

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

А.А. Казакул

# **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРОГРАММНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

*Методические указания*

*для самостоятельной работы студентов*

по направлению 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника»,

Благовещенск 2013

Издательство АмГУ

2013

ББК 31.2я73  
П81

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

***Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Гидроэлектромонтаж».***

*Рецензенты:*

*Доцент кафедры АППиЭ, канд. техн. наук – Д.А. Теличенко.*

*Директор пуско-наладочного управления ОАО «Гидроэлектромонтаж» – Н.И. Морозов*

*Казакул А.А.*

П81 Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Методические указания для самостоятельной работы студентов / сост. Казакул А.А.. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013.

Методические указания для самостоятельной работы студентов предназначены для подготовки магистров по направлению 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника». Описаны функциональные возможности современных промышленных программно вычислительных комплексов, применяемых в электроэнергетике для расчёта установившихся и переходных режимов, и для автоматизированного проектирования линий электропередачи, подстанций, устройств молниезащиты, приведены алгоритмы выполнения ряда расчётов в RastrWin3.

***В авторской редакции.***

***ББК 31.2я73***

©Амурский государственный университет, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
Перечень используемых сокращений .....	7
Введение.....	8
1. общие сведения о промышленных ПВК, используемых в электроэнергетике .....	10
1.1 Назначение прикладных ПВК используемых в электроэнергетике и их классификация.....	10
1.2 Общая характеристика ПВК используемых для расчётов электрических параметров ЭЭС .....	12
1.3 Понятие САПР, классификации .....	15
2. ПВК, предназначенные для электрических расчётов .....	20
2.1 SDO-6 .....	20
2.2 ДАКАР .....	22
2.3 RastrWin .....	25
2.4 ТКЗ-3000 .....	33
2.5 АРМ СРЗА .....	34
2.6 АНАРЭС-2000 .....	36
2.7 КАСКАД-РЕТРЕН .....	41
2.8 КОСМОС .....	44
2.9 ПВК РТП-3.....	45
2.10 Energy CS .....	52
2.11 PSS®E.....	56
2.12 DigSILENT PowerFactory .....	58
2.13 EUROSTAG .....	60
3. ПРИМЕНЕНИЕ ПВК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	64
3.1 Model Studio CS ЛЭП.....	64
3.2 Model Studio CS ОРУ .....	72

3.3 Model Studio CS Молниезащита .....	78
Заключение .....	85
Список используемых источников .....	86
Приложение 1. Порядок расчёта установившегося режима электрической сети в RastrWin	
Приложение 2. Порядок расчёта ТКЗ в RastrWin 3	
Приложение 3. Порядок создания коммутационных моделей в RastrWin3	

## ПРЕДЕСЛОВИЕ

Дисциплина «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике» входит в цикл специальных дисциплин и относится к дисциплинам, формирующим специальные профессиональные знания и навыки у студентов.

Цель дисциплины – изучение современных программно-вычислительных комплексов, применяемых в электроэнергетике при эксплуатации и проектировании электроэнергетических систем.

Основная задача дисциплины – обучение студентов работе в прикладных программно-вычислительных комплексах для решения инженерных задач и применения данных средств при научных исследованиях.

Программные комплексы расширяют возможности инжиниринговых компаний и организаций эксплуатирующих электроэнергетические системы. Использование программных комплексов способствует ускорению, упрощению и повышению эффективности процессов управления, эксплуатации и проектирования ЭЭС, поэтому умение работать с ними является обязательным требованием для высококвалифицированных специалистов в области электроэнергетики.

Студенты, обучающиеся по данной дисциплине, должны знать и владеть следующими материалами:

Математика – решение систем алгебраических уравнений, дифференциальные и интегральные исчисления, графы, теория функций комплексного переменного, теория вероятностей и математическая статистика, математическая логика;

Физика – электричество и магнетизм;

Электротехника и электроника – электрические цепи переменного тока, трехпроводные и четырехпроводные трехфазные цепи, линейные и нелинейные цепи.

Передача и распределение электрической энергии – схемы замещения линий электропередачи и трансформаторов, расчёт электрических режимов разомкнутых и замкнутых электрических сетей ручными методами;

В результате изучения дисциплины Промышленные программно-вычислительные комплексы обучающийся должен:

владеть современными компьютерными системами и технологиями, навыками оформления, представления и защиты результатов решения профессиональных задач.

знать современные естественнонаучные и прикладные задачи электроэнергетики и электротехники, методы и средства их решения в научно-исследовательской, проектно-конструкторской, производственно-технологической и других видах профессиональной деятельности;

знать технологии и средства обработки информации и оценки результатов применительно к решению профессиональных задач.

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- БСК – батарея статических конденсаторов;
- ВЛ – воздушная линия;
- ВН – высшее напряжение подстанции;
- ЕНЭС – единая национальная электрическая сеть;
- КРМ – компенсация реактивной мощности;
- КЛ – кабельная линия;
- ЛЭП – линия электропередач;
- НН – низшее напряжение подстанции;
- ОИК – оперативно - измерительный комплекс;
- ПВК – программно - вычислительный комплекс;
- ПС – подстанция;
- РЗА и ПА – релейная защита и противоаварийная автоматика;
- САПР – система автоматизированного проектирования;
- СН – среднее напряжение подстанции;
- СТК – статический тиристорный компенсатор;
- ТМ – телемеханика;
- ШР – шунтирующий реактор;
- ЭЭС – электроэнергетическая система.

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике» предполагает рассмотрение современных прикладных программ, применяемых для проектирования объектов электроэнергетических систем, а так же при их эксплуатации.

Настоящее пособие является обобщением материалов, находящихся в свободном доступе в сети Internet, в инструкциях к программным комплексам и в периодических изданиях о таких программах.

Целью пособия является обобщение материалов по программно-вычислительным комплексам, используемым в настоящее время в России в области электроэнергетики.

Кроме того, в пособии предложен некоторый подход по классификации прикладных программных комплексов, который поможет обучающимся при самостоятельном изучении дисциплины.

Структура пособия следующая.

В первой главе приводятся обобщающие материалы по программным комплексам, используемым в электроэнергетике, даётся их классификация и самое общее описание.

Во второй главе идёт описание функциональных возможностей каждого ПВК, предназначенного для расчётов различных параметров электроэнергетических режимов. Функции таких ПВК часто пересекаются, но каждый из них обладает особенностями, изложенными в материалах пособия.

В третьей главе описаны функциональные возможности ПВК, предназначенных для автоматизированного проектирования объектов электроэнергетики: линий электропередачи, подстанций и систем молниезащиты.

В приложениях приводится последовательность моделирования электроэнергетических систем для расчётов установившихся и переходных

режимов в RastrWin3, описан порядок составления коммутационных моделей электрических сетей в RastrWin3. Это сделано для сокращения времени студентов, которые нацелены на самостоятельное выполнение практических задач в данном ПВК. Приложения проиллюстрированы скриншотами программ и помогут выполнить указанные расчёты студентам, ранее не работавшим в RastrWin3.

Подбор материала по множеству ПВК в едином пособии сокращает время, необходимое для комплексного изучения дисциплины и даёт первоначальное представление о системе прикладного ПВК в энергетике.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ПВК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

## 1.1 Назначение прикладных ПВК используемых в электроэнергетике и их классификация

В настоящее время современные ЭЭС являются настолько сложными объектами с разнообразными обратными связями и факторами взаимовлияния, что решение любых вопросов, связанных с проектированием, управлением и эксплуатацией объектов электроэнергетики, немыслимо без использования мощного аппарата вычислительной математики и всех видов вычислительной техники, систем связи и телекоммуникаций.

Применяемое программное обеспечение в электроэнергетике призвано решать одну из двух типов задач – *проектных* и *эксплуатационных*.

Решение проектных задач направлено на выбор параметров проектируемой сети и соответствующего оборудования. Для решения данных задач используются средства расчёта электроэнергетических параметров, системы автоматизированного проектирования различных электроустановок и подстанций.

При эксплуатации электроэнергетических систем для поддержания надёжного и качественного электроснабжения в постоянном режиме ведётся оперативно-диспетчерское управление. Такое управление в современных условиях требует применения большого комплекса систем сбора и обработки информации.

Программных комплексов, обеспечивающих сбор и обработку таких данных, на рынке предлагается достаточно много. Изначально они использовались только для сбора и отображения данных. В данный момент они могут оснащаться дополнительными модулями по расчёту и анализу информации и представления рекомендаций диспетчеру.

Обработка заявок на вывод оборудования в ремонты также обеспечивается специализированными программными комплексами.

Подготовка персонала на компьютерных тренажёрах давно перестала быть новшеством, однако для диспетчерского персонала такие специализированные тренажёры, позволяющие моделировать сложные аварийные ситуации и анализировать действия обучаемого персонала при их ликвидации, является порой незаменимой формой обучения.

Укрупнив задачи, решаемые с помощью программного обеспечения можно представить их в виде схемы, приведённой на рисунке 1.1



Рисунок 1.1 – Укрупнённые задачи, решаемые в электроэнергетике с использованием программно-вычислительных комплексов

Важно понимать, что любая решаемая задача может быть оснащена программным комплексом, но изучать все из них нецелесообразно.

С учётом проанализированного материала по промышленным прикладным программам их можно классифицировать на следующие:

- ПО для сбора и хранения телеметрической информации;
- ПО для выполнения электрических расчётов;
- Системы автоматизированного проектирования;
- ПО для обучения персонала;
- ПО для решения прочих производственных задач.

Важно отметить, что такое деление весьма условно, так как разработчики ПО постоянно совершенствуют и расширяют возможности собственных продуктов.

В настоящем пособии описаны программные комплексы, предназначенные для решения лишь части проектных и эксплуатационных задач, решаемых в электроэнергетике. В частности описаны наиболее распространённые программы, используемые для электрических расчётов (установившихся режимов, переходных режимов, статический и динамической устойчивости и потерь активной мощности и энергии) и для автоматизированного проектирования объектов электроэнергетики (ЛЭП, ПС, устройств молниезащиты).

В первой группе ПО рассматриваются: SDO-6, Дакар, RastrWin, АНАРЭС-2000, КАСКАД-РЕТРЕН, КОСМОС, РТП 3, Energy CS, ТКЗ-3000, АРМ СРЗА, разработчиками которых являются Российские (а в ряде случаев Советские) специалисты. Описаны функции наиболее известных программ зарубежных фирм, применяемых в России, для решения аналогичных задач: EUROSTAG, PSS/E, DigSILENT PowerFactory.

В во второй группе описаны программные продукты ЗАО «СиСофт» Model Studio CS ЛЭП, Model Studio CS ОРУ, Model Studio CS Молниезащита, работающие на платформе AutoCAD, отлично зарекомендовавшей себя среди проектных организаций.

## **1.2 Общая характеристика ПВК используемых для расчётов электрических параметров ЭЭС**

В настоящее время для расчета и моделирования установившихся, переходных и электромеханических режимов ЭЭС применяется множество отечественных и зарубежных программ.

Электрические расчёты выполняются для определения электрических параметров сети во всех возможных режимах работы: нормальных, аварийных, послеаварийных, утяжелённых и т.д. Выполнение полного комплекса расчётов режимов позволяет правильно выполнить выбор

силового оборудования, настройку уставок устройств РЗА и ПА, выбор измерительных комплексов, определить необходимые резервы мощности на электрических станциях, оптимизировать потери электрической энергии в сети и т.п.

Изначально для каждого типа режимов, отличающихся по времени протекания, контролируемым и рассчитываемым параметрам разрабатывались отдельные программно-вычислительные комплексы.

В частности для расчётов установившихся режимов и проведения оптимизационных расчётов в MS DOS были разработаны ПВК Б-6, АНАРЭС, КУРС-ПК, Rastr, SDO-6. Для расчётов токов короткого замыкания и несимметричных режимов был разработан ПВК ТКЗ-3000. Для расчёта электромеханических переходных процессов и динамической устойчивости разработан ПВК Докар (Украина).

Однако, даже при создании первоначальных версий программ для компьютеров с весьма «скромными» ресурсами их авторы старались унифицировать программные комплексы, то есть создать наиболее практичные и удобные инструменты.

Повышение конкурентоспособности продуктов заставляет разработчиков постоянно развивать программные комплексы для расширения области их применения и унификации. Это дало толчок к развитию модульных программных продуктов, которые можно приобретать по частям (по модулям) для решения узкоспециализированных задач.

Так в ПВК RastrWin начиная с версии 2.5 разработан модуль по расчёту токов КЗ и несимметричных режимов (RastrKZ). В третьей версии программы для промышленного применения данный модуль уже является самостоятельным и может приобретаться отдельно. Кроме того, на базе данного ПВК разработаны программы по расчёту электромеханических переходных процессов и оценки динамической устойчивости (Rustab), и программа для комплексной оптимизации электроэнергетических режимов (Linkor) и программа для суточного планирования режимов (Bars).

Программный комплекс EnergyCS сочетает в себе так же ряд независимых модулей EnergyCS Режим, EnergyCS Потери, EnergyCS ТКЗ, которые так же предназначены для выполнения различных электротехнических расчётов.

Сравнение функциональности ПВК, предназначенных для электрических расчётов показано в таблице 1.1. Более полное их описание, приведено во второй главе настоящего пособия.

Таблица 1.1 – Сопоставление функций ПВК

Наименование ПВК	Решаемые задачи					
	Расчет режима	Частотный анализ	Оптимизация режима	Расчет ТКЗ	Анализ статической устойчивости	Анализ динамической устойчивости
<b>РТП 3</b> (для разомкнутой сети)	+	-	-	+	-	-
<b>SDO-6</b>	+	+	+	-	+	-
<b>Дакар</b>	+	+	+	+	+	+
<b>КОСМОС</b>	+	-	+	-	+	-
<b>Energy CS</b>	+	-	-	+	+	-
<b>RastrWin 3</b>	+	-	+	+	+	-
<b>EUROSTAG</b>	+	+	-	-	+	+
<b>АНАРЭС-2000</b>	+	-	+	+	+	+
<b>КАСКАД-РЕТРЕН</b>	+	+	-	+	+	+
<b>DigSILENT PowerFactory</b>	+	-	+	+	+	+
<b>PSS/E</b>	+	+	+	+	+	+

Применение каждого из обозначенных продуктов определяется областью применения, объёмом требуемых функций, точностью получаемого результата и что немаловажно стоимостью.

### 1.3 Понятие САПР, классификации

Существует множество взглядов и подходов к определению понятия САПР. В настоящем пособии под понятием САПР понимается следующее.

*Системы автоматизированного проектирования (САПР)* — комплексные программно-технические системы, предназначенные для выполнения проектных работ с применением математических методов. Естественно, что их использование предполагает проектирование именно сложных систем, требующих целого комплекса расчётов.

Основные идеи и принципы проектирования сложных систем выражены в системном подходе. Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход выявляет структуру системы ее внутренние и внешние связи.

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

- ***Проектирующие подсистемы*** непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

- ***Обслуживающие подсистемы*** обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения CASE (Computer Aided Software Engineering), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Структурирование САПР по различным аспектам обуславливает появление видов обеспечения САПР. Принято выделять семь видов обеспечения САПР:

- *техническое*, включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);
- *математическое*, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;
- *программное*, представляемое компьютерными программами САПР;
- *информационное*, состоящее из базы данных, систем управления базами данных, а также включающее другие данные, которые используются при проектировании; отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется информационным фондом САПР, база данных вместе с СУБД носит название банка данных;
- *лингвистическое*, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;
- *методическое*, включающее различные методики проектирования; иногда к нему относят также математическое обеспечение;
- *организационное*, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, которые регламентируют работу проектного предприятия.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы — ядра САПР.

*По приложениям* наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

- САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами MCAD (Mechanical CAD);
- САПР для радиоэлектроники: системы ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation);

- САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем; САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т. п.

*По целевому назначению* различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты (страты) проектирования. Так, в составе МСАД появляются рассмотренные выше САЕ/CAD/CAM-системы.

*По масштабам* различают отдельные программно-методические комплексы САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов или комплекс анализа электронных схем; системы с уникальными архитектурами не только программного (software), но и технического (hardware) обеспечений.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, то есть определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы, например

имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п. Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются САЕ/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяют специализированные системные среды. Именно к таким и относятся системы 3D проектирования электроэнергетических объектов серии Model Studio CS.

С точки зрения системной модели САПР, техническое обеспечение представляет собой самый нижний уровень, в который “погружается” и реализуется операционно-программное и другие виды обеспечений САПР. Задача проектирования технического обеспечения, таким образом, может быть сформулирована как задача оптимального выбора состава технических средств САПР. Исходной информацией при этом являются результаты анализа задач внутреннего проектирования и ресурсные требования к техническим средствам в виде критериев и ограничений.

Основные требования, к техническим средствам САПР состоят в следующем:

- эффективность;
- универсальность;
- совместимость;
- надежность.

Технические средства (ТС) в САПР решают задачи:

- ввода исходных данных описания объекта проектирования;

- отображения введенной информации с целью ее контроля и редактирования;
- преобразования информации (изменения формы и структуры представления данных, перекодировки и др.);
- хранения информации;
- отображения итоговых и промежуточных результатов решения;
- оперативного общения проектировщика с системой в процессе решения задач.

Для решения этих задач технические средства должны содержать:

- процессоры,
- оперативную память,
- внешние запоминающие устройства,
- устройства ввода- вывода информации,
- технические средства машинной графики,
- устройства оперативного общения человека с ЭВМ,
- устройства, обеспечивающие связь ЭВМ с удаленными терминалами и другими машинами.

## 2. ПВК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

### 2.1 SDO-6

Данный ПВК предназначен для решения задач анализа и синтеза, возникающих при исследовании установившихся режимов ЭЭС и может использоваться при эксплуатации и проектировании ЭЭС в рамках АСДУ, САПР и АРМ ЭЭС.

Разработчиками SDO-6 является Сибирский Энергетический институт им. Мелентьева СО РАН (Артемьев В.Е., Войтов О.Н., Володина Э.П., Мантров В.А., Насвицевич Б.Г., Семенова Л.В.).

ПВК моделирует действие и работу различных устройств, предназначенных для управления напряжением, перетоками активной и реактивной мощности, генерацией и потреблением, а также работу некоторых видов противоаварийной автоматики – от наброса мощности, повышения/понижения напряжения.

ПВК содержит достаточно полное математическое описание основных элементов сети ЭЭС - нагрузки(статические характеристики по  $U$  и  $f$ ), генерации (учет потерь в генераторе в режиме СК, зависимость  $Q_{расп}(P_g)$ ), коммутируемых реакторов, линий, трансформаторов линейно-дополнительных, 2-х и 3-х обмоточных с продольно-поперечным и связанным регулированием.

ПВК обеспечивает работу с расчетной схемой сети ЭЭС, имеющей в своем составе выключатели, как элементы распределительных устройств станций и подстанций.

ПВК обеспечивает эффективное и надежное решение задач за счет избыточности состава алгоритмов их решения.

К основным функциям SDO-6 относятся [12]:

1) расчет установившегося режима ЭЭС при детерминированном характере информации с учетом и без учета изменения частоты (модификации метода Ньютона-Рафсона);

2) расчет предельного установившегося режима при различных способах утяжеления и критериях завершения;

3) расчет допустимого установившегося режима;

4) расчет оптимального установившегося режима (метод обобщенного приведенного градиента);

- по потерям активной и реактивной мощности в сети ЭЭС;

- по издержкам на выработку электроэнергии;

5) получение требуемых значений для отдельных параметров режима (модулей напряжения, активных и реактивных генераций и т.д.) с выбором состава компонент вектора решения;

6) определение "слабых мест" в сети ЭЭС и анализ на этой основе предельных режимов;

7) формирование эквивалента расчетной схемы ЭЭС, полученного при исключении заданного числа узлов (метод Уорда);

8) получение эквивалента расчетной схемы сети, адаптивного к заданным расчетным условиям и определение функциональных характеристик отбрасываемой сети, включаемых в граничные узлы;

9) расчет статической апериодической устойчивости режима ЭЭС на основе анализа коэффициентов характеристического уравнения;

10) анализ динамической устойчивости режима ЭЭС относительно заданной совокупности расчетных возмущений при учете широкого набора средств противоаварийной автоматики как традиционных, так и перспективных с возможностью моделирования производных законов их управления. Данная функция обеспечивается возможностью совместной работы ПВК СДО-6 и ПВК ПАУ-3М (разработка СЭИ).

