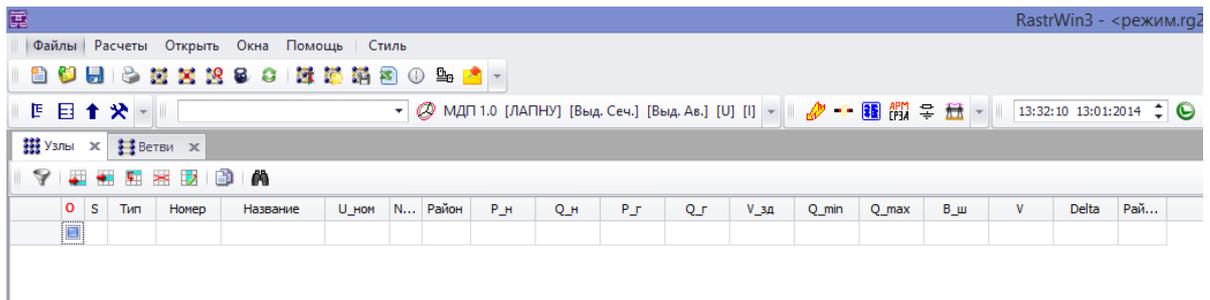


Рисунок 4.2 – Вкладка «Узлы»

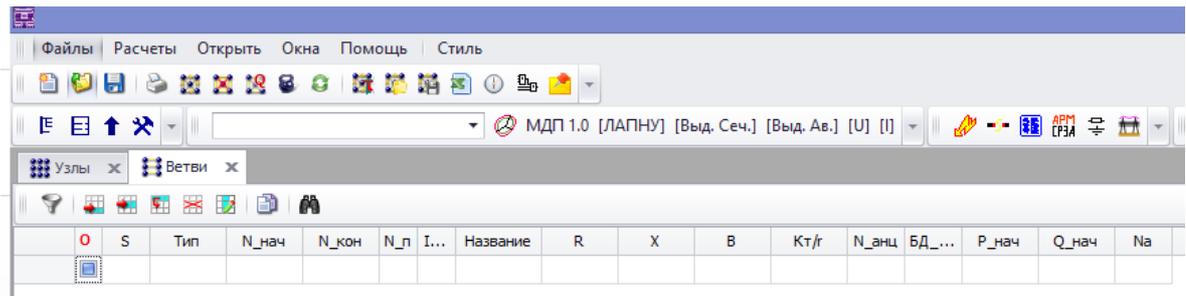


Рисунок 4.3 – Вкладка «Ветви»

Экранный редактор может находиться в двух режимах: просмотр и коррекция. В режиме просмотра заблокированы все функции ввода и редактирования. По умолчанию при первом входе редактор находится в режиме просмотра. Режим переключается клавишами **F2** или **Enter**.

Все номера узлов и ветвей должны быть положительными целыми числами в диапазоне от 1 до 2 147 483 647. Все названия не должны превышать в длину 256 символов.

Ввод схемы рекомендуется начинать с данных по узлам. Минимально необходимой информацией для каждого узла является его номер (**Номер**) и номинальное напряжение (**U\_ном**). Для узлов нагрузки требуется дополнительно ввести активную и реактивную мощность потребления (**P\_н**, **Q\_н**). Для узлов с генераторами или компенсаторами необходимо дополнительно задать пределы изменения реактивной мощности (**Q\_min**, **Q\_max**), в графе **V\_зд** для этих узлов указать заданный (фиксированный) модуль напряжения, который будет выдержан, если позволят пределы регулирования реактивной мощности. Один из узлов должен быть назначен

базисным (балансирующим), для чего в меню **Тип** этого узла надо выбрать строку **База** (рис 4.4).

№ узла	☐	Тип	Р	Имя	№
147	☐	Нагр	802	ИСЕТЬ	498
148	☐	Нагр	836	ДУБР	499
<b>149</b>	☐	База	805	ШАГОЛ	500
150	☐	База	801	ТАГИЛ	500
151	☐	Нагр	806	БАЗ	500
152	☐	Ген	832	ЮЖН	500
153	☐	Ген+	31	МУРАВЛ	500
154	☐	Ген-			
155	☐	Нагр	808	СОКОЛ	501
	☐	Нагр	17	ВАРЬЕГ	502

Рисунок 4.4 – Выбор типа узла

Остальные типы узлов (**Нагрузка**, **Генератор**) и ветвей (**ЛЭП**, **Тр-р**) выбираются программой автоматически при расчете режима. Список основных параметров, относящихся к узлу, приведен ниже:

**Отметка узла** используется для сортировки, выборки, эквивалентирования и т.д.;

**Состояние узла** – отключен/включен;

**Район** – номер района, к которому относится узел;

**Номер** – номер узла;

**N\_cxn** – номер статической характеристики нагрузки (СХН):

- 0 – не задана;

- 1, 2 – стандартны (защиты в программу);

- 2 – задаются пользователем в таблице «**Полиномы**».

**Название** – название узла;

**U\_ном** – номинальное напряжение;

**P\_н, Q\_н** – мощность нагрузки;

**P\_г, Q\_г** – мощность генерации;

$Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ ,  $V_{зд}$  – пределы генерации реактивной мощности и заданный модуль напряжения. В узле фиксируется модуль  $V_{зд}$ , если он не равен нулю и задано  $Q_{min} < Q_{max}$ ;

$G_{ш}$ ,  $B_{ш}$  – проводимость шунта на землю (ШР или БСК), мкСм;

$V$ ,  $\Delta$  – расчетный модуль и угол напряжения. Для базисных узлов – исходные данные, для остальных – расчетные величины

Часть перечисленных параметров в таблице скрыта, изменить их видимость можно с помощью меню, вызываемого щелчком правой кнопки мыши на заголовке соответствующего столбца – «**Выбор колонок**».

При вводе данных по ветвям (пункт меню **Ветви**) задаются номера узлов, ограничивающих ветвь (рис. 4.5).

	С	Тип	N_нач	N_кон	N_л	ID Группы	Название	R	X	B	Kт/r	P_нач	Q_нач
229	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1709	1714			КГПЗ-4,5 - ВАНДМТО	7,50	42,00	-270,0		-22	-1
230	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1709	1716			КГПЗ-4,5 - ХОРААЖ	1,20	4,40	-26,0		22	-30
231	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1709	1730			КГПЗ-4,5 - ЛУГОВ	7,00	74,00	-865,0		90	28
232	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1710	1720			НОВАЯ - КАРТОПЬ	12,60	45,10	-279,0		-75	3
233	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1710	1722			НОВАЯ - ЯГОД	18,30	60,00	-388,0		81	-1
234	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1710	1730			НОВАЯ - ЛУГОВ	17,20	61,50	-370,0		113	2
235	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1712	1740			КРАСПЕН - ИЛЬКОВО	2,90	12,90	-79,0		128	46
236	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1714	1724			ВАНДМТО - КРГПЗ1,2	2,40	13,40	-86,0		39	9
237	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1716	1740			ХОРААЖ - ИЛЬКОВО	5,40	19,60	-117,0		171	-8
238	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1722	1730			ЯГОД - ЛУГОВ	4,80	17,20	-106,0		119	17
239	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	1724	1740			КРГПЗ1,2 - ИЛЬКОВО	7,40	32,60	-201,0		119	5
240	<input type="checkbox"/>	Тр-р	2	1429			МАГ - МАГИСТ	0,49	30,65		0,440	-602	-179
241	<input type="checkbox"/>	Тр-р	3	1306			ДЕМ - ДЕМЬЯН	0,49	30,65		0,440	-361	-15

Рисунок 4.5 – Таблица «Ветви»

Разделение ветвей на ЛЭП и трансформаторы осуществляется программой по значению, проставленному в поле  $K_{т/r}$  (коэффициент трансформации): для ЛЭП это поле может оставаться пустым или заполняться нулем, для трансформаторов – обязательно заполняется значением (даже если это единица!). При вводе данных о трансформаторных ветвях важен порядок задания номеров узлов, которые их ограничивают.

Первым (поле  $N_{нач}$ ) должен стоять номер узла, к напряжению которого приведено сопротивление, чаще всего это узел высшего напряжения, тогда

вторым (поле **N\_кон**) будет номер узла низшего напряжения. Коэффициент трансформации – отношение напряжения узла **N\_кон** к напряжению узла **N\_нач**, т.е. это, как правило, отношение низшего напряжения к высшему.

Исходные данные, относящиеся к ветвям:

**N\_кон, N\_нач** – номера узлов, ограничивающих ветвь;

**N\_п** – номер ветви в группе параллельных;

**R, X** – соответствующие сопротивления;

**G, B** – проводимости, мкСм. Для ЛЭП – общая проводимость шунтов П-образной схемы (**B<0**), для трансформатора – проводимость шунта холостого хода для Г-образной схемы (**B>0**);

**K<sub>t/r</sub>, K<sub>t/i</sub>** – вещественная и мнимая составляющие коэффициента трансформации;

**I\_ДОП\_25** – допустимый ток, используемый для определения токовой загрузки в зависимости от температуры.

Для большинства трансформаторов коэффициент трансформации совпадает с его вещественной частью (при отсутствии поперечного регулирования).

Следует соблюдать определенные правила ввода – нежелательно оставлять пустые строки, а также узлы с незадаанным или отрицательным номером и ветви, у которых не задан хотя бы один из ограничивающих ее узлов. Такие строки необходимо удалять.

Программа проверяет корректность числовой информации. Она не позволяет ввести в числовое поле букву или задать неправильный формат числа.

В ходе подготовки исходных данных можно использовать функциональные клавиши:

**TAB** – следующий столбец;

**Shift+TAB** – предыдущий столбец;

**Ctrl+PgUp, PgUp** – начало таблицы;

**Ctrl+PgDn, PgDn** – конец таблицы.

С помощью левой кнопки мыши осуществляется позиционирование курсора.

Нажатие этой кнопки на заголовке столбца и последующее удержание с перемещением позволяют переместить столбец таблицы. Двойной щелчок левой кнопки мыши на заголовке столбца позволяет сортировать данные по возрастанию или убыванию значений этого столбца.

Нажатие правой кнопки мыши может привести к появлению двух типов меню:

- меню заголовка столбца – вызывается щелчком на заголовке столбца и позволяет провести действия по изменению таблицы (расположение и состав столбцов) и свойств данных (точность, название, формула);

- меню данных – вызывается щелчком на области данных, команды, выполняемые из этого меню, используют в качестве подсказки положение курсора (информацию о выбранной строке и столбце данных. Например, поиск осуществляется по столбцу с установленным курсором).

#### 4.1.3 Контроль исходной информации

Контроль исходной информации необходим для проверки допустимости и введенных данных. Он выполняется программой автоматически перед расчетом режима (программа проверяет, какого рода коррекция сделана, и, в зависимости от изменений, запускает или не запускает контроль). Однако после первого ввода схемы, а также при наличии ошибок, рекомендуется выполнить контроль, используя команду **Контроль** в меню **Расчеты**. Контролю подвергаются следующие характеристики:

- наличие изолированных узлов, т.е. узлов, с которыми не соединено ни одной ветви;

- наличие фрагментов сети, несвязанных с балансирующим узлом;

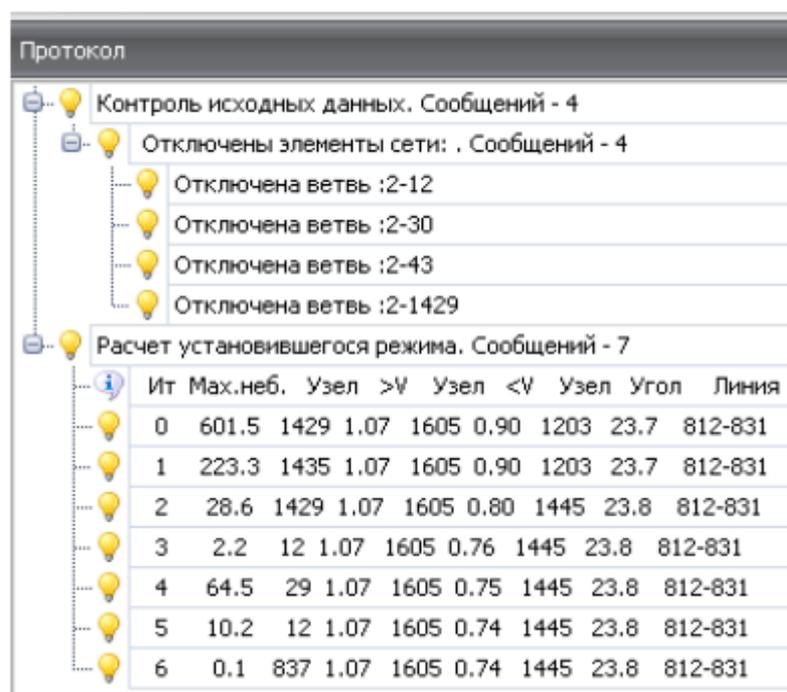
- наличие ветвей, у которых отсутствует информация об узлах (или хотя бы об одном узле), ограничивающих эти ветви;

- соответствие коэффициента трансформации номинальным напряжениям узлов, ограничивающих трансформаторную ветвь.

При выявлении подобных ошибочных ситуаций узел или ветвь, введенные с ошибкой, отключаются программой.

Для исправления ошибок следует вернуться в экранный редактор, проверить наличие всех узлов и ветвей, правильность их номеров, соответствие номеров узлов начала и конца трансформаторных ветвей. Введенные с ошибками ветви или узлы, отключенные программой контроля, необходимо включить.

Для просмотра сообщений об ошибках, выявленных программой контроля, следует использовать протокол (**Открыть – Протокол**, рис. 4.6).



The screenshot shows a window titled 'Протокол' (Log) with a tree view on the left and a list of messages on the right. The tree view has three main items: 'Контроль исходных данных. Сообщений - 4', 'Отключены элементы сети: . Сообщений - 4', and 'Расчет установившегося режима. Сообщений - 7'. The second item is expanded to show four sub-items: 'Отключена ветвь :2-12', 'Отключена ветвь :2-30', 'Отключена ветвь :2-43', and 'Отключена ветвь :2-1429'. The third item is expanded to show a table with 7 rows and 8 columns. The first row is a header, and the following rows contain numerical data.

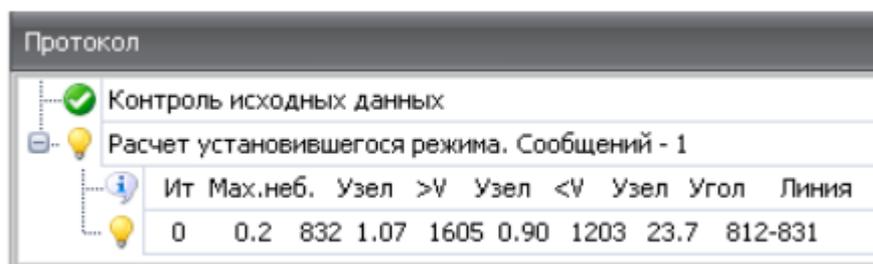
Ит	Мах.неб.	Узел	>V	Узел	<V	Узел	Угол	Линия
0	601.5	1429	1.07	1605	0.90	1203	23.7	812-831
1	223.3	1435	1.07	1605	0.90	1203	23.7	812-831
2	28.6	1429	1.07	1605	0.80	1445	23.8	812-831
3	2.2	12	1.07	1605	0.76	1445	23.8	812-831
4	64.5	29	1.07	1605	0.75	1445	23.8	812-831
5	10.2	12	1.07	1605	0.74	1445	23.8	812-831
6	0.1	837	1.07	1605	0.74	1445	23.8	812-831

Рисунок 4.6 – Окно протокола программы

Хотя отключенные при контроле изолированные узлы и ветви не приводят к ошибкам при расчете режима и в дальнейшем не выявляются программой контроля, следует избегать наличия в схеме таких объектов, так как это может привести к серьезным ошибкам при работе с графикой, делении схемы и в некоторых других ситуациях.

#### 4.1.4 Расчёт установившегося режима

Расчет установившегося режима (УР) можно выполнять после исправления всех ошибок, обнаруженных программой контроля. Для выполнения расчета УР нужно перейти в меню **Расчет** и выбрать команду **Режим**. В процессе расчета в протокол выдается таблица сходимости, в которой отображаются величины, характеризующие итерационный процесс метода Ньютона (рис. 4.7).



Ит	Мах.неб.	Узел >V	Узел <V	Узел	Угол	Линия
0	0.2	832	1.07	1605	0.90	1203 23.7 812-831

Рисунок 4.7 – Протокол расчета режима

**Ит** – номер итерации;

**Мах. неб.** – значение и номер узла для максимального небаланса мощности (**P** или **Q**);

**>V** – максимальная величина и номер узла для превышения напряжения по отношению к номинальному;

**<V** – то же самое для снижения напряжения по отношению к номинальному;

**Угол** – значение и номер линии для максимального разворота угла (в градусах).

Режим может разойтись. Причины расходимости расчета указываются в протоколе, в зависимости от них выбирается способ балансировки.

Перед расчетом режима возможно появление предупреждающего сообщения о расхождении режима. Это сообщение говорит о том, что в предыдущем расчете режим разошелся и начальное приближение, заданное для текущего расчета, плохое. Рекомендуется восстановить номинальные напряжения в качестве начального приближения для текущего расчета.

Параметрами расчета режима можно управлять с помощью меню (**Расчеты – Параметры – Режим**), но не следует менять эти параметры без необходимости (рис. 4.8).

Название	Значение
Точность расчета (dP)	1,000
Максимальное число итераций (It)	20
Стартовый алгоритм (Start)	Да
Плоский старт (Пл.старт)	Нет
Макс. допустимое снижение V (dV-)	0,500
Макс. допустимое превышение V (dV+)	2,000
Макс. допустимый угол по связи (dDelta)	5 157
Состояние расчета режима (Статус)	Аварийно
Учет частоты : (W)	Нет
Отклонение частоты (dF)	
Пересчитывать P/Q узла по P ген (Ген->P)	Да

Рисунок 4.8 – Параметры расчета режима

Работа с графикой в программном комплексе RastrWin3, а также многие другие вопросы рассмотрены подробно в официальной справочной системе программы [13, 19].

#### 4.2 Программный комплекс Energy CS Режим [17]

Программный комплекс «**EnergyCS**» предназначен для выполнения электротехнических расчетов при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем любой сложности. Он состоит из трех независимых модулей, каждый из которых решает одну из следующих задач на единой информационной модели рассматриваемой электрической сети:

- расчет и анализ установившихся режимов как разомкнутых распределительных сетей, так и сложнзамкнутых системообразующих сетей;
- расчет и анализ потерь электроэнергии в разомкнутых распределительных и в сложнзамкнутых системообразующих сетях;
- расчет токов короткого замыкания и токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

Все расчеты в программном комплексе выполняются на основе расчетной модели электрической сети (расчетной схемы), которая содержит информацию о конфигурации схемы, ее параметрах, и параметрах режима. Конфигурация схемы электрической сети описывается графом, который состоит из множества взаимосвязанных узлов и ветвей.

Каждая ветвь графа соответствует какому-либо объекту сети (линии электропередачи, трансформатору, реактору, двигателю и т.п.) и представляется в модели расчетными параметрами схемы замещения этого объекта: активным и реактивным сопротивлениями, поперечными проводимостями, коэффициентами трансформации (в виде модуля и, при необходимости, угла), величинами допустимых токов.

Узлы – это точки соединения двух или более ветвей (например, сборные шины, отпайки от воздушных или кабельных линий и т.д.). В расчетной модели они содержат информацию о режимных параметрах: модулях и углах напряжения, мощностях нагрузки и генерации. Один или несколько узлов должны быть определены как балансирующие, в которых задаются базисные напряжения, неизменные по величине и фазе, и на которые списываются небалансы мощности в сети. В качестве балансирующих узлов обычно принимаются узлы примыкания к мощным энергосистемам, шины частоторегулирующих электростанций и т.п.

Расчетная схема электрической сети может быть подготовлена заранее на бумаге, на основе схемы электрических соединений сети и схем замещения отдельных объектов. При этом должны быть пронумерованы все узлы и определены все необходимые расчетные параметры ветвей. Для выполнения расчетов исходная информация по узлам и ветвям вводится в соответствующие таблицы программного комплекса, а конфигурация расчетной схемы, кроме того, может быть изображена (нарисована) с помощью встроенного графического редактора.

Кроме такого традиционного формирования расчетной схемы, в программном комплексе «EnergyCS» предусмотрено объектно-ориентированное моделирование электрической сети в виде множества трансформаторов, линий, генераторов и других сетевых объектов.

#### 4.2.1 Графический ввод схемы

Расчетная схема может быть представлена в графическом виде в отдельном окне, которое называется «Схема». Каждому объекту электрической сети соответствует общепринятое графическое изображение, которое отображается на схеме при его добавлении. В схеме могут присутствовать и абстрактные ветви, не привязанные к конкретному объекту электрической сети. Отдельные объекты объединяются через общие узлы. При добавлении новых элементов на схему и при их соединении автоматически формируется граф электрической сети, то есть добавляются новые узлы и ветви расчетной модели.

Кроме изображения, должны быть введены параметры оборудования. Параметры оборудования могут вводиться в соответствующие таблицы одновременно с вводом изображения схемы или после окончания его формирования. Вообще (чисто теоретически), графическое изображение схемы не является обязательным элементом расчета. Программный комплекс допускает возможность ввода всей расчетной модели в табличном виде. Графическое изображение схемы может быть введено позднее, после ввода описания модели, но это, как правило, не удобно. Кроме того, можно ввести изображение только для части модели, отобразив наиболее важную ее часть. То есть элемент, присутствующий в модели и учитываемый в расчете, не обязательно должен (но может) быть изображен на схеме, в то же время на схеме не может быть элементов, не представленных в расчете. При просмотре схемы автоматически обеспечивается синхронизация табличного представления данных с указанным на схеме элементом

Схема вычерчивается на рабочем поле окна «Схема». В общем случае схема состоит из узлов и ветвей. Узлы связаны между собой ветвями. Ввод схемы состоит не в простом рисовании схемы, а именно в ее сборке из

элементов. Простейшими элементами являются узлы и ветви. Узлы моделируют сборные шины или точки соединения двух и более ветвей. Ветви могут моделировать различные объекты или рассматриваться как абстрактные ветви электрической схемы, имеющие активное и индуктивное продольное сопротивление и активную и реактивную поперечную проводимости, приложенные к началу и к концу ветви. Абстрактная ветвь может иметь комплексный коэффициент трансформации.

Объекты электрической сети (воздушные линии, реакторы, трансформаторы генераторы, нагрузки и т.п.) моделируются одной, тремя или больше ветвями.

Оформление изображения ветви состоит в указании положения значка объекта, а также положения и ориентации надписи. Надпись ветви привязывается к стрелке направления ветви. Для того чтобы подвинуть надпись параллельно самой себе, следует выделить ветвь и кликнуть по изображению стрелки. Стрелка начнет перемещаться по изображению ветви за курсором мыши, кроме того, появится пунктирная рамка с габаритом текста, которая будет перемещаться с курсором. Следует указать новое положение стрелки и текста и кликнуть повторно. Для того, чтобы изменить ориентацию и направление текста, следует выделить ветвь и кликнуть по изображению текста. Появится рамка с габаритом текста, которая будет изменять положение вслед за курсором мыши, поворачиваясь вокруг точки привязки текста, которая в этот момент будет обозначена кружком. Необходимо указать желаемое положение надписи.

#### 4.2.2 Исходные данные по узлам

Исходные данные по узлам заносятся в таблицу, которая активируется либо по команде главного меню **Данные/Узлы**, или при выборе или добавлении узла на схеме.

Таблица исходных данных узлов имеет вид, изображенный на рис. 4.9.

Номер узла	Наименование	СХН	Принадлежность	Uном, кВ	P нагр., МВт	Q нагр., Мвар	P ген., МВт	Q ген., Мвар	IUI, кВ	Q min, Мвар	Q max, Мвар	График нагрузки	Описание
1	ОРУ-220	-		220									
2	2фт	-		220									
3		-		6									
4		-		6									

Номер узла	1
Наименование	ОРУ-220
СХН	-
Принадлежность	
Uном, кВ	220
P нагр., МВт	
Q нагр., Мвар	
P ген., МВт	
Q ген., Мвар	
IUI, кВ	
Q min, Мвар	
Q max, Мвар	
График нагрузки	
Описание	

Рисунок 4.9 – Таблица исходных данных узлов

Поля таблицы исходных данных по узлам содержит следующую информацию (размерность мощности в этих таблицах определяется соответствующим параметром таблицы настройки расчета).

**Номер узла** – уникальное число в диапазоне от 1 до  $2^{20}=1048576$ , которое используется в качестве ключа, однозначно определяющего текущий узел в расчетной модели. При добавлении узла значение номера определяется автоматически путем увеличения на единицу наибольшего номера, имеющегося в расчетной модели. Значение номера узла можно изменить, если «разморозить» первый столбец таблицы. Однако если в схеме имеется узел с таким же номером, то выдается сообщение о существовании узла с таким номером и поле останется без изменения. При изменении номера узла следует учитывать, что будут изменяться и номера (ключи) ветвей и объектов расчетной схемы.

Узел нулевого потенциала («земля») всегда имеет номер 0 и в данной таблице не отображается.

После номера узла расположено поле без шапки, которое служит для того, чтобы отметить текущий узел. При выборе этого поля ставится знак отметки  $\surd$ , а при повторном выборе того же поля этот знак снимается. Отметка может быть использована при выборке (фильтрации) узлов по признаку отметки или для выполнения с отмеченными узлами каких-либо действий.

**Наименование** – символьное обозначение узла, состоящее не более чем из 12 символов.

**СХН** – номер статической характеристики, по которой моделируется нагрузка узла. В программном комплексе предусмотрена возможность задания 7 типов статических характеристик нагрузки – зависимостей мощности нагрузки от напряжения в виде полинома. В этом поле производится задание нужного для текущего узла номера статической характеристики путем выбора из дополнительного меню.

Для балансирующих узлов вместо номера СХН здесь выводится признак «**БУ**». Этот признак добавляется автоматически при подключении к узлу объекта «**Система**», а для его снятия необходимо отключить от узла этот объект.

Для узлов, которые не имеют связи с балансирующими узлами, в этом поле выводится признак «**Откл.**» (такие узлы не участвуют в расчете установившегося режима, хотя и присутствуют в расчетной модели). Данный признак добавляется и снимается автоматически при коммутациях в расчетной схеме (отключениях и включениях ветвей или объектов). Отключенные узлы выделяются особым цветом, который определяется командой «**Формат данных**» позиции «**Сервис**» главного меню программного комплекса.

**Принадлежность** – наименование района или подрайона, состоящее не более, чем из 20 символов. По значению этого поля выполняется разделение схемы по принадлежности к различным районам для облегчения анализа результатов расчета. Определение наименования района узла производится из дополнительной таблицы со списком всех районов, которая выводится на экран при выборе данного поля. Структура деления схемы на районы и подрайоны и их наименования задаются при выполнении команд позиции «**Районы**» главного меню. По умолчанию все узлы относятся к одному району самого высокого уровня (системы) без наименования.

**Уном** – номинальное напряжение узла (кВ). Значение номинального напряжения узла используется в качестве начального приближения при итерационном расчете напряжений в установившемся режиме. Поэтому для всех узлов, участвующих в расчете установившегося режима, должно быть

задано отличное от нуля значение этого поля. Если для какого-либо узла данное поле имеет нулевое значение, то при попытке выполнить расчет УР выводится сообщение вида о том, что напряжение равно нулю и расчет не производится, а соответствующая строка таблицы узлов становится текущей.

Кроме того, по значению этого поля определяется стандартное номинальное напряжение, по которому проводится анализ результатов расчета УР.

**Рнагр.** – значение активной мощности нагрузки в узле (кВт или МВт). При моделировании нагрузки статическими характеристиками значение этого поля соответствует активной мощности при напряжении, равном значению поля **Uном**.

**Qнагр.** – значение реактивной мощности нагрузки в узле (квар или Мвар). При моделировании нагрузки статическими характеристиками значение этого поля соответствует реактивной мощности при напряжении, равном значению поля **Uном**.

Мощность нагрузки может изменяться автоматически при подключении к узлу или отключении от него объектов вида «Двигатели (синхронные или асинхронные), подсистемы и нагрузки».

**Рген** – значение активной мощности генерации в узле (кВт или МВт). При подключении к узлу или отключении от него объекта вида «Синхронный генератор» значение мощности генерации может изменяться автоматически в соответствии с параметрами объекта синхронный генератор.

**Qген** - значение реактивной мощности генерации в узле (квар или Мвар). Если задано значение поля  $|U|$ , то реактивная мощность генерации в расчетах не учитывается и значение этого поля может быть любым числом. При подключении к узлу или отключении от него объекта вида «Синхронный генератор» значение этой мощности может изменяться автоматически в соответствии с параметрами объекта «Синхронный генератор».

$|U|$  - значение модуля напряжения (кВ), которое должно поддерживаться на шинах генератора при изменении режимных параметров за счет

регулирования возбуждения. При этом определяется реактивная мощность генератора, обеспечивающая заданный модуль напряжения. Если полученное значение реактивной мощности выходит за диапазон, определенный полями **Qmin** и **Qmax**, то производится пересчет величины модуля напряжения при фиксированном значении реактивной мощности, равном **Qmin** или **Qmax**.

**Qmin** – минимальное значение реактивной мощности генерации в узле (квар или Мвар), которое может быть обеспечено при заданном модуле напряжения. При задании модуля напряжения в поле **|U|** это поле принимает значение -9999 Мвар, которое может быть отредактировано в соответствии с параметрами конкретного генератора.

**Qmax** - максимальное значение реактивной мощности генерации в узле (квар или Мвар), которое может быть обеспечено при заданном модуле напряжения. При задании модуля напряжения в поле **|U|** это поле принимает значение 9999 Мвар, которое может быть отредактировано в соответствии с параметрами конкретного генератора.

При подключении к узлу или отключении от него объекта вида синхронный генератор, у которого задана величина фиксированного напряжения, значения полей **|U|**, **Qmin** и **Qmax** изменяются автоматически.

**График нагрузки** – признак задания в узле суточного графика активной и реактивной мощности. Если в узле задан график нагрузки, то в этом поле отображается знак вида  и при его выборе становится доступным для просмотра и редактирования суточный график нагрузки (в графическом и табличном виде).

#### 4.2.3 Исходные данные по ветвям

Исходные данные по ветвям вводятся в таблицу, приведенную на рис. 4.10. Таблица может быть заполнена вручную. При вводе информации в виде объектов эта таблица заполняется автоматически. При этом она может использоваться для проверки правильности построения схемы замещения программой. Ввод модели в виде объектов допускает изменение данных ветвей непосредственно в этой таблице. Это может понадобиться, например, для

упрощения расчетной модели (обнулить активную составляющую сопротивления, обнулить поперечную проводимость и т.п.).

Номера узлов	Имя узла начала	Имя узла конца	В Н	Вид	В К	R Ом	X Ом	G мксМ	B мксМ	Кт	Угол Кт°	Идоп А
1-2	ОРУ-220	2фт	<input checked="" type="checkbox"/>			0	101					80.3
1-5	ОРУ-220		<input checked="" type="checkbox"/>			0.263	12.8			0.0909	0	1050
1-22	ОРУ-220		<input checked="" type="checkbox"/>			0.263	12.8			0.0909	0	1050
1-26	ОРУ-220		<input checked="" type="checkbox"/>			0.263	12.8			0.0909	0	1050
1-60	ОРУ-220	60фт	<input checked="" type="checkbox"/>			0.246	6.83					602
2-3	2фт		<input checked="" type="checkbox"/>			0	168			0.0274	0	40.2
2-4	2фт		<input checked="" type="checkbox"/>			0	168			0.0274	0	40.2
4-21			<input checked="" type="checkbox"/>			0	0					
5			<input checked="" type="checkbox"/>			0	0.196					10189
5-6		6фт	<input checked="" type="checkbox"/>			0.0368	0.148					722
6-7	6фт		<input checked="" type="checkbox"/>			0.0736	1.4			0.315	0	361
6-8	6фт		<input checked="" type="checkbox"/>			0.0736	1.4			0.315	0	361

Рисунок 4.10 – Таблица исходных данных ветвей

Поля таблицы исходных данных по ветвям содержат следующую информацию.

**Номера узлов** – номера узлов расчетной схемы, к которым подключена ветвь. Это поле в данной таблице не редактируется и соответствует номерам узлов начала и конца ветви.

После номеров узла расположено поле без шапки, которое служит для того, чтобы отметить текущую ветвь. При выборе этого поля ставится знак отметки  $\surd$ , а при повторном выборе того же поля этот знак снимается. Отметка может быть использована при выборке (фильтрации) ветвей по признаку отметки или для выполнения с отмеченными узлами каких-либо действий.

**Узел начала** – наименование узла начала ветви. Это поле позволяет задать из списка введенных ранее узлов расчетной схемы узел, соответствующий началу ветви. При выборе данного поля на экран выводится таблица со списком узлов расчетной схемы для определения или переопределения узла начала ветви. Если наименование узла отсутствует, то это поле будет пустым.

**Узел конца** – наименование узла конца ветви. Аналогично предыдущему, данное поле позволяет выбрать из списка введенных ранее узлов расчетной схемы узел, соответствующий концу ветви. Если наименование узла отсутствует, то это поле будет пустым. При добавлении узла конца ветви,

совпадающем с узлом начала, выдается сообщение и ввод узла конца ветви игнорируется.

Поля «**Узел начала**» и «**Узел конца**» позволяют вводить в расчетную схему ветви в табличном виде без использования графического редактора, при этом в модель уже должны быть введены необходимые узлы. Если добавляется новая ветвь, то всегда при выборе любого поля последней строки предлагается выбрать узел начала ветви, при этом узел конца добавляется в модель автоматически и при необходимости может быть переопределен.

**ВН** – признак состояния коммутационного аппарата в начале ветви. Не закрашенный прямоугольник соответствует включенному состоянию, а закрашенный прямоугольник - отключенному. Переключение состояния (включено/отключено) коммутационного аппарата текущей ветви производится при выборе данного поля.

**Вид** – условное графическое обозначение вида ветви. Этот параметр используется в основном для проведения анализа результатов расчета и включения соответствующего фильтра выводимой в таблицах ветвей информации. При вводе расчетной модели с использованием объектов электрической сети вида ветвей определяются автоматически. При вводе ветви ее вид определяется из дополнительного меню, где первая позиция соответствует абстрактной ветви без наименования, а последняя – объектам подсистема и пассивная нагрузка, которые не участвуют в расчете режима как ветви с сопротивлением.

**ВК** - признак состояния коммутационного аппарата в конце ветви. Не закрашенный прямоугольник соответствует включенному состоянию, а закрашенный прямоугольник - отключенному. Переключение состояния (включено/отключено) коммутационного аппарата текущей ветви производится при выборе данного поля.

С помощью полей **ВН** и **ВК** можно проводить изменение конфигурации схемы. Особое значение имеют ветви выключатель «**Выключатель**». Предполагается, что такими ветвями моделируются секционные выключатели,

и они могут иметь нулевое сопротивление. Состояние коммутационных аппаратов в начале и конце ветви, имеющей тип «**Выключатель**», изменяется синхронно.

**R** - активное сопротивление ветви (Ом).

**X** - реактивное сопротивление ветви (Ом). Реактивное сопротивление ветви индуктивного характера записывается со знаком плюс, а емкостного - со знаком минус.

**G** – активная поперечная проводимость ветви (мкСм). Задается для учета потерь активной мощности на корону воздушных линий высокого напряжения или потерь мощности холостого хода трансформаторов.

**B** - реактивная поперечная (мкСм). Задается для учета зарядной реактивной мощности линий высокого напряжения или потерь реактивной мощности холостого хода трансформаторов. При правильном задании вида ветви этот параметр можно задавать без учета знака.

**K<sub>t</sub>** - модуль коэффициента трансформации ветви трансформатора. Этот параметр определяется как отношение напряжения узла конца ветви к напряжению узла начала ветви. Сопротивление такой ветви должно быть приведено к напряжению в узле начала.

**Угол K<sub>t</sub>** - значение фазы комплексного коэффициента трансформации ветви в градусах. Задается для ветвей - трансформаторов, имеющих продольно - поперечное регулирование напряжения.

**I<sub>доп</sub>** - значение допустимого тока ветви (А). Этот параметр используется для выполнения анализа загрузки ветвей. Для ветви - линии электропередачи следует задавать допустимый ток, соответствующий минимальному сечению этой линии. Для других ветвей - это, как правило, номинальный ток соответствующего элемента электрической сети (обмотки трансформатора, реактора и т.д.). Для ветвей - трансформаторов значение допустимого тока должно быть приведено к напряжению узла начала ветви.

При вводе расчетной схемы с использованием объектов электрической сети параметры ветвей определяются автоматически.

#### 4.2.4 Расчет и просмотр результатов режима

После завершения подготовки исходных данных схемы и занесения их в соответствующие таблицы программы, режим может быть рассчитан и проанализирован через пункт главного меню «**Результаты**».

Таблица результатов расчета установившегося режима по узлам имеет вид, показанный на рис. 4.11.



Номер узла	Наименование	СХН	Принадлежность	U  кВ	Угол U°	dU %	P нагр. МВт	Q нагр. Мвар	P ген. МВт	Q ген. Мвар	Описание
17	ОРУ-110	БУ		110	0	0	0	0	0	0	
18		-		11.2	4.64	11.7	0	0	0	0	
19		-		6.55	2.64	9.19	0	0	0	0	
20		-		10.4	2.14	3.51	0	0	0	0	
21		-		5.85	-3.1	-2.52	0	0	0	0	
22		-		21	4.66	110	0	0	0	0	
23	бфт	-		21	4.66	110	0	0	0	0	
24		-		6.67	4.66	10.4	0	0	0	0	

Рисунок 4.11 – Таблица результатов расчёта по узлам

В таблице узлов на рис. 4.11 можно лишь изменять состояние отметки узла (второе поле), т.е. отметить узел или снять отметку. Все остальные поля служат лишь для просмотра результатов расчета. В этой таблице поля содержат следующую информацию.

**|U|** - значение рассчитанного модуля напряжения (кВ).

**Угол U** - значение фазы рассчитанного напряжения в узле относительно напряжения в балансирующем узле (град.).

**dU** - отклонение напряжения (%) по отношению к стандартному номинальному напряжению текущего узла.

**Pнагр** – расчетное значение активной мощности нагрузки в узле с учетом статических характеристик по напряжению (при их задании).

**Qнагр** - расчетное значение реактивной мощности нагрузки в узле с учетом статических характеристик по напряжению (при их задании).

**Pген** - активная составляющая мощности генерации в узле.

**Qген** - реактивная составляющая мощности генерации в узле.

Таблица результатов расчета установившегося режима по ветвям имеет вид, показанный на рис. 4.12.

Установившийся режим по ветвям													
Номера узлов	Имя узла узла начала	Имя узла узла конца	В Н	Вид	В К	Pв МВт	Qв Мвар	dP МВт	dQ Мвар	Qс Мвар	I А	Kз	
1-2	ОРУ-220	2фт	□	○	□	-10.7	-6.65	0	0.328	0	32.9	0.409	
1-5	ОРУ-220		□	○	□	299	156	0.613	29.9	0	881	0.839	
1-22	ОРУ-220		□	○	□	299	156	0.613	29.9	0	881	0.839	
1-26	ОРУ-220		□	○	□	299	156	0.613	29.9	0	881	0.839	
1-60	ОРУ-220	60фт	□	○	□	59.9	42.1	0.0269	0.748	0	191	0.317	
2-3	2фт		□	○	□	0	0	0	0	0	0		
2-4	2фт		□	○	□	-10.7	-6.32	0	0.544	0	32.9	0.819	
4-21			□	○	□	-10.7	-5.78	0	0	0	1200		
5			□	○	□	300	186	0	0	0	9692	0.951	
5-6		6фт	□	○	□	0	0.000267	0	0	0	0.0071E-00		
6-7	6фт		□	○	□	0	0	0	0	0	0		
6-8	6фт		□	○	□	0	0	0	0	0	0		

Рисунок 4.12 – Таблица результатов расчёта по ветвям

**Pв** - значение потока активной мощности (кВт или МВт), соответствующее узлу начала ветви. Если это значение положительное, то активная мощность втекает в узел начала ветви от узла конца ветви, в противном случае - вытекает из него.

**Qв** - значение потока реактивной мощности (квар или Мвар), соответствующее узлу начала ветви. Если это значение положительное, то реактивная мощность втекает в узел начала ветви, в противном случае - вытекает из него.

**dP** - потери активной мощности в продольном сопротивлении ветви (кВт или МВт).

**dQ** - потери реактивной мощности в продольном сопротивлении ветви (квар или Мвар).

**Iв** - рассчитанный ток ветви (А).

**Kз** - коэффициент загрузки ветви в процентах, определяемый по отношению рассчитанного тока к допустимому току ветви. Если для текущей ветви не задано значение допустимого тока, то поле будет пустое.

Подробную информацию о работе с программным комплексом Energy CS Режим можно получить из официальной документации программы на сайте компании CSoft [17].

## 5. ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РАСЧЁТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

### 5.1 Комплекс программ «РТП 3» [15]

Комплекс программ «РТП 3», являющийся на сегодняшний день наиболее известным и распространённым в отечественных сетях, состоит из трёх программ:

- «РТП 3.1» – предназначена для расчёта установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий и трансформаторов в разомкнутых электрических сетях напряжением 6-220 кВ; расчёта потерь мощности и электроэнергии; расчёта токов короткого замыкания; расчета потерь в приборах учёта; расчета потерь в дополнительном оборудовании: в вентильных разрядниках, шунтирующих реакторах, синхронных компенсаторах, ограничителях напряжения, в устройствах присоединения ВЧ-связи, в соединительных проводах и шинах подстанции, от токов утечки по изоляторам воздушных линий; формирования сводной таблицы норматива потерь по ступеням напряжения с разбивкой на структурные составляющие;

- «РТП 3.2» – предназначена для расчёта установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий в разомкнутых электрических сетях напряжением 0,38 кВ; расчет потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ;

- «РТП 3.3» – предназначена для ведения баз данных по потреблению электроэнергии абонентами с привязкой их точек учета к схеме сети; расчёта допустимого, фактического небалансов и количества неучтённой электроэнергии в разомкнутых электрических сетях.

Расчёт с использованием комплекса «РТП 3» ведется с помощью базы данных, которая содержит схемные и режимные параметры распределительных

сетей. На рисунке 5.1 представлена расчетная схема, ввод которой осуществляется на основе нормальной оперативной схемы.

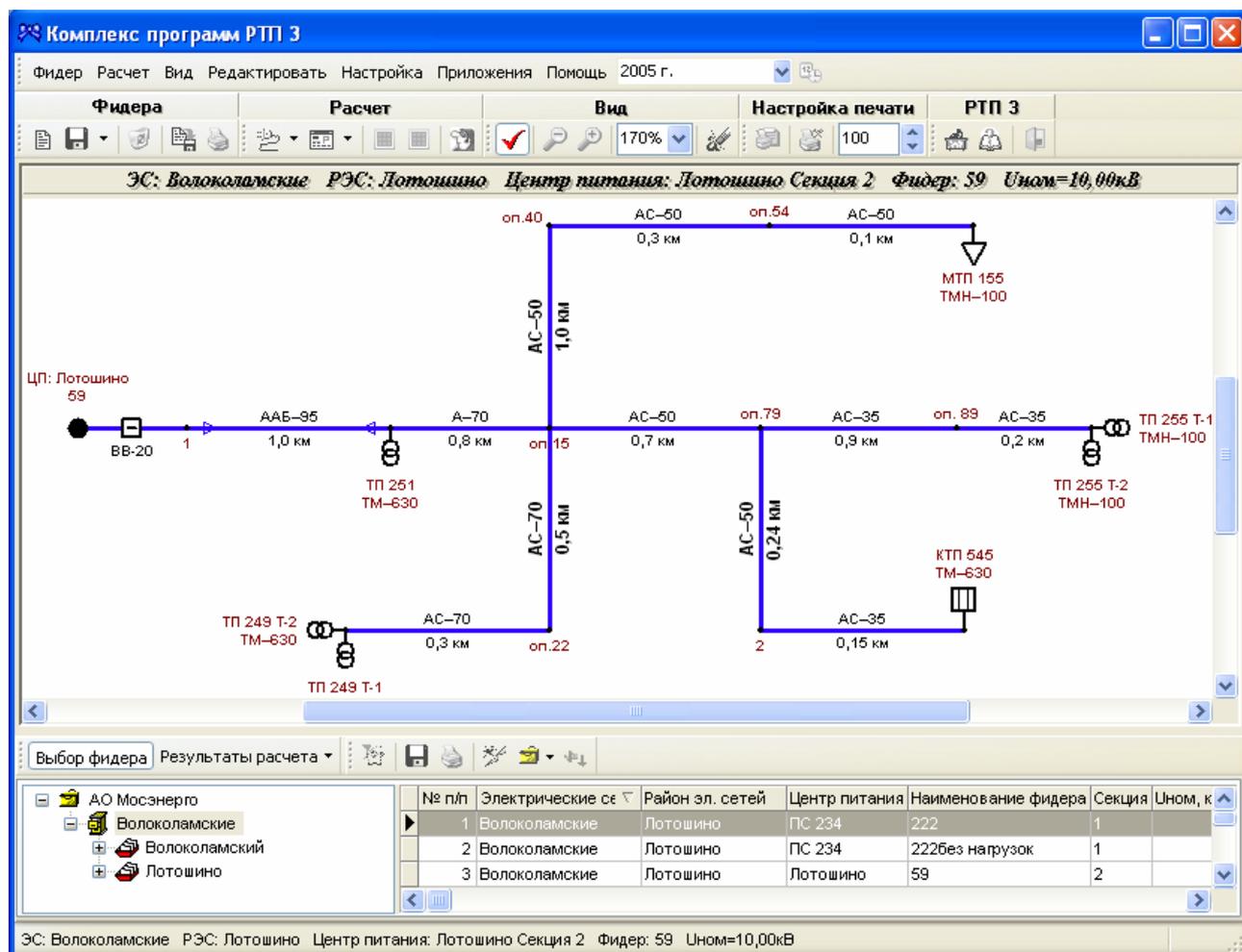


Рисунок 5.1 – Расчётная схема фидера в комплексе программ «РТП 3»

Элементами фидера являются узлы и линии. Первый узел фидера – это всегда центр питания, отпайка – точка соединения двух или более линий, трансформаторная подстанция – узел с ТП, а также переходные трансформаторы 6/10 кВ. Линии бывают двух типов: провода – воздушная или кабельная линия с длиной и маркой провода и соединительные линии – фиктивная линия с нулевой длиной и без марки провода. Изображение фидера можно увеличивать или уменьшать с помощью функции изменения масштаба, а также передвигать по экрану полосами прокрутки или мышкой.

Параметры расчетной схемы или свойства любого ее элемента доступны для просмотра в любом режиме. После расчета фидера дополнительно к исходной информации об элементе в окно с его характеристиками добавляются результаты расчета.

Ввод схемы в «РТП 3» существенно облегчается и ускоряется набором редактируемых справочников. При возникновении каких-либо вопросов во время работы с программой всегда можно обратиться за помощью к справке или к инструкции пользователя. Интерфейс программы удобен и прост, что позволяет сократить затраты труда на подготовку и расчет электрической сети.

Расчет установившегося режима включает в себя определение токов и потоков мощностей по ветвям, уровней напряжения в узлах, нагрузочных потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах, а также потерь холостого хода по справочным данным, коэффициентов загрузки линий и трансформаторов. Исходными данными для расчета являются измеренные ток на головном участке фидера и напряжение на шинах 0,38 - 6 - 10 кВ в режимные дни, а также нагрузка на всех или части трансформаторных подстанций. Кроме указанных исходных данных для расчета предусмотрен режим задания электроэнергии на головном участке. Возможна фиксация даты расчета.

Одновременно с расчетом потерь мощности ведется расчет потерь электроэнергии. Результаты расчета по каждому фидеру сохраняются в файле, в котором они суммируются по центрам питания (подстанциям), районам электрических сетей и всем электрическим сетям в целом, что позволяет проводить подробный анализ результатов.

Детальные результаты расчета состоят из двух таблиц с подробной информацией о параметрах режима и результатах расчета по ветвям и узлам фидера. Подробные результаты расчета можно сохранять в текстовом формате или формате табличного процессора Microsoft Excel. Это позволяет использовать широкие возможности этого Windows-приложения при составлении отчета или анализе результатов.

В «РТП 3» предусмотрен гибкий режим редактирования, который позволяет вводить любые необходимые изменения исходных данных, схем электрических сетей: добавить или отредактировать фидер, название электрических сетей, районов, центров питания, отредактировать справочники. При редактировании фидера можно изменить расположение и свойства любого элемента на экране, вставить линию, заменить элемент, удалить линию, трансформатор, узел и др.

Комплекс «РТП 3» позволяет работать с несколькими базами данных, для этого необходимо только указать к ним путь. Он выполняет различные проверки исходных данных и результатов расчета (замкнутость сети, коэффициенты загрузки трансформаторов, ток головного участка должен быть больше суммарного тока холостого хода установленных трансформаторов и др.).

Все перечисленные возможности существенно сокращают время на подготовку исходной информации. В частности, с помощью «РТП 3» за один рабочий день один оператор может ввести информацию для расчета технических потерь по 30 распределительным линиям 6 - 10 кВ средней сложности.

Подробную информацию о работе с программой можно получить в официальной документации, прилагаемой к дистрибутиву комплекса [15].

## **5.2 Программный комплекс Energy CS Потери [16]**

Комплекс Energy CS Потери является частью комплекса Energy CS и предназначен для выполнения расчетов потерь электрической энергии при передаче по сетям электроэнергетических систем любой сложности, а также для прогнозирования потерь.

Принцип работы с комплексом во многом схож с таковой в Energy CS Режим, поскольку используется одна и та же исходная модель, справочники и т.д. Добавляются новые таблицы с результатами расчета потерь электроэнергии и мощности (рис. 5.2).