К вспомогательным функциям относятся [12]:

1) анализ и поиск ошибок в исходных данных;

2) корректировка состава элементов расчетной схемы сети ЭЭС, параметров режима и расчетных условий;

3) формирование и хранение на внешних запоминающих устройствах собственного архива данных о расчетных схемах сети ЭЭС;

4) работа с данными в унифицированном формате ЦДУ (экспорт/импорт);

5) представление и анализ выходной информации с использованием разнообразных таблиц и графиков;

6) отображение результатов расчета на графе расчетной схемы сети.

ПВК имеет в своем составе удобный и гибкий язык управления заданиями, содержащий до 70 управляющих директив (команд). С их помощью может задаваться произвольная последовательность выполнения его основных и вспомогательных функций при работе в пакетном режиме.

Основной недостаток данного ПВК – работа под MS DOS. Хотя в печати имеется информация о разработке версии данного ПВК, работающего под Windows.

## **2.2 ДАКАР**

Предназначен для расчета и анализа установившихся нормальных, предельных и послеаварийных режимов работы электрических сетей напряжением 0,4 ÷ 1150 кВ; электромеханических переходных процессов (анализ устойчивости) электроэнергетических систем с учетом действия любых устройств автоматики, реакции теплосилового оборудования электрических станций.

В составе информационного обеспечения комплекса является информационная база данных и ПО для работы с ней. Информационная база состоит из данных о электрическую схему сети и ее режимы, а также оборудования энергосистемы и нормативно - справочную информацию.

В комплексе ДАКАР реализована возможность обмена данными с другими программами (или пользователями) через импорт/экспорт из: старой DOS -версии ДАКАР, собственного формата XML, формата ЦДУ, формата USTE DEF v.2.0 (ENTSO-E), формата программы PLANS (Польша ), формата программы АРЕМ.

Есть возможность получать режим работы электрической сети на основе данных устройств телеметрии (импорт значений телеизмерений и телесигналов с оперативно - информационного комплекса). Для этого осуществляется обработка и верификация телеизмерений и телесигналов, решается задача оценки состояния режима электрической сети для воспроизведения текущего режима работы сети. Это позволит имитировать режимы работы сети для принятия решений в процессе диспетчерского управления на основании результатов анализа установившихся режимов, исследования статической и динамической устойчивости.

Комплекс ДАКАР позволяет решать следующие задачи [13]:

- Создание графических схем сети с отображением результатов расчета установившихся режимов.
- Расчет и анализ установившихся режимов с постоянной частотой.
- Расчет и анализ предельных, послеаварийных режимов с неноминальной частотой с учетом статических характеристик нагрузки и генерирования .
- Моделирование и анализ установившихся несимметричных и неполнофазных режимов работы сети (неполнофазное включение/отключение реакторов, неполнофазное отключение линий).
- Расчет токов симметричных и несимметричных КЗ.
- Эквивалентирования режимной схемы.
- Прогнозирование нагрузки регионов системы .
- Расчет утяжелённых режимов, определения запасов апериодической статической устойчивости режимов работы ЭЭС.
- Моделирование синхронных, асинхронных и асинхронизированных генераторов, синхронных компенсаторов, синхронных и асинхронных двигателей с использованием справочной информации.
- Исследование колеблющейся статической устойчивости режимов работы ЭЭС .

- Исследование динамической устойчивости режимов работы ЭЭС с возможностью моделирования любых видов возмущений в ЭЭС.
- Мощный анализ результатов расчета электромеханических переходных процессов.
- Моделирование современных систем возбуждения синхронных генераторов с современными АРЗ (АРВ - СДП, АРВ -М , АРВ - СДС и др.).
- Моделирование противоаварийной системной автоматики: различные типы АЛАР (основной АЛАР , резервный АЛАР , АЛАР -Ц , АЛАР - МикроП , АЛАР - МКРА ) , АЧР , взаимное управление мощностью турбин и др. .
- Использование модуля графического анализа для оптимального налаживания АЛАР, АРЗ , тепло - силового оборудования энергоблоков.
- Расчет долговременных переходных процессов с учетом реакции тепловой автоматики и устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР, совмещенное АЧР, ЧАПВ) и др.

Рабочее окно программы Дакар приведено на рисунке 1.1.

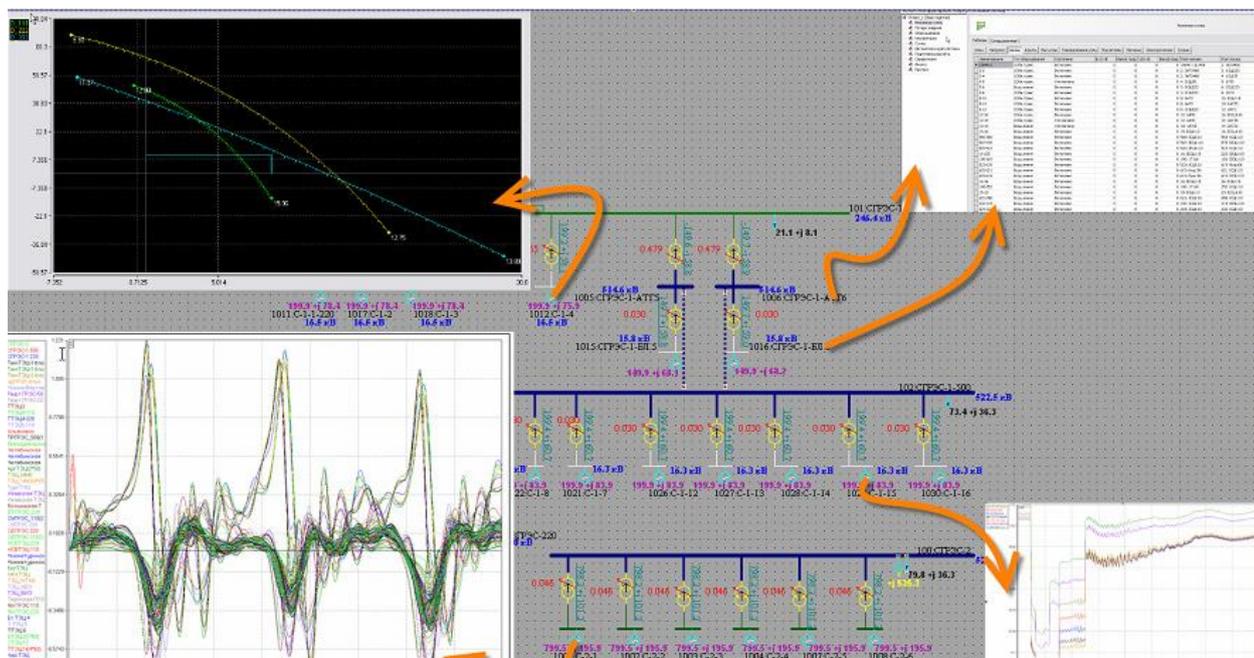


Рисунок 2.1 - Рабочее окно программы Дакар/

Пользователями комплекса ДАКАР являются множество подразделений ОАО «СО ЕЭС», ряд проектных институтов и энергетических компаний Российской Федерации и Украины [13].

### **2.3 RastrWin**

Производителем программного комплекса RastrWin является РОО «Фонд кафедры АЭС им. Д.А. Арзамасцева» г. Екатеринбург.

Программный комплекс RastrWin предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации установившихся режимов электрических сетей и систем.

RastrWin используется более чем в 150 организациях на территории России, Казахстана, Киргизии, Беларуси, Молдовы, 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.), а так же во всех филиалах ОАО «ДРСК».

Расчетные модули комплекса RastrWin [21]:

- Расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0,4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети).
- Расчет установившихся режимов с учетом отклонения частоты (без балансирующего узла).
- Контроль исходной информации на логическую и физическую непротиворечивость.
- Эквивалентирование (упрощение) электрических сетей.
- Оптимизация электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности.
- Расчет положений регуляторов трансформатора под нагрузкой (РПН) и положений вольтодобавочных трансформаторов(ВДТ).

- Расчет предельных по передаваемой мощности режимов энергосистемы, определение опасных сечений.
- Структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения.
- Проведение многовариантных расчетов по списку возможных аварийных ситуаций.
- Моделирование отключения ЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце.
- Моделирование генераторов и возможность задания его PQ-диаграммы.
- Моделирование линейных и шинных реакторов с возможностью их отключения и переноса линейного реактора в узел при отключении ЛЭП.
- Анализ допустимой токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры.
- Расчет сетевых коэффициентов, позволяющих оценить влияние изменения входных параметров на результаты расчета, и наоборот, проанализировать чувствительность результатов расчета к изменению входных параметров.
- Расчет агрегатной информации по различным территориальным и ведомственным подразделениям (потребление, генерация, внешние перетоки).
- Сравнение различных режимов по заданному списку параметров.

Пользовательский интерфейс программы разработан с учетом многолетнего опыта работы большого коллектива технологов-профессионалов, постоянно занимающихся расчетами и анализом электрических режимов. Ведется последовательная работа по вводу новых функций и автоматизации элементов управления программой.

*Основные характеристики элементов управления*

**Система отображения однолинейной графической схемы** позволяет «с нуля» создать схему, нанести нужные параметры и управлять расчетной

моделью, непосредственно выбирая те или иные элементы. Предусмотрена градиентная подсветка значений параметров (рисунок 2.2), многостраничная печать и экспорт графики в форматы DXF и WMF. Схема мгновенно отображает значения параметров после расчета.

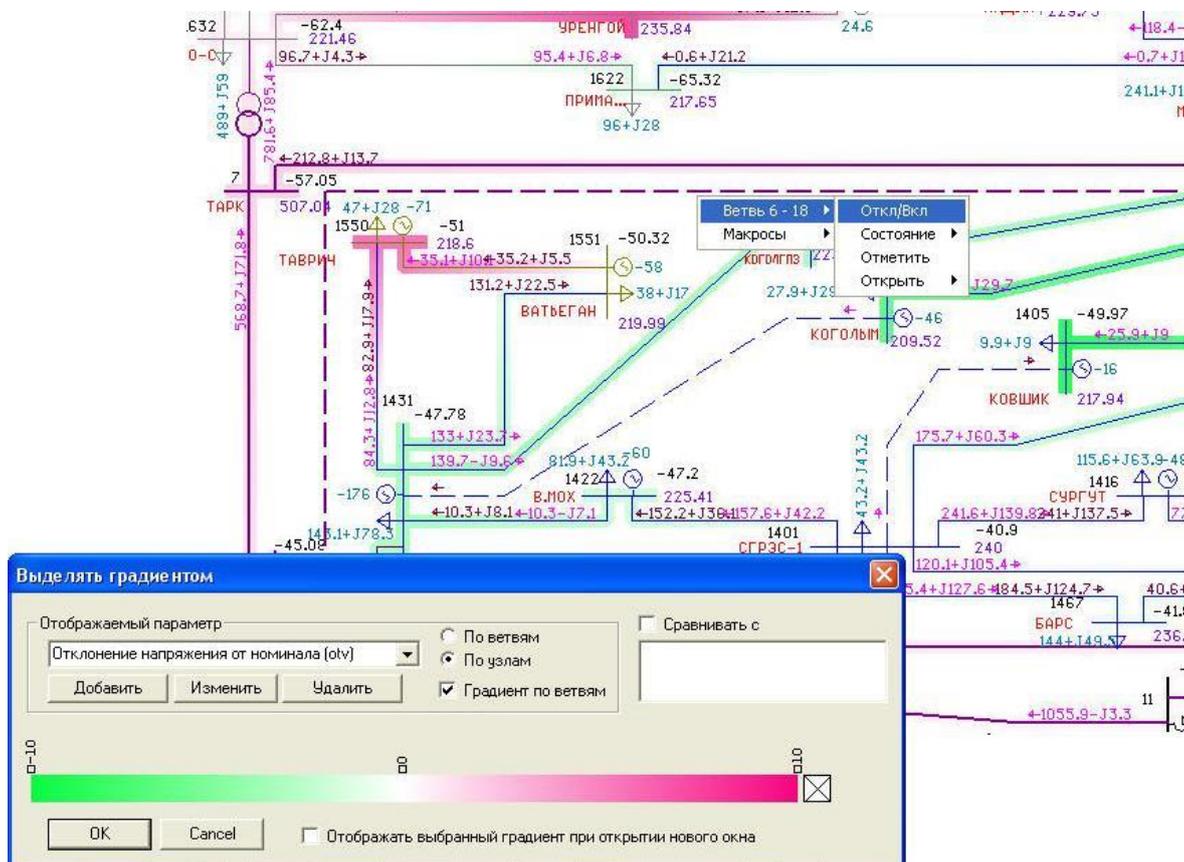


Рисунок 2.2 - Графическое представление результатов расчёта режима с градиентной подсветкой значений параметров.

Простой и удобный элемент управления «Селектор» представляет данные в виде древовидной структуры, обеспечивая быстрый поиск и фильтрацию данных. Структура дерева полностью настраивается путем перетаскивания («drag'n'drop») элементов.

**Табличный процессор** - основной элемент управления. Предусмотрены двухуровневые таблицы («Узлы-ветви», «Сечения-ветви»), контекстная градиентная подсветка значений и допустимых диапазонов, контекстные фильтры и макросы, поиск, а также множество других функций. Вид таблиц полностью настраивается.

**Система отображения графиков** позволяет представить любой переменный параметр, просто перетащив его в графическое окно. Предусмотрено одновременное отображение нескольких - графиков, запоминание типовых наборов графиков, сглаживание, печать, контекстное переключение источника данных графиков и многое другое.

Пример построения графиков показан на рисунке 2.3.

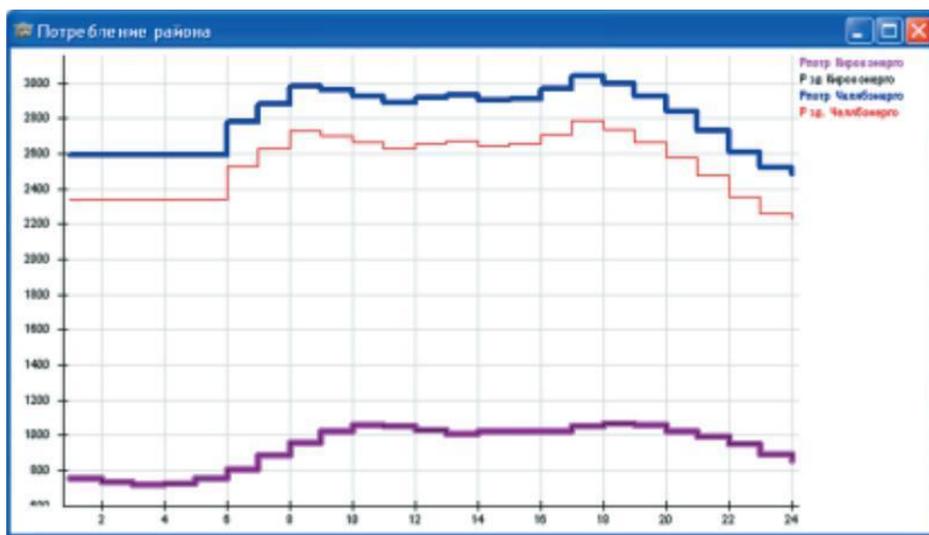


Рисунок 2.3 - Пример построения графиков в RastWin.

Программа может запомнить множество вариантов расположения и настроек всех окон интерфейса и быстро восстановить любой выбранный вариант по требованию пользователя. Это дает возможность организовать рабочее место наиболее удобным образом.

Для исключения случайных ошибок предусмотрена **система ведения истории**, которая позволяет отменить или повторить любые действия.

Поддерживается **вывод информации данных в Microsoft Excel** с помощью механизма «Данные реального времени». Подготовка шаблона в Excel осуществляется путем перетаскивания данных из любого элемента управления.

Внешний вид рабочего окна ПК RastWin 2.45 приведён на рисунке 2.4.

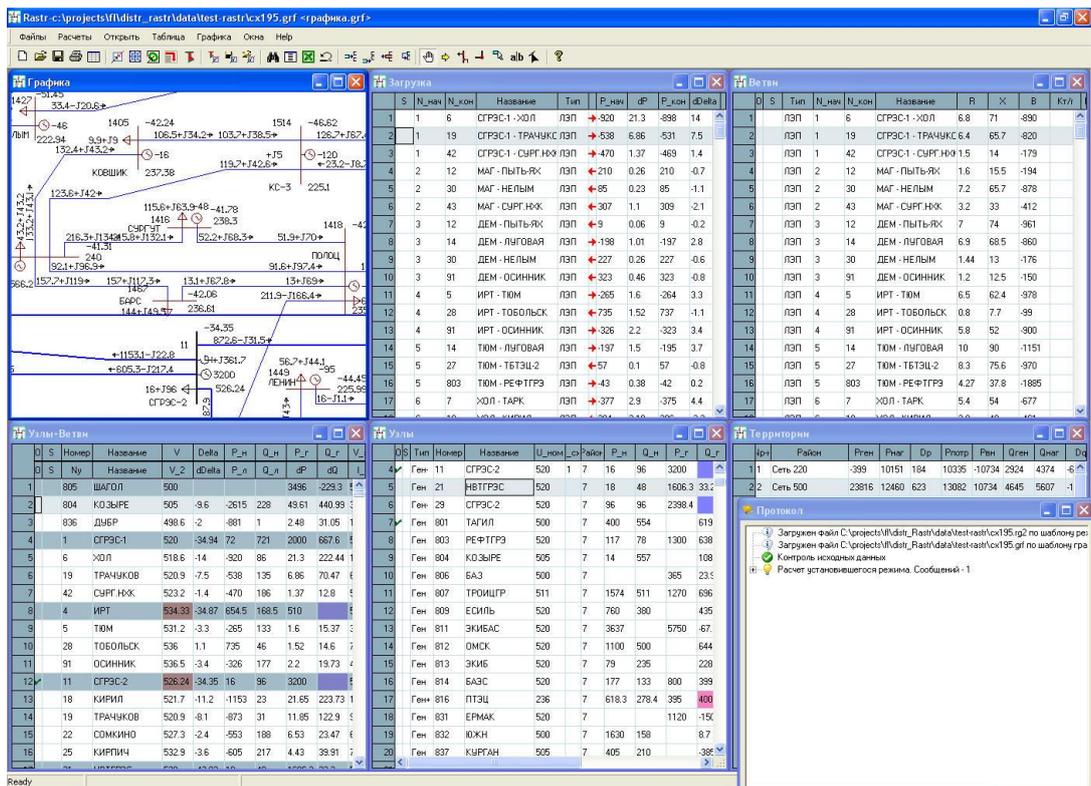


Рисунок 2.4 – Вид ПВК рабочего окна RastrWin версии 2.v.v

В 2013 году вышла новая оболочка программы RastrWin3.

В RastrWin3 дополнительно следующие расчетные модули [21]:

- учет изменения сопротивления автотрансформатора при изменении положений РПН
- моделирование отключения ЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце;
- моделирование зависимостей  $Q_{max}(V)$  генератора с учетом ограничений по токам ротора и статора;
- добавлена возможность самостоятельно менять интерфейс рабочего окна программы в зависимости от выполняемых задач;
- в меню программы предусмотрена привязка к каналам телеизмерений;
- разработана платформа для моделирования современных средств силовой электроники (СТК, УШР, СТАТКОМ, ВПТ);

- модуль по созданию коммутационных схем, на которых отображаются подробные однолинейные схемы подстанций с актуальными положениями коммутационных аппаратов;

- модуль по расчёту несимметричных режимов, выделенный в RastrKZ.