Расчетный период 24 ч												
№	Название района	В линиях нагрузочные	В линиях на корону	В тр-рах нагрузочные	В тр-рах хол. ход	Собств. нужды ПС	СК и БСК	Реакторы	ТТ,ТН, счетчики	Прочие	Суммарные потери	В том чис. в сети НН
1	Система А	63.7	13.2	7.18	6.14	101	0.584	0	2.52	6.71	201	2.83
1.1	SS1	54	0	4.9	4.95	48	0.584	0	2.52	3.01	118	2.83
1.1.1	RR11	3.12	0	0.234	0.0736	24	0	0	0	0	27.4	2.8
1.1.2	RR12	0.776	0	0.287	0.059	24	0.584	0	2.52	0	28.2	0.0243
1.2	SS2	9.62	0	2.29	1.19	52.8	0	0	0	0	65.9	0
1.2.1	RR21	0	0	0	0	52.8	0	0	0	0	52.8	0
2	Сис	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2	S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Расчетный период 24 ч				
№	Название района	Технические потери	Метрологические потери	Всего
1	Система А	201	0	201
1.1	SS1	118		
1.1.1	RR11	27.4		
1.1.2	RR12	28.2		
1.2	SS2	65.9		
1.2.1	RR21	52.8		
2	Система Б	0		
2.1	S1	0		
2.2	S2	0		

Расчетный период 24 ч							
№	Название района	Отпуск в сеть МВт*ч	Полезный отпуск МВт*ч	dWсум МВт*ч	dWнар МВт*ч	dWпост МВт*ч	dWсум %
1	Система А	2510	2309	201	70.8	130	8
1.1	SS1	2038	1920	118	58.9	59.1	5.79
1.1.1	RR11	507	480	27.4	3.35	24.1	5.4
1.1.2	RR12	508	480	28.2	1.06	27.2	5.55
1.2	SS2	455	389	65.9	11.9	54	14.5
1.2.1	RR21	442	389	52.8	0	52.8	12
2	Система Б	0	0	0	0	0	0
2.1	S1	0	0	0	0	0	0
2.2	S2	0	0	0	0	0	0

Рисунок 5.2 – Результаты расчёта потерь в табличном виде

Для расчета потерь энергии в питающих сетях, имеющих сложноразветвленную структуру, применяются два метода: метод численного интегрирования (ЧИ) и метод, реализующий идеи факторного моделирования графиков нагрузок по обучающим выборкам.

Для расчета потерь энергии в высоковольтной распределительной сети реализован метод «средних нагрузок и коэффициента формы».

Расчет потерь энергии в низковольтных сетях выполняется по обобщенной информации.

Виды расчетов, предусмотренные в программе:

- расчет установившихся режимов — средних нагрузок и для заданного часа графика;
- расчет потерь электроэнергии сложноразветвленной сети методом обобщенных типовых графиков;

- расчет потерь электроэнергии в произвольных сетях методом прямого численного интегрирования — на основе почасовых расчетов по графикам энергопотребления;

- расчет потерь электроэнергии по фидерам для разомкнутых участков сети;

- расчет потерь электроэнергии в низковольтной распределительной сети на основе обобщенных показателей соответствующих сетей;

- расчет балансов электроэнергии по районам и подрайонам;

- расчет постоянных потерь и потерь на собственные нужды элементов схемы;

- расчет потерь в результате погрешностей измерительного оборудования.

Подробную информацию о работе с программным комплексом Energy CS Потери можно получить из официальной документации программы на сайте компании CSoft [16].

## **6. ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РАСЧЁТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

### **6.1 АРМ СРЗА [14]**

АРМ СРЗА – комплекс программ для расчетов электрических величин при повреждениях сети и уставок релейной защиты.

АРМ СРЗА состоит из 10 приложений:

- графический редактор схем замещения электрической сети;
- программа расчета электрических величин при повреждениях сети;
- программа подготовки файла коррекции;
- релейная защита;
- программа расчета ТКЗ по месту повреждения;
- программа расчета эквивалентов сети;
- программа расчета параметров производной схемы замещения повреждений любой сложности;
- программа создания новой сети на базе эквивалента;
- программа расчета электрических величин при повреждениях сети, выполненная как подпрограмма для посторонних пользователей-разработчиков программного обеспечения;
- программы определения мест повреждений ОМП.

Запись информации по сети в комплексе программ АРМ СРЗА начинается после того, как пользователь подготовит расчетную схему замещения электрической сети с параметрами по прямой и нулевой последовательности и скомпонует ее на чертеже. После этого пользователь должен нанести на чертеж обозначения узлов сети, представляющих пятисимвольный алфавитно-цифровой код. Здесь следует заметить, что в том случае, если пользователь эксплуатирует одновременно комплекс программ ТКЗ-3000 и АРМ СРЗА, то обозначения узлов сети должны быть ограничены цифровым диапазоном от 1 до 3000. После проведения такой подготовительной

работы. Можно переходить к вычерчиванию сети с помощью комплекса программ АРМ СРЗА.

Узлами (рис. 6.1) сети являются шины сети, места отпаек ЛЭП или трансформаторов, присоединения реакторов, места изменения сечения проводов, места изменения параметров взаимной индукции.

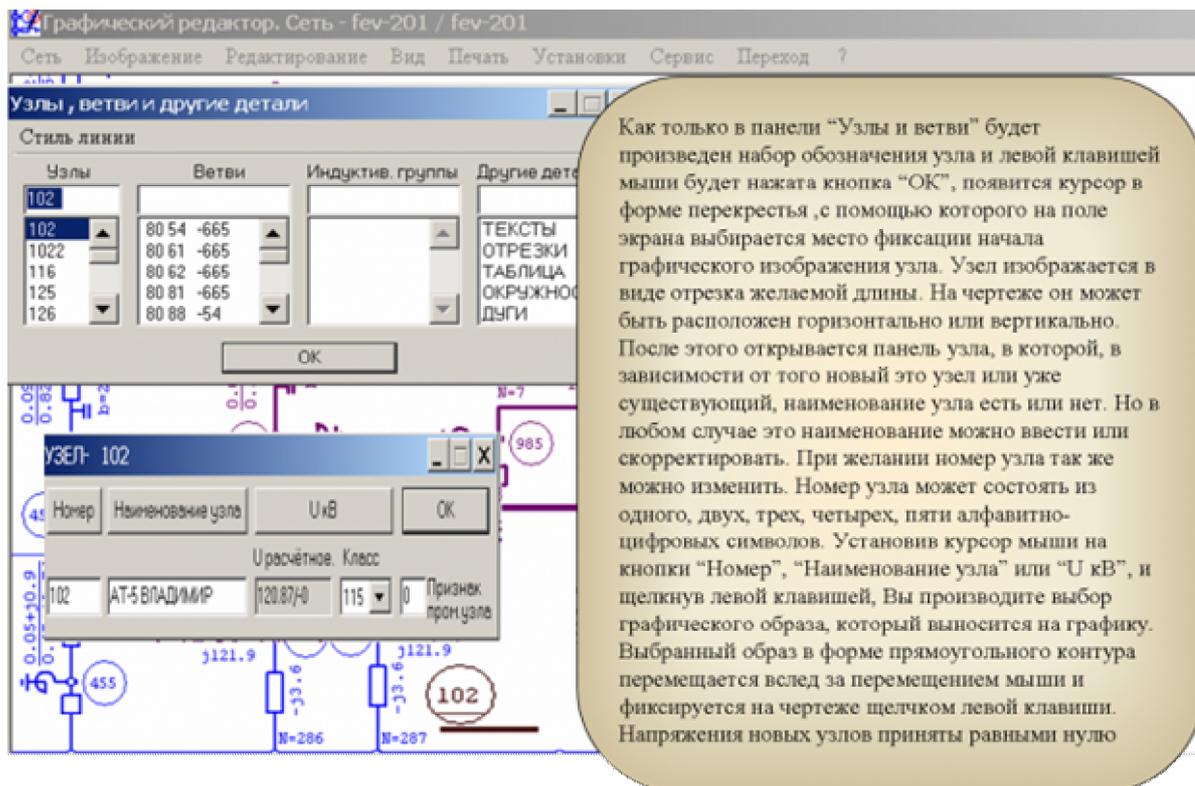


Рисунок 6.1 – Редактор узлов

Земля (общая нейтраль) есть нулевой узел. Обозначения нулевого узла на чертеж не выносятся.

Ветвями (рис. 6.2) называются части сети, соединяющие два узла. Все ветви сети подразделяются на типы, а именно:

- 0 - ветви с ненулевыми параметрами. Ветви на землю, такие как, нагрузки, реакторы, статические емкости. Ветви, соединяющие два узла, с продольным сопротивлением без емкостной проводимости на землю;

- 1, 101 – ветви с нулевыми параметрами (сопротивлениями). Это ветви, моделирующие шиносоединительные выключатели (ШСВ) и заземления

нейтралей трансформаторов. При этом тип 1 - нормально ВКЛЮЧЕННЫЙ выключатель, а тип 101 - нормально ОТКЛЮЧЕННЫЙ выключатель;

- 3 – трансформаторные ветви. Т.е. ветви, соединяющие узлы разного класса напряжения. Первым узлом в записи ветви следует узел, к которому приведено сопротивление ветви, а коэффициент трансформации есть отношение напряжений первого и второго узлов в записи ветви. Все многообмоточные трансформаторы моделируются с помощью набора двухобмоточных трансформаторов и простых ветвей;

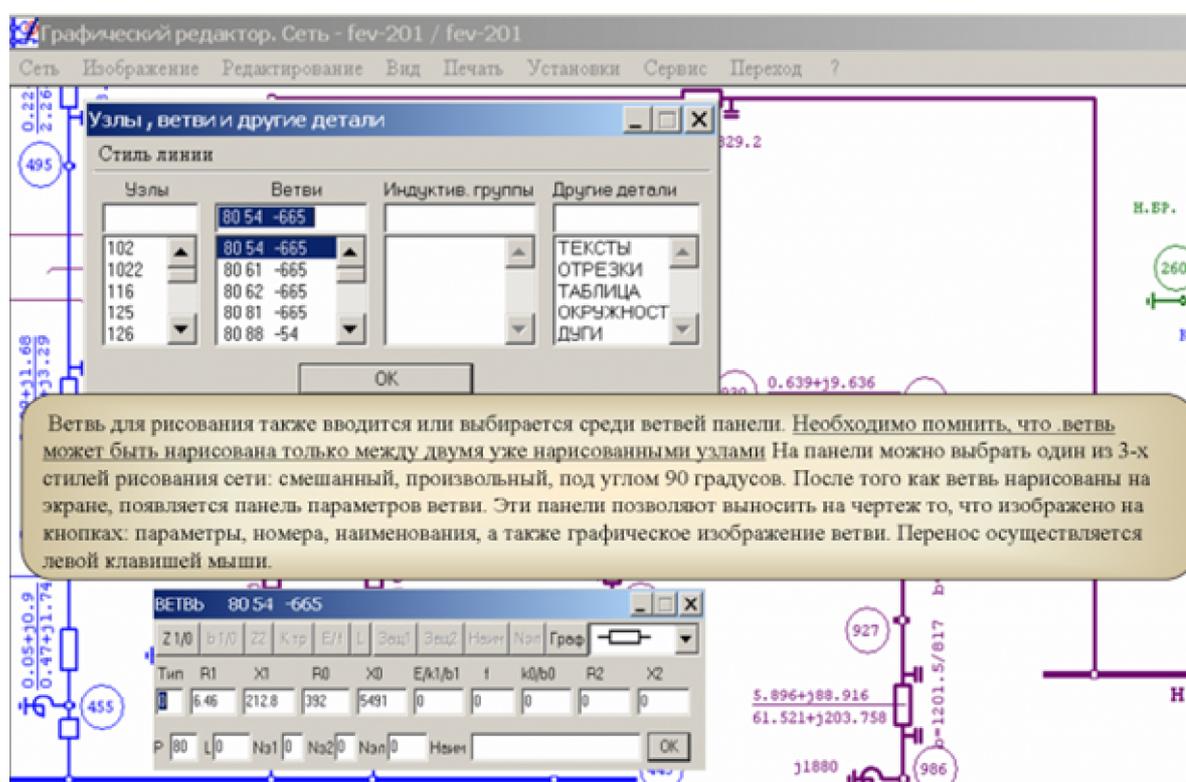


Рисунок 6.2 – Редактор ветвей

- 4 – генераторные ветви. Ветви, соединяющие общую нейтраль (нулевой узел) с другим ненулевым узлом сети;

- 5 - Ветви, соединяющие два узла, с продольным сопротивлением с емкостной проводимостью на землю.

Чтобы оперировать с группой ветвей схемы замещения сети, как с единым целым, введено понятие ЭЛЕМЕНТ. Вся сеть состоит из ЭЛЕМЕНТОВ, а именно генераторы, трансформаторы, реакторы, линии

электропередачи, выключатели и т.д. Некоторые элементы сети на схеме замещения сети представляются одной ветвью (генераторы, выключатели), а некоторые группой электрически связанных между собой ветвей (многообмоточные трансформаторы, линии электропередачи с отпайками или с переменным сечением проводов или неравномерной взаимоиндукцией вдоль линии.) Чтобы в различных приложениях комплекса можно было удобно оперировать с элементом, как с единым целым, для каждой ветви в колонке №л присваивается единый общий номер. Для разных элементов этот номер, естественно, разный. Диапазон таких номеров лежит в пределах от 1 до 5000. Группа ветвей, объединенная общим номером элемента, должна быть электрически связана между собой радиально.

Коридоры ветвей с взаимной индукцией записываются отдельно.

В АРМ СРЗА математическая модель сети представляет собой полную единую электрическую и электромагнитную часть (файл с расширением \*.set) и неограниченный набор изображений всей сети в целом или любых ее частей, повторяющихся в других изображениях или нет (файлы с расширением \*.sgk). Никаких ограничений на имена файлов сети и изображений не накладывается. Пользователь сам устанавливает понятные ему правила формирования имен сети и изображений всей сети или отдельных ее частей.

В каждый конкретный момент работы АРМ пользователь работает с какой-либо всегда полной электрической моделью и каким-либо любым выбранным пользователем частичным или полным изображением этой сети.

#### 6.1.1 Расчёт токов короткого замыкания

Диалоговая программа расчета электрических величин (ТКЗ-Д) позволяет:

- производить расчеты электрических величин в диалоговом режиме, указывая непосредственно на схеме замещения сети место повреждения, вид повреждения и коммутируемые элементы;

- формировать протокол произведенных расчетов автоматически или по желанию пользователя регулировать объем и форму результатов расчетов;

- производить расчеты в сети с практически неограниченным числом узлов сети;

- точно учитывать ветви с нулевыми сопротивлениями (выключатели).

При этом число их не ограничено, и эти ветви могут образовывать замкнутые контура. Расчет токов в ветвях с нулевыми сопротивлениями ведётся в два этапа. На первом этапе расчёт ведётся в основной сети со значениями сопротивлений выключателей равными нулю. На втором этапе отдельно рассчитывается замкнутый контур из выключателей в предположении равенства сопротивлений (равенства не нулю!) всех входящих в группу выключателей;

- производить расчет для любого однократного и любого сколь угодно сложного вида повреждения сети, в том числе и с учетом нагрузочного режима;

- производить расчет тремя способами, не прерываясь до конца во всей сети, по шагам во всей сети, останавливаясь после каждого расчёта и через эквивалентирование;

- использовать для анализа векторную диаграмму и калькулятор комплексных величин;

- вводить в список электрических величин произвольные формулы.

Для работы с диалоговой программой расчета электрических величин (ТКЗ-Д) используется сеть, подготовленная графическим редактором АРМ-СРЗА.

Окно программы «Расчет токов КЗ» представляет собой стандартное окно Windows с главным меню, в котором находятся все необходимые функции (рис. 6.3).

Меню состоит из девяти пунктов, для каждого из которых существует свой набор подпунктов (рис. 6.4-6.15).



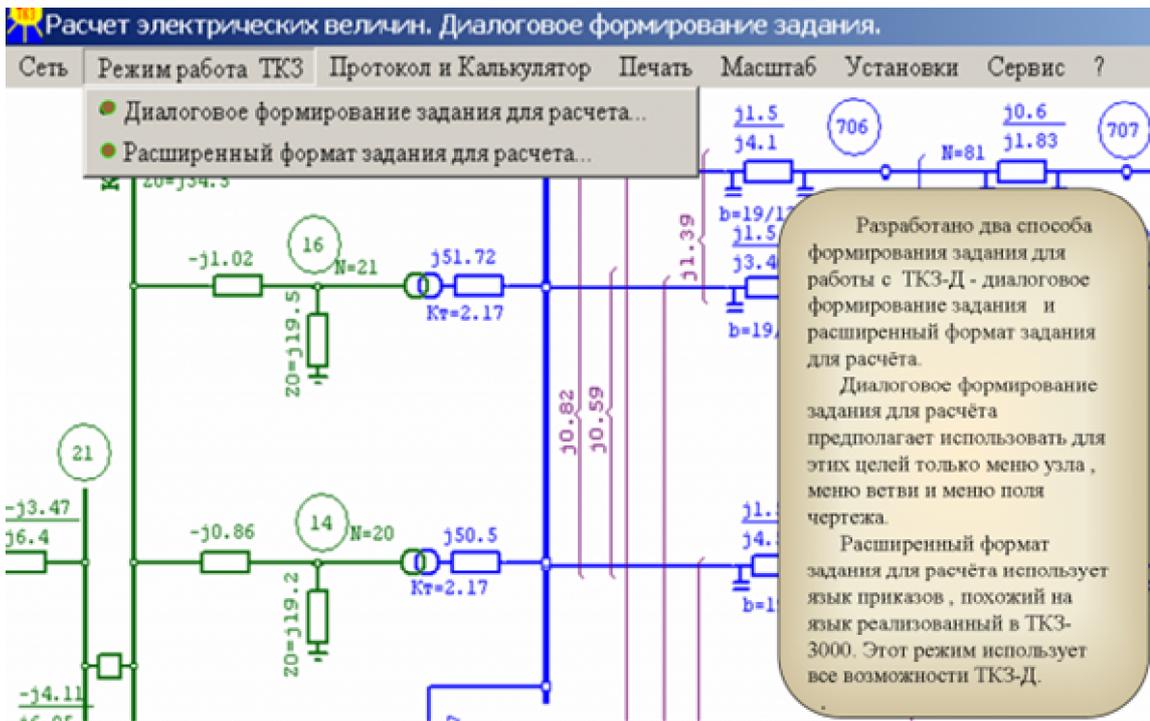


Рисунок 6.5 – Подменю «Режим работы ТКЗ»

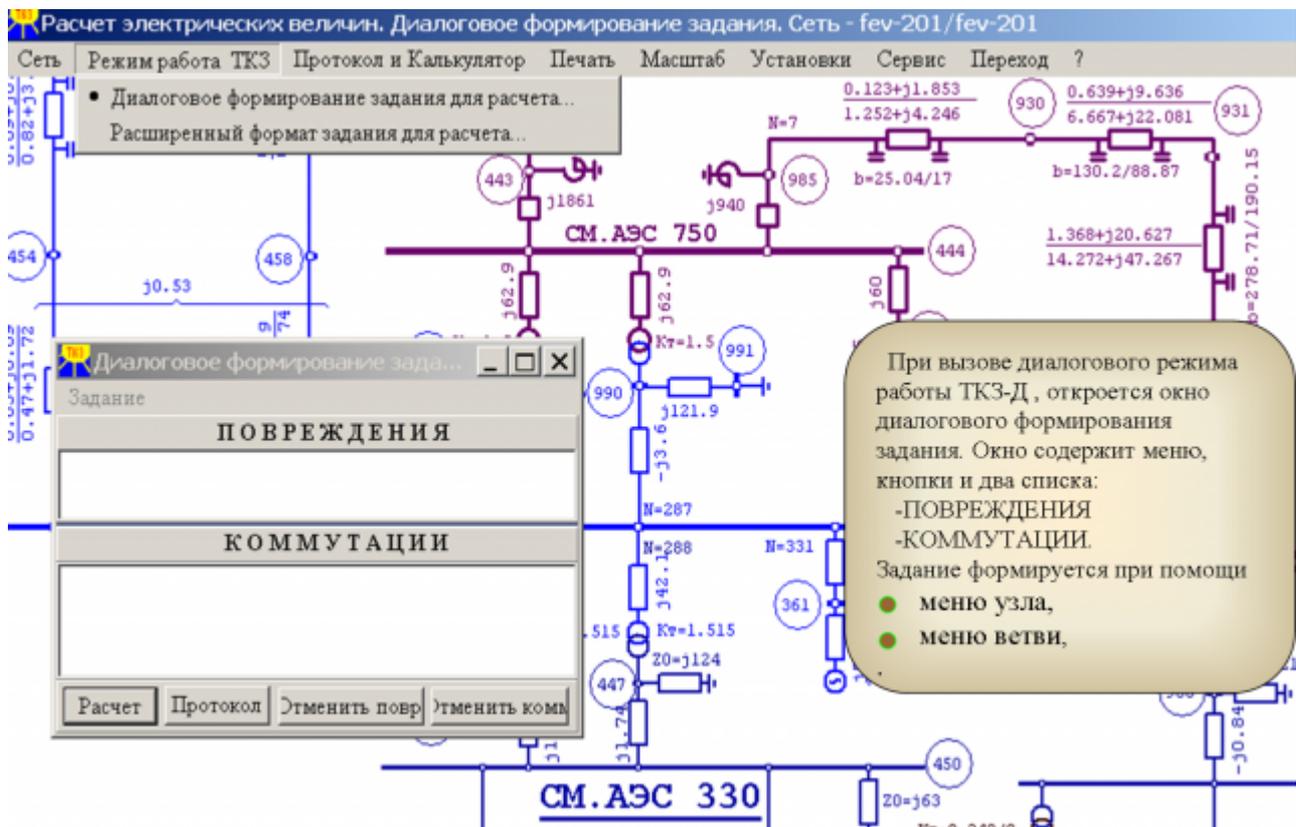


Рисунок 6.6 – Подменю «Режим работы ТКЗ» (диалоговый вариант)

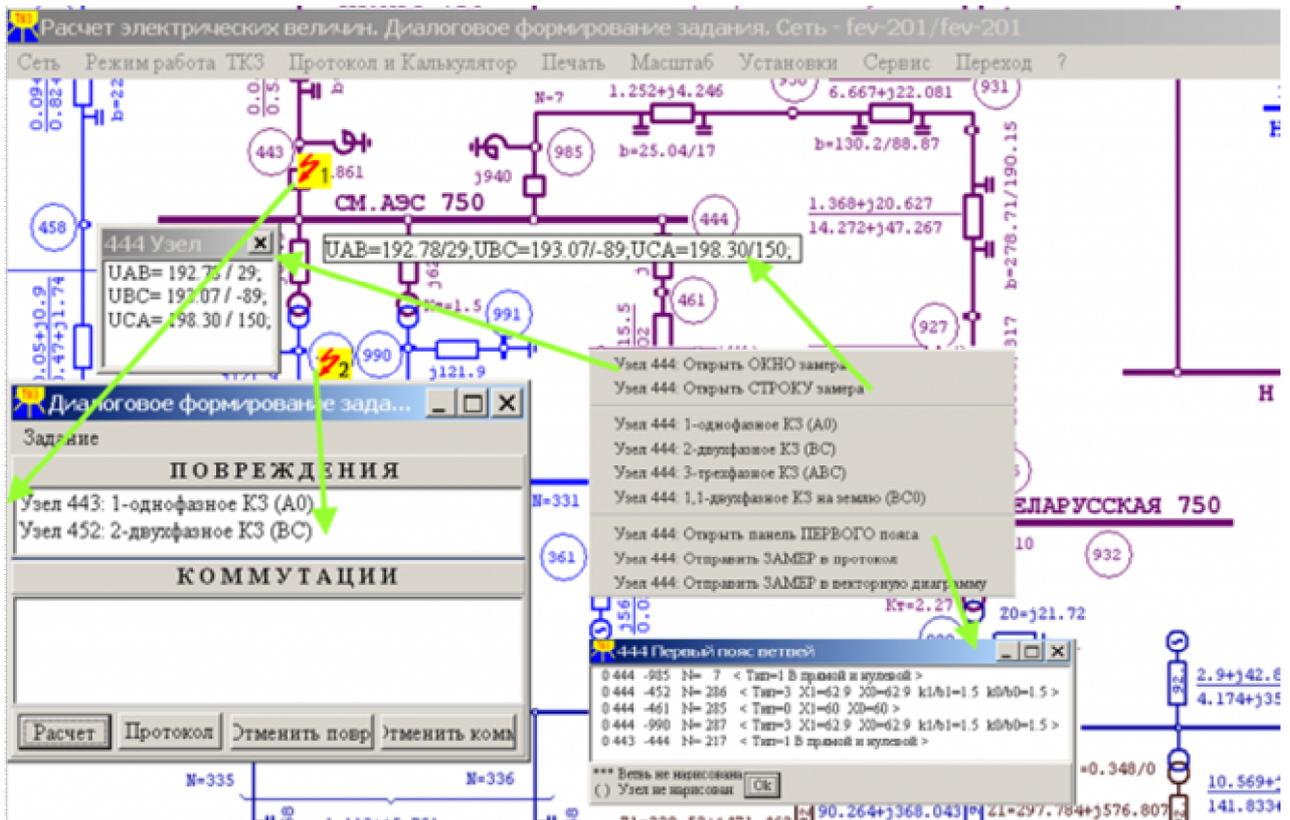


Рисунок 6.7 – Меню узла

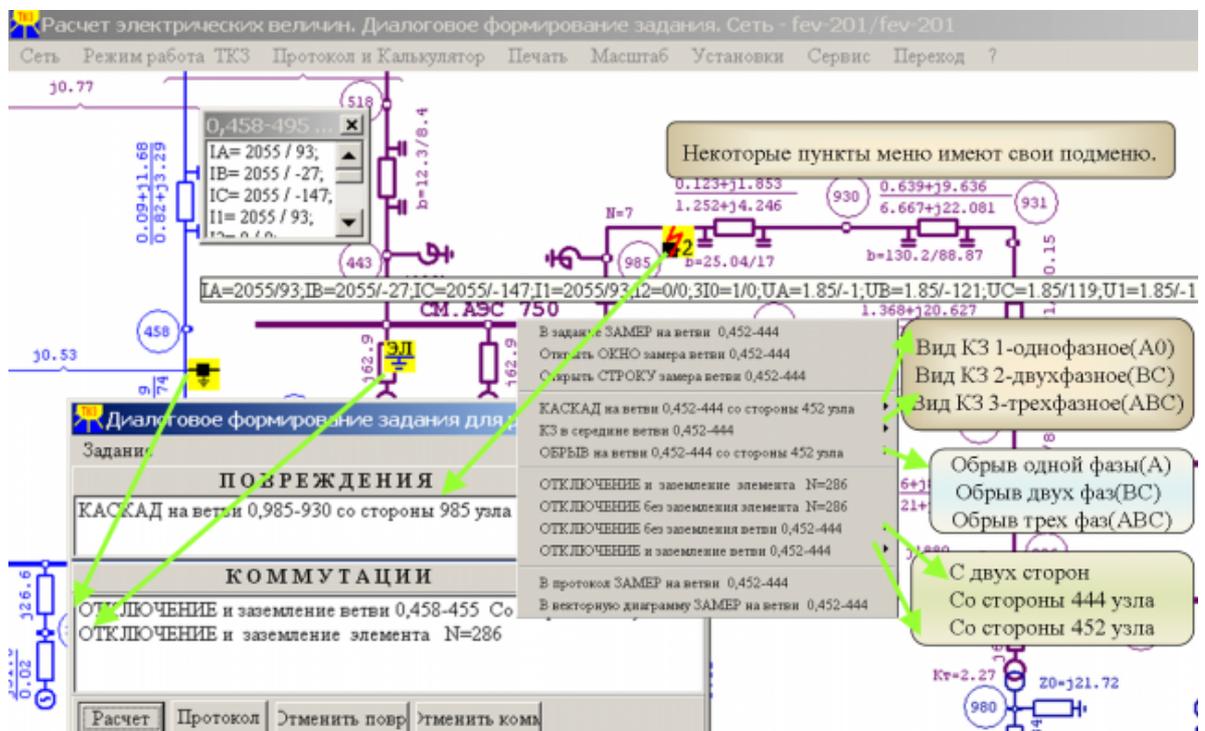
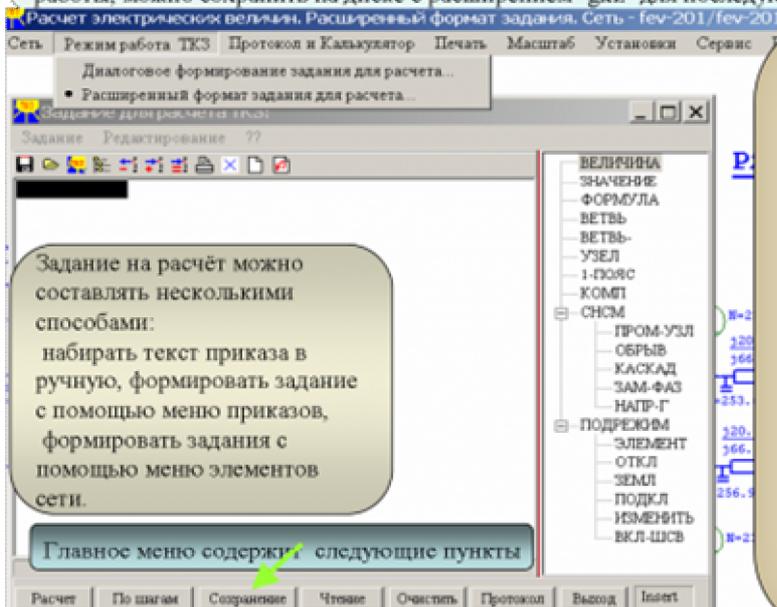


Рисунок 6.8 – Меню ветви

Расширенный формат задания для расчёта использует язык приказов, похожий на язык реализованный в ТКЗ-3000. Этот режим использует все возможности ТКЗ-Д. Для формирования задания разработано окно, состоящее из поля редактора текста и поля меню приказов. Окно имеет главное меню, объектное меню и поле подсказки в нижней части окна. Поле подсказки содержит краткую справку приказа задания, где стоит курсор. Если управляющее слово приказа не идентифицировано, то поле подсказки пустое. Задание, составленное в процессе работы, можно сохранить на диске с расширением "gkz" для последующего использования.



Единица языка расширенного формата задания - ПРИКАЗ. ПРИКАЗ состоит из управляющего слова и информационного поля. Управляющие слова приказа зарезервированы и составляют диалект языка. Полный список управляющих слов можно увидеть в правой части окна задания. Управляющее слово приказа в поле редактора записывается с 1-ой по 10 позиции, информационное поле с 11-ой и далее. Информационное поле может занимать несколько строк. Каждый приказ имеет свойство, называемое уровнем. Уровень может иметь значение 1 и 2. В диалекте языка только два приказа 1-го уровня могут иметь приказы 2-го уровня. Это приказ СНСМ и ПОДРЕЖИМ.

Рисунок 6.9 – Расширенный формат для задания на расчёт

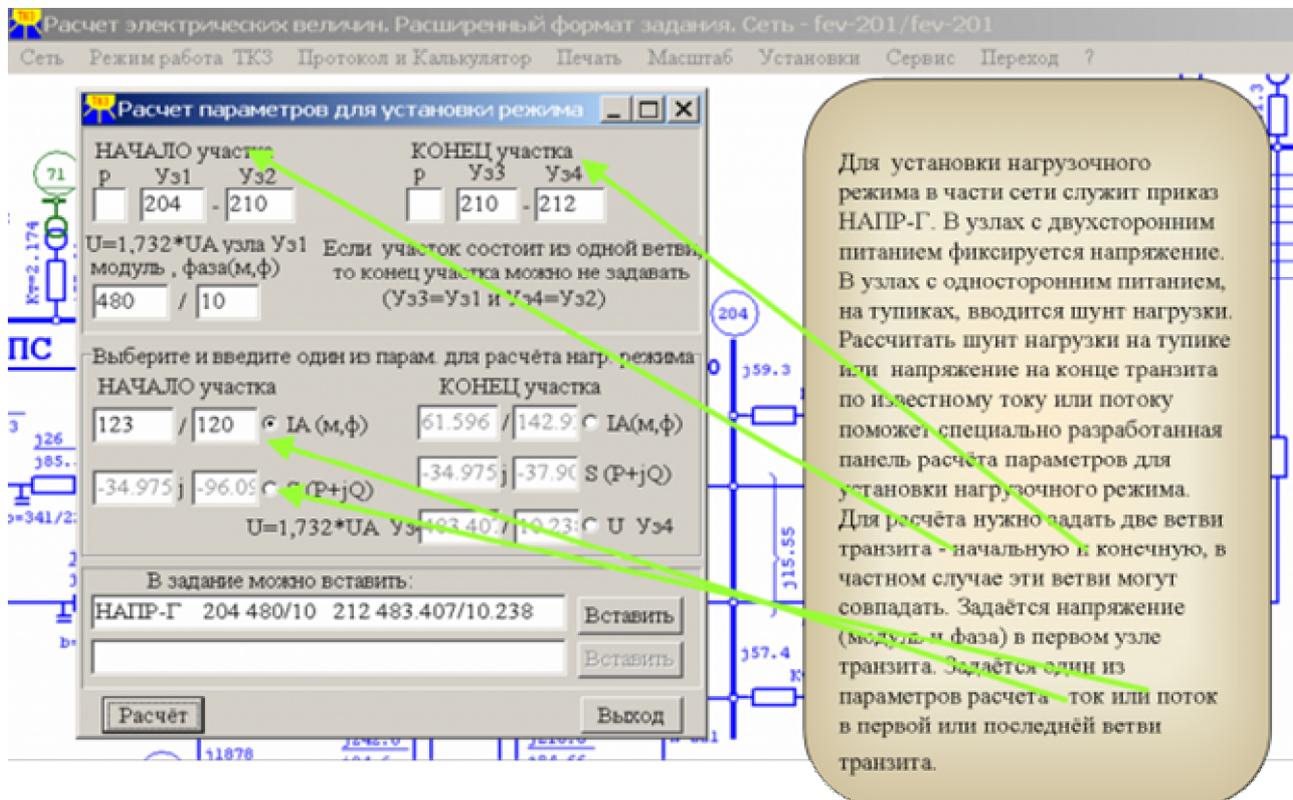


Рисунок 6.10 – Установка нагрузочного режима

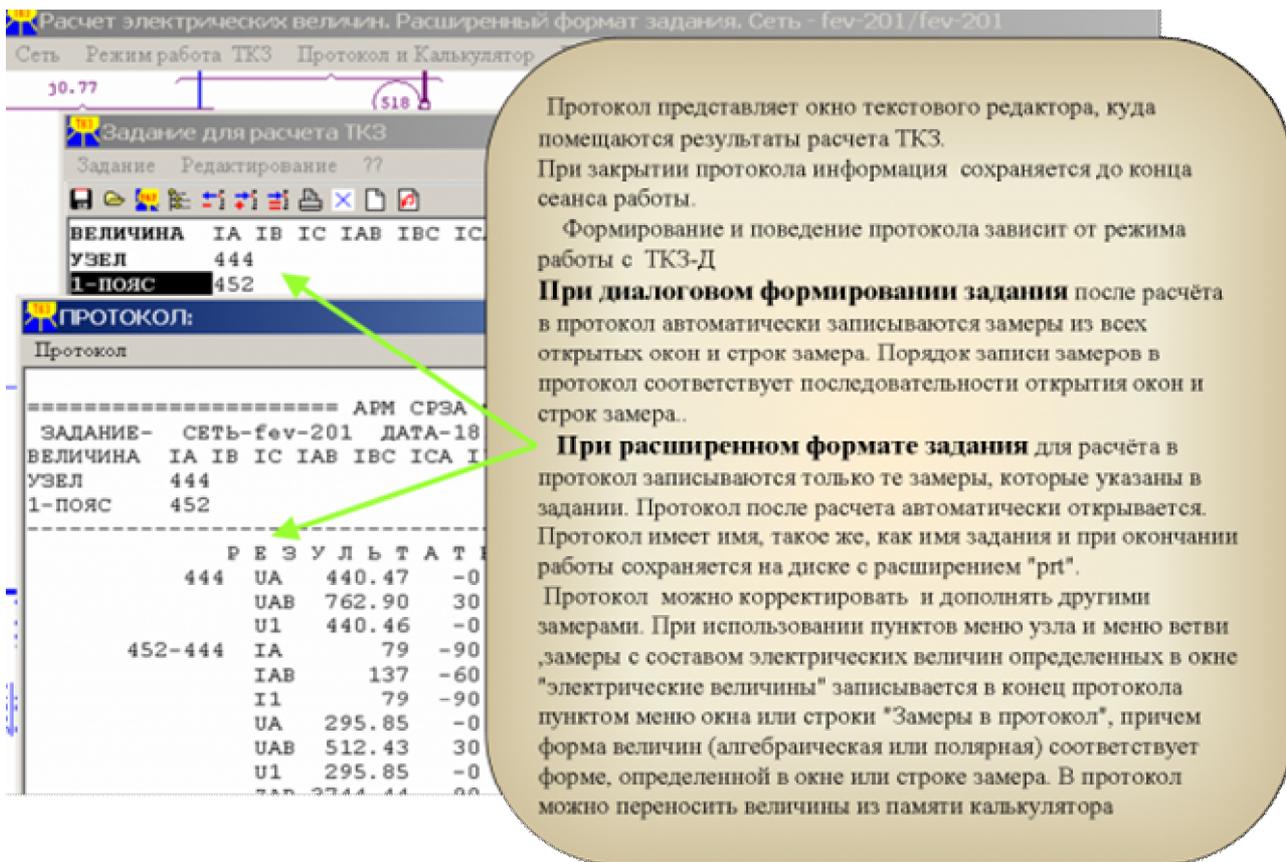


Рисунок 6.11 – Протокол

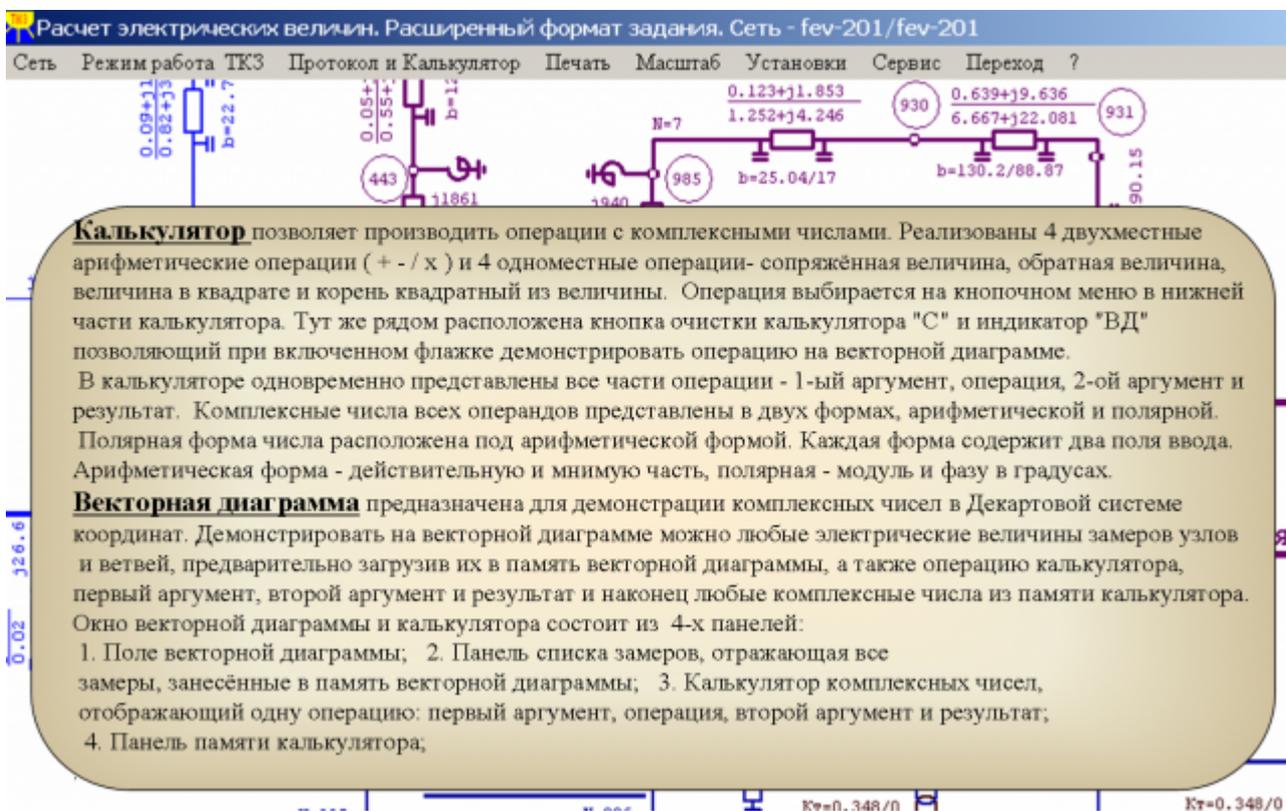


Рисунок 6.12 – Калькулятор и векторная диаграмма

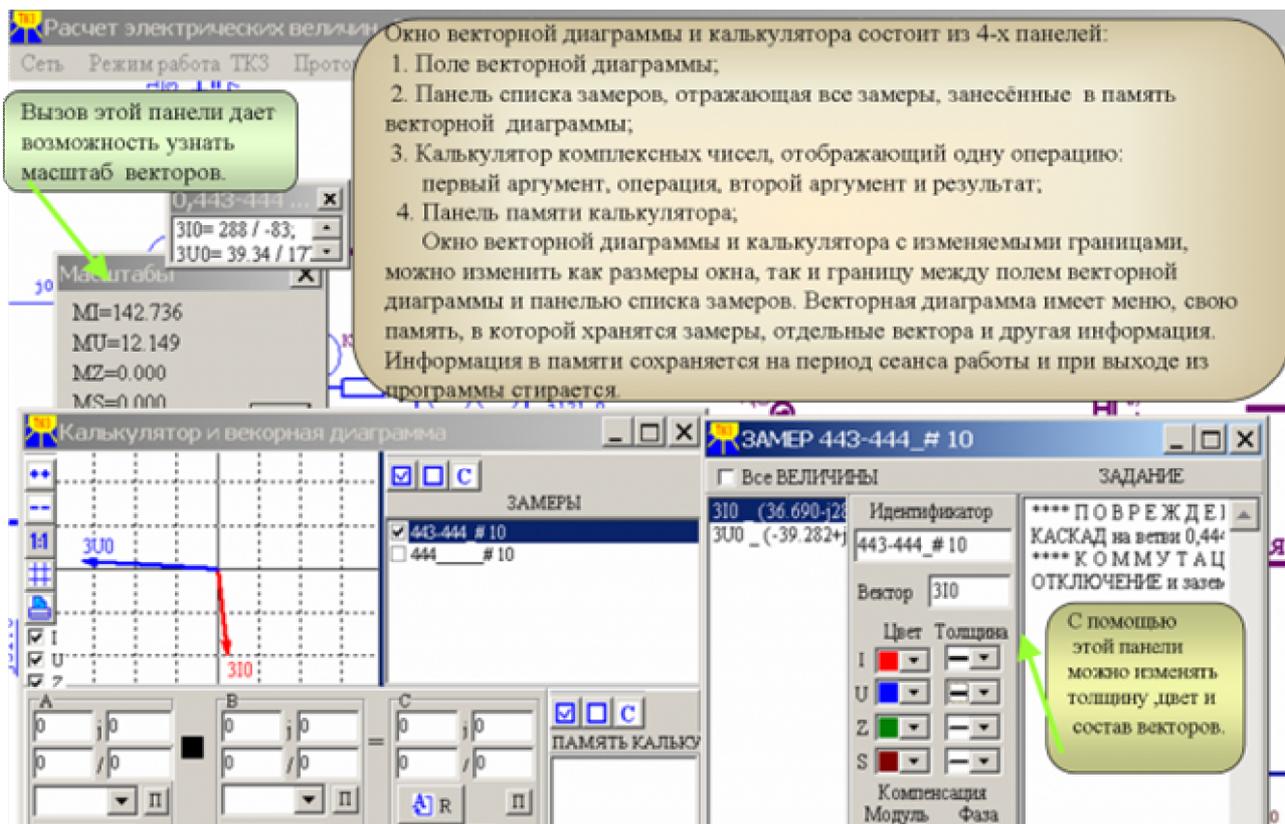


Рисунок 6.13 – Векторная диаграмма

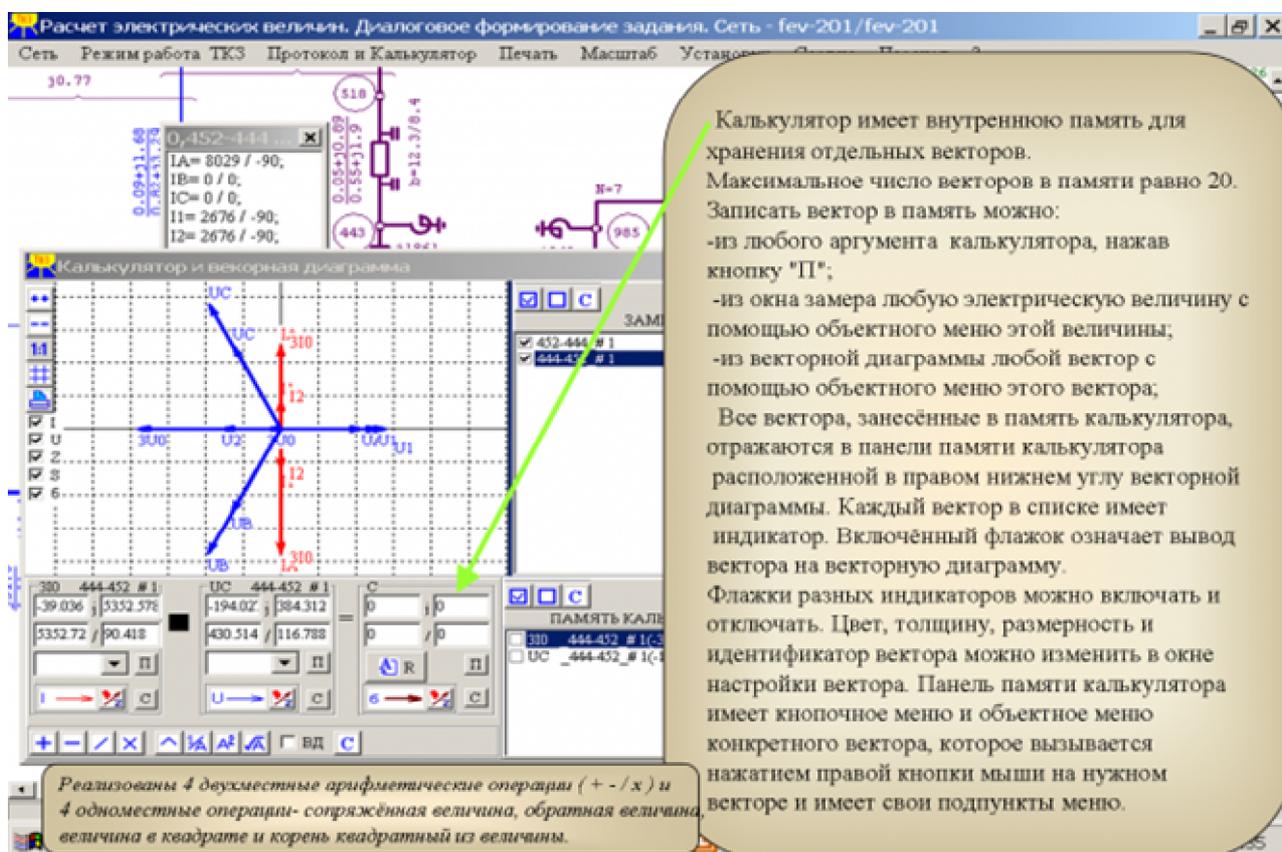


Рисунок 6.14 – Калькулятор



Рассмотрим, как осуществляется ввод данных для расчета токов КЗ и просмотр результатов вычислений.

Заполнение таблицы со списком узлов КЗ производится в таблице узлов путем заполнения поля «КЗ», то есть вводом в него обозначения точки КЗ. Список узлов КЗ представляется таблицей, представленной на рис. 6.16.

Номер узла	Наименование узла	Уном кВ	Обозначение точки КЗ	Время откл.1	Время откл.2
2	пс1	220	К3	4	0
4	пс1	110	К4	4	0
7	пс2-12345_12345_12345	110	К1	4	0
9	пс3	110	К2	4	0

Рисунок 6.16 – Таблица узлов короткого замыкания

Эта таблица формируется из таблицы узлов и имеет ограниченное редактирование. В ней можно изменять только обозначения точек КЗ и время отключения основной и резервной защитами. Кроме того, можно удалять строки из этой таблицы. Удаление строки из этой таблицы ведет к удалению точки КЗ, но не удалению узла. После удаления строки в таблице узлов в поле «КЗ» вместо обозначения появится прочерк.

Результаты расчетов могут отображаться непосредственно на схеме или в таблицах. Результаты в таблицах могут отображаться в таблицах узлов, в таблицах ветвей и в смешанных специальных таблицах. Рассмотрим таблицы ниже.

### **Токи ветвей при КЗ в узле**

По этой команде в узле, выделенном на схеме или в таблице узлов, создаются КЗ всех видов. Приводится распределение токов для этого КЗ по всем ветвям. Вид таблицы зависит от заданного состава отображаемых параметров, от видов КЗ, подлежащих рассмотрению.