Рабочая область ПВК RastrWin3 приведён на рисунке 2.5 [21].

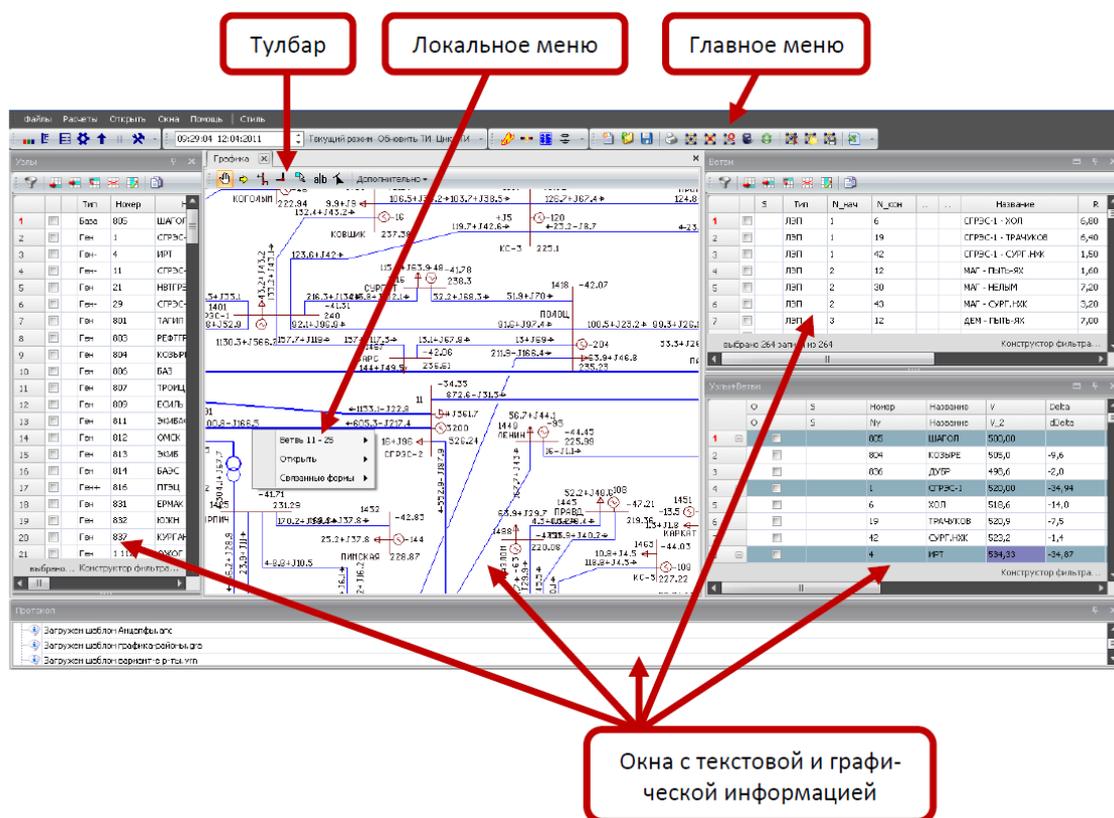


Рисунок 2.5 - Рабочая область ПВК RastrWin3.

Основным его недостатком считается отсутствие возможности динамического анализа электроэнергетической системы. Для его устранения авторами программы на базе RastrWin выпущена программа Rustab.

### *RastrKZ в составе RastrWin 3*

Сравнительно недавно появилась новая программа RastrKZ, которая в своем составе содержит программу расчета установившегося режима RastrWin и имеет дополнительно следующие функции:

- 1 Расчет металлических КЗ 1, 2, 3, 1.1, одно и многократных;
- 2 Учет взаимоиנדукции линий;

- 3 Учет мнимых коэффициентов трансформации;
- 4 Расчет влияния размыкания линий на ТКЗ и шунты;
- 5 Ускоренный расчет повреждений без рефакторизации матрицы проводимости;
- 6 Расчет шунта для моделирования КЗ в расчете установившегося режима и электромеханическом переходном процессе;
- 7 Расчет тока в грозотросе ЛЭП.

Панель управления функциями ТКЗ в RastrWin3 показана на рисунке 2.6.

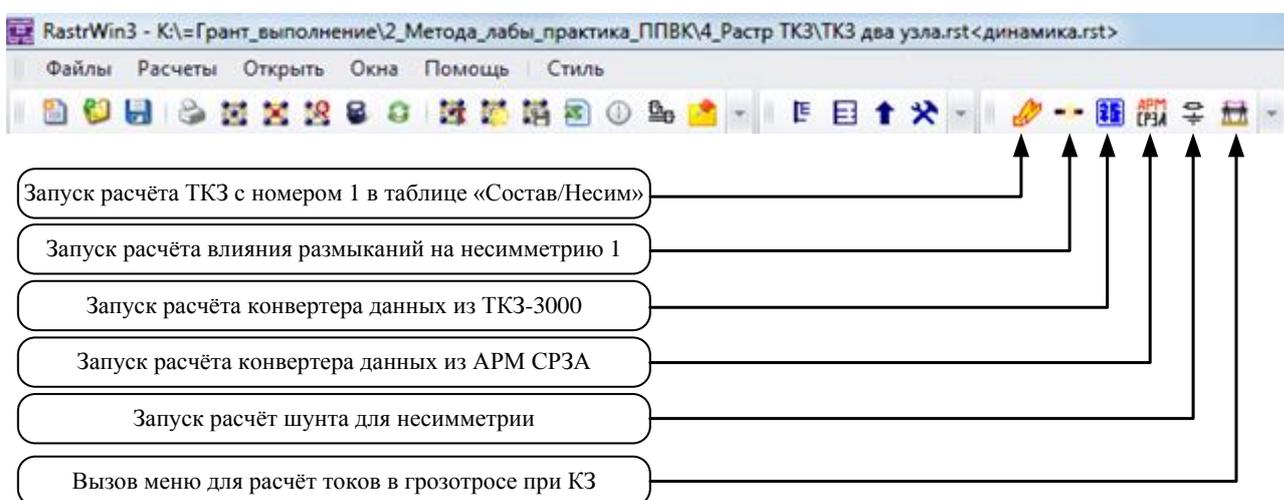


Рисунок 2.6 - Панель управления расчетом ТКЗ и шунтов в Rastr3.

К сервисным функциям RastrKZ относятся следующие [22]:

- Нанесение на графику результатов расчета с возможностью градиентной раскраски.
- Стыковка по схеме сети с RastrWin.
- Вывод информации в фазных и симметричных координатах по всем узлам и ветвям схемы.
- Наличие импорта из АРМ СРЗА данных и части графической информации.
- Наличие импорта из ТКЗ-3000.

- Генерация примерной схемы нулевой и обратной последовательности по данным прямой (создание расчётной схемы из файла расчета установившегося режима ПО RastrWin, ПО Rustab и т. д.).

- Возможность использования всех расчетных функций путём вызова соответствующих СОМ-интерфейсов.

- Создание примерной схемы для расчета КЗ из файла расчета режима.

- Создание схемы для расчета установившегося режима из схемы для расчета ТКЗ.

- Задание точек расчета КЗ на графической схеме.

Вид меню, в котором задаются параметры сети для расчета тока в грозотросе ЛЭП, показан на рисунке 2.7[23].

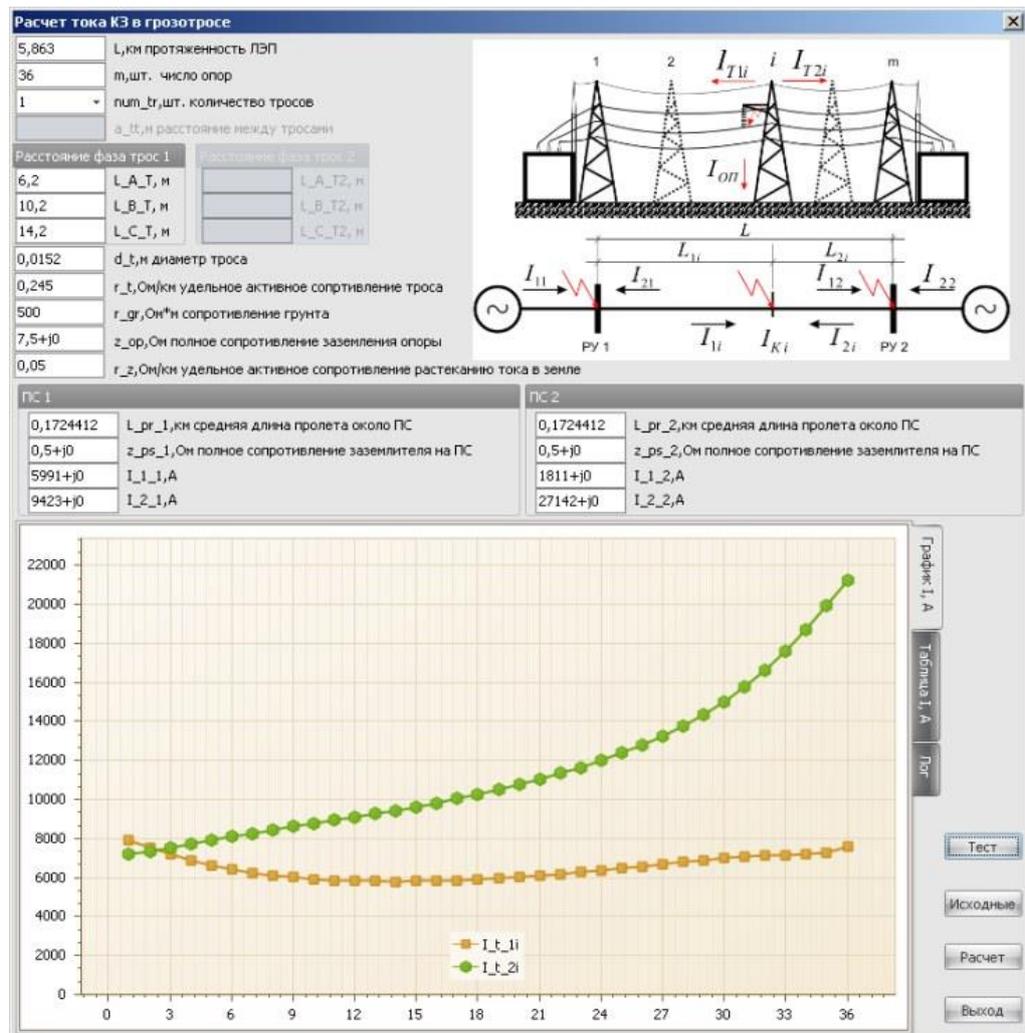


Рисунок 2.7 – Меню для расчета токов КЗ в грозотросе.

Разработчиками предложено три типа лицензии для работы с RastrWin:

- ознакомительная (не требует регистрации) - позволяет работать с тестовой схемой без сохранения результатов на диск;
- студенческая (требует бесплатной регистрации) - позволяет работать с любой схемой объемом до 60 узлов без ограничений;
- коммерческая - обеспечивает выполнение заказанных функций без ограничений.

Данная особенность позволяет самостоятельно изучать ПВК RastrWin и использовать полный набор его функций для небольших моделей, что очень удобно при обучении и выполнении дипломных и курсовых работ.

Модуль RastrKZ является новой программой, однако верификационные расчёты выполненные по классическим отечественным программам по расчёту токов КЗ (ПВК ТКЗ-300 и АРМ СРЗА.) показали его корректность и состоятельность.

## **2.4 ТКЗ-3000**

Комплекс программ ТКЗ-3000 разработан Новосибирским проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом «Энергосетьпроект». Он позволяет рассчитать электрические величины в трехфазной симметричной по параметрам сети любого класса напряжения при однократной продольной (обрыв) или поперечной несимметрии, а также уставки и чувствительность ступенчатых токовых направленных защит нулевой последовательности (СТЗНП) [17].

Комплекс позволяет получить токи, напряжения, отношения напряжений к токам (сопротивления) как в виде симметричных составляющих, так и полных фазных или междуфазных величин.

Комплекс ТКЗ-3000 предназначен в основном для вычисления электрических величин, необходимых для определения уставок и проверки чувствительности устройств релейной защиты и автоматики.

Модули эквивалентирования позволяют свернуть сеть к любому числу узлов, также сформировать новую сеть на основе полученного эквивалента.

Сетевые модули обеспечивают возможность перенумерации узлов сети, создания новой сети путем слияния двух сетей, выполнения сверки сетей.

Максимально допустимы размер расчётной схемы ограничивается 3000 узлов и 7500 ветвей.

Основным недостатком ТКЗ-3000 является его ориентировка на MS DOS.

## **2.5 АРМ СРЗА**

АРМ СРЗА – это современный программный продукт, который разрабатывается в графической среде ОС WINDOWS. Комплекс АРМ СРЗА стыкуется по электрической модели с комплексом программ ТКЗ-3000(DOS).

АРМ СРЗА позволяет создавать математическую модель электрической сети с неограниченным объемом узлов и связей, как в графическом виде, так и иметь ее представление в табличном виде, экспортировать графическое изображение сети в формат программ CorelDRAW, AutoCAD, производить экспорт/импорт электрической части модели сети(Ветви и её параметры) в формат программы EXEL [1].

Предназначен для выполнения расчетов электрических величин в сети неограниченного объема при повреждениях любой сложности с учетом групп ветвей взаимоиנדукции, активной составляющей сопротивлений, отличия величины сопротивлений прямой и обратной последовательностей и фактических групп соединения обмоток трансформаторов в трехфазной симметричной сети любого напряжения, получать выходные документы в формате WORD и EXEL.

Позволяет выполнить расчет уставок микропроцессорных защит, токовых ступенчатых защит от замыканий на землю, дистанционных защит типа ЭПЗ-1636, ДЗ-503, ПЗ-5, ПДЭ-2001, ШДЭ-2801,БРЭ-2801, токовых защит от междуфазных К.З., микропроцессорных дистанционных защит НПП «ЭКРА», SIEMENS; получать выходные документы в формате программы WORD, производить экспорт релейного фонда в формат программы EXEL.

АРМ СРЗА позволяет выполнять эквивалентирование сети, рассчитывать параметры производной схемы замещения (ШУНТОВ) для повреждений любой сложности с учетом параметров взаимоиндукции ветвей нулевой последовательности, осуществлять расчеты по определению места повреждения сети.

Общий вид рабочего окна программы приведён на рисунке 2.8.

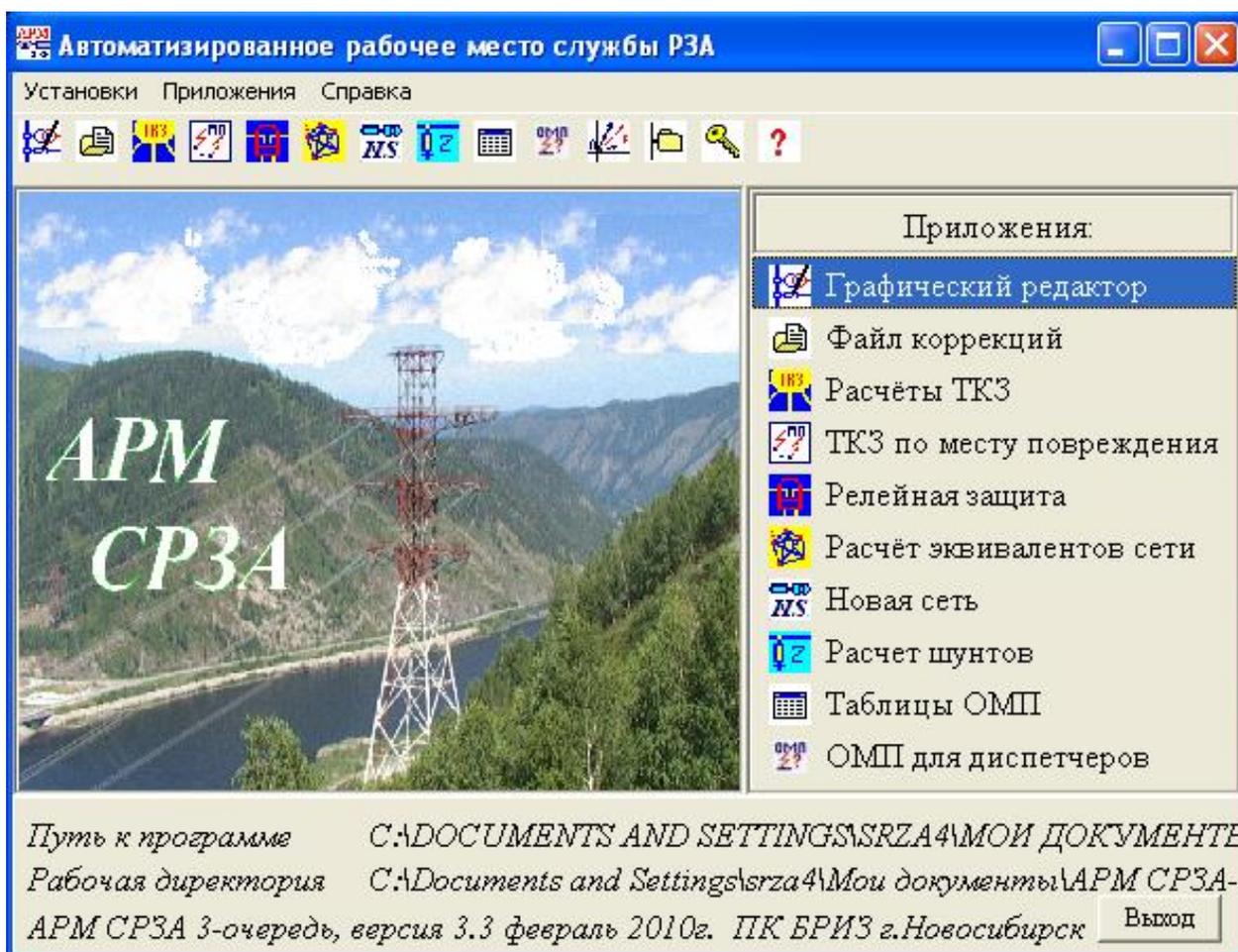


Рисунок 2.8– Окно программы АРМ СРЗА.

Работа в АРМ СРЗА начинается с задания исходных данных – формировании схемы замещения, в которой все элементы заменяются своими электрическими сопротивлениями. В ПВК разработано два способа формирования исходных данных.

После подготовки схемы замещения задаётся тип повреждения (или нескольких повреждений). Сложное повреждение может включать неограниченное число обрывов линий и коротких замыканий в узлах.



- ввод в допустимую область по напряжениям;
- расчет предельных перетоков методом утяжеления;
- расчет токов коротких замыканий (ТКЗ);
- расчет электромеханических переходных процессов;
- обработка контрольных замеров;
- оперативная корректировка исходных данных с возможностью “отката” на предыдущие шаги в случае получения неудачного результата, а также отображение и корректировка информации в графическом и табличном виде.

Задача расчета установившегося режима использует оригинальную модификацию полного метода Ньютона с точным выбором оптимального шага, что позволяет, в частности, выполнять расчеты особо тяжелых режимов. УР позволяет проводить оперативные расчеты установившихся режимов сложно-замкнутых электрических схем любой размерности.

Расчет может производиться [9]:

- с возможностью задания узлов электрической сети переменного тока в виде коммутационных схем;
- с возможностью полного или частичного (с одной стороны) отключения линий (ветвей);
- с возможностью разделения ЭЭС на части;
- проводить расчеты с несколькими балансирующими по активной мощности узлами;
- с групповыми изменениями нагрузки по районам или в зависимости от их мощности;
- при задании нагрузок, как мощностями, так и токами;
- при задании произвольных единиц измерения напряжений и мощностей (В, кВ, Вт, кВт, МВт);
- при задании трансформаторов коэффициентами трансформации, номерами отпаек, таблицами замеров коэффициентов трансформации.