Распределение токов при КЗ в узле										
Узел короткого замыкания 3 "(3)"										
Номера узлов	КЗ	Имя узла начала	Имя узла конца	В Н	Вид	В К	Iв3 кА	Iв2 кА	Iв1 кА	Iв11 кА
1		ВТЭЦ-3					15.8	14	13.4	14.2
1-2		ВТЭЦ-3	яч.№4				16.8	14.6	14.1	14.8
1-4		ВТЭЦ-3	яч. №6				0.875	0.862	0.615	0.85
2-3		яч.№4	(3)				16.8	14.6	14.1	14.8
3-35		(3)					0	0.0013	0.00119	0.001
3-34		(3)					0	0.000809	0.000881	0.000559
4-5		яч. №6					0.875	0.86	0.615	0.851

Распределение токов при КЗ в узле															
Узел короткого замыкания 3 "(3)"															
Номера узлов	Имя узла начала	Имя узла конца	В Н	Вид	В К	I(3) кА	I(2)а кА	I(2)б кА	I(2)с кА	I(1)а кА	I(1)б кА	I(1)с кА	I(11)а кА	I(11)б кА	I(11)с кА
1	ВТЭЦ-3					15.8	0.681	13.4	14	13.4	0.642	0.853	7.59	13.6	14.2
1-2	ВТЭЦ-3	яч.№4				16.8	0.00151	14.6	14.6	14.1	0.00335	0.00215	8.13	14.8	14.7
1-4	ВТЭЦ-3	яч. №6				0.875	0.334	0.862	0.682	0.615	0.315	0.504	0.44	0.85	0.72
2-3	яч.№4	(3)				16.8	0.00243	14.6	14.6	14.1	0.00242	0.00199	8.13	14.8	14.7
3-35	(3)					0	0.0013	0.000652	0.000652	0.000592	0.00113	0.00119	0.001	0.000479	0.000479

Распределение токов при КЗ в узле														
Узел короткого замыкания 3 "(3)"														
Номера узлов	Имя узла начала	Имя узла конца	В Н	Вид	В К	I(3) кА	I(2)1 кА	I(2)2 кА	I(1)1 кА	I(1)2 кА	I(1)0 кА	I(11)1 кА	I(11)2 кА	I(11)0 кА
1	ВТЭЦ-3					15.8	7.7	8.11	4.16	4.54	4.71	9.66	6.15	4.06
1-2	ВТЭЦ-3	яч.№4				16.8	8.42	8.42	4.71	4.72	4.71	10.5	6.39	4.06
1-4	ВТЭЦ-3	яч. №6				0.875	0.585	0.312	0.462	0.175	0.000481	0.65	0.236	0.000414
2-3	яч.№4	(3)				16.8	8.42	8.42	4.71	4.72	4.71	10.4	6.39	4.06
3-35	(3)					0	0.0013	0.000652	0.000652	0.000592	0.00113	0.00119	0.001	0.000479

Рисунок 6.17 – Таблица распределения токов при КЗ в узле

Для отображения используется та же табличная форма, что и для ввода исходных данных. Отличным свойством такого решения является то, что навигацию по таблице можно осуществлять по ветвям схемы. Ветвь, выделенная на схеме, становится текущей в этой таблице.

Для восстановления формы исходных данных следует выполнить соответствующую команду главного меню.

### Напряжения узлов при КЗ в узле

По этой команде в узле, выделенном на схеме или в таблице узлов, создаются КЗ всех видов. Приводится распределение напряжений для этого КЗ по всем узлам. Вид таблицы зависит от заданного состава отображаемых параметров, от видов КЗ, подлежащих рассмотрению, аналогично таблице ветвей.

Напряжения при КЗ в узле							
Узел КЗ 3 "(3)"							
Номер узла	Обозначение	Наименование	Принадлежность	U(3) кВ	U(2) кВ	U(1) кВ	U(11) кВ
10	11фт			29.4	67.5	63.9	58.2
11				42.2	70.6	67.3	63.8
12				3.86	6.45	6.15	5.82
13				4.7	6.67	6.42	6.19
14				3.86	6.45	6.15	5.82
15				4.71	6.67	6.43	6.2

Рисунок 6.18 – Распределение напряжений по узлам

Для отображения используется та же табличная форма, что и для ввода исходных данных. Замечательным свойством такого решения является то, что навигацию по таблице можно осуществлять по узлам схемы. Узел, выделенный на схеме, становится текущим в этой таблице. Для восстановления формы исходных данных следует выполнить соответствующую команду главного меню.

### Начальные токи КЗ в отмеченных узлах

По этой команде КЗ создается последовательно в каждом отмеченном узле, выполняется расчет ТКЗ и результат запоминается. Результаты отображаются в полной таблице узлов. Данные выводятся только для отмеченных узлов КЗ.

Начальные токи КЗ в узлах							
14							
Номер узла	Обозначение	Наименование	Уном кВ	I(3) кА	I(2) кА	I(1) кА	I(11) кА
1	ВТЭЦ-3		115	27.8	24	32.8	31.3
2	яч №4		115				
3	(3)		110				
4	яч. №6		115	27.7	24	33.1	31.6
5			115	17.9	15.5	16.3	17.4
6			110				
10	11фт		115				
11			115				
12			10				
13			10				
14			10				
15			10				

Начальные токи КЗ в узлах		
Печать	Применить	Закрыть
Настройка условий для выборки		
Наименование условия	Параметр	+/-
Все узлы и ветви		<input type="checkbox"/>
Отмеченные		<input checked="" type="checkbox"/>
Узлы и ветви района	?	<input type="checkbox"/>
Узлы и ветви с Уном(кВ)=	110	<input type="checkbox"/>
Узлы с dU% не ниже	-5	<input type="checkbox"/>
Узлы с dU% не выше	5	<input type="checkbox"/>
Узлы с номерами от	?	<input type="checkbox"/>
Узлы с номерами до	?	<input type="checkbox"/>
Ветви вида	?	<input type="checkbox"/>
Ветви с Кз больше	0	<input type="checkbox"/>
Узлы и ветви фидера	?	<input type="checkbox"/>

Рисунок 6.19 – Настройка выборки узлов с результатами

Для того, чтобы в таблице остались только узлы с результатами, следует для этой таблицы выполнить команду «Выборка».

### Токи в отмеченных узлах-ветвях

По этой команде последовательно для каждого отмеченного узла КЗ выполняется расчет токов в узлах КЗ и примыкающих к ним ветвях. Результаты запоминаются и потом выводятся в таблицу на рис. 6.20.

Токи по ветвям, примыкающим к узлам КЗ															
Номер КЗ	Обозначение узла-ветви	Наименование узла	Уном кВ	Iур кА	Iк3 кА	Iк3max кА	Iуд кА	Ia(0.1с) кА	In(0.1с) кА	Et(0.1с) кА2/с	It1с(0.1с) кА	Itэ кА	Iк2 кА	Iк1 кА	Iк11 кА
КЗ	5		115		17.9		40.9	1.78	17.6	38.2	6.18	19.5	15.5	16.3	17.4
	5 - ГПП-3			0.342	1.27	16.6	3.51	1.13	1.03	0.318	0.563	1.78	1.22	2.1	1.66
	яч №6 - 5			0.343	16.6	16.6	37.3	0.647	16.6	35.1	5.92	18.7	14.5	14.3	14.6
К4	15		10		47.5		130	46.4	60.1	496	22.3	70.4	41.2	-	-
	15 - ***			3.76	25.6	25.6	72.5	36.2	38.2	268	16.4	51.8	23.5	-	-
	13 - 15			3.76	22.1	25.6	57.6	10.2	22.1	87.7	9.36	29.6	20.6	-	-
К5	ГПП-3		115		13.9		30.1	1.4	13.7	22.5	4.74	15	12	12.5	13.6

Рисунок 6.20 – Токи в выделенных узлах и примыкающих к ним ветвях

В эту таблицу выводится следующая информация.

**Номер КЗ** – обозначение точки КЗ.

**Обозначение узла-ветви** – узел обозначается его именем или номером, а ветвь – парой номеров или обозначений конечных узлов.

**Уном** – номинальное напряжение узла (только для узлов).

**Iур** – ток в установившемся режиме до возникновения КЗ (только для ветвей).

**Iк3** – начальное значение трехфазного короткого замыкания для узла и для ветвей.

**Iк3max** – наибольшее значение тока, который может протекать по ветви при КЗ в данном узле или вблизи от него. То есть значение трехфазного тока КЗ, по которому следует проверять оборудование ветви. Например, ветвь – кабельный фидер, питающий мощный асинхронный двигатель. При КЗ в узле по кабелю потечет ток подпитки. Однако выбор кабеля следует производить не по току подпитки, а по току КЗ узла без этой подпитки. То есть **Iк3max** и есть ток КЗ узла без подпитки по данной ветви.

**I<sub>уд</sub>** – ударное значение тока КЗ в узле и в соответствующих ветвях. Ударное значение для ветвей оценивается. От каждого генератора или группы генераторов и от системы.

**I<sub>a</sub>(t)** – значение аperiodической составляющей тока КЗ в момент времени  $t$ , где  $t$  - заданное время отключения. Программа выделяет эквивалентные радиальные ветви и для них определяет аperiodическую составляющую и ударный ток.

**I<sub>п</sub>(t)** – значение периодической составляющей тока КЗ в момент времени  $t$ , где  $t$  - заданное время отключения. Программа выделяет эквивалентные радиальные ветви для генераторов и мощных двигателей и оценивает по упрощенным методикам изменение периодической составляющей тока.

**Bt(t)** – значение интеграла Джоуля для узла и для каждой из примыкающих к нему ветвей за время  $t$ .

**I<sub>t1c</sub>(t)** – эквивалентный односекундный ток. Рассчитывается как корень квадратный из интеграла Джоуля. Применяется для проверки оборудования по термической стойкости по эквивалентному односекундному току.

**I<sub>tэ</sub>(t)** – термически эквивалентный ток. По РУ по расчету ТКЗ. Если умножить на время КЗ и возвести в квадрат, то будет интеграл Джоуля.

**I<sub>к2</sub>, I<sub>к1</sub>, I<sub>к11</sub>** – начальные токи соответствующих несимметричных КЗ. Можно использовать для качественной оценки интегральных характеристик несимметричных КЗ по известным характеристикам трехфазного КЗ.

Таблица не зависит ни от таблицы узлов, ни от таблицы ветвей, ни от схемы.

#### **Токи в контрольной ветви и отмеченных узлах**

По этой команде выполняется расчет ТКЗ для каждого из выделенных узлов и при этом выполняется расчет тока в контрольной, (выделенной) ветви. Результаты сводятся в таблицу на рис. 6.21.

Токи короткого замыкания в контрольной ветви																
Контрольная ветвь ВТЭЦ-3 - яч.№6																
Номер КЗ	Обозначение узла	Наименование узла	Z1 Ом	Z0 Ом	Ik(3) кА	Ik(2) кА	Ik(1) кА	Ik(11) кА	I*Ik(1)0 кА	I*Ik(11)0 кА	Iв(3) кА	Iв(2) кА	Iв(1) кА	Iв(11) кА	I*Iв(1)0 кА	I*Iв(11)0 кА
1	ВТЭЦ-3		0.00298+j2.41	1E-005+j1.3	27.8	24	32.8	31.3	32.8	40	1.24	1.2	1.03	1.19	0	0
2	яч.№6		0.00372+j2.41	0.00435+j1.24	27.7	24	33.1	31.6	33.1	41	26.5	23.1	31.6	26	31.5	39.1
3	5		0.427+j3.74	0.391+j4.79	17.9	15.5	16.3	17.4	16.3	15.1	16.6	14.5	14.3	14.6	12.6	11.6
4	15		0.005+j0.14	0	4.34	3.76	0	0	0	0	0.184	0.172	0	0	0	0
5	ГПП-3		0.753+j4.8	0.484+j6.47	13.9	12	12.5	13.6	12.5	11.4	12.6	11	10	11.1	7.6	6.91
6	ГПП-1		1.02+j5.59	1.7+j11.9	11.8	10.2	8.56	10.8	8.56	6.73	0.706	0.7	0.5	0.696	0.000715	0.000562
7	26		0.0139+j1.05	0	0.53	0.459	0	0	0	0	0.0312	0.0313	0	0	0	0

Рисунок 6.21 – Токи в отмеченных узлах и в контрольной ветви

В таблице кроме обозначения узла находится еще сопротивление цепи КЗ, значения токов в точке КЗ для всех видов повреждений и соответственно значения токов ветви, тоже для всех видов повреждения.

Дополнительно и для узла, и для ветви выводится тройное значение тока нулевой последовательности.

Таблица не зависит ни от таблицы узлов, ни от таблицы ветвей, ни от схемы.

### Токи для оценки стойкости

Эта таблица формируется на основе таблицы узлов, и поэтому она оказывается связанной со схемой (рис. 6.22)

Токи КЗ для оценки стойкости оборудования														
Номер узла	Обозначение	Наименование	Uном кВ	Ik3 кА	Iуд кА	Ia(0.1) кА	Ip(0.1) кА	Bt кА2/с	It1с кА	Itэкв кА	Iнз А	Ik2 кА	Ik11 кА	Ik1 кА
1	ВТЭЦ-3		115	27.8	78.3	37.1	27.5	214	14.6	46.3	0	24		
2	яч.№4		115											
3	(3)		110											
4	яч.№6		115	27.7	78.2	36.8	27.5	213	14.6	46.1	0	24		
5			115	17.9	40.9	1.78	17.6	38.2	6.18	19.5	0	15.5		
6			110											

Рисунок 6.22 – Таблица токов КЗ для оценки стойкости

Замечательным свойством такого решения является то, что навигацию по таблице можно осуществлять по узлам схемы. Узел, выделенный на схеме, становится текущим в этой таблице.

Подробную информацию о работе с программным комплексом Energy CS ТКЗ можно получить из официальной документации программы на сайте компании CSoft [18].

## 7. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

### 7.1 Система автоматизированного проектирования AutoCAD [22]

AutoCAD представляет собой прикладную систему автоматизации чертежно-графических работ. Также AutoCAD является для многих пакетов по САПР графическим ядром, на основании которого задается геометрическое описание объекта. Согласно экспертным оценкам, более 70% проектов, разработанных в автоматизированном режиме, созданы на основе AutoCAD.

При запуске программы открывается окно приветствия (**Welcome Screen**, рис. 7.1).

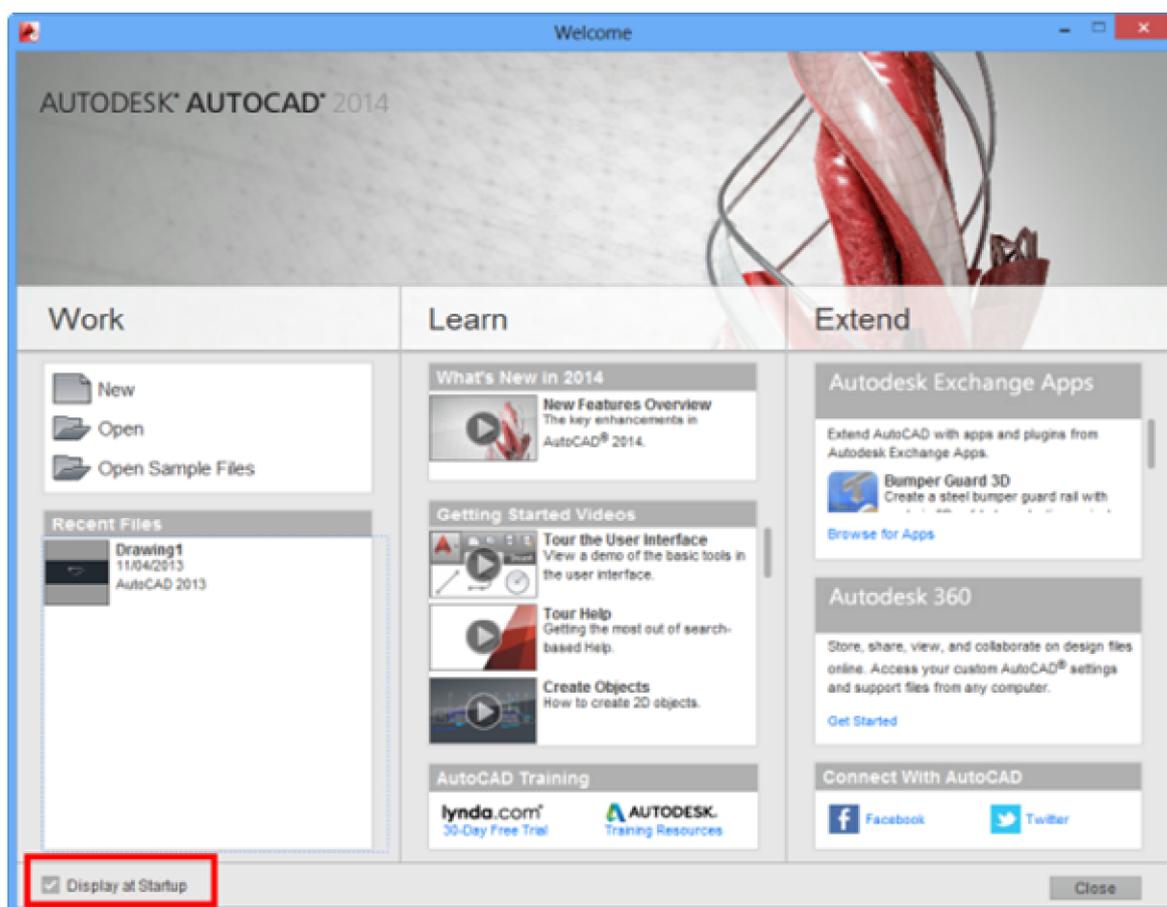


Рисунок 7.1 – Окно приветствия AutoCAD 2014

В левом нижнем углу располагается флажок **Display at Startup**, позволяющий отключить отображение окна каждый раз при запуске.

Окно поделено на несколько тематических разделов:

1) Раздел **Work** – в нем можно создать новый или открыть существующий файл;

2) В разделе **Learn** можно посмотреть видеоуроки компании Autodesk, а также найти ссылки на популярные видеоуроки на английском языке;

3) В разделе **Autodesk Exchange Apps** можно найти ссылки на популярные приложения для AutoCAD.

Кнопки **New** и **Open** предназначены, соответственно, для создания и открытия файлов.

Чертежи в AutoCAD имеют формат **\*.dwg**. Причем файлы, созданные в более поздней версии, в предыдущей версии не откроются.

Большинство команд AutoCAD можно вызвать двумя способами (рис. 7.2):

- щелкнув левой кнопкой мыши на ленте (3);
- введя имя команды в командную строку (11);

Кроме команд существует множество режимов, изменяющих процесс черчения объектов, а также меняющих внешний вид. Эти режимы включаются на специальных панелях.

Рассмотрим кратко расположение элементов интерфейса AutoCAD (рис. 7.2):

- 1 – Кнопка вызова главного меню;
- 2 – Выбор режима проектирования (2D или 3D);
- 3 – Лента. На ней расположены все основные команды;
- 4 – Быстрое меню. Содержит команды создания нового файла, сохранения, печати и др.;
- 5 – Поиск команд и вызов справки;
- 6 – Кнопка вызова диалогового окна «Свойства»;

7 – Видовой куб. Переключение между видами трехмерного пространства;

8 – Переключение между пространствами модели и листа;

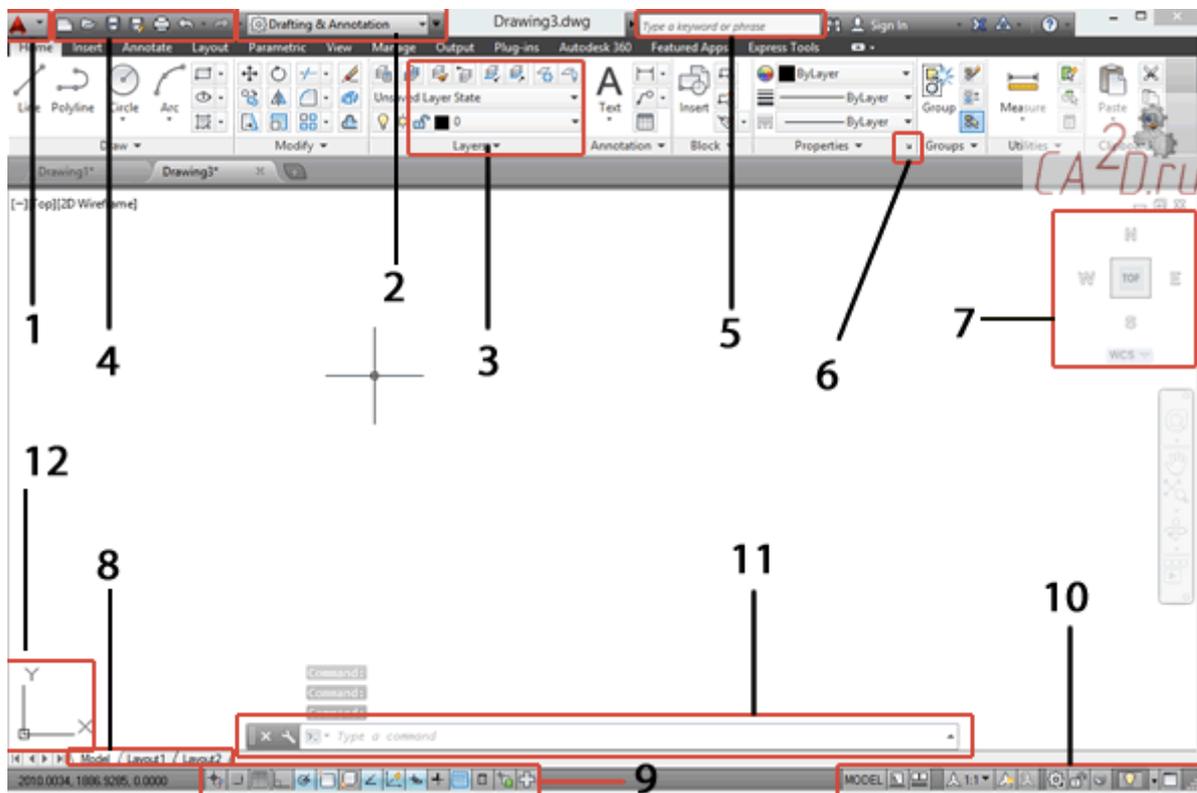


Рисунок 7.2 – Главное окно. Рабочая область

\* Пространство модели (черная область экрана) в которых выполняются черчение и моделирование объектов (обычно в масштабе 1:1), а также печать на лист;

\* Пространство листа. Используется, в основном, для печати;

9 – Панель состояния. В ней осуществляется включение/выключение привязок, различных режимов черчения и моделирования. Голубое свечение означает, что режим включен;

10 – Вспомогательная панель. В ней осуществляется переключение между листами, настройка масштаба и др.;

11 – Командная строка. Служит для ввода команд и вывода сообщений системы;

12 – Система координат.

В табл. 7.1 приведены основные термины, используемые при работе в AutoCAD.

Таблица 7.1 – Термины и определения

Термин	Перевод	Значение
Block	Блок	Именованный объект чертежа, имеющий базовую точку. Может быть вставлен в другие чертежи.
Clean screen	Очистить экран	Убирает с экрана ленту.
Dwg	-	Основной формат файлов AutoCAD. Как правило, файлы более поздней версии недоступны в ранних.
Linetype	Тип линии	Свойство, определяющие внешний вид линии (сплошная, штрихпунктирная, пунктирная).
Osnap   Object snap	Объектная привязка	Режим, при котором курсор мыши автоматически притягивается к определенной точке
Polyline	Полилиния	Сложный примитив, состоящий из одного или нескольких прямых или дуговых сегментов, лежащих в одной плоскости.
Properties	Свойства	Характеристики объекта, такие как цвет, слой, тип линии, длина и др.
Ribbon	Лента	Тип меню, состоящий из кнопок, находящихся на панелях (draw, modify), которые, в свою очередь, объединены во вкладки (home, insert, annotate). Появилась в 2009 году.
Styles	Стили	Это внешний вид объектов: надписей (text), размеров (dimension) и др.
User Coordinate System (WCS)	Пользовательская система координат	Измененная мировая система координат.
Workspace	Рабочие пространства	Внешний вид панелей инструментов. Это может быть лента, предназначенная для 2D черчения / 3D моделирования, или классическое меню с множеством кнопок (то, что было в версиях до 2009 года).
View Cube	Видовой куб	Инструмент для переключения между видами в трехмерном пространстве.

Ввод координат является одним из основных вопросов при работе с системой. Всего в AutoCAD можно выделить три типа координатного ввода. При этом используются как декартова система координат, так и полярная:

1. *Визуальные координаты.* Этот способ ввода является наиболее простым: координаты точек вводятся пользователем непосредственно щелчком

мыши на области модели. Например, вызвав команду *line* (линия), можно рисовать линии, щелкая левой кнопкой мыши по области экрана. Завершить команду можно клавишей **Enter**. Данный способ хорошо зарекомендовал себя при эскизном проектировании, где не требуется точных построений. Можно повысить точность этого способа ввода, включив режим объектной привязки (**osnap**);

2. *Абсолютные координаты*. В качестве абсолютных координат могут выступать как *декартовы* (**OXY**, рис 7.3) так и *полярные* координаты. (рис. 7.4) Особенностью абсолютной системы координат служит то, что она имеет фиксированное начало отсчета - точку **(0,0)**, относительно которой и происходят все построения. Точка в декартовой системе задается двумя координатами на плоскости (например, **5,25**). Здесь первая координата - это **x**, вторая – **y**.

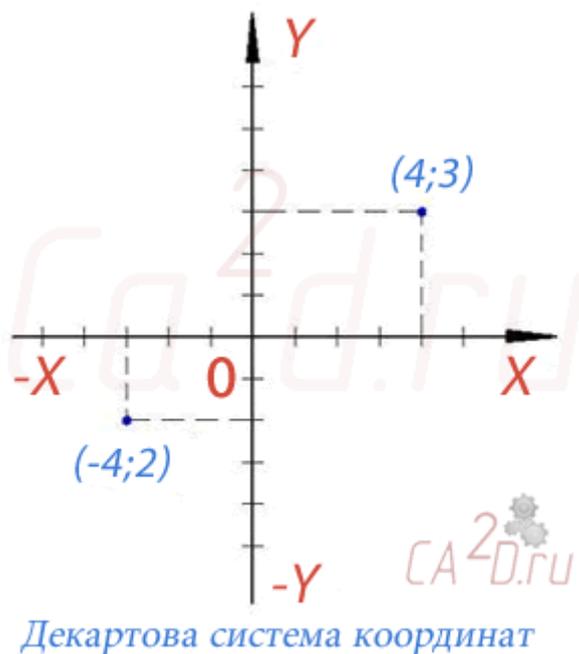


Рисунок 7.3 – Декартова система координат

Если необходимо задать точку в трехмерном пространстве, то добавляется **z** (по умолчанию **z=0**).

Координаты могут быть как целыми числами, так и вещественными.

В *полярных* координатах указывается угол поворота и расстояние до точки. При этом в AutoCAD используется следующий тип записи: **Угол < Расстояние**.

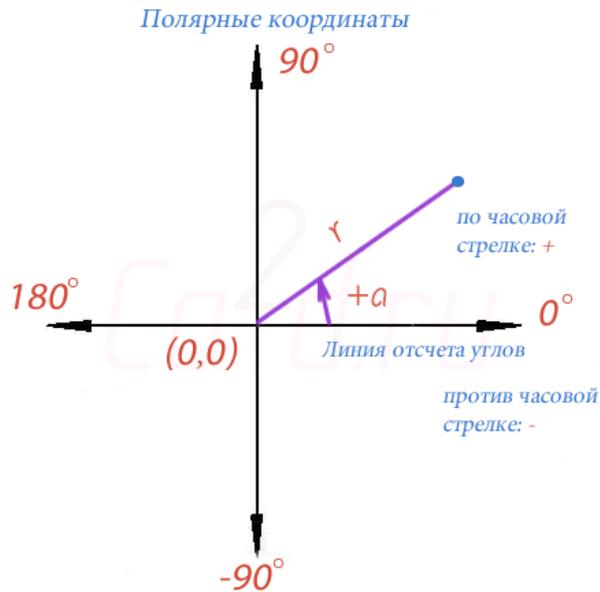


Рисунок 7.4 – Полярная система координат

Рассмотрим базовые команды и действия AutoCAD (табл. 7.2):

Таблица 7.2 – Базовые команды AutoCAD

Имя команды	Командная строка	Иконка	Расположение на ленте	Действие (по умолчанию)
Отрезок	Line / L		Home   Line	По указанным двум точкам чертит прямую линию
Отмена	Undo / u		Quick Access Toolbar   Undo	Отменяет предыдущую команду
Удалить	Erase / E		Modify   Erase	Удаляет объект
Окружность	Circle / C		Home   Circle	По указанному центру и радиусу строит окружность
Прямоугольник	Rectangle		Home   Rectangle	Строит прямоугольник по двум точкам (противоположащим вершинам)
Печать	Print / Plot + P		Quick Access Toolbar   Print	Вызов диалогового окна «Печать»

*Построение линий.* Построим отрезок, используя так называемые визуальные координаты. Вызовем команду **Line**, наведем курсор на область модели (черный экран) и щелкнем левой клавишей. Так мы указали первую точку. Далее отведем курсор в сторону и укажем вторую точку отрезка и щелкнем левой кнопкой мыши. Мы построили одну линию.

*Построение окружностей.* Запустить команду **circle** можно либо из командной строки, либо из ленты. Так же, как и при построении линии, нам нужно указать 2 точки. Первая точка - это центр окружности, вторая - расстояние от центра до дуги окружности, т.е. радиус. Точку и радиус можно указать как на экране, так и координатным способом.

*Построение прямоугольников.* Вызвав команду **rectangle**, мы можем построить прямоугольник, указав две его противоположные вершины.

В таблице 7.3 приведены команды для перемещения, поворота и масштабирования объектов в AutoCAD.

Таблица 7.3 – Команды для перемещения, поворота и масштабирования объектов в AutoCAD

Имя команды	Командная строка	Иконка	Расположение на ленте	Действие (по умолчанию)
Переместить	Move		Home   Modify   Move	Перемещение выделенного объекта
Повернуть	Rotate		Home   Modify   Rotate	Поворот выделенного объекта вокруг точки вращения
Масштаб	Scale		Home   Modify   Scale	Масштабирование выделенного объекта
Зеркальная симметрия	Mirror		Home   Modify   Mirror	Построение симметричного изображения с указанием линии симметрии и объекта

В AutoCAD существует два вида выделения объектов, которые различаются направлением охвата:

1) Если поставить точку слева от объектов, нажать левую кнопку мыши, затем перемещать мышь вправо, то сформируется синий прямоугольник; при этом выделятся только те фигуры, которые полностью попадут в его область.

2) В противоположной ситуации, когда точка находится справа, а мышь движется влево, прямоугольник становится зеленого цвета, а выделяются все объекты, хотя бы немного попавшие в эту область. Это выделение дает доступ к редактированию объектов. Если теперь щелкнуть по одной из синих точек окружности, она станет красной, и вы сможете изменить диаметр. Выделив линию, а затем щелкнув по одной из её точек, мы можем задать её новое местоположение.

Кроме стандартного выделения прямоугольником в AutoCAD существуют опции выделения многоугольником.

1) Если во время выделения объектов ввести в командную строку **\_wp (windows polygon)** и нажать **Enter**, а затем указать несколько точек - то сформируется многоугольник выделения. В итоге выделятся те объекты, которые полностью попали в него;

2) Если ввести команду **\_cp (crossing polygon)** и нажать **Enter**, затем указать несколько точек, сформировав область, то выделятся те объекты, которые хотя бы частично попали в нее.

При **двойном нажатии левой кнопки мыши** на объекте открывается панель свойств, в которой указаны характеристики объекта:

- 1) Цвет;
- 2) Слой;
- 3) Тип линии;
- 4) Геометрические характеристики (длина, радиус и т.п.).

**Правая кнопка мыши** служит для вызова контекстного меню. С помощью **колеса мыши** можно также совершать действия, связанные с навигацией.

Панель навигации находится в правой части экрана под видовым кубом. Для двумерного черчения на ней представлено 2 функции. Эти функции можно вызвать или нажав на советующую иконку на панели навигации левой кнопкой мыши, или используя колесо мыши (среднюю кнопку).

С помощью колеса также осуществляется приближение (вращение от себя) или удаление (вращение на себя) чертежа в области модели.

Построение геометрии в AutoCAD по координатам не всегда удобно, а визуальный ввод неточен. Решить эту проблему может режим **Object snap (Объектная привязка)**. Выбрав один или несколько вариантов режима (см. таблицу 7.4) система автоматически осуществляет привязку курсора мыши к ближайшей точке с заданным свойством. Это может быть середина линии, ее конечная точка, центр окружности и т.п.

Таблица 7.4 – Объектная привязка

Значок	Привязка	Название/ Действие
	Temporary track point	Точка отслеживания
	From	Смещение
	Endpoint	Конечная точка
	Midpoint	Средняя точка
	Intersection	Точка пересечения
	Apparent Intersect	Точка пересечения проекций
	Extension	Продолжение
	Center	Центр(окружности)
	Quadrant	Точка квадранта
	Tangent	Касательная к линии
	Perpendicular	Перпендикулярно линии
	Parallel	Параллельно линии
	Node	Узловая точка
	Insert	Точка вставки
	Nearest	Ближайшая
	None	Ничего/Привязка не осуществляется

Можно задействовать как **постоянную привязку**, которая включается нажатием на значок  в строке состояния (или нажатием клавиши F3), так и **разовую**. Чтобы использовать привязку один раз, необходимо при построении нажать Ctrl + правую кнопку мыши, затем в раскрывающемся меню выбрать нужную опцию и щелкнуть левой кнопкой мыши. Далее в течение одной команды она будет включена.

Чтобы изменить варианты постоянной объектной привязки, необходимо щёлкнуть правой кнопкой мыши по значку  в строке состояния, а затем левой кнопкой мыши щелкнуть по интересующему варианту. При этом если привязка не была выделена – она включится.

Рассмотрим две полезные команды, которые во много раз ускорят процесс черчения (табл. 7.5).

Таблица 7.5 – Обрезка и удлинение линий в AutoCAD

Имя команды	Командная строка	Иконка	Расположение на ленте	Действие (по умолчанию)
Обрезать	Trim		Home   Modify   Trim	Удаление части линии, пересекающей другую
Удлинить	Extend		Home   Modify   Extend	Продление одной линии до пересечения с другой

**1. Trim** – эта распространенная команда способна отсекать часть одной линии, выходящую за пределы другой. Причем линиями могут выступать отрезки, полилинии, дуги, окружность и даже эллипсы.

**2. Extend** - эта команда по действию и алгоритму схожа с командной **Trim**, но действует в точности наоборот – она удлиняет одну линию до пересечения с другой. Соответственно, нам нужно как минимум две линии – первая, которая будет неизменна, и вторая, которая должна пересечь первую. В таком порядке они и указываются в процессе работы команды.

**Динамический ввод** – это альтернативный вариант командной строки. При включении этого режима ввод данных, сообщения и выбор опций осуществляется не в командной строке, а в небольшом окне около курсора.

Активировать этот режим можно нажав на иконку панели состояния  (после этого она станет синей), либо нажать клавишу **F12**.

Простое нагромождение линий и текста на чертеже какого-нибудь сложного плана или схемы сможет свести с ума даже подготовленного инженера и дизайнера. Поэтому программисты из AutoCAD придумали объединять линий, текста и других примитивов в группу, которую называют слоем. Слой можно менять цвет, устанавливать тип и толщину линий,

выключать, замораживать. Наличие слоев на чертеже существенно облегчает работу с чертежом.

Команды для работы со слоями (рис. 7.5) находятся на панели **Layers** (вкладка **Home**). На третьей строке сверху можно выбрать текущий слой, а также изменить свойства слоя, щелкнув на одну из иконок.

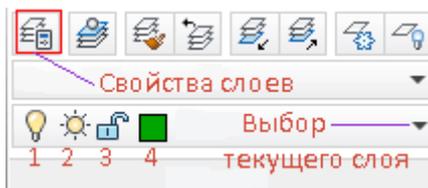


Рисунок 7.5 – Команды работы со слоями

1) **On/off** – включает / выключает видимость слоя.

2) **Freeze** – заморозка слоя. Также скрывает слой, но в отличие от предыдущего режима в результате регенерацией слой не перерисовывается.

3) **Lock** – блокировка слоя, слой остается видимым, но команды редактирования становятся недоступными.

4) **Color** - цвет слоя.

При создании нового чертежа по умолчанию доступен только один слой **0**. Это системный слой, его нельзя удалить.

Все новые объекты создаются в текущем слое. Чтобы изменить слой у объекта, необходимо его выделить, а затем в выпадающем меню установить нужный слой. Также слой можно выбрать в панели свойств, щелкнув по объекту мышью два раза или войдя в контекстное меню выбрать **Properties**.

**Диалоговое окно свойств слоя** можно открыть, нажав на .

В этом окне (рис. 7.6) находится список слоев и набор дополнительных свойств:

1. **Linetype** – тип линии;
2. **Line weight** – толщина линии;
3. **Transparency** – прозрачность;

#### 4. Plot – видимость слоя при печати.

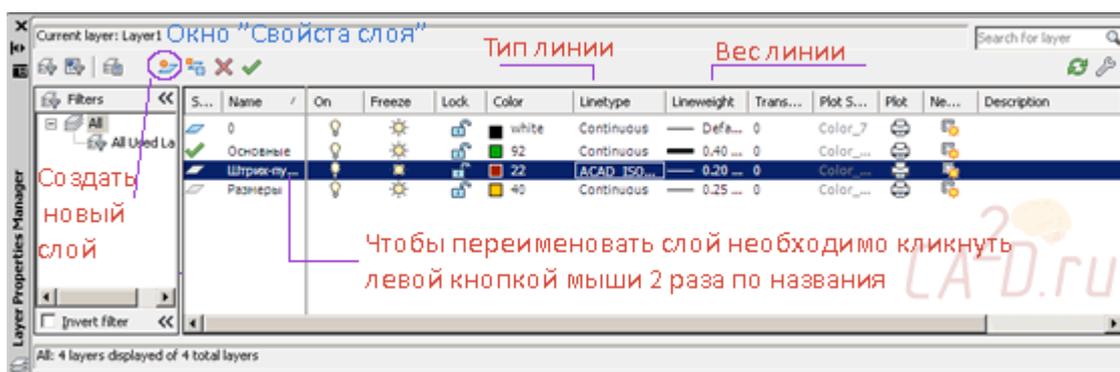


Рисунок 7.6 – Окно «Свойства слоя»

Чтобы создать **новый слой (new layer)**, нужно щелкнуть по кнопке , затем ввести его имя и нажать **Enter**.

Для **удаления слоя (delete layer)** необходимо выделить слой и нажать кнопку . При этом нельзя удалить следующие слои:

1. Текущий;
2. 0 (Нулевой);
3. Содержащий объекты.

Нажав на , вы сделаете выделенный слой **текущим**.

**Текст** является неотъемлемой частью любого чертежа. Для редактирования внешнего вида текста существуют так называемые текстовые стили, которые включают в себя шрифт, высоту и начертание символов.

Для создания надписей в AutoCAD существуют **однострочные** и **многострочные тексты**. В текст можно включать переменные параметры, которые зависят от текущего состояния чертежа, его объектов и внешних условий (время, дата и т.п.) Такие параметры называют **полями**. Текстовые примитивы могут быть **аннотативными**, т.е. иметь размер, зависящий от масштаба аннотаций, устанавливаемого пользователем.

Рассмотрим способы вызова команд (табл. 7.6).

Таблица 7.5 – Команды работы с текстом в AutoCAD

Иконка	Расположение на ленте	Команда	Действие
 Single Line	Home Annotation   Text	text	Создание <b>простого текста</b> . Команда работает в цикле поэтому за один вызов можно создать несколько надписей.
 Multiline Text	Annotate   Multiline Text	mtext	Создание <b>многострочного текста</b> с возможностью редактирования и применения стилей.

Более подробную информацию о работе с САПР AutoCAD можно получить в литературе [10, 22].

## 7.2 Комплекс программ автоматизированного проектирования в энергетике Model Studio CS

Проектирование промышленных объектов, сложных зданий и сооружений немыслимо без надежных и современных средств автоматизации проектирования. Специально для российской инженерной школы создана линейка продуктов Model Studio CS, которая включает лучшие мировые достижения в области информационных технологий и САПР, учитывает российскую технологию проектирования и зарубежный опыт, предлагает русскоязычную среду проектирования и базы данных оборудования, техническую поддержку, многоступенчатую проверку качества.

Каждое рабочее место Model Studio CS оснащено всем необходимым для инженера: средствами двумерного и трехмерного проектирования, проверки коллизий, автоматической подготовки расчетной модели, инструментами выполнения расчетов, генератором чертежей, спецификаций, протоколов расчетов, документов с результатами расчетов и т.п., а также средствами автоматического образмеривания, простановки позиций и надписывания.

### 7.2.1 Базовый подход при проектировании средствами Model Studio CS

Model Studio CS позволяет проектировать объекты на всех стадиях проекта: обоснование инвестиций, технико-экономическое обоснование (проект), рабочий проект.

Программный комплекс Model Studio CS может использоваться при проектировании новых объектов, реконструируемых объектов, демонтируемых объектов и ремонтируемых объектов.

Сценарии работы с Model Studio CS в зависимости от типа и стадии проектируемого объекта схожи и в целом может быть представлены следующим алгоритмом:

1. *Установка расчетных параметров.* Для того, чтобы встроенная система расчетов реагировала на ваши действия, необходимо задать расчетные параметры. Для этого нужно выбрать соответствующую команду из меню или панели инструментов Model Studio CS;

2. *Размещение оборудования и конструкций.* Для размещения оборудования необходимо выбрать оборудование из библиотеки оборудования, изделий и материалов CAD Library CS. После того, как оборудование выбрано, необходимо разместить в пространстве модели AutoCAD, используя стандартные средства AutoCAD;

3. *Соединение оборудования проводами.* Нужно выбрать соответствующую команду из меню или панели инструментов Model Studio CS и разместить провода между размещенным оборудованием. Порядок размещения проводов и соединения оборудования определяются инженером, использующим Model Studio CS, исходя из собственных знаний и опыта;

4. *Проверка коллизий.* Для проверки коллизий (допустимых расстояний и габаритов) необходимо запустить специальную систему контроля. Для запуска процедуры проверки коллизий нужно выбрать соответствующую команду из меню или панели инструментов Model Studio CS. Обнаруженные коллизии отображаются в модели соответствующими объектами «**Коллизия**», которые можно документировать;

5. *Документирование.* Model Studio CS позволяет автоматизировать выпуск чертежей и спецификаций.

## 7.2.2 База данных стандартного оборудования

Библиотека оборудования, изделий и материалов (CAD Library CS) является важной подсистемой программного комплекса Model Studio CS. Библиотека предназначена для структурированного хранения инженерных данных используемых в проектировании. Данные, хранящиеся в библиотеке CAD Library CS, являются основным источником для построения трехмерной модели Model Studio CS.

Подсистема CAD Library CS интегрированная в Model Studio CS позволяет:

- осуществлять поиск по параметрам нужного объекта, хранящегося в базе данных;
- просматривать параметры и изображение объектов, хранящихся в базе данных;
- вставлять в чертеж объекты, хранящиеся в базе данных;
- копировать параметры объектов базы данных в свойства объектов, размещенных на чертеже;
- сохранять отдельные объекты чертежа в базу данных;
- сохранять сборки (совокупность объектов чертежа) в базу данных;
- удалять объекты из базы данных (удалению подлежат только собственные объекты).

Все объекты, хранящиеся в базе данных, обладают теми или иными атрибутивными параметрами. Некоторые атрибутивными параметрами являются общими для большинства объектов - например, наименование, нормативный документ, производитель, вес и т.д. Другие же атрибутивные параметры характерны только для определенных объектов - например, напряжение - характерно для электротехнического оборудования, а толщина стенки - для деталей трубопроводных, емкостного оборудования и т.п.

Атрибутивные параметры объектов используются для выбора оборудования, изделий и материалов по требуемым параметрам. Для предварительного ознакомления с внешним видом и с техническими

характеристиками (атрибутивными параметрами) изделия хранящегося в базе данных предусмотрена возможность предварительного просмотра. Предварительный просмотр отображается в нижней части диалогового окна CAD Library CS.

Программные комплексы работает на базе САПР AutoCAD версии 2007 или выше.

Ко всем функциям можно обратиться через падающее меню (рис. 7.7).

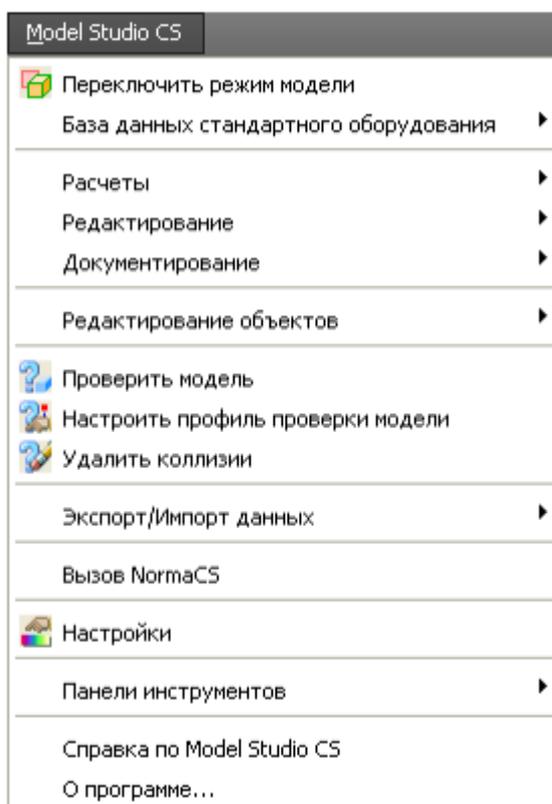


Рисунок 7.7 – Функциональное меню Model Studio CS

Некоторые функции доступны через панели инструментов, контекстные меню и библиотеку оборудования, изделий и материалов CAD Library CS, интегрированную в Model Studio CS. Кроме того, вызвать функцию можно и с помощью соответствующей команды, введенной в командной строке.

При выполнении функций в командной строке отображаются сообщения и запросы. С помощью текстового окна (вызывается нажатием клавиши **F2**) можно просмотреть все сообщения и запросы, которые появились в командной

строке с начала текущего сеанса. С помощью клавиши **Esc** можно в любой момент прервать выполнение функции.

В Model Studio CS имеется система контекстных меню. Чтобы открыть контекстное меню, следует выбрать объект и щелкнуть правой кнопкой мыши.

Описание меню Model Studio CS:

1. *Переключить режим модели.* Подраздел содержит единственную команду, позволяющую переключать режим отображения модели (режим 2D / режим 3D);

2. *База данных стандартного оборудования.* Подраздел содержит единственную команду, вызывающую палитру CAD Library CS, обеспечивающую доступ к библиотеке оборудования, изделий и материалов.

3. *Проектирование* Подраздел содержит вложенные меню со всеми функциями для расчета, создания и редактирования проекта средствами Model Studio CS.

- *Расчеты:* содержит настройки и функции управляющими системой расчетов (рис. 7.8).

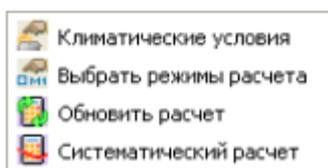


Рисунок 7.8 – Подменю «Расчёты»

- *Редактирование:* содержит все необходимые инструменты для трехмерной компоновки (проектирования). См. рис. 7.9.

- *Документирование:* содержит инструменты и функции для документирования проекта (рис. 7.10);

4. *Редактирование объектов.* Подраздел содержит функции и инструменты для создания новых компонентов оборудования, изделий и материалов Model Studio CS. См. рис. 7.11

5. *Контрольные функции.* Подраздел содержит инструменты контроля модели, такие как проверка коллизий и прочие.

6. *Импорт/Экспорт данных.* Подраздел содержит функции импорта/экспорта данных. См. рис. 7.12.

7. *Вызов NormaCS.* Подраздел содержит единственную команду, вызывающую информационно-справочную систему нормативной документации NormaCS (приобретается отдельно).

8. *Настройки.* Подраздел содержит единственную команду вызова диалогового окна редактирования настроек Model Studio CS.

9. *Панели инструментов.* Подраздел содержит команды вызова всех панелей инструментов Model Studio CS.

10. *О программе.* Подраздел содержит единственную команды вызова справочной системы Model Studio CS и окно информации о Model Studio CS.

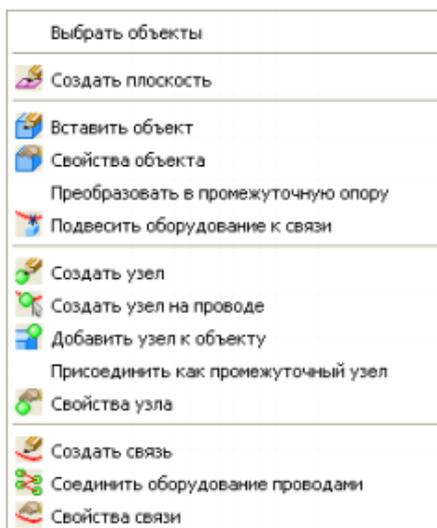


Рисунок 7.9 – Подменю «Редактирование»

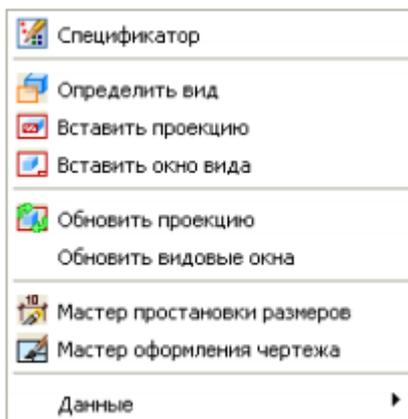


Рисунок 7.10 – Подменю «Документирование»

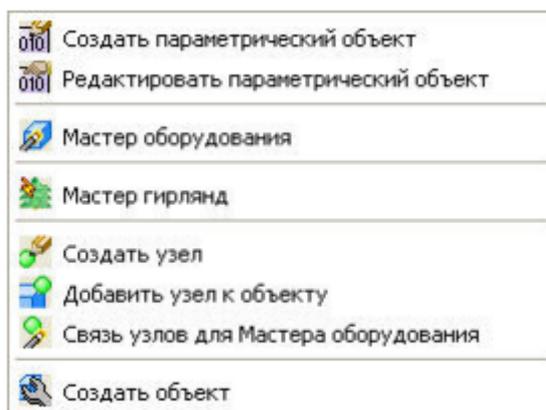


Рисунок 7.11 – Подменю «Редактирование объектов»

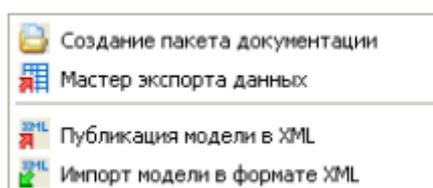


Рисунок 7.12 – Подменю «Импорт/Экспорт данных»

Детальную информацию о продуктах линейки Model Studio CS можно получить на официальном сайте компании CSoft [20, 21].