Результаты расчета установившегося режима по узлам в табличном виде в АНАРЭС-2000 показаны на 2.10.

Имя	Тип	Q	Мощ	РМ	QП	РП	QГ	QМа	QМс	РЭгр	МЭгр	РЭгр	QЭгр	Потери	Состояние	Р/Б	Сч. Макс	
25 ПСГ7-8		15.50	-2.43	14.00	10.00	15.00	10.95	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	25
26 ПСГ7-9		15.50	-1.16	4.00	1.00	40.00	0.77	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	26
30 ПСГ118		120.26	-0.40	70.00	35.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	30
35 ПСГ17-1		6.30	-1.58	6.00	5.00	50.00	41.21	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	31
37 ПСГ17-2		15.50	0.68	8.00	4.00	20.00	18.43	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	32
33 ПСГ17-3		15.50	-2.77	6.00	3.00	50.00	20.82	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	33
34 ПСГ17-4		15.50	-7.13	4.00	3.00	150.00	25.21	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	34
36 ПСГ17-5		15.50	-0.17	5.00	4.00	7.00	16.06	500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	36
38 ПСГ17-6		18.00	-2.78	14.00	8.00	123.00	191.26	230.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	38
37 Аппарат		115.01	-2.17	30.00	21.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	37
38 ПС-40		114.63	-3.32	15.00	9.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	38
39 ПС-37		114.48	-3.02	24.00	22.00									0.00	-0.01	Вкл. режим	1	39
40 ПС-38		232.59	-2.40											0.00	0.00	Вкл. режим	1	40
41 ПС-29		116.76	-2.82	46.00	24.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	41
42 Тапан		119.37	-2.21	31.00	16.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	42
43 ПС-77		118.53	-0.26	24.00	17.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	43
44 ПС-32		226.62	-2.17											0.02	0.00	Вкл. режим	1	44
45 ПС-33		230.77	-1.81	40.00	14.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	45
46 ПС10110		116.00	-4.64	52.00	20.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	46
47 ПС14220		234.38	-2.20											0.00	0.00	Вкл. режим	1	47
49 ПС14		234.38	-2.20											0.00	0.00	Вкл. режим	1	49
50 Тапан		232.59	-2.40											0.00	0.00	Вкл. режим	1	50
51 Зарядка		232.00	-1.78											0.00	0.00	Вкл. режим	1	51
119 А1-5		232.75	-2.59											0.00	0.00	Вкл. режим	1	119
300 АПЭС300		512.86	0.85											0.20	0.11	Вкл. режим	1	300
307 АПР77-8																Отключен	1	307
303 АПЭСГ3		15.75	-7.46	14.00	7.00	200.00	29.72	-500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	303
304 АПЭСГ4		15.75	-7.64	13.00	7.00	180.00	40.32	-500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	304
305 АПЭСГ5		15.75	-12.87	14.00	7.00	200.00	81.81	-500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	305
306 АПЭСГ6		15.75	-8.98	14.00	7.00	200.00	2.93	-500.00	500.00					0.00	0.00	Вкл. режим	1	306
110 АПЭС20-1		232.74	-2.59											0.00	0.00	Вкл. режим	1	110
111 АПЭС20-2		236.10	-3.39											0.00	0.00	Вкл. режим	1	111
112 АПЭС115		118.00	-1.23	40.00	22.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	112
113 ПС-44		115.12	-1.39	30.00	10.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	113
114 ПС-45		114.98	-2.02	26.00	15.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	114
113 ПС-46		113.85	-2.99	12.00	2.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	113
115 ПС-47		113.76	-3.11	26.00	21.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	115
116 ПС-48		113.74	-3.38	5.00	3.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	116
117 ПС-49		113.75	-0.67	43.00	26.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	117
118 ПС-50		113.40	-4.00	5.00	1.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	118
119 ПС-60		113.23	-4.63	6.00	2.00									0.00	0.00	Вкл. режим	1	119

Рисунок 2.10 – Результаты расчета УР по узлам в табличном виде в АНАРЭС-2000.

Имеется мощные средства диагностики ошибок в исходных данных. Сообщения об ошибках, допущенные пользователем, передаются в редактор БД, где имеются средства быстрого поиска ошибочных полей исходных данных.

Важным технологическим достоинством является возможность быстрой (оперативной) корректировки, непосредственно из программы УР, основных исходных данных в процессе многовариантных расчетов без использования редактора БД и повторного формирования временных файлов данных. Это позволяет значительно снизить время отладки режима инженером службы режимов.

Возможны несколько вариантов расчета режима после корректировки:  
 – с полным вводом данных (плоский старт);

- от текущего режима (дорасчет);
- продолжение расчета после остановки на промежуточном этапе.

Дорасчет режима выполняется от последнего рассчитанного режима напряжений, что позволяет в ряде случаев найти решение в тяжелых режимах.

ПВК АНАРЭС-2000 кроме блока расчета установившегося режима имеет следующие программные блоки [8, 9]:

- блок оптимизации режима электрической сети;
- блок утяжеления режимов;
- блок расчета токов короткого замыкания;
- блок моделирования электромеханических переходных процессов;
- блок анализа режимной надежности;
- блок эквивалентирования режима электрической сети;
- блок оценивания состояния;
- блок обработки контрольного замера;
- база данных расчетных моделей;
- блок начальной подготовки РМ;
- универсальный редактор расчетных схем;
- система отображения;
- редактор и БД устройств противоаварийной автоматики и релейной

защиты

Алгоритмы расчетных задач базируются на проверенных алгоритмах АНАРЭС-DOS. К 2008 году ПВК АНАРЭС-2000 дополнен новыми технологическими задачами, улучшены алгоритмы расчетных задач, расширены сервисные возможности.

ПВК АНАРЭС-2000 отличается реальной многозадачностью и многооконностью приложений, взаимным управлением приложений комплекса с помощью современных компьютерных технологий.

Комплекс выполнен на единой информационной и сервисной основе, для всех решаемых в его рамках задач, сопровождается подробной

документацией и демонстрационными примерами, позволяющими быстро изучить работу с комплексом.

Все программы ПВК имеют встроенную Windows-интерактивную систему помощи (Help).

Комплекс имеет модульную архитектуру, что позволяет легко конфигурировать его под требования заказчика.

Все модули работают со специализированной базой данных ПВК АНАРЭС-2000.

Операции с данными и результатами: корректировка, просмотр, анализ и т.п. могут производиться как с мнемосхемы ЭЭС, так и из таблиц.

В развитие комплекса АНАРЭС-2000 является АНАРЭС-2010. В данной версии программы выполнены: доработка блока анализа режимной надёжности, с возможностью оценки вероятности возникновения и развития каскадных аварий; доработка блока расчёта электромеханических переходных процессов, включая программируемую логику противоаварийной автоматики; доработка функций, которые позволяют более эффективно использовать АНАРЭС-2010 для решения задач проектирования электрических систем; значительная доработка SCADA АНАРЭС, позволяющая решать задачи обработки телеметрической информации на уровне подстанций и подготовки её для дальнейшего использования в ПВК АНАРЭС-2010; создание нового блока моделирования сложносоставной нагрузки и создание базы данных нагрузки; доработка уже существующих функций, с целью повышения их эффективности и большей адекватности математических моделей и алгоритмов, которые используются в прикладных задачах ПВК АНАРЭС-2010. Был создан новый блок оценивания состояния.

Важнейшим элементом ПВК-2010 являются новые возможности решения задач расчёта уставок релейной защиты; определение места повреждения при КЗ. Для этого был значительно доработан также блок расчёта ТКЗ.

В данной версии ПВК АНАРЭС-2010 проведена доработка алгоритма расчёта установившегося режима, которая позволила ещё больше повысить надёжность получения решений для особо тяжёлых режимов в схемах сверхбольшой размерности и плохой обусловленности (городские, сельские сети) в т.ч. и до 0,4 кВ.

Большой накопленный опыт промышленной эксплуатации в указанный период, тесный контакт с пользователями – позволили значительно улучшить сервисные функции ПВК АНАРЭС-2010, устранить выявленные ошибки, учесть многочисленные пожелания пользователей, как по интерфейсу, так и по решаемым задачам, с учётом специфики (диспетчерское управление, проектирование, обучение и др.), что сделало ПВК АНАРЭС-2010 более удобным, понятным и технологически стройным [10].

## **2.7 КАСКАД-РЕТРЕН**

Комплекс КАСКАД – РЕТРЕН разработан группой во главе с д.т.н. Рабиновичем М.А., работающей во ВНИИЭ.

Комплекс КАСКАД – РЕТРЕН решает ряд часто встречающихся задач контроля, анализа и мониторинга режима ЭЭС и энергообъединений. Это задачи расчета установившихся и переходных режимов, отображения и анализа режимов при выводе в ремонт оборудования, тренажера-советчика диспетчера ЭЭС и ряд других. Комплекс РЕТРЕН предназначен для широкого круга специалистов оперативно-диспетчерского управления СО-ЦДУ, ФСК и их подразделений.

Режимная часть комплекса (РЕТРЕН) включает в себя интерактивную динамическую модель ЭЭС реального времени (РВ) с учетом электромеханических и длительных переходных процессов, на базе которой функционируют системы контроля, анализа текущего и архивного режима энергообъединения, управления параметрами модели и топологией расчетной схемы, регулирования и противоаварийной автоматики (ПА), моделирования нормальных, утяжеленных и аварийных режимов. Модель длительной динамики комплекса учитывает действие гидротурбин,

котельной автоматики ТЭС и вторичных регуляторов частоты и мощности (АРЧМ).

Комплекс КАСКАД – РЕТРЕН функционально предназначен для расчета и анализа установившихся и переходных режимов, использования в качестве режимного тренажера (РТ), тренажера оперативных переключений (ТОП) и советчика диспетчера по ведению режима. В целом, комплекс выполняет функции информационной поддержки оперативного персонала по мониторингу и ведению режима ЭЭС и энергообъединений.

При выполнении оперативных переключений в сети, советчик диспетчера РЕТРЕН проверяет правильность выполнения коммутаций и в случае возникновения ошибок дает необходимые подсказки и рекомендации (рисунок 2.11).

Система мониторинга режима выполняет контроль перетоков мощности по выбранным сечениям, напряжений в заданных узлах расчетной схемы, наличие изолированных и погашенных районов, статическую, динамическую и колебательную устойчивость.

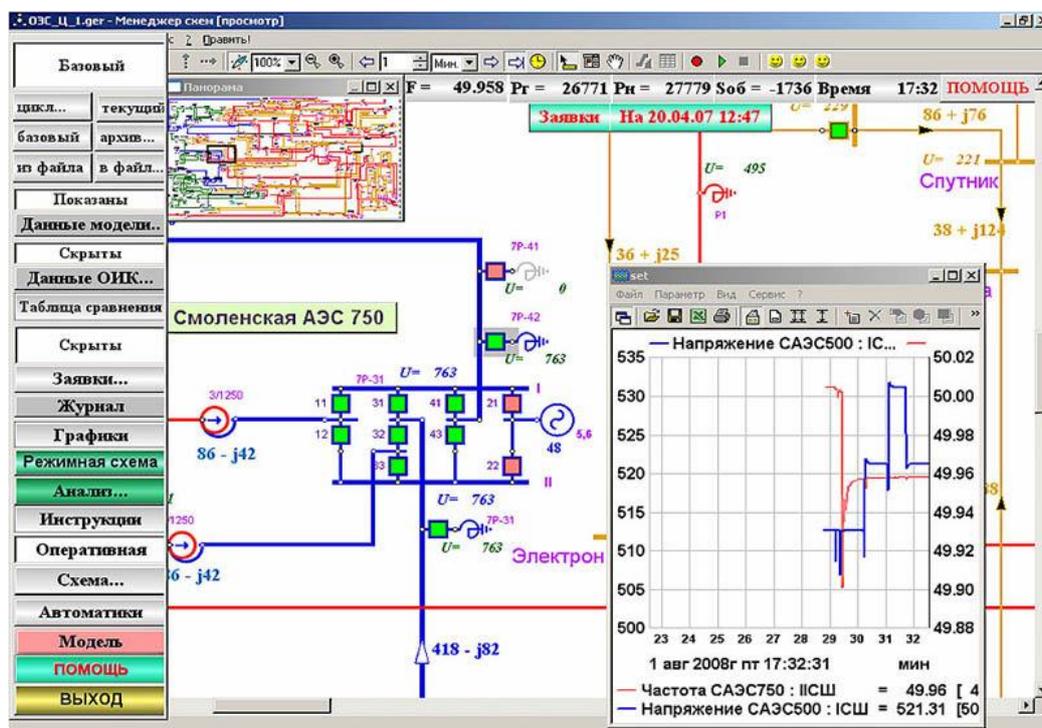


Рисунок 2.11 – Фрагмент оперативной схемы с элементами управления (ВЛ, выключатели, реакторы и т.д. ).

Комплекс КАСКАД- РЕТРЕН позволяет реализовать следующие режимы [11]:

- расчет УР и переходных процессов в модели ЭЭС;
- расчет потерь в сетях всех уровней напряжений;
- слежение и анализ текущего и архивного режима ЭЭС;
- выполнение коммутаций в моделях верхнего и нижнего уровня в режиме РВ;
- функционирование комплекса как режимного тренажера диспетчера ЭЭС;
- функционирование комплекса как тренажера оперативных переключений (ТОП);
- выполнение функций автоматизированной обучающей системы;
- функции советчика диспетчера ЭЭС по надежности ведения режима;
- функции имитатора ЭЭС при настройке ОИК на объект.

Технологические достоинства комплекса РЕТРЕН:

- Использование текущей и архивной информации;
- Информационное взаимодействие с ОС КОСМОС;
- Учет изменений частоты в каждом узле сети;
- Расчет статических и динамических режимов с учетом электромеханических и длительных ПП;
- Возможность моделирования динамических режимов ЭЭС в реальном масштабе времени (РВ);
- Возможность сравнения с расчетами режима других программ (в формате ЦДУ), например РАСТР.

Объем моделируемой схемы энергообъединения практически неограничен и позволяет моделировать всю ЕЭС. Топологический анализ сети выполняется как по схемам подстанций, так и по всей оперативной схеме в целом (типа диспетчерского щита).

Отображение информации выполняется на индивидуальных и коллективных средствах (дисплеях и видеостенах) в виде схем, карт, таблиц,

графиков и т.д. Пользователь может самостоятельно формировать систему отображения (средствами комплекса КАСКАД) [11].

## **2.8 КОСМОС**

Комплекс КОСМОС разработан Институтом электродинамики НАН города Киев под руководством Прихно Виталия Леонидовича.

Программа КОСМОС предназначена для оперативных расчетов режимов энергосистем на основе телеметрической информации. Комплекс применяется в качестве инструмента для настройки систем противоаварийного и режимного управления.

Программа КОСМОС включает в себя ряд расчётных задач [7]:

- расчёт установившегося режима;
- оптимизация по реактивной мощности и коэффициентам трансформации с целью снижения потерь;
- оценивание состояния по данным телеметрии;
- формирование расчетной схемы;
- утяжеление режимов.

Программа снабжена общей специализированной базой данных и единой сервисной средой, включающей средства для работы со схемами энергосистем и энергообъектов.

К положительным сторонам программы можно отнести довольно мощную составляющую оценивание состояния, достаточно широкие возможности привязки расчётных программ к оперативно-информационному комплексу (ОИК) и другим комплексам через механизм форматов ЦДУ, а также наличие средства анализа для выявления «недостоверных» измерений. В итоге от программы КОСМОС мы получаем два полезных выхода: полный набор данных для расчета установившегося режима и список телеметрии, которую необходимо проверить.

К недостаткам можно отнести использование устаревших технологий пользовательского интерфейса, которые хотя и реализованы в графическом

виде под Windows, но фактически имитируют Windows-интерфейс, имея много ограничений.

## **2.9 ПВК РТП-3**

Программный комплекс РТП 3 предназначен для расчета технических потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38-220 кВ и для расчета допустимых и фактических небалансов электроэнергии в сети 0,38-6 (10) кВ. РТП 3 состоит из программ РТП 3.1, РТП 3.2, РТП 3.3 [5,6].

РТП 3.1 выполняет:

- расчет установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий и трансформаторов в разомкнутых электрических сетях 6(10), 35, 110, 220 кВ;

- расчет потерь мощности и электроэнергии в разомкнутых электрических сетях 6(10), 35, 110, 220 кВ;

- расчет токов короткого замыкания в разомкнутых электрических сетях 6(10), 35, 110, 220 кВ;

- учет потерь электроэнергии в изоляции кабельных линий;

- учет потерь электроэнергии на корону в сетях 110-220 кВ;

- расчет потерь электроэнергии в приборах учета (ТТ, ТН, счетчики);

- расчет потерь электроэнергии в дополнительном оборудовании: в вентильных разрядниках, шунтирующих реакторах, синхронных компенсаторах, в ограничителях перенапряжения, в устройствах присоединения ВЧ-связи, в соединительных проводах и шинах подстанций, от токов утечки по изоляторам воздушных линий;

- формирование сводной таблицы норматива потерь электроэнергии по ступеням напряжения с разбивкой на структурные составляющие.

РТП 3.2 отвечает за:

- расчет установившегося режима с определением токов и потоков мощности в ветвях, уровней напряжения в узлах, коэффициентов загрузки линий в разомкнутых электрических сетях 0,38 кВ;

– расчет потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ;

РТП 3.3 занимается:

– ведением баз данных по потреблению электроэнергии абонентами с привязкой их точек учета к схеме сети;

– расчетом допустимого, фактического небалансов и количества неучтенной электроэнергии в разомкнутых электрических сетях.

Интерфейс программы удобен и прост, что позволяет сократить затраты труда на подготовку и расчет электрической сети.

Ввод схемы 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.

С помощью программы за один рабочий день один оператор может ввести информацию для расчета технических потерь по 30 распределительным линиям 6 (10) кВ средней сложности.

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.

Исходными данными для расчета являются замер тока на головном участке фидера и напряжения на шинах 6-10 кВ в режимные дни, а также нагрузка на всех или части трансформаторных подстанций.

В качестве дополнительной информации для расчетов предусмотрена возможность задания нагрузки на трансформаторных подстанциях в виде: тока на шинах ВН, тока на шинах НН, мощности, коэффициента загрузки, отпуска электроэнергии.

Внешний вид рабочего окна ПВК РТП -3 приведён на рисунке 2.12.

Одновременно с расчетом потерь мощности ведется расчет потерь электроэнергии. Результаты расчета по каждому фидеру сохраняются в

сводных таблицах, в которых они суммируются по центрам питания, районам электрических сетей и всем электрическим сетям в целом, что позволяет проводить подробный анализ результатов.