### 7.2.3 Model Studio CS ОРУ [25]

Программный комплекс Model Studio CS ОРУ предназначен для трехмерного проектирования открытых распределительных устройств (ОРУ), расчета механической части гибких ошиновок открытых распределительных устройств и вводов воздушных линий электропередач электрических станций и подстанций.

Model Studio CS ОРУ позволяет решать следующие задачи:

- разработка планов размещения оборудования, в т.ч. размещение в трехмерном пространстве;

- выполнять механический расчет проводов в соответствии с ПУЭ-7. По результатам расчета, в реальном времени, определяются кривые провисания провода в заданном пролете в любых расчетных режимах, в том числе с учетом действия на провод нескольких вертикальных сосредоточенных нагрузок; получают монтажные кривые провода с определением значений

горизонтального и максимального тяжений провода и максимальных стрел провеса в зависимости от температуры окружающей среды; определяются монтажные стрелы провеса проводов и тросов для всех пролетов;

- проверка коллизий. Выполняется проверка допустимых габаритов;
- формирование и выпуск полного комплекта проектной документации.

Чертежи, разрезы, сечения с проставленными размерами; табличная проектная документация в форматах MS Word, MS Excel, AutoCAD адаптированных и адаптируемых под стандарт проектной организации с рамками, штампами, эмблемами и т.п.

Существует множество вариантов компоновки ОРУ, различающихся:

- расположением выключателей (от однорядного до четырехрядного);
- расположением сборных шин (П- и Н-образное расположение);
- расположением оборудования ОРУ в зависимости от типа местности.

На территории ОРУ электротехническое оборудование присоединений комплектуется ячейечно. В ячейке располагается электротехническое оборудование одного присоединения (выключатели, разъединители, трансформаторы тока и т.д.). Для одинаковых единиц оборудования выбирается одинаковое место установки оборудования в ячейках. Гибкая ошиновка, обеспечивающая электрические соединения высоковольтного оборудования в соответствии с главной электрической схемой, подвешивается на изоляторах к шинным и ячейковым порталам. Трансформаторы, реакторы располагаются в ряд в непосредственной близости от распределительных устройств.

Для пользователя Model Studio CS ОРУ вся работа по компоновке заключается в выборе оборудования из имеющейся базы данных и его размещении на площадке.

Хранящееся в базе данных Model Studio CS ОРУ оборудование содержит всю информацию для компоновки, выпуска чертежей и спецификаций, а именно трехмерный графический образ оборудования с соблюдением всех габаритов и точек подключения, а также всю информацию, необходимую для составления спецификаций (производитель, наименование, обозначение, вес,

нормативные документы на оборудование (ГОСТ, ТУ, ОСТ), изделия, материалы и т.д.).

При создании базы данных оборудования, изделий и материалов Model Studio CS OPY использовались каталоги производителей. Сотрудничество со многими компаниями, среди которых АВВ и «Евроконтракт», позволило разработчикам БД получить подробную информацию о выпускаемой продукции и включить ее в состав базы. Model Studio CS OPY поставляется с готовой базой данных, однако пользователь может самостоятельно добавлять новые типы оборудования и номенклатурные единицы – для этого в программе предусмотрены специальные инструменты.

База данных Model Studio CS OPY имеет встроенную систему классификаторов и выборов, которые помогают пользователю быстро найти нужные оборудование, изделия и материалы, ознакомиться с их характеристиками и разместить на модели (рис. 7.13).

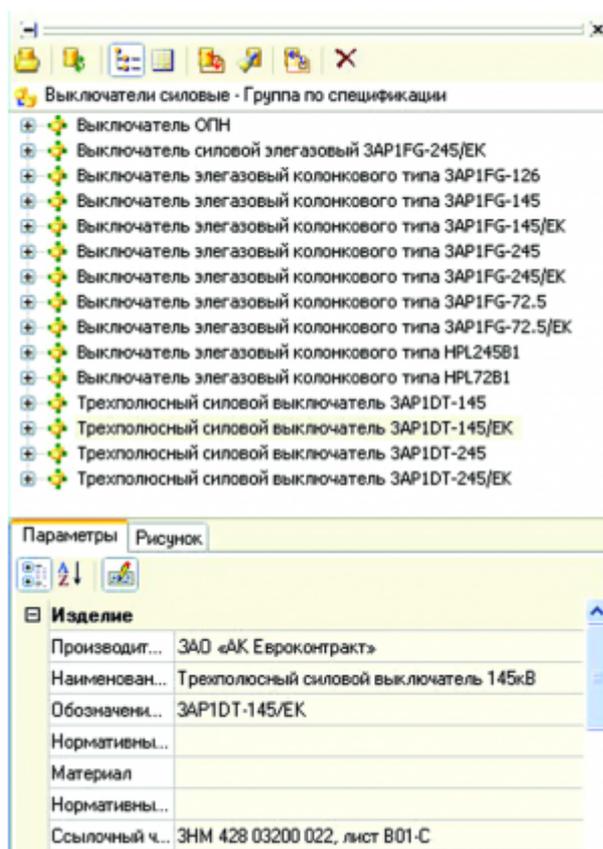


Рисунок 7.13 – База данных Model Studio CS OPY

Рассмотрим, как производится размещение оборудования на чертеже. Операция крайне проста: выбираем объект из списка и указываем его место на площадке (графически или путем ввода координат). После этого объект отрисовывается в реальном масштабе с соблюдением всех габаритов (рис. 7.14).

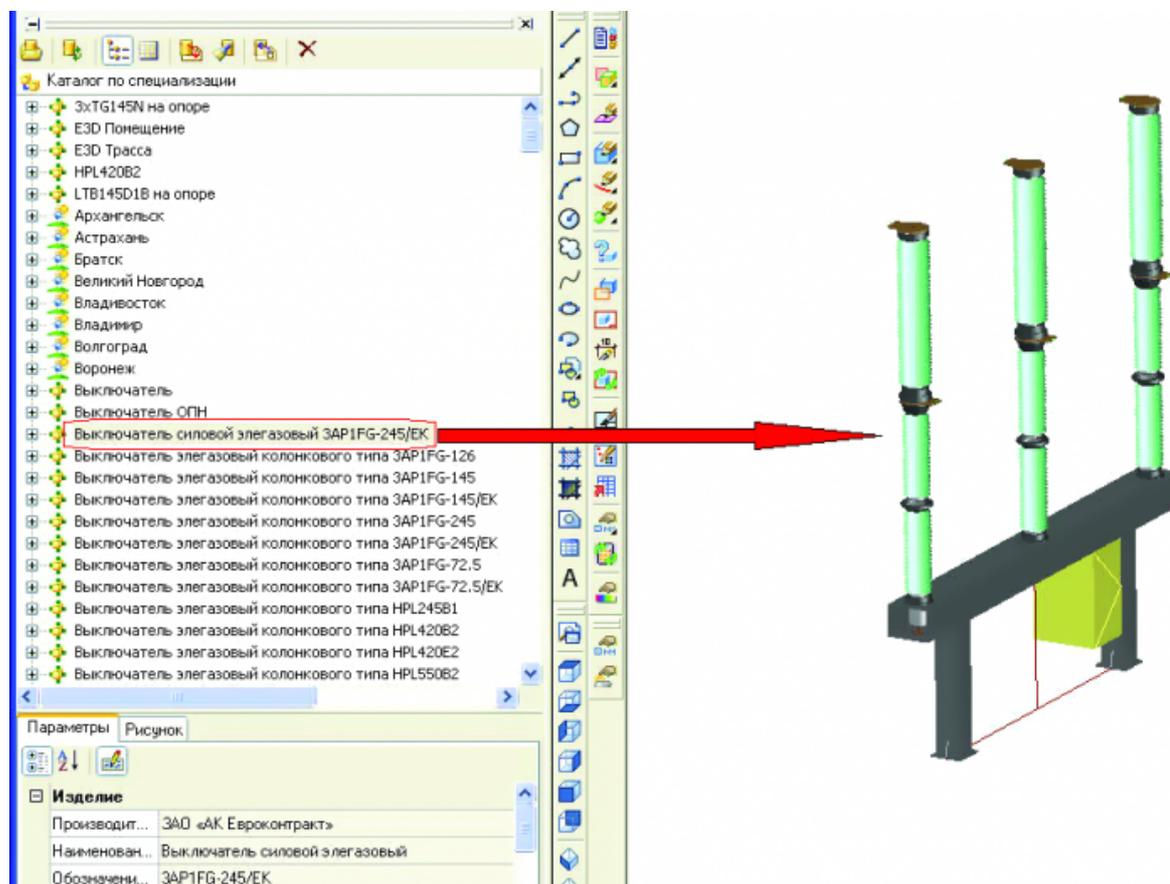


Рисунок 7.14 – Добавление объекта

Трехмерное представление оборудования позволяет пользователю осуществлять визуальный контроль коллизий. Проверка на предмет коллизий может выполняться и в автоматическом режиме.

Если проект содержит много оборудования и размещать трехмерные модели затруднительно, предусмотрена возможность переключения в режим плоского отображения и решения компоновочной задачи в плане. В любой момент пользователь может переключить режим отображения в 3D и визуально проконтролировать компоновочное решение.

Следующим этапом является ошиновка РУ, которая, как правило, выполняется из алюминиевых, сталеалюминевых и стальных проводов, труб и шин профильного сечения. Наибольшее распространение на подстанциях получила гибкая ошиновка, которая выполняется алюминиевыми и сталеалюминевыми проводами. Провода в зависимости от пролета либо подвешивают между порталами (сборные шины, ячейковые перемычки), либо крепят непосредственно к аппаратам и опорным изоляторам.

Выполнить эту операцию в Model Studio CS ОРУ тоже несложно. Разместив оборудование, пользователь отрисовывает провода – для этого нужно выбрать провод из БД и указать, откуда и куда он идет, то есть обозначить места крепления. Отрисованные провода имеют 3D-представление как для одноцепных линий (рис. 7.15), так и для многоцепных (рис. 7.16).

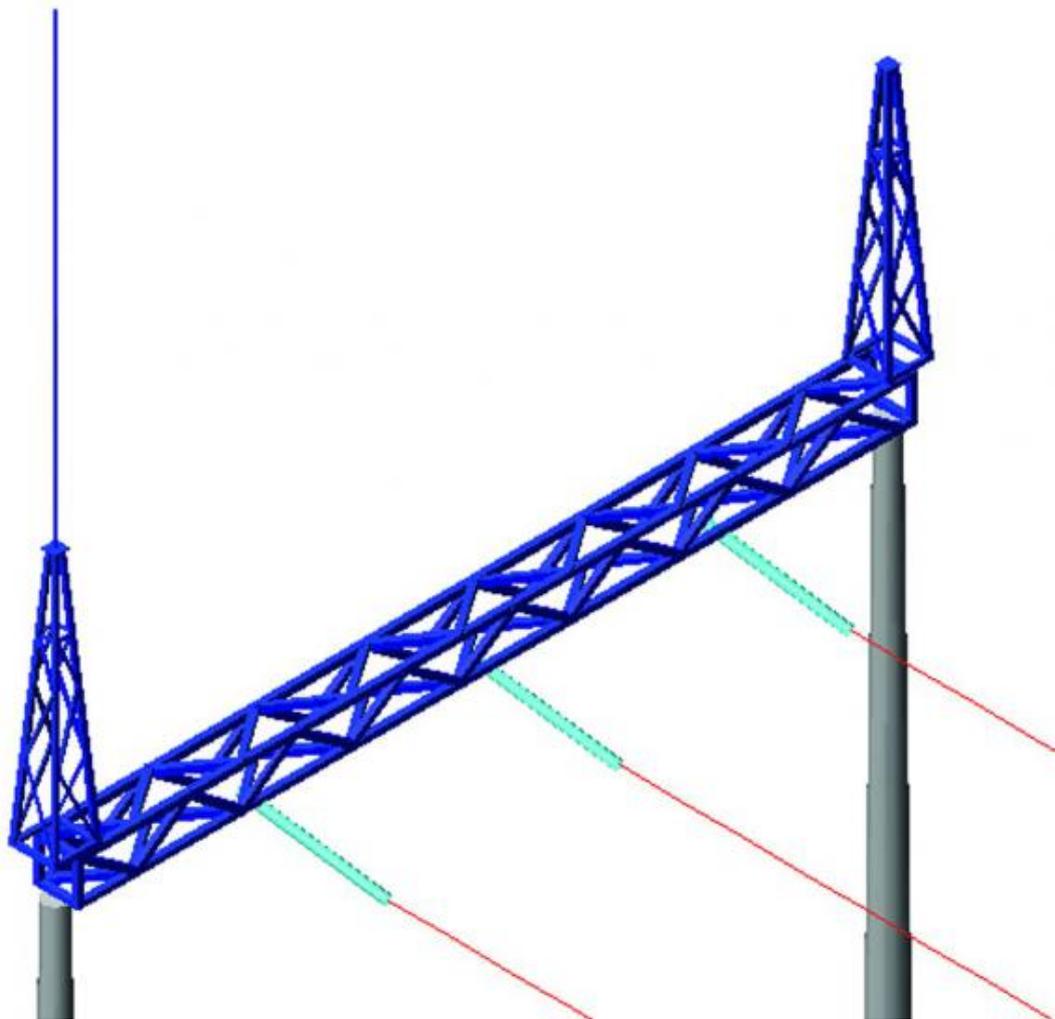


Рисунок 7.15 – Провода одноцепной линии (гибкая ошиновка)

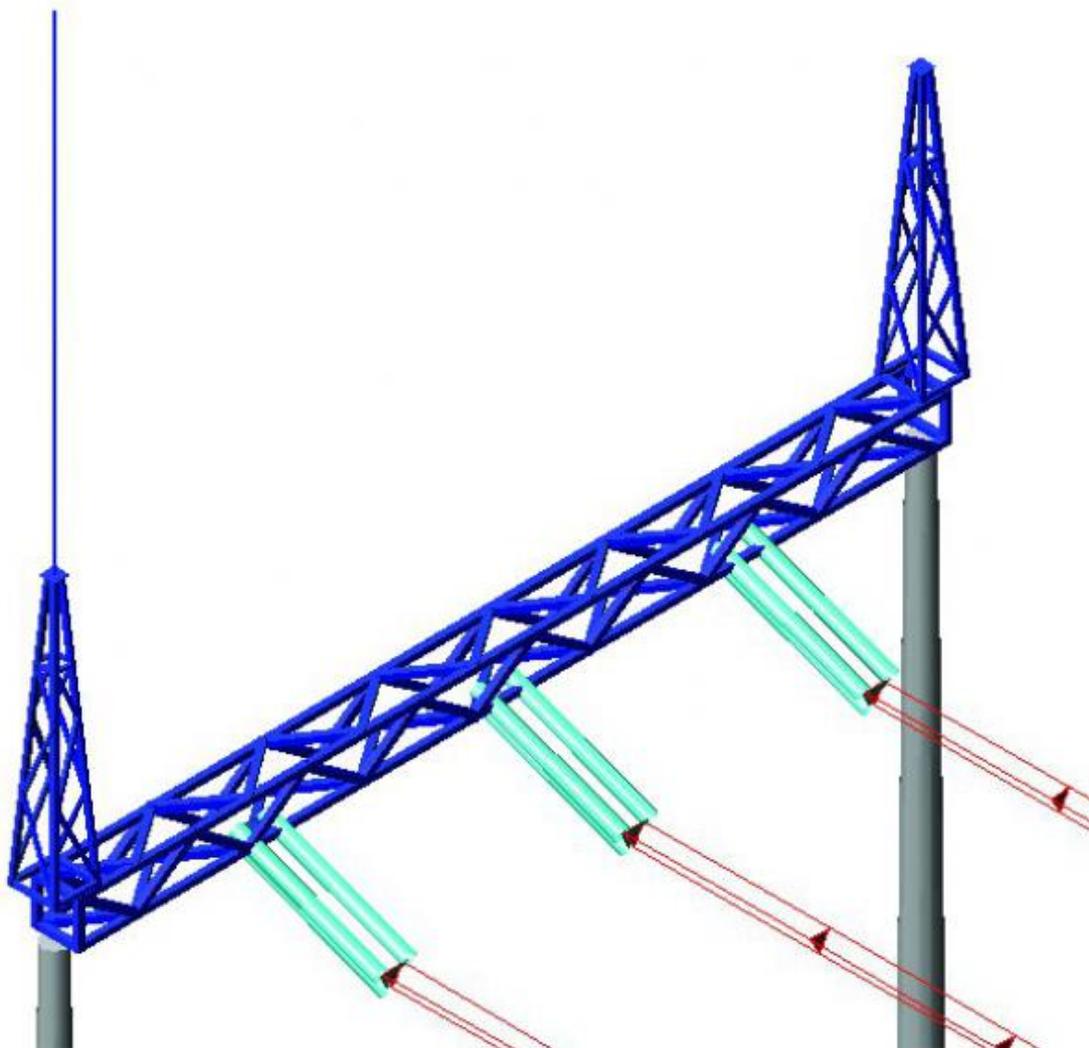


Рисунок 7.16 – Провода двухцепной линии (гибкая ошиновка)

Изоляция ошиновки и многоамперных токопроводов осуществляется натяжными или подвесными гирляндами изоляторов, а также опорными изоляторами. Натяжные гирлянды применяются для крепления гибкой ошиновки и гибких токопроводов к порталам. Как правило, используются одиночные гирлянды изоляторов (сдвоенные гирлянды применяются лишь в случаях, когда одиночные не удовлетворяют условиям механических нагрузок). Подвесные гирлянды применяют для подвески заградителей, фиксации шлейфов и в ряде других случаев. В гирляндах, как правило, используются стеклянные изоляторы и необходимый комплект арматуры.

В соответствии с требованиями проектировщиков база данных Model Studio CS ОРУ хранит не только оборудование, но и провода, гирлянды, арматуру (изоляторы, скобы и т.п.).

В проектах могут применяться гирлянды, состав которых отличается от имеющихся в базе данных, поэтому для облегчения работы проектировщика предусмотрен специальный инструмент **Конструктор гирлянд**, позволяющий быстро создать новую гирлянду с нуля или на основе существующей (рис. 7.17).

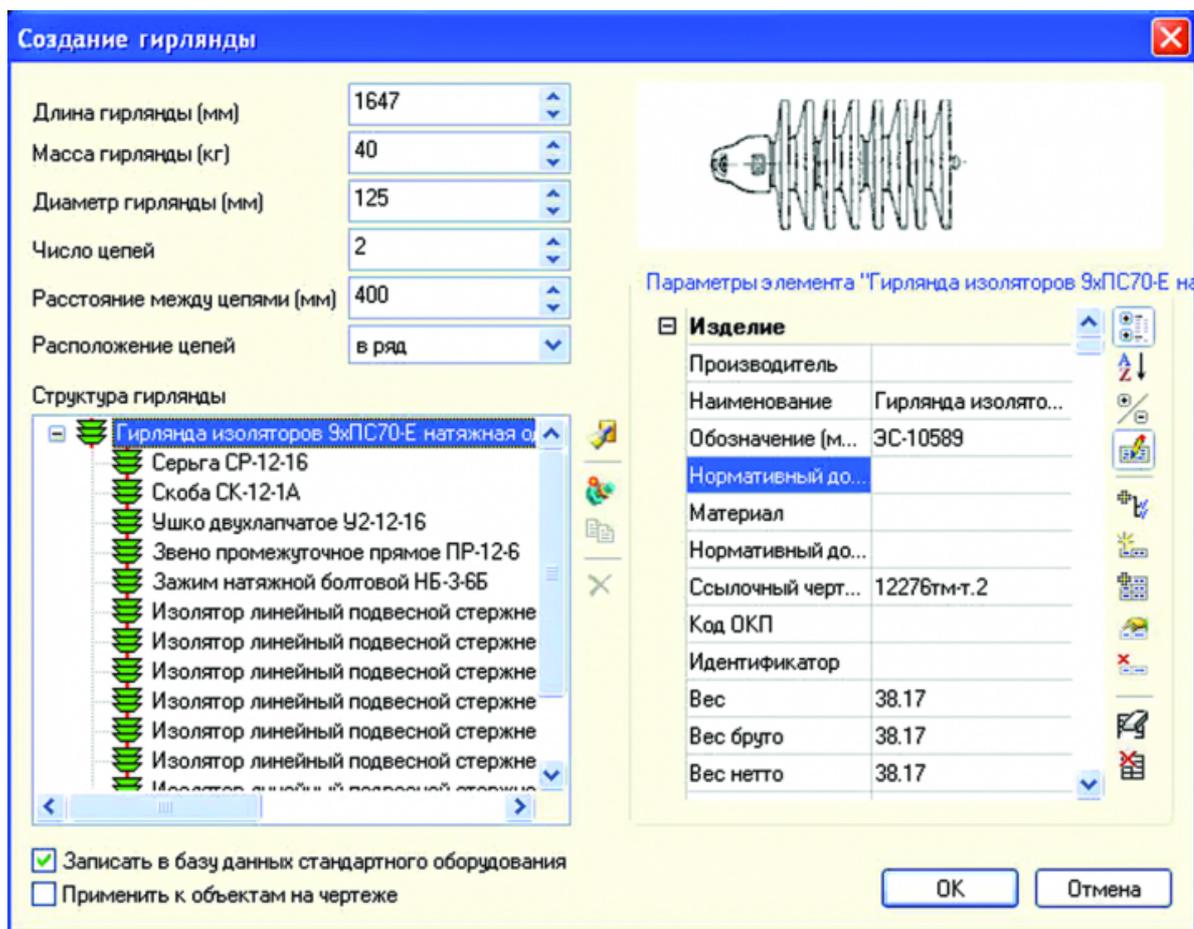


Рисунок 7.17 – Конструктор гирлянд

Размещенное на модели оборудование содержит набор атрибутивной информации (параметров), которая используется системой при выпуске документов – экспликаций, спецификаций и т.п. Эта информация доступна для каждого объекта Model Studio CS и представлена в свойствах объектов (рис. 7.18).

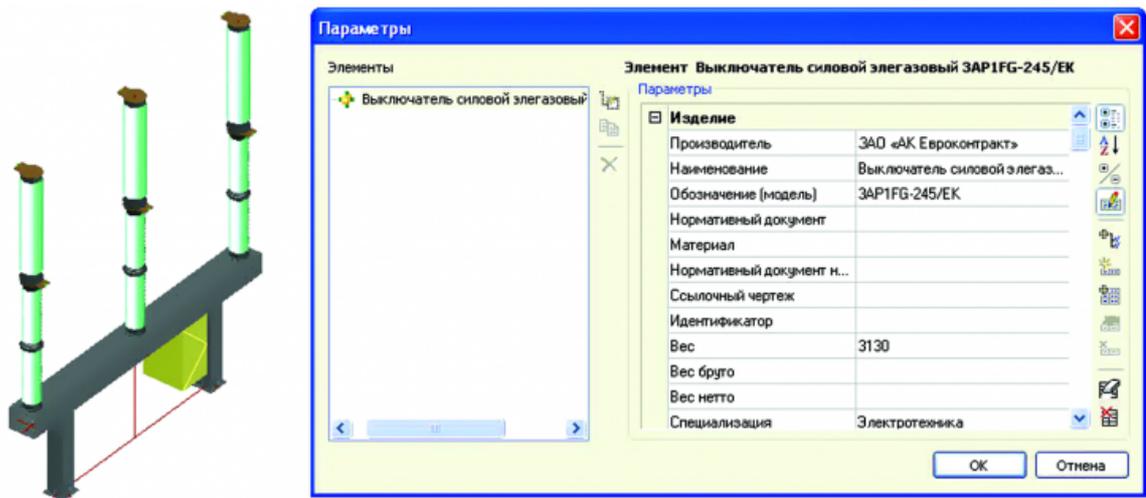


Рисунок 7.18 – Свойства объекта

Для удобства работы предусмотрен виртуальный спецификатор – всегда доступное для просмотра специальное диалоговое окно, отображающее состав модели в виде таблицы заданной формы. На рис. 7.19 представлен виртуальный спецификатор с формой заказной спецификации – демонстрируется как форма представления информации (спецификация), так и связь между таблицей и моделью: выбранная строка спецификации автоматически подсвечивает соответствующие позиции на модели.