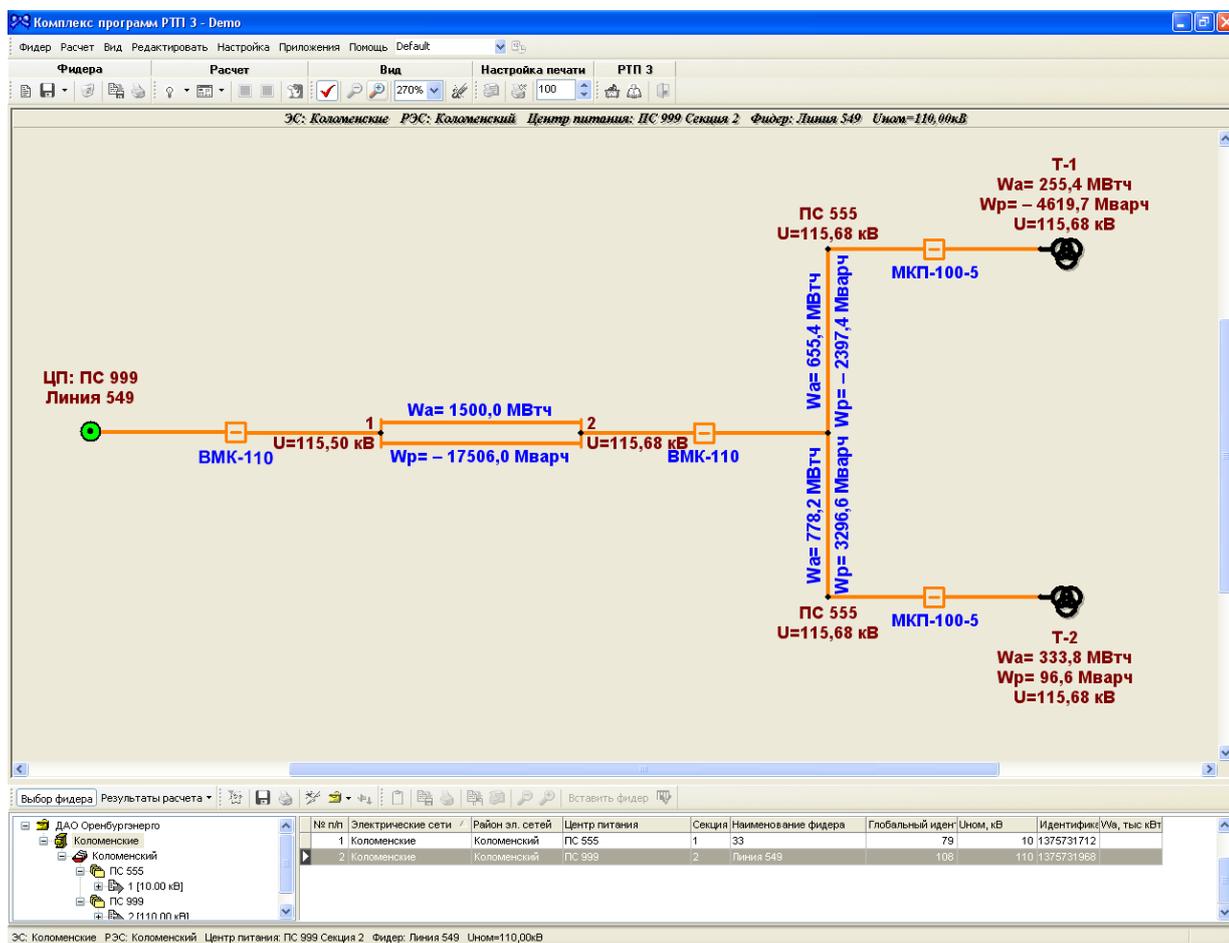


Рисунок 2.12 – Внешний вид окна ПВК РТП -3

Для наглядности некоторые результаты выводятся на расчетную схему фидера (токи в ветвях, уровни напряжения в узлах, токовая нагрузка на трансформаторах, потоки энергии, токи короткого замыкания). Предусмотрено цветное отображение загруженных элементов.

Детальные результаты расчета потерь мощности и потерь электроэнергии состоят из двух таблиц с подробной информацией о параметрах режима и результатах расчета по ветвям и узлам фидера.

Все результаты расчета можно сохранять в текстовом формате или формате Excel.

Для облегчения расчета всей совокупности фидеров, хранящихся в базе, существует файл замеров, в который заносятся замеры токов, уровней

напряжения, отпусков электроэнергии. С помощью этих данных можно сразу рассчитать все фидера или выборочно, предварительно не открывая для просмотра рассчитываемую схему.

В программе предусмотрен гибкий режим редактирования, который позволяет вводить любые необходимые изменения исходных данных, схем электрических сетей.

Максимально удобен режим печати. Пользователь всегда может распечатать схему фидера, предварительно просмотрев, как и на каком количестве листов размещается схема (при необходимости изменяется масштаб для вывода изображения на печать).

РТП 3.1 позволяет работать с несколькими базами данных, для этого необходимо только указать к ним путь.

Программа выполняет различные проверки исходных данных и результатов расчета.

Предусмотрена оценка режимных последствий оперативных переключений в сети с проверкой допустимости режимов по потере напряжения, потерям мощности, току нагрузки, токам защиты, а именно существует возможность переключений отдельных участков распределительных линий с одного центра питания на другой.

Кроме расчета установившегося режима программа считает токи трехфазного и двухфазного коротких замыканий в любом узле фидера (в том числе за трансформатором).

Определение потерь электроэнергии в приборах учета выполняется для всех ступеней напряжения.

В программе РТП 3.2, предназначенной для расчета установившихся режимов, потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38 кВ, реализовано несколько методик расчета с использованием схем электрической сети и без схем. Без ввода схем можно выполнять расчеты по наиболее распространенной в практике эксплуатации методике расчета по потере

напряжения от ТП до наиболее электрически удаленной точки сети, а также по оценочной методике, с использованием обобщенных параметров.

Расчет режимных параметров и потерь мощности и электроэнергии в сети 0,38 кВ можно выполнять по исходным данным, заданным непосредственно для линии 0,38 кВ или по данным ТП (введенным пользователем или рассчитанным программой). Все расчеты выполняются с учетом несимметричной загрузки фаз, исполнения участков и привязки абонентов к сети. Результатами расчета являются: относительные и абсолютные потери мощности и электроэнергии по каждому участку линии, уровни напряжения в узлах, относительные потери напряжения (в процентах от номинального и в процентах от заданного в центре питания), коэффициент дополнительных потерь от несимметричной загрузки фаз, максимальное значение потерь напряжения; для выполнения оценочных расчетов определяются длины магистралей, трех-, двух- и однофазных ответвлений. Результаты расчета и исходные данные по всей базе электрических сетей 0,38 кВ можно сохранять в зависимости от метода расчета в соответствующих таблицах для создания базы результатов расчета по всем фидерам. В сводной таблице суммируются результаты по ТП 6 (10)/0,4 кВ, фидерам 6 (10) кВ, центрам питания, районам электрических сетей, по всем электрическим сетям.

Предусмотрен совместный расчет потерь электроэнергии в сети 6 (10) кВ с использованием в качестве нагрузок данных по сети 0,38 кВ [5].

Окно ПВК РПТ-3 с результатами расчёта потерь электроэнергии за период показано на рисунке 2.13.

В комплексе программ РТП 3.3 расчеты допустимых, фактических небалансов и количества неучтенной электроэнергии выполняются по нескольким уровням: 1) расчет небалансов для сети среднего и высокого напряжения по счетчикам, установленным на трансформаторах; 2) расчет небалансов для сети среднего напряжения по фактическому полезному отпуску предварительно привязанных к сети абонентов; 3) расчет небалансов

для сети низкого напряжения по фактическому полезному отпуску предварительно привязанных к сети абонентов.

Результаты расчета Ноябрь 2004 г.

Потери мощности | Потери электроэнергии | Балансы электроэнергии

A	B	C	D	E
Электрические сети			Волоколамские	
Район электрических сетей			Лотошский	
Центр питания			Лотошно Секция 1	
Наименование фидера			№ 9	
Трансформаторная подстанция			п.Моисеино-село/ЗТП 2103	
Установленная мощность ТП, кВт·А			ТМ-250	
Наименование линии			Ф5 руб.7	
Номинальное напряжение линии, кВ			0,380	
Параметры фидера			Фаза А	Фаза В
Напряжение в центре питания, В			230	230
Измеренный ток з.у., А			10,000	15,000
Максимальный ток з.у., А				
Максимальный ток з.у., А				
Коэффициент мощности нагрузки головного участка, о.е.			0,900	0,900
№ п/п	Параметр	Ед. изм.	на балансе	не на балансе
1	Количество абонентов	штук	15	0
2	Количество узлов в линии	штук		
3	Количество участков в линии	штук	32	0
4	Суммарная длина участков линии	м	1040	0
	Отпуск активной электроэнергии в сеть, тыс. кВт·ч			50,000
	Отпуск реактивной электроэнергии в сеть, тыс. квар·ч			24,216
	Расчетный период, часов			720
	Коэффициент формы графика, о.е.			1,067
	Коэффициент связи отн. потерь мощности и отн. потерь напряжения, о.е.			0,902
	Коэффициент разветвления, о.е.			0,763
	Коэффициент дополнительных потерь, о.е.			1,317
	Максимальные относительные потери напряжения, %			16,10
	Фактический полезный отпуск электроэнергии, тыс. кВт·ч			3,914
	Фактические потери электроэнергии, тыс. кВт·ч			46,086
	Фактические потери электроэнергии, % от отпуска в сеть			92,17
	Технологические потери электроэнергии, тыс. кВт·ч			10,531
	Технологические потери электроэнергии, % от отпуска в сеть			21,06
	Технологические потери электроэнергии, % от от факт. потерь			22,85
	Расчетный полезный отпуск электроэнергии, тыс. кВт·ч			39,469
	Фактический небаланс электроэнергии, тыс. кВт·ч			35,555
	Фактический небаланс электроэнергии, % от отпуска в сеть			71,11
	Допустимый небаланс электроэнергии, тыс. кВт·ч			1,273
	Допустимый небаланс электроэнергии, % от отпуска в сеть			2,55
	Допустимый небаланс электроэнергии, % от от факт. потерь			2,76
	Количество неучтенной электроэнергии, тыс. кВт·ч			34,281
	Количество неучтенной электроэнергии, % от отпуска в сеть			68,56
	Количество неучтенной электроэнергии, % от от факт. потерь			74,39

Детально Выход

Рисунок 2.13– Окно ПВК РПТ-3 с результатами расчёта потерь электроэнергии за период.

Для расчета допустимых небалансов электроэнергии обязательным является ввод в свойствах элементов (абонентов, трансформаторов, центров питания) информации по классам точности измерительных приборов. Определение токовой и угловой погрешностей трансформатора тока выполняется с учетом рабочего тока измерительного трансформатора в процентах от номинального значения (указывается либо непосредственно пользователем в свойствах, либо определяется расчетным путем комплексом программ РТП 3).

Расчет баланса выполняется по заданному активному отпуску электроэнергии на головном участке линии за рассчитываемый период, среднему напряжению за этот период на шинах питающей подстанции и коэффициенту мощности.

При расчете происходит формирование нагрузки в узлах – сумма потребленной электроэнергии по всем привязанным к этому узлу точкам учета или, например, на распределительных трансформаторных подстанциях 6 (10) кВ, если расчет выполняется для сети 6(10) кВ. Допустимый небаланс электроэнергии определяется по погрешностям измерительных комплексов точек учета в соответствии с заданными классами точками и по количеству электроэнергии, зафиксированной счетчиком, с учетом электроэнергии, поступившей на фидер.

Результатами расчета баланса электроэнергии являются: фактический и рассчитанный полезный отпуск; технические потери электроэнергии в линиях и трансформаторах (если расчет выполнялся для сети 6(10) кВ или выше); фактический небаланс электроэнергии в абсолютных и относительных единицах; допустимый небаланс электроэнергии в абсолютных и относительных единицах, количество неучтенной электроэнергии. Относительные единицы структурных составляющих определяются в процентах от отпуска в сеть и от фактических потерь электроэнергии. После расчетов формируются сводные результаты по центрам питания, районам, предприятиям и сетевым компаниям.

Для просмотра итогового значения норматива потерь электроэнергии по ступеням напряжения (ВН, СН1, СН2, НН) и структурным составляющим разработана сводная таблица, в которой представлены результаты расчета:

- нагрузочных потерь в трансформаторах, воздушных и кабельных линиях;
- потерь на корону в воздушных линиях 110-220 кВ;
- потерь холостого хода в трансформаторах;
- потерь в изоляции кабельных линий 6(10)-220 кВ;
- потерь электроэнергии в дополнительном оборудовании: в приборах учета (ТТ, ТН, счетчики), в ограничителях перенапряжения; в устройствах присоединения ВЧ-связи; в соединительных проводах и шинах подстанций; от токов утечки по изоляторам воздушных линий;

- фактического расхода на собственные нужды подстанций.

Важно отметить, что данный ПВК используется в сетевых компаниях. В частности, во всех филиалах ОАО «ДРСК» ПВК РТП-3 используется при ежемесячном расчёте потерь активной энергии в разомкнутых сетях от 0,38 кВ до 110 кВ включительно. В филиале ОАО «ДРСК» Приморские электрические сети в данном ПВК проводится расчёт эффективности работы компенсирующих устройств.

## **2.10 Energy CS**

Производитель программы - CSoft Development, г. Москва.

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 [18]:

- расчет и анализ установившихся режимов как разомкнутых распределительных сетей, так и сложнзамкнутых системообразующих сетей (EnergyCS Режим);

- расчет токов короткого замыкания и токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью (EnergyCS ТКЗ);

- расчет и анализ потерь электроэнергии в разомкнутых распределительных и в сложнзамкнутых системообразующих сетях (EnergyCS Потери).

Программа EnergyCS Режим выполняет следующие расчеты:

- расчет установившихся режимов сложных электроэнергетических систем — определение потоков мощности, токов, уровней напряжения, потерь мощности в элементах сети;

- анализ балансов мощности и потерь мощности по районам/подрайонам;

- анализ распределений уровней напряжений по районам/подрайонам;

- расчеты для оценки качества напряжения на основе введенных графиков электропотребления;
- анализ статической устойчивости на основе метода последовательных утяжелений.

Вид рабочего окна ПВК EnergyCS Режим показан на рисунке 2.14.

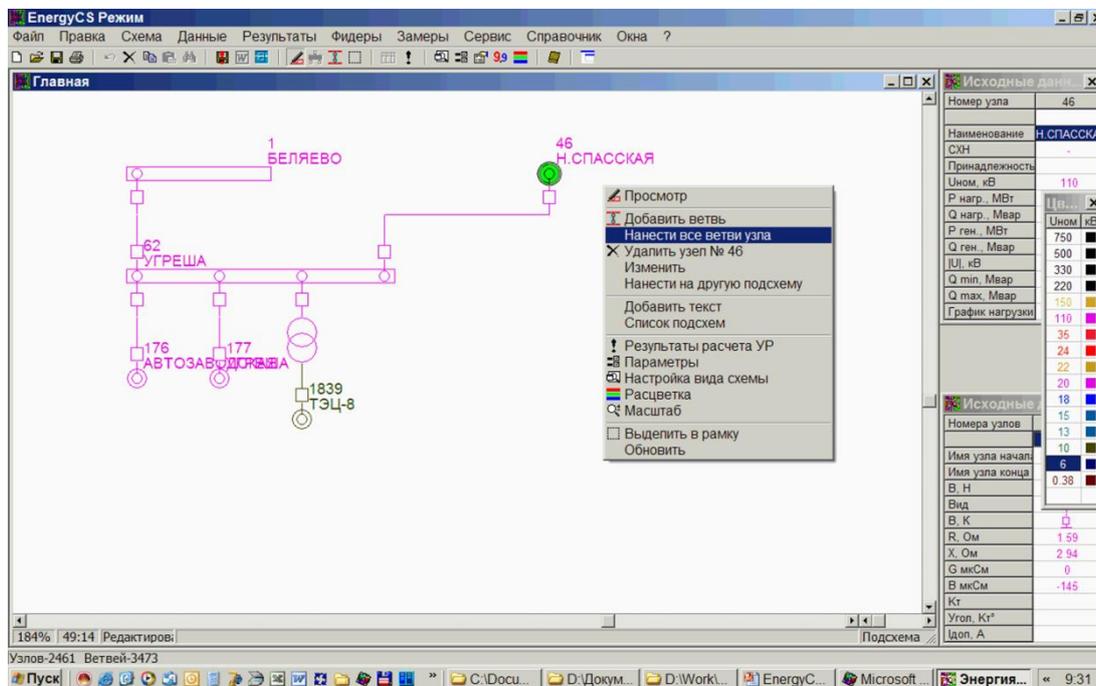


Рисунок 2.14 – Вид программы EnergyCS Режим.

Программа EnergyCS ТКЗ выполняет следующие расчеты [18]:

- расчет начальных значений токов при трехфазных, двухфазных на землю, двухфазных без земли и однофазных коротких замыканиях (КЗ) с учетом установившегося режима, предшествующего КЗ или без его учета;
- расчет ударных токов при трехфазных КЗ для проверки оборудования по электродинамической стойкости;
- выделение периодической и аperiodической составляющих тока КЗ и оценка доли аperiodической составляющей в момент отключения;
- оценка интеграла Джоуля для определения температуры жил кабеля на момент отключения КЗ с учетом затухания периодической составляющей тока подпитки от генераторов и двигателей;
- оценка токов однофазного замыкания на землю для кабелей и воздушных линий в сетях с изолированной нейтралью.

Программа EnergyCS Потери выполняет следующие расчеты [18]:

- технические потери энергии в сложнзамкнутой и разомкнутых частях схемы по разным методам, но в едином цикле с последующим общим анализом;
- оценка потерь от погрешностей измерительной аппаратуры;
- оценка постоянных потерь от постоянно включенного оборудования, батарей конденсаторов, синхронных компенсаторов, шунтирующих реакторов и т.п.;
- оценка потерь энергии по укрупненным показателям в подключенной низковольтной сети;
- балансы энергии по районам/подрайонам сети;
- структура технических потерь энергии;
- структура технологических потерь энергии;
- норматив потерь энергии.

Программный комплекс позволяет разбить сложную схему на подсхемы, связанные по иерархии, и рассматривать ее по частям с возможностью обобщения итоговых результатов. Максимальная размерность расчетной схемы без разбивки на подсхемы, проверенная и эксплуатируемая в одной из энергосистем, составляет 16 500 узлов и 17 000 ветвей. Число подсхем и число уровней не ограничено.

В процессе работы производится:

- постоянная поддержка связи между объектами, соответствующими узлами и ветвями расчетной схемы в процессе ее ввода;
- добавление новых объектов, а также задание им необходимых свойств (в соответствующих таблицах);
- хранение информации в базе данных расчета и вывод ее в различные окна — как в табличном, так и в графическом виде;
- отображение оперативного состояния схемы, а также ее схемных и режимных параметров с раскраской
  - по номинальным напряжениям,

- по принадлежности районам,
- по уровню расчетного напряжения,
- по коэффициентам загрузки оборудования,
- по связанности с балансирующими узлами,
- по связанности с источником питания,
- по фидерам;
- включение и отключение объектов одним нажатием левой клавиши мыши с изменением зависимых режимных параметров;
- анализ установившихся режимов по районам и подрайонам (предусмотрено до четырех уровней подрайонов): с расчетом балансов мощностей, анализом потерь мощности по объектам и по классам напряжения;
- обмен данными с другими программами через файлы унифицированного формата данных для электротехнических расчетов (например, «Мустанг», «РАСТР» и др.) и файлы известных текстовых форматов (csv, xml);
- передача табличных данных непосредственно в MS Word и создание документов на основе специально заготовленных шаблонов в соответствии со стандартами предприятия;
- вывод графического изображения схемы (всей или ее фрагментов) на печать, а также передача этого изображения, минуя промежуточные форматы, непосредственно в систему AutoCAD для ручной доработки.

Вид рабочего окна ПВК EnergyCS Потери с результатами расчёта показан на рисунке 2.15.

Также следует отметить такой продукт EnergyCS Электрика, предназначенный для выполнения электротехнических расчетов при проектировании и эксплуатации распределительных сетей низкого и среднего напряжения. Он охватывает весь комплекс расчетных электротехнических задач, решаемых при проектировании и эксплуатации распределительных сетей низкого (0,4 кВ) и частично среднего напряжения.

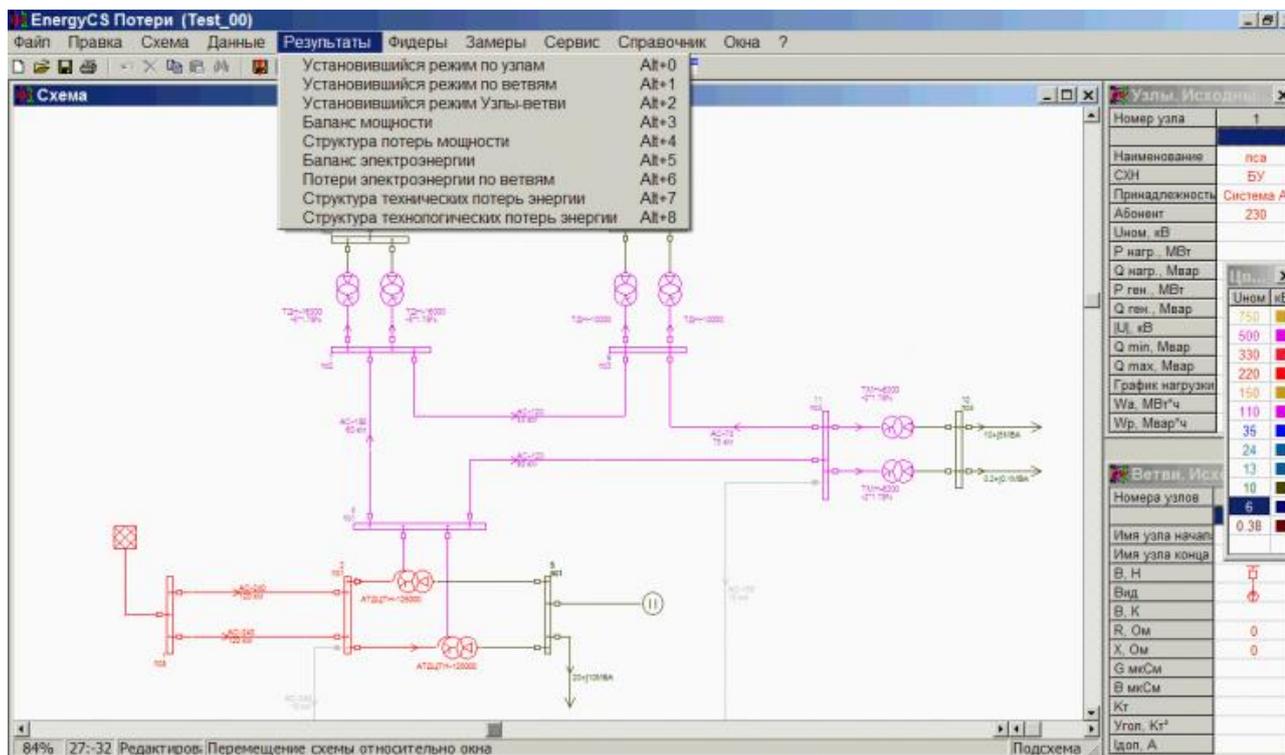


Рисунок 2.15 – Вид программы EnergyCS Потери с результатами расчёта.

## 2.11 PSS®E

PSS®E (Power System Simulator for Engineering) был разработан и впервые представлен американской фирмой Power Technologies Inc. в 1976 году. В настоящее время разработкой программного комплекса продолжает заниматься фирма SIEMENS.

PSS®E (Power System Simulator for Engineering) – пакет, предназначенный для исследования систем передачи и генерации электроэнергии в установившемся и динамическом режимах.

PSS®E – комплексное интерактивное ПО предназначенное для моделирования, анализа и оптимизации эффективности электроэнергетической системы.

Полный набор программных функций PSS/E включает в себя [20]:

1. Расчет и анализ постоянных режимов, расчет параметров ЛЭП, потокораспределения мощности и всех связанных характеристик сети;
2. Расчет и анализ симметричных и несимметричных коротких замыканий (КЗ);

3. Расчет динамической устойчивости, которая включает долгосрочное динамическое моделирование, расчет статической устойчивости (в малом) и частотный анализ сети;

4. Оптимальное распределение мощности (ОПМ);

5. NEVA (анализ собственных чисел матрицы и модальный анализ);

6 Анализ последствий аварийных режимов;

7 Анализ пропускной способности линий;

8 Эквивалентирование сети;

9 Экспорт результатов расчета в Excel;

Вид окна программы PSS®E показан на рисунке 2.16.

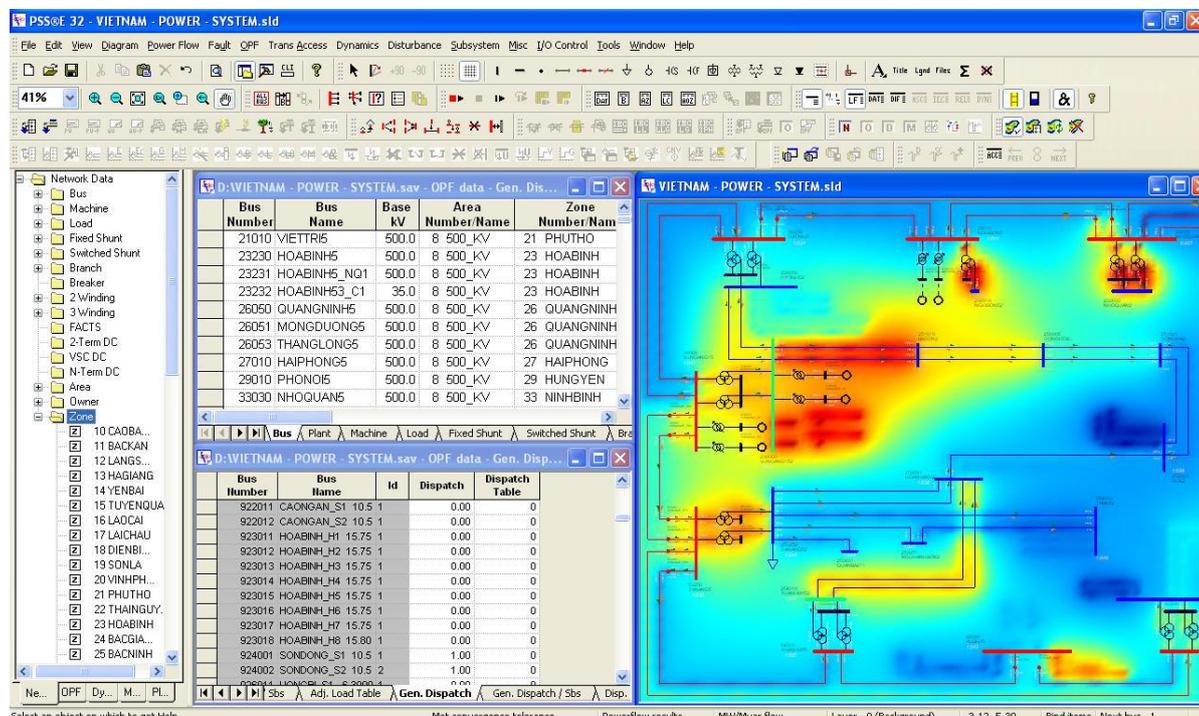


Рисунок 2.16 – Вид окна программы PSS®E

PSS®E состоит из нескольких модулей:

- модуля расчета установившегося режима;
- модуля расчета динамики;
- модуля анализа результатов расчетов;
- набора конвертеров из/в старые/новые форматы файлов данных.

Цифровая модель энергосистемы может быть задана как с помощью стандартного однолинейного представления ее элементов, так и моделями с

параметрами прямой, обратной и нулевой последовательностей для отображения несимметрии различного вида.

PSS®E владеет легкопонятным, интуитивным графическим интерфейсом, который совмещается с другими стандартными графическими интерфейсами.

### **2.12 DigSILENT PowerFactory**

Производитель ПО DigSILENT PowerFactory – компания DIgSILENT GmbH (Германия).

В 2009 году вышла первая версия на русском языке.

Программа расчета PowerFactory является инженерным инструментом для анализа промышленных, передающих и коммерческих электрических систем. Она была разработана как усовершенствованная интегрированная и интерактивная система программного обеспечения, предназначенная для достижения основных задач планирования и оптимизации режимов.

Название DIgSILENT означает “Цифровая программа моделирования и расчета электрических сетей” DIgSILENT версии 7 был первой в мире информационной системой анализа с интегрированным графическим однолинейным интерфейсом.

Эта интерактивная однолинейная схема включала функции рисования, редактирования и все относящиеся к ней статические и динамические расчетные функции.

Внешний вид рабочего окна программы DigSILENT PowerFactory приведён на рисунке 2.17.

Для удовлетворения современных требований анализа электрических систем, пакет программного обеспечения DIgSILENT разработан как интегрированный инженерный инструмент обеспечивающий простой доступ ко всем доступным функциям, вместо набора различных программных модулей.

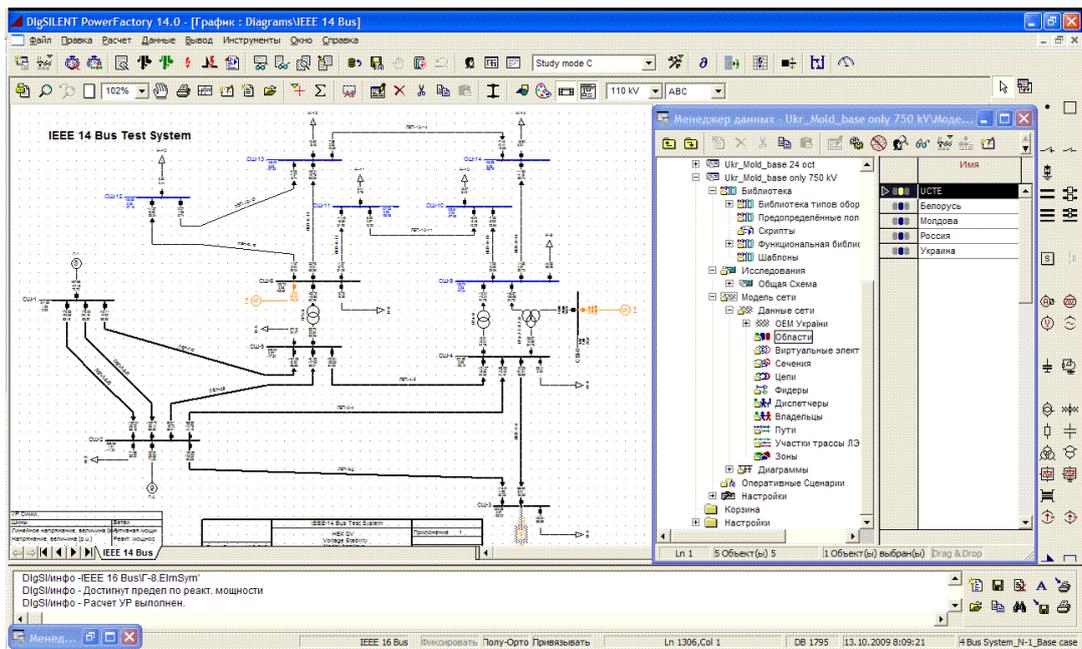


Рисунок 2.17 – Вид программы DigSILENT PowerFactory

DigSILENT PowerFactory включает следующие функции [14]:

- Расчет симметричных и несимметричных установившихся режимов, токов КЗ для 1,2 или трехфазных сетей произвольной конфигурации переменного и постоянного тока.
- Моделирование станционных групповых регуляторов, первичных регуляторов и АРЧМ (в частности для задания распределения небаланса активной мощности между станциями и анализа послеаварийных УР при расчете N-1 для блоков).
- Анализ режимов напряжений и планирование резервов реактивной мощности с помощью методов PV- и QV- кривых, VQ – чувствительности и модального анализа Якобиана.
- Ведение перспективных схем с помощью привязки элементов к времени ввода и вариантам развития.
- Анализ низковольтных и оптимизация распределительных сетей.
- Оптимизация режимов энергосистем и оценка состояния.
- Моделирование электромагнитных и электромеханических переходных процессов, расчеты статической и динамической устойчивости.
- Расчет, моделирование и координация систем РЗА, устройств силовой электроники, FACTS.

- Моделирование и анализ утяжеленных и аварийных режимов, N-1, N-m.
- Расчет и анализ надежности, гармонический анализ.
- Различные интерфейсы интеграции с системами SCADA, ГИС, БД.
- Совместимость с другими программными продуктами NETCAL, NEPS, PSS/E, PSS/U, Adept, NEPLAN и DVG.
- Многопользовательский режим работы.
- Локальные и серверные БД для организации объектно-ориентированных принципов хранения и управления данными.

PowerFactory содержит встроенные средства программирования. Это выводит функции ПО на новый уровень, позволяя создавать новые комплексные функции на основе встроенных функций. Типичными программируемыми функциями являются:

- Расчет потерь электроэнергии.
- Анализ пропускной способности.
- Автоматическая координация защит.
- Программируемый импорт-экспорт данных.
- Моделирование Противоаварийная автоматика (ПА).

### **2.13 EUROSTAG**

Производитель: TRACTEBEL – научно-технический центр при системном операторе Бельгии совместно с RTE, системным оператором Франции.

Программа предназначена в основном для расчета протекающих в энергосистеме электромеханических переходных процессов любой длительности от долей секунды до часов, хотя и не пренебрегает расчетом установившихся режимов. В основе лежит математическая модель с переменным шагом интегрирования, который в зависимости от сложности возмущения автоматически подбирается в процессе расчета. Состоит комплекс из независимых модулей, объединенных в одно меню [15]:

1 конвертор – отвечает за импорт данных из других программ, например из PSS®E;

2 редактор сети – графическое представление сети, ее создание и редактирование;

3 файловый редактор – редактор входных данных (ветви, узлы, данные динамики, автоматика);

4 редактор Моделей – конструктор "железа";

5 расчетный модуль – непосредственно расчетное ядро для статики и динамики;

6 анализ – просмотр результатов расчета в виде графиков;

7 таблицы – просмотр результатов расчета в виде таблиц.

При разработке EUROSTAG авторы ориентировали ПВК на решение следующих задач:

–определение предельного времени отключения короткого замыкания

–исследование процессов синхронизации энергосистем после крупных аварий

–определение настроек для систем противоаварийного управления, устройств релейной защиты и автоматики

–анализ причин возникновения и последствий аварийных возмущений в энергосистеме

–анализ поведения энергосистемы при различных аварийных возмущениях (лавина напряжения, выпадение из синхронизма крупных электростанций и т. п.)

–разработка и настройка систем управления (регуляторы скорости турбин, АРВ генераторов, РПН трансформаторов и т. п.).

Внешний вид рабочего окна программы EUROSTAG представлен на рисунке 2.18.

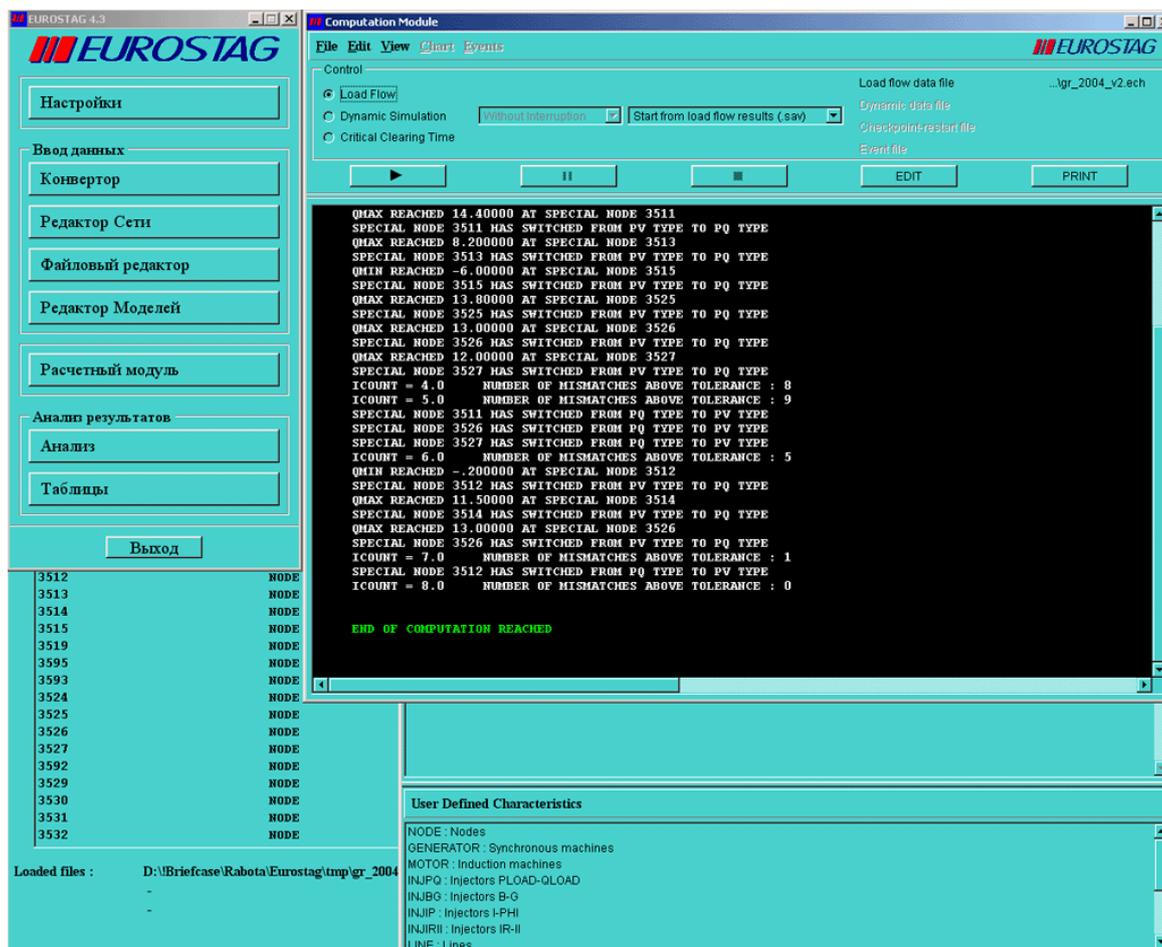


Рисунок 2.18 – Вид программы EUROSTAG

Для упрощения решения этих задач в ПВК было включено большое количество моделей различных устройств управления и регулирования, передач и вставок постоянного тока, гибких электропередач переменного тока, котлов, турбин и т. п. Наряду с интегрированными в ПВК «стандартными» моделями в EUROSTAG реализована возможность создания моделей различных устройств с помощью специализированного инструмента – модуля графического программирования. Этот модуль позволяет создавать модели графически, т. е. без набора программы и компиляции, с помощью набора стандартных блоков. Такой подход позволяет избежать большого количества ошибок, совершаемых при переводе блок-схем объектов моделирования на языки программирования.

Последняя версия 4.5 EUROSTAG выпущена на французском, английском и русском языках. Переводу подверглись не только пункты меню, но даже предупреждения и ошибки, выдаваемые программой.

Достоинствами ПК EUROSTAG являются:

- большой спектр решаемых задач;
- развитая математическая модель (длинные расчеты, переменный шаг интегрирования);
- поддержка большого количества типовых сетевых элементов;
- поддержка большого количества типовых автоматик;
- возможность создавать свои модели для нетиповой автоматики.

Недостатки EUROSTAG:

- отсутствие настроенных таблиц для анализа;
- отсутствие инструментов для поиска, сортировки, групповой коррекции данных;
- нет встроенного макроязыка для автоматизации расчетов;
- очень медленный и недоработанный графический редактор;
- многочисленные ограничения на количество узлов, ветвей, генераторов, автоматик и связанных с ними параметров;
- завышенные требования к аппаратному обеспечению и как следствие – большое время расчета [15].

### 3. ПРИМЕНЕНИЕ ППК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В настоящем разделе рассматриваются программные продукты ЗАО «СиСофт» серии Model Studio CS.

Серия программных комплексов Model Studio CS предназначена для разработки в трехмерном пространстве компоновочных решений таких инженерных систем промышленных объектов, как гибкая ошиновка, кабельные системы, трубопроводы, молниезащита и т.д.

Серия Model Studio CS предусматривает возможность выполнения трехмерной компоновки, расчета (встроенные расчеты, возможность передачи данных во внешние расчетные комплексы), выпуска проектной и рабочей документации (чертежей, спецификаций и т.д.).