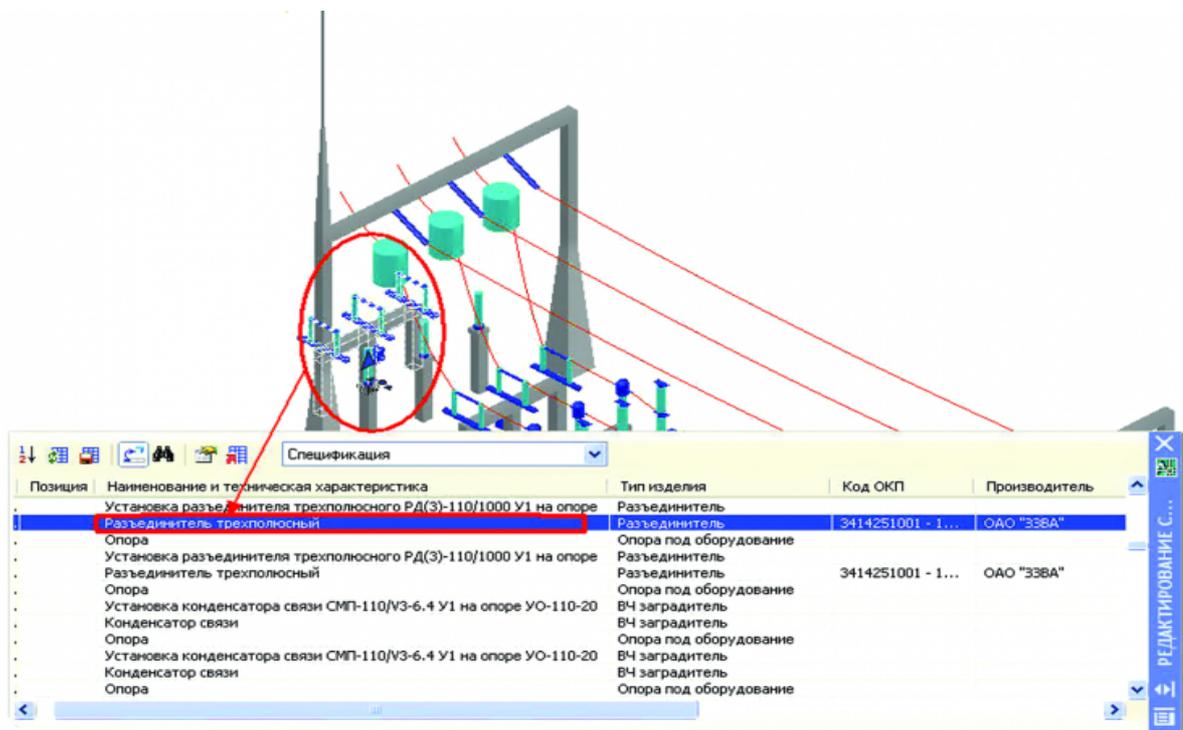


Рисунок 7.19 – Виртуальный спецификатор

Поэлементная компоновка ОРУ – простой и понятный процесс, однако в реальной практике проектирования она применяется либо в совсем новых проектах, либо при необходимости реконструкции и/или модернизации существующего объекта. Намного чаще проектировщики повторно используют уже разработанные решения, то есть типовые проекты или типизированные фрагменты и узлы (фрагменты и узлы, идентичные использованным в ранее выполненных проектах).

В Model Studio CS предусмотрена возможность работы на основе типовых решений: помимо оборудования, изделий и материалов база данных комплекса хранит сборки и типовые решения. Например, если проектная организация, выполнив компоновку ячейки, сохранит ее в базу данных Model Studio CS, впоследствии можно будет вставлять в проект непосредственно ячейку, а не каждую единицу оборудования по отдельности.

Кроме стандартных инструментов размещения объектов на плане, реализованы средства учета формы рельефа. Эта возможность позволяет решать компоновочную задачу в ситуации, когда сложно найти или создать ровную площадку необходимых размеров. Например, в топографических условиях проектирования гидроэлектростанций проектировщику приходится, применяясь к местности, выбирать ступенчатое расположение конструкций ОРУ – иногда с большим превышением одной ступени относительно другой.

Для решения задач, связанных со ступенчатым расположением оборудования, в Model Studio CS предусмотрены специальные функции подъема объектов на рельеф. Инженеры генплана подготавливают план площадок и выполняют трехмерную модель рельефа. Эта информация передается инженерам, занятым компоновкой ОРУ. Далее оборудование размещается в плане в нулевых отметках. Когда компоновка выполнена, задействуется функция подъема на рельеф и вся модель автоматически перестраивается в соответствии с поверхностью рельефа.

Все электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения и несущие конструкции РУ должны быть выбраны и установлены

таким образом, чтобы усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие явления, вызываемые нормальными условиями работы электроустановки, не могли причинить вреда обслуживающему персоналу, а при аварийных условиях не повредили окружающие предметы и не вызвали короткого замыкания или замыкания на землю. Кроме того, необходимо, чтобы при снятии напряжения с какой-либо цепи относящиеся к ней токоведущие части, аппараты и конструкции могли быть подвергнуты безопасному осмотру, замене или ремонту без нарушения нормальной работы соединенных цепей. Нужно обеспечить и возможность удобной транспортировки оборудования. Другими словами, компоновочные решения в распределительном устройстве должны отвечать ряду требований, в том числе касающихся изоляционных промежутков, а также относящихся к технике безопасности выполнения ремонтных и профилактических работ. Поэтому важнейшей задачей при работе со сложной комплексной моделью, которую представляет ОРУ, является обнаружение проблемных пересечений в трехмерном пространстве.

В программный комплекс Model Studio CS ОРУ включена специальная подсистема проверки коллизий, которая способна автоматически обнаруживать пространственные пересечения между объектами в 3D-модели. Система позволяет выполнять следующие типы проверок допустимых расстояний между объектами и токоведущими частями:

- проверка допустимых расстояний между оборудованием;
- проверка допустимых расстояний между проводами и оборудованием;
- проверка допустимого расстояния между проводами.

Коллизии между объектами анализируются на основе настроек, которые регламентируют расстояния в плане и по вертикали. По результатам проверки диагностируется факт нарушения допустимого расстояния.

Информация об обнаруженных коллизиях отражается как графически, так и в табличном виде. На рис. 7.20 представлен результат (графическое отображение коллизии) проверки расстояния между проводами.

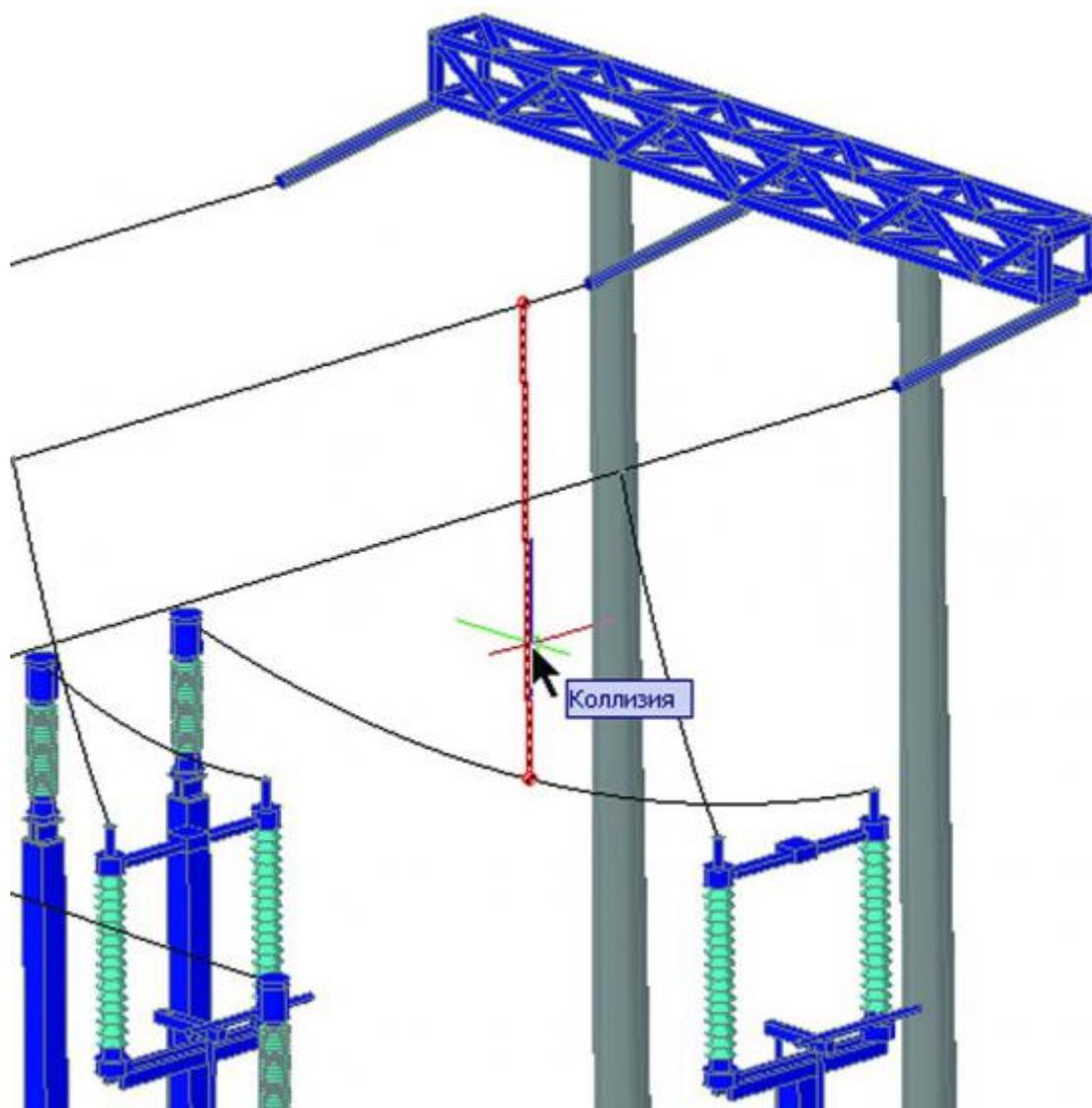


Рисунок 7.20 – Обнаруженная коллизия между проводами

Программный комплекс Model Studio CS ОРУ позволяет значительно ускорить выпуск документации и существенно сократить количество ошибок проектирования. А использование наглядной 3D-модели позволяет в любой момент проверить, насколько адекватно проект отражает принятые проектные решения.

Детальную информацию о работе с комплексом можно получить из официальной справочной системы программы [21].

#### 7.2.4 Model Studio CS Молниезащита [24]

Основное назначение Model Studio CS Молниезащита – расчет и трехмерное интерактивное проектирование молниезащиты зданий, сооружений

и открытых территорий. Вы можете проектировать новые средства молниезащиты, определять эффективность защитного действия уже существующих молниеотводов. Возможна и компоновка объекта в целом: приложение предоставляет доступ ко всему инструментарию Model Studio CS для трехмерного проектирования.

Перечислим основные задачи, которые позволяет решать программный комплекс Model Studio CS Молниезащита:

- компоновочное решение объекта, требующего молниезащиты;
- расчет и автоматическое построение типовых зон молниезащиты в соответствии с нормативными документами;
- построение горизонтального сечения зон молниезащиты на заданной высоте;
- формирование и выпуск полного комплекта проектной документации.

При размещении молниеприемника, взятого из базы данных или созданного с помощью специализированной команды, зона молниезащиты автоматически строится по правилам, сформулированным в нормативных документах (рис. 7.21).

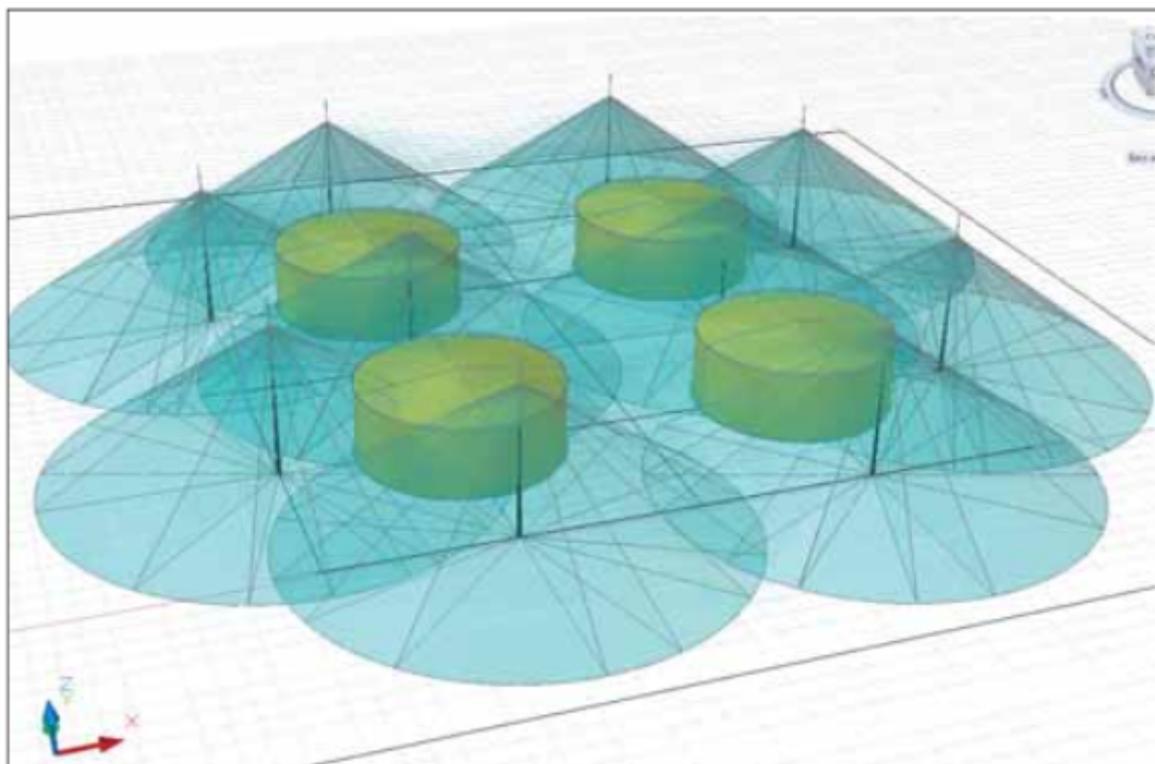


Рисунок 7.21 – Молниезащита парка резервуаров

Изменить методику расчета, а значит и автоматически перестроить зону, можно на любом этапе – это позволяет за самое короткое время проверить все возможные варианты и выбрать наилучший.

При вставке в чертеж второго и последующих стержневых молниеприемников программный комплекс самостоятельно определяет тип взаимодействия между ними, то есть строит зоны для одиночного, двойного или многократного стержневого молниеприемника.

Аналогичное решение применено относительно тросовых молниеприемников: расчет и построение зон производятся для одиночного, двойного или замкнутого тросового молниеприемника. Не забыли разработчики и о расчете стрелы провеса троса, которая рассчитывается в зависимости от механических характеристик выбранного троса и условий грозового режима для конкретной местности.

Выбор зон защиты ведется в строгом соответствии с положениями действующих норм и стандартов. Поскольку все программы Model Studio CS реализованы на единой платформе, проект защищаемого объекта не обязательно выполнять с нуля. Так, при наличии готового проекта подстанции ОРУ, разработанного в Model Studio CS Открытые распределительные устройства, для закрытия всей подстанции зоной молниезащиты достаточно указать молниеприемники на порталах и при необходимости дополнительно установить отдельно стоящие.

Как и все продукты линейки, Model Studio CS Молниезащита предлагает два режима проектирования – 2D и 3D. Цель проектирования молниезащиты – с требуемой надежностью защитить объект от прямых ударов молнии. Чтобы проверить и подтвердить соответствие этому требованию, используют горизонтальные сечения зон защиты, выполненные на определенной высоте (чаще используется самое высокое сооружение объекта). Этому важному процессу разработчики уделили особое внимание, постаравшись создать наиболее эргономичный и эффективный инструмент. Во-первых, при

проектировании доступна визуализация горизонтального сечения непосредственно на зоне молниезащиты.

Например, в режиме 2D отображается контур сечения на заданной высоте, а в режиме 3D – часть зоны защиты ниже заданного уровня. Такой подход позволяет быстро и точно оценить в интерактивном режиме допустимость созданной конфигурации системы защиты и действенность вносимых изменений.

Во-вторых, при необходимости можно получить отдельный чертеж горизонтального сечения зоны защиты на любой заданной высоте. Чертежи проекций по соответствующим зонам одиночных, двойных, многократных стержневых, а также одиночных, двойных и замкнутых тросовых молниеотводов формируются в соответствии с выбранными методиками расчета, проставленными размерами и обозначениями. Для выполнения этой операции предусмотрена специальная команда.

Табличные документы представляют собой отчеты по результатам расчета различных зон. Сразу после установки программа предоставляет в распоряжение пользователя несколько пакетов таких отчетов, сгруппированных по руководящим документам. При полноценном компоновочном решении могут быть получены спецификации на оборудование молниезащиты.

Детальную информацию о работе с комплексом можно получить из официальной справочной системы программы [20].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Байков, А. В. Основы автоматизации проектирования. Конспект лекций по дисциплине «Основы автоматизации проектирования» / А. В. Байков. – Донецкий национальный технический университет, 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/22991> (дата обращения 26.12.2013).
- 2 Демин, А. Ю. Компьютерная графика / А. Ю. Демин, А. В. Кудинов. – ЭОР Томский политехнический университет, 2005. [Электронный ресурс]. URL: <http://compgraph.ad.cctpu.edu.ru/> (дата обращения 26.12.2013).
- 3 Дьяконов, В. П. Компьютерная математика. Теория и практика / В. П. Дьяконов. – М. : Изд-во Нолидж, 2001. – 296 с.
- 4 Дьяконов, В. П. Математическая система Maple V R3/R4/R5 / В. П. Дьяконов. – М. : Солон, 1998. – 381 с.
- 5 Дьяконов, В. П. MathCAD 2000: Учебный курс / В. П. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2000. – 596 с.
- 6 Дьяконов, В. П. MathCAD 8 Professional в математике, физике и Internet / В. П. Дьяконов, И. В. Абраменконова. – М. : Нолидж, 1999. – 512 с.
- 7 Дьяконов, В. П. Mathematica 4: Учебный курс / В. П. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2000 – 482 с.
- 8 Дьяконов, В. П. Matlab: Учебный курс / В. П. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2001. – 560 с.
- 9 Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15: Учебный курс / Е. Г. Макаров – СПб. : Питер, 2014. – 400 с.
- 10 Орлов, А. А. AutoCAD 2014 (+ CD-ROM) / А. А. Орлов – СПб. : Питер, 2011. – 384 с.
- 11 Пособие по математическому пакету MathCAD. [Электронный ресурс]. URL: [http://revolution.allbest.ru/programming/00171702\\_0.html](http://revolution.allbest.ru/programming/00171702_0.html) (дата обращения 26.12.2013).
- 12 Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ в РЭО: конспект лекций. // Иркутский филиал МГТУ ГА. [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.rushkolnik.ru/text/21914/index-1.html> (дата обращения 26.12.2013).
- 13 Программно-вычислительный комплекс RastrWin3. Документация пользователя.
- 14 Программный комплекс АРМ СРЗА. Полая документация // Официальный сайт ПК Бриз. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pk-briz.ru/node/145> (дата обращения 26.12.2013).
- 15 Программный комплекс РТП-3 // Энергоэкспертсервис. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rtp3.ru/publ.htm> (дата обращения 26.12.2013).

16 Программный комплекс Energy CS Потери // Официальный сайт группы компаний CSoft. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/energyss-loss/energyss-loss-3.html> (дата обращения 26.12.2013).

17 Программный комплекс Energy CS Режим // Официальный сайт группы компаний CSoft. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/energycs-regim/energycs-regim-3.html> (дата обращения 26.12.2013).

18 Программный комплекс Energy CS ТКЗ // Официальный сайт компании CSoft. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/energycs-tkz/energycs-tkz-3.html> (дата обращения 26.12.2013).

19 Программный комплекс RastrWin. Документация, видео, презентации. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php> (дата обращения 26.12.2013).

20 САПР Model Studio CS Молниезащита // Официальный сайт компании CSoft. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mscad.ru/programs/lightning-protection/> (дата обращения 26.12.2013).

21 САПР Model Studio CS ОРУ // Официальный сайт компании CSoft. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mscad.ru/programs/open-switchgear/> (дата обращения 26.12.2013).

22 Уроки AutoCAD // Самоучитель AutoCAD CA2D.Ru. [Электронный ресурс]. URL: [http://ca2d.ru/uroki\\_autocad.html](http://ca2d.ru/uroki_autocad.html) (дата обращения 26.12.2013).

23 Фуфаев, Э. В. Пакеты прикладных программ [Текст]: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ/Э. В. Фуфаев, Л. И. Фуфаева. – М.: Академия, 2004. – 352 с.

24 Model Studio CS Молниезащита // Электронный журнал CAD Master. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm\\_51\\_15.html](http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_51_15.html) (дата обращения 26.12.2013).

25 Model Studio CS ОРУ // Компьютер Пресс. [Электронный ресурс]. URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=18709&iid=865> (дата обращения 26.12.2013).

26 Software (Программное обеспечение) // Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Программное\\_обеспечение](http://ru.wikipedia.org/wiki/Программное_обеспечение) (дата обращения 26.12.2013).

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1 Основные сведения об автоматизированном проектировании	6
1.1 Общие сведения	6
1.2 Операции, процедуры и этапы проектирования	7
1.3 Преимущества автоматизации профессиональной деятельности, ее роль и значение в развитии экономики страны	8
2 Программное обеспечение и машинная графика	11
2.1 Классификация программного обеспечения	11
2.2 Пакеты прикладных программ	12
2.2.1 Обзор основных этапов развития, эволюция, современное состояние	13
2.2.2 Перспективы развития ППП	14
2.3 Машинная графика	16
2.3.1 Растровая графика	16
2.3.2 Векторная графика	19
2.3.3 Фрактальная графика	21
3 Математический пакет MathCAD	22
3.1 Элементы языка MathCAD	22
3.1.1 Операторы	22
3.1.2 Простейшие вычисления	24
3.1.3 Константы	24
3.1.4 Переменные	25
3.1.5 Массивы	27
3.1.6 Функции	28
3.2 Форматирование чисел	29
3.3 Работа с текстом	29
3.4 Работа с графикой	30
3.4.1 Построение двумерных графиков	30

3.4.2	Параметрический график функции	33
3.4.3	Форматирование графиков	34
3.4.4	Построение полярных графиков	35
3.4.5	Построение графиков поверхностей (трехмерные или 3D-графики)	36
3.4.6	Форматирование трехмерных графиков	39
3.5	Способы решения уравнений в MathCAD	40
3.5.1	Решение уравнений с помощью функции $\text{root}(f(x), x)$	40
3.5.2	Решение уравнений с помощью функции $\text{Polyroots}(v)$	41
3.5.3	Решение уравнений с помощью функции $\text{Find}(x)$	42
3.6	Решение систем уравнений в MathCAD	44
3.6.1	Решение систем линейных уравнений	44
3.6.2	Приближенное решение системы линейных уравнений	46
3.6.3	Решение систем нелинейных уравнений	47
4	Программные комплексы расчёта режимов электрических сетей	50
4.1	Программно-вычислительный комплекс RastrWin	50
4.1.1	Подготовка исходных данных для расчёта	50
4.1.2	Ввод данных по схеме сети	52
4.1.3	Контроль исходной информации	57
4.1.4	Расчёт установившегося режима	59
4.2	Программный комплекс Energy CS Режим	60
4.2.1	Графический ввод схемы	62
4.2.2	Исходные данные по узлам	63
4.2.3	Исходные данные по ветвям	67
4.2.4	Расчет и просмотр результатов режима	71
5	Программные комплексы расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях	73
5.1	Комплекс программ «РТП 3»	73
5.2	Программный комплекс Energy CS Потери	76
6	Программные комплексы расчёта переходных процессов в	

электроэнергетических системах	79
6.1 АРМ СРЗА	79
6.1.1 Расчёт токов короткого замыкания	82
6.2 Комплекс Energy CS ТКЗ	90
7 Системы автоматизированного проектирования в энергетике	97
7.1 Система автоматизированного проектирования AutoCAD	97
7.2 Комплекс программ автоматизированного проектирования в энергетике Model Studio CS	109
7.2.1 Базовый подход при проектировании средствами Model Studio CS	109
7.2.2 База данных стандартного оборудования	111
7.2.3 Model Studio CS ОПУ	115
7.2.4 Model Studio CS Молниезащита	125
Библиографический список	129

**Рябинин Вячеслав Вячеславович,**  
*ассистент кафедры энергетики АмГУ*

**Программные средства автоматизации профессиональной деятельности.**  
*Учебное пособие.*

---

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,35. Заказ 394.