Серия Model Studio CS разрабатывается с учетом российских норм и стандартов, а также отечественных методик расчета и проектирования.

Серия Model Studio CS имеет единую базу данных оборудования, изделий и материалов, единые средства выпуска и оформления выходной документации [16].

В рамках специальности направления 140400.68 - электроэнергетика и электротехника далее приведено описание систем автоматизированного проектирования для моделирования воздушных линий электропередач, подстанций и устройств молниезащиты.

#### **3.1 Model Studio CS ЛЭП**

Программа Model Studio CS ЛЭП предназначена для проектирования воздушных линий (ВЛ) всех классов напряжения (от 0,4 до 750 кВ) и воздушных оптоволоконных линий связи (ВОЛС).

Model Studio CS ЛЭП - это одна программа, не разделенная модулями или промежуточными файлами. Это единое решение, работающее с единой, целостной моделью проекта непосредственно в среде AutoCAD.

Model Studio CS ЛЭП позволяет решать следующие задачи [2]:

- a. Расстановка опор на продольном разрезе профиля;
- b. Расстановка опор на плане;
- c. 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;
  - получаются 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;
- d. Расчет нагрузок на опоры;
- e. Расчет мест установки гасителей вибрации;
- f. Расчет вырубки просеки;
- g. Проверка коллизий (выполняется проверка допустимых габаритов);
- h. Расчет и оформление переходов;
- i. Формирование и выпуск полного комплекта проектной документации (чертежи, табличная проектная документация в форматах MS Word, MS Excel, AutoCAD адаптированных и адаптируемых под стандарт проектной организации с рамками, штампами, эмблемами и т.п.).

Model Studio CS позволяет создавать высокоточную и высококачественную информационную модель проектируемой воздушной линии и получать на ее основе проектную и рабочую документацию безупречного качества.

При реконструкции или ремонте вы можете быстро и качественно внести изменения в существующую документацию или, используя эту документацию как основу, перевыпустить новый проект по той же трассе.

В Model Studio CS ЛЭП предусмотрены функции автоматической и ручной расстановки опор по профилю трассы. Высокое качество алгоритмов позволяет справиться с самыми сложными рельефами и за короткий срок получить прекрасный результат: полный комплект расчетов, выполненную проверку на предмет коллизий (допустимых габаритов), полностью оформленные чертежи, а также комплект качественных спецификаций и других табличных документов [2].

Пример автоматической расстановки опор по профилю трассы в Model Studio CS ЛЭП показан на рисунке 3.1.

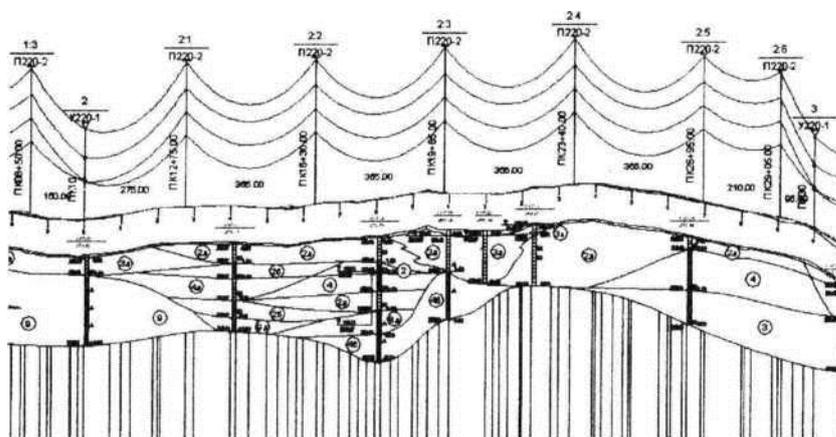


Рисунок 3.1 - Результат автоматической расстановки опор.

В ручном режиме расстановки опор программа автоматически подготавливает шаблон, а проектировщик может принять собственное инженерное решение и расставить опоры с использованием этого шаблона.

Так же, как и при автоматической расстановке, Model Studio CS ЛЭП произведет все расчеты, выполнит проверку допустимых габаритов, оформит чертеж и сформирует табличные документы. Пример ручной расстановки опор по профилю трассы в Model Studio CS ЛЭП показан на рисунке 3.2.

Механический расчет проводов и тросов, строго соответствующий требованиям ПУЭ-7, выполняется с учетом свойств провода, климатических нагрузок, нагрузок от арматуры крепления, гирлянд и иного оборудования.

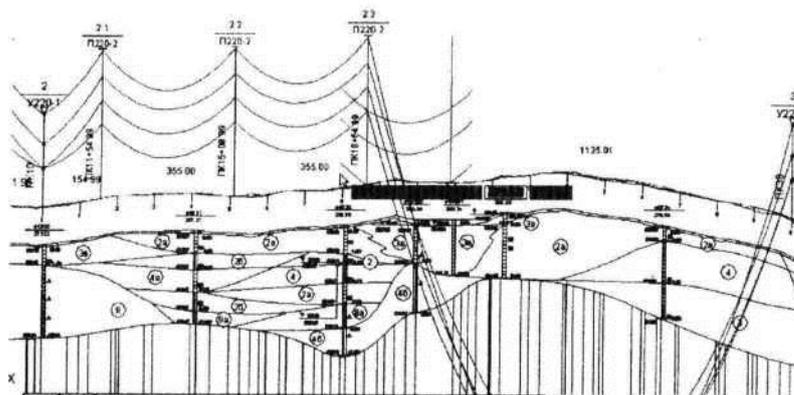


Рисунок 3.2 - Результат ручной расстановки опор.

Высокоточная кривая рассчитывается уравнением цепной линии, что повышает точность результатов расчета - это важно при расчете больших переходов. Подсистема расчета позволяет просматривать все расчетные режимы. Предусмотрена возможность добавления дополнительных расчетных режимов или корректировки существующих.

Расчет по-настоящему интерактивен и осуществляется в режиме реального времени: при обрисовке провода автоматически выполненный расчет обновляется при каждом изменении условий. Например, при перемещении или изменении типа и марки опор происходят мгновенный перерасчет и перестроение кривых провисания.

По результатам механического расчета определяются монтажные стрелы и тяжение провода. Документатор программы позволяет получить отчет по монтажным стрелам и втяжениям с любой градацией по температуре, а также формирует отдельные и совместные отчеты для проводов и тросов (рисунок 3.3).

В помощь проектировщику реализована возможность систематического расчета провода без модели проекта. Функционал для систематического расчета выполнен просто и удобно, он позволяет мгновенно просчитывать любой выбранный провод с любым шагом пролета при любых климатических сочетаниях. Окно программы для систематического расчета провода в Model Studio CS ЛЭП показано на рисунке 3.4.



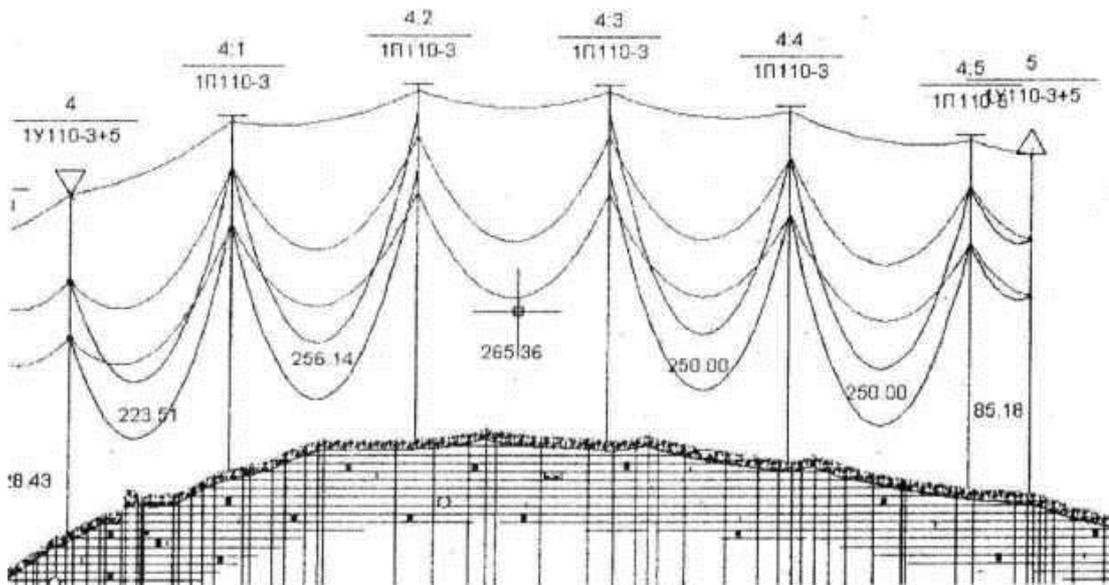


Рисунок 3.5 - Обрыв провода в пролете 4:2-4:3.

Программа Model Studio CS ЛЭП выполняет расчеты в момент установки опор на профиль и сразу обрисовывает кривые провеса провода. Иными словами, как только опоры установлены на профиль, что позволяет видеть все результаты расчетов провода, нагрузки на опоры и т.д. Эти расчеты автоматически обновятся при перемещении опоры, ее замене на другую, замене провода или любом другом изменении (рисунок 3.6).

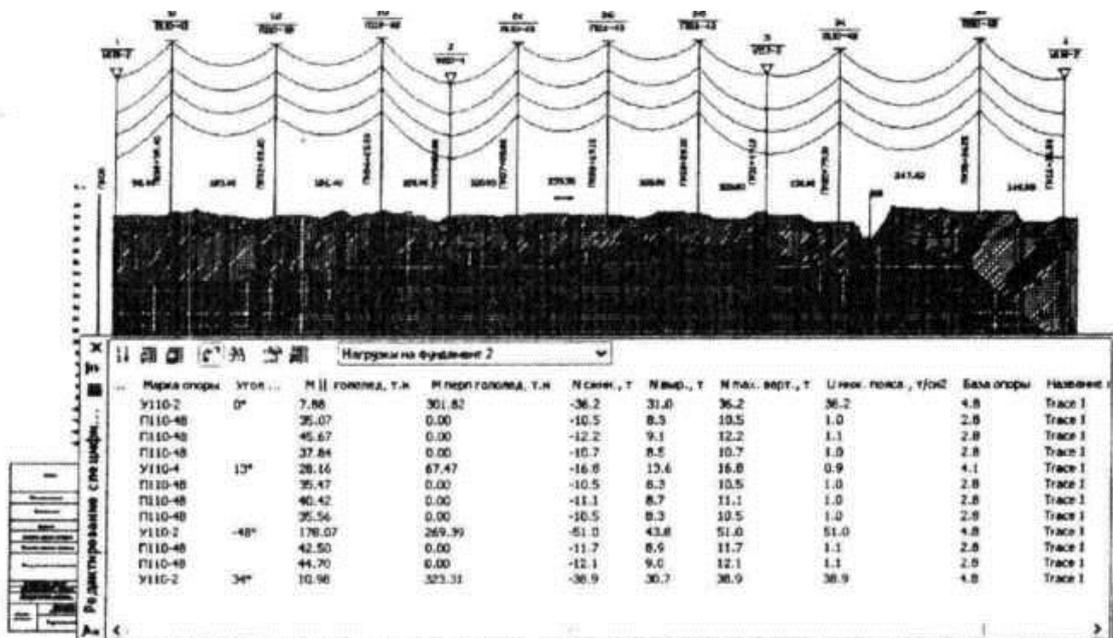


Рисунок 3.6 - Результаты расчета нагрузок на фундамент в онлайн-режиме.

Пример журнала проверочного расчета нагрузок на опоры и фундаменты в Model Studio CS ЛЭП приведён на рисунке 3.7.

ОПОРА	НАГРУЗКИ
ВЛ220	
5 (6) У220-2т+9 Алюминевая 55*260*	<p><b>РАСЧЕТ НАГРУЗОК ОТ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ</b> I расчетный режим (далее режим гололеда)</p> <p>провод</p> $J^{\text{в}} = J_{\text{ма}}^{\text{в}} + J_{\text{трос}}^{\text{в}} = (110.0 + 163.5) = 273.5 \text{ (м)}$ <p>Ветровая нагрузка на опору от провода определяется:</p> $P_{\text{ветр}}^{\text{в}} = 1.4(p_{\text{с}}^{\text{в}} J_{\text{ма}}^{\text{в}} m_{\text{ма}} + p_{\text{с}}^{\text{в}} J_{\text{трос}}^{\text{в}} m_{\text{трос}}) = 1.4 * (6.35 * 110.0 * 6 + 5.97 * 163.5 * 6) = 14059.11 \text{ (Н)}$ <p><math>m</math> – количество проводов в пролете</p> <p>Нагрузка на опору от веса провода определяется:</p> $P_{\text{вес}}^{\text{в}} = 1.1p_{\text{с}}^{\text{в}} J_{\text{ма}}^{\text{в}} + 2p_{\text{с}}^{\text{в}} J_{\text{трос}}^{\text{в}} + 1.1p_{\text{с}}^{\text{в}} m_{\text{трос}} = 1.1 * 14.61 * 110.0 + 2 * 17.68 * 110.0 + 1.1 * 1475.85 = 7280.13 \text{ (Н)}$ $P_{\text{вес}}^{\text{т}} = 1.1p_{\text{с}}^{\text{т}} J_{\text{трос}}^{\text{т}} + 2p_{\text{с}}^{\text{т}} J_{\text{ма}}^{\text{т}} + 1.1p_{\text{с}}^{\text{т}} m_{\text{ма}} = 1.1 * 14.61 * 163.5 + 2 * 17.68 * 163.5 + 1.1 * 1475.85 = 10031.56 \text{ (Н)}$

$731980.78) / 2 = -174931.19 \text{ (Н)}$ $H_{21} = \frac{\Sigma P_{\perp}}{4} + \frac{M_{\text{вр}}}{4b} + 1.05 \frac{N_1 + N_2}{2} = 37938.67 / 4 - 0.00 / (4 * 7.90) + 1.05 * (-264713.01 + 731980.78) / 2 = 315699.97 \text{ (Н)}$ $H_{31} = \frac{\Sigma P_{\perp}}{4} + \frac{M_{\text{вр}}}{4b} + 1.05 \frac{N_3 + N_4}{2} = 37938.67 / 4 + 0.00 / (4 * 7.90) + 1.05 * (132691.57 + 864002.22) / 2 = -313553.70 \text{ (Н)}$ $H_{41} = \frac{\Sigma P_{\perp}}{4} + \frac{M_{\text{вр}}}{4b} - 1.05 \frac{N_1 + N_4}{2} = 37938.67 / 4 + 0.00 / (4 * 7.90) - 1.05 * (132691.57 + 864002.22) / 2 = -454322.48 \text{ (Н)}$ <p>Расчетная вырывающая вертикальная нагрузка в каждом из режимов (наибольшая из четырех значений данного режима)</p> $H_1 = 634677.81 \text{ (Н)}$ <p>Расчетная вырывающая вертикальная нагрузка в каждом из режимов (наибольшая из четырех значений данного режима)</p> $H_L = 454322.48 \text{ (Н)}$
--

Рисунок 3.7 - Расчет нагрузок на опоры и фундаменты.

### *Расчет мест установки гасителей вибрации*

Программный комплекс Model Studio CS ЛЭП позволяет оценить необходимость установки гасителей вибрации, определить точки их крепления на проводе и грозозащитном тросе. По итогам установки формируется ведомость гасителей вибрации.

Model Studio CS безупречно решает такую неприятную задачу, как расчет, составление ведомости и отрисовка плана вырубki просеки. Эта инженерная задача важна для строительства ВЛ. В Model Studio CS ЛЭП методика отрисовки плана вырубki просеки соответствует ПУЭ-7.

Проектируемая ЛЭП может проходить по полям и лесам, по сельхозугодьям, государственным и частным землям. В главном нормативном документе, , есть методика расчета вырубki просеки.

Крайне трудоемкой и очень важной задачей при выпуске проектной документации по ЛЭП является оформление перехода линии электропередач через объекты различного значения. Model Studio CS ЛЭП формирует ведомость переходов автоматически.

Инструменты Model Studio CS ЛЭП, формирующие ведомость переходов, могут использоваться на любом этапе — для принятия решений и их проверки, а при выпуске проекта позволяют сформировать высококачественные документы.

Model Studio CS ЛЭП позволит без особого труда выполнить проект ВОЛС на ВЛ, проверить опоры существующей ВЛ на возможность подвески ОКСН и замены существующего грозотроса на ОКГТ. Установить на ВОЛС муфты, поддерживающую и натяжную арматуру, получить всю необходимую проектную документацию на ВОЛС.

Для облегчения работы пользователей Model Studio CS ЛЭП стандартной комплектации содержит обширную базу данных, включающую все необходимое для проектирования. База данных оборудования, изделий и материалов имеет встроенную систему классификаторов и выборки, которые помогают быстро найти оборудование, изделия и материалы, ознакомиться с их характеристиками и разместить на модели.

Кроме того, гибкая, с продуманной эргономикой система разработки и пополнения базы данных интеллектуальных объектов позволяет легко создавать новые компоненты (оборудование, изделия и материалы, включая гирлянды и опоры) и сохранять их в единой базе данных. Вид базы данных оборудования показан на рисунке 3.8.

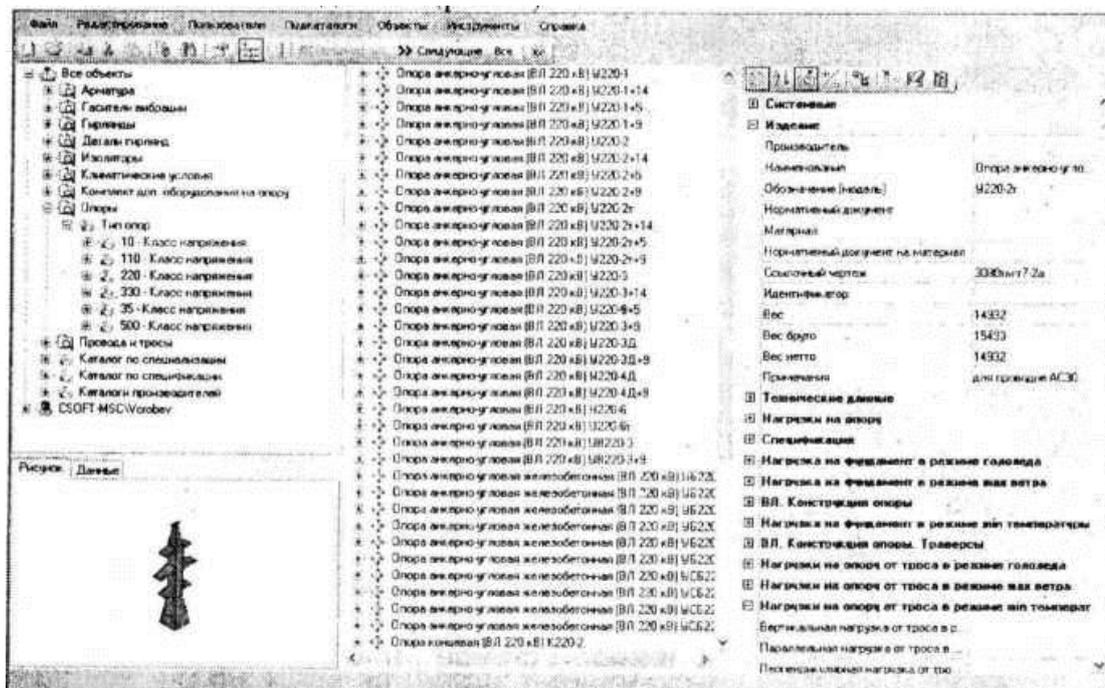


Рисунок 3.8 - Окно базы данных оборудования и материалов.

### 3.2 Model Studio CS OPY

Model Studio CS OPY представляет собой программный комплекс, работающий на базе AutoCAD.

Model Studio CS OPY значительно расширяет возможности платформы AutoCAD, делая работу инженера более удобной и эффективной.

В Model Studio CS OPY реализован весь необходимый инструментарий для компоновки и выпуска проектной/рабочей документации по ОРУ, ЗРУ, расчета механической части гибких ошинок открытых распределительных устройств и вводов воздушных линий электропередач электрических станций и подстанций.

Комплекс Model Studio CS OPY позволяет решать следующие задачи:

#### 1. Трехмерное проектирование подстанций

- Выполняется трехмерная компоновка оборудования.
- Используются трехмерные параметрические модели оборудования.

- На модели размещаются высоковольтное оборудование, ошиновка, строительные конструкции, подземные и наземные коммуникации.

## **2. Расчеты в среде проектирования**

- Непосредственно в среде проектирования выполняется механический расчет гибкой ошиновки с учетом всех климатических воздействий.

- В процессе конструирования гирлянды изоляторов производится расчет числа изоляторов по длине пути утечки.

## **3. Проверка инженерных решений**

- Проверка может выполняться между высоковольтным оборудованием и строительными конструкциями, между токоведущими частями и строительными конструкциями, транспортируемым оборудованием и т.д.

- Проверка осуществляется в соответствии с требованиями ПУЭ-7.

## **4. Формирование и выпуск проектной и рабочей документации**

- Выполняются чертежи с автоматическим формированием планов, видов и разрезов.

- Автоматически проставляются отметки уровня, выноски, позиционные обозначения и размеры.

- Автоматически составляются спецификации, экспликации и ведомости, включенные в комплект поставки. Кроме того, существует возможность самостоятельно добавлять и редактировать формы табличных документов. Эти документы будут автоматически заполняться с сохранением в форматах MS Word, MS Excel, Rich Text Format (RTF) и непосредственно в чертеже AutoCAD.

## **5. Интеграция с Autodesk Navisworks**

- Трехмерная модель подстанции легко загружается в среду Autodesk Navisworks, что позволяет использовать функционал

Navisworks при объединении в единую модель различных фрагментов, подготовленных в сторонних программных продуктах[4].

Пример модели подстанции 220 кВ, выполненной в Model Studio CS ОРУ приведен на рисунке 3.9.

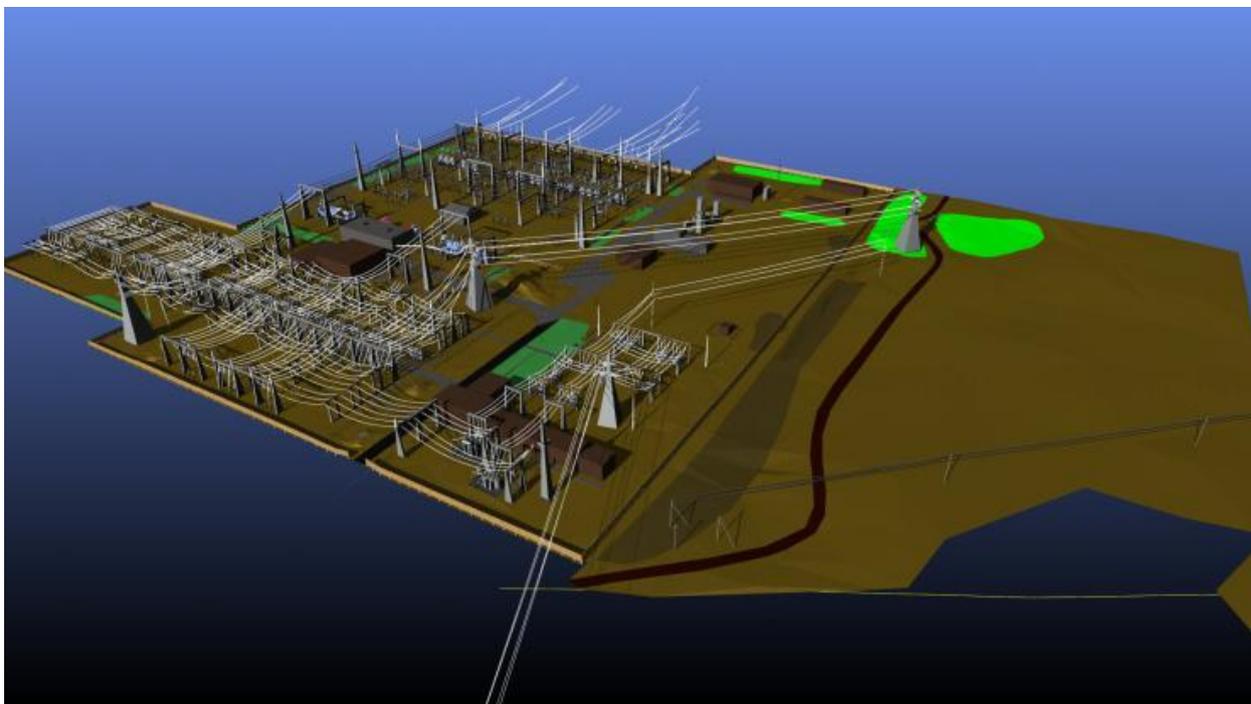


Рисунок 3.9 - Подстанция 220 кВ, выполненная в Model Studio CS ОРУ.

Model Studio CS может использовать каталоги оборудования, подготовленные его производителями, а также модели, выполненные в различных САПР: AutoCAD, nanoCAQ, Autodesk Inventor, Solid Works, КОМПАС и других САПР общего назначения (путем сохранения в формат DWG или DXF 3D).

Модель, выполненная в Model Studio CS ОРУ, может содержать:

- высоковольтное оборудование;
- гибкую (провода) и жесткую ошиновку;
- шкафы, щиты, пульты;
- порталы, опоры ВЛ;
- строительные и металлоконструкции;
- кабельные конструкции;

- вспомогательные элементы: мебель и обстановку (при проектировании ЗРУ, ОПУ), озеленение и малые архитектурные формы (при проектировании вне здания).

База данных оборудования, изделий и материалов Model Studio CS встроена в среду проектирования и не требует вызова дополнительных программ. Существует возможность предварительно (без вставки в чертеж) посмотреть, как выглядит объект, и (тоже без вставки) получить полную информацию о нем: марку, название завода-производителя, материал, вес, состав и другие полезные данные, необходимые для принятия решения.

Окно программы, с в котором осуществляется выбор оборудования из базы данных приведено на рисунке 3.10.

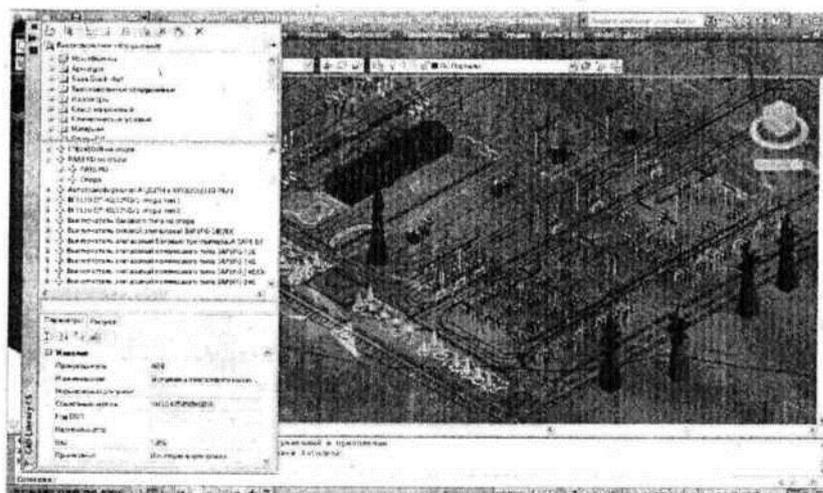


Рисунок 3.10 – Окно базы данных оборудования, изделий и материалов Model Studio CS ОПУ

Для компоновки (размещения) оборудования в трехмерном пространстве в Model Studio CS ОПУ предусмотрены все необходимые инструменты и функции. Они обеспечивают удобство работы и возможность проверки допустимых расстояний в любой момент и на любом этапе реализации проекта. Компоновка оборудования в 2D режиме модели показана на рисунке 3.11. Компоновка оборудования в 3D режиме модели показана на рисунке 3.12.

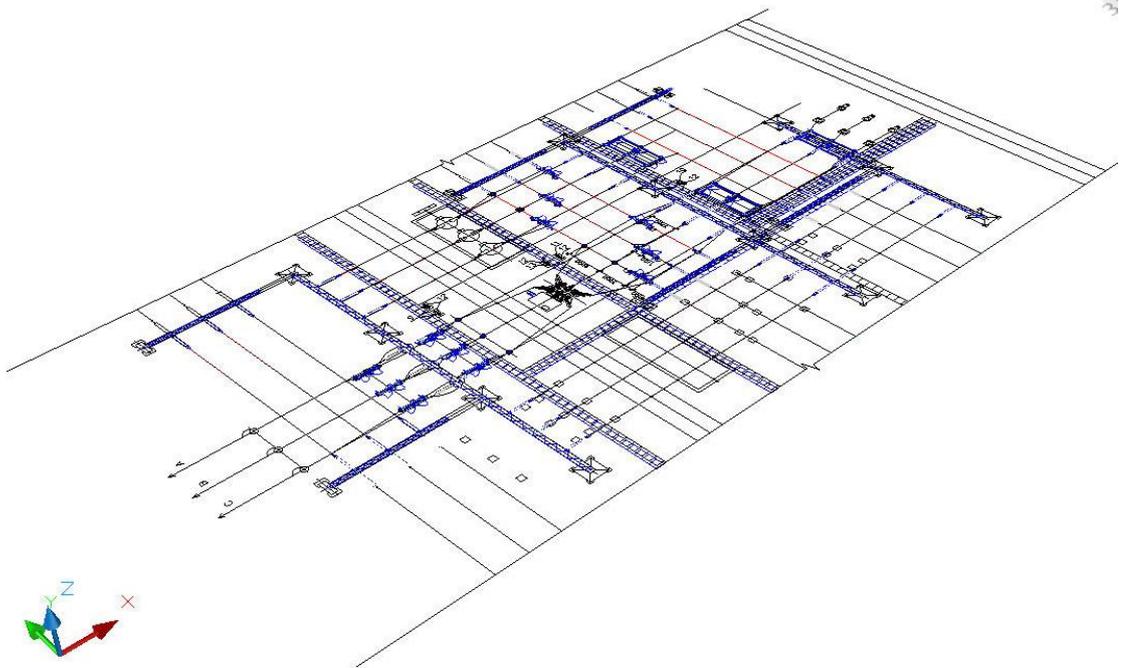


Рисунок 3.11 – Компоновка оборудования в 2D режиме модели

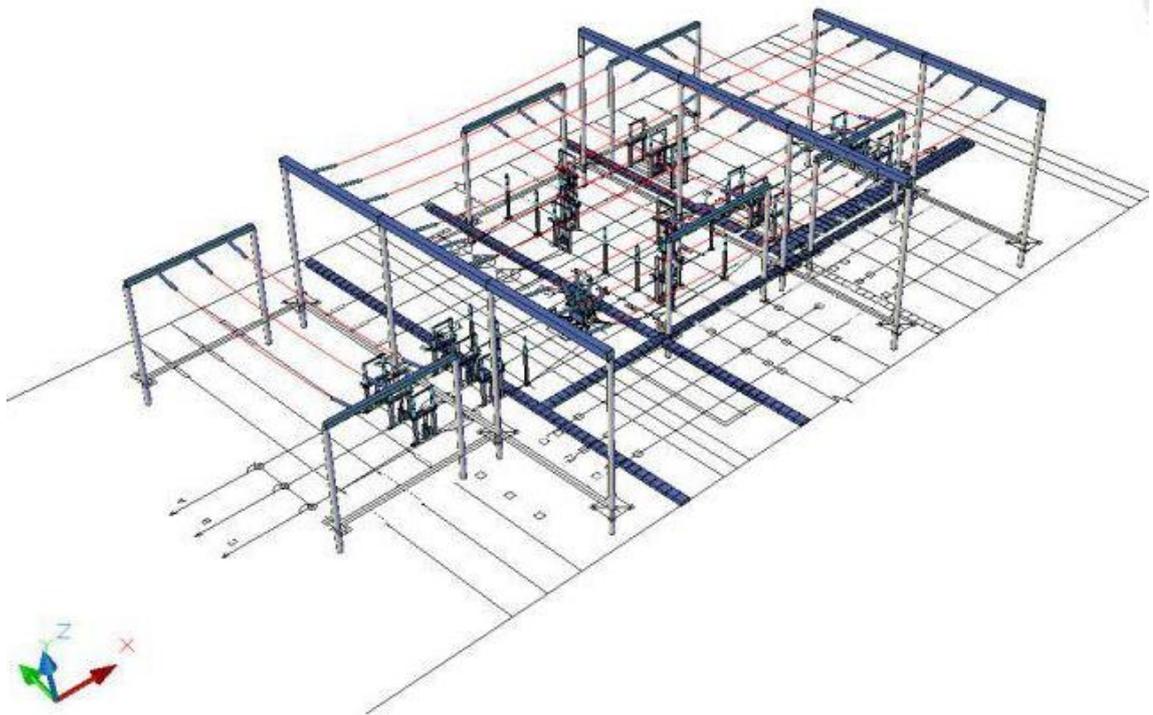


Рисунок 3.12 – Компоновка оборудования в 3D режиме модели

Программа выполняет следующие проверки [4]:

- проверка допустимых расстояний между оборудованием;
- проверка допустимых расстояний между проводами и оборудованием;

- проверка допустимого расстояния между проводами.

По умолчанию профиль коллизий в Model Studio CS OPУ настроен в соответствии с таблицей 4.2.54 ПУЭ-7, что позволяет сразу же приступить к работе с этим инструментом.

При желании пользователь может самостоятельно проверить коллизии, а также изменить критерии проверки и задать дополнительные правила. Проверка допустимых расстояний в соответствии с требованиями ПУЭ-7 показана на рисунке 3.13.

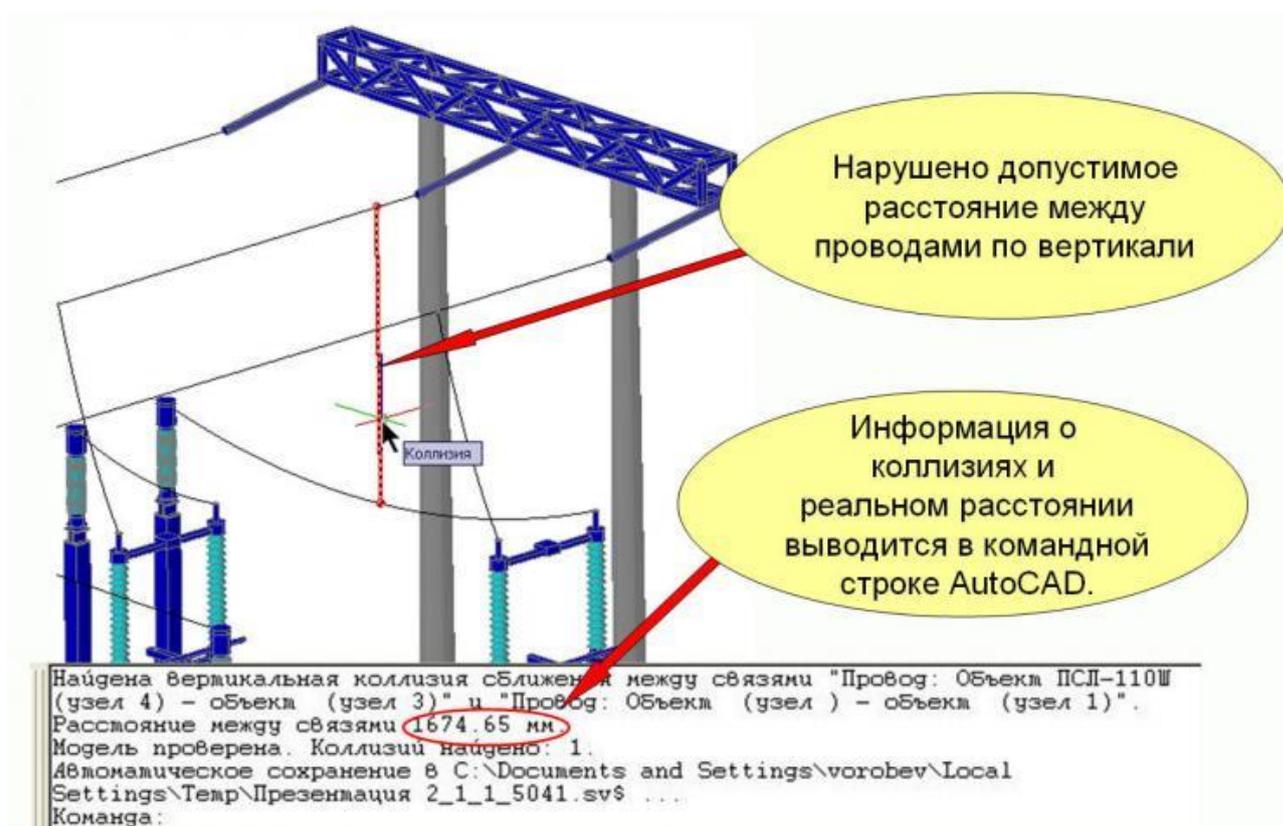


Рисунок 3.13 – Автоматическая проверка допустимых расстояний в Model Studio CS OPУ

Будучи современной системой проектирования, программный комплекс Model Studio CS позволяет формировать и выпускать полный комплект проектной документации: чертежи, разрезы, сечения с размерами, табличные документы в форматах MS Word, MS Excel, AutoCAD, адаптируемых под стандарт проектной организации, — с рамками, штампами, эмблемами и т.п.

Для автоматического формирования спецификаций, экспликаций и других табличных документов предусмотрен мощный инструмент, сделавший возможным формирование таблицы как в чертеже AutoCAD, так и в Microsoft Excel и Microsoft word.

Информация о положении, координатах, размерах, параметрах оборудования может быть передана в другие приложения, что позволяет осуществить комплексный подход к проектированию. Совместная работа с другими САПР (ElectriCS 3d, ElectriCS Storm, ElectriCS Light и т.д.) позволяет Model Studio CS Открытые распределительные устройства занять достойное место в комплексных решениях для проектирования систем электроснабжения.

### **3.3 Model Studio CS Молниезащита**

Программный комплекс Model Studio CS Молниезащита предназначен для расчета и трехмерного интерактивного проектирования молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий. Помимо решения задач молниезащиты, программа позволяет выполнять компоновку всего объекта: в этом приложении доступен весь инструментарий Model Studio CS для трехмерного проектирования [19].

Основное назначение Model Studio CS Молниезащита — расчет и трехмерное интерактивное проектирование молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий [3].

Основные задачи, которые позволяет решать Model Studio CS Молниезащита:

- 1. Компоновочное решение объекта, требующего молниезащиты;*
- 2. Расчет и автоматическое построение типовых зон молниезащиты в соответствии со следующими нормативными документами:*

- СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных предприятий»,
- РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»,

- Совместный расчет зон молниезащиты по двум руководящим документам в одной модели РД 34.21.122-87 и СО 153- 34.21.122-2003
- СТО Газпром 2-1.11-170-2007 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром»,
- РД-91.020.00-КТН-276-07 «Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций ОАО «АК «Транснефть» и дочерних акционерных обществ»,
- ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Устройство молниезащиты зданий и сооружений»;

*3. Построение горизонтального сечения зон молниезащиты на заданной высоте;*

*4. Формирование и выпуск полного комплекта проектной документации:*

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

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

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.

Например, для схемы ОРУ, выполненной в Model Studio CS ОРУ, показанной на рисунке 3.14, результат проектирования системы молниезащиты в Model Studio CS Молниезащита показан на рисунке 3.15.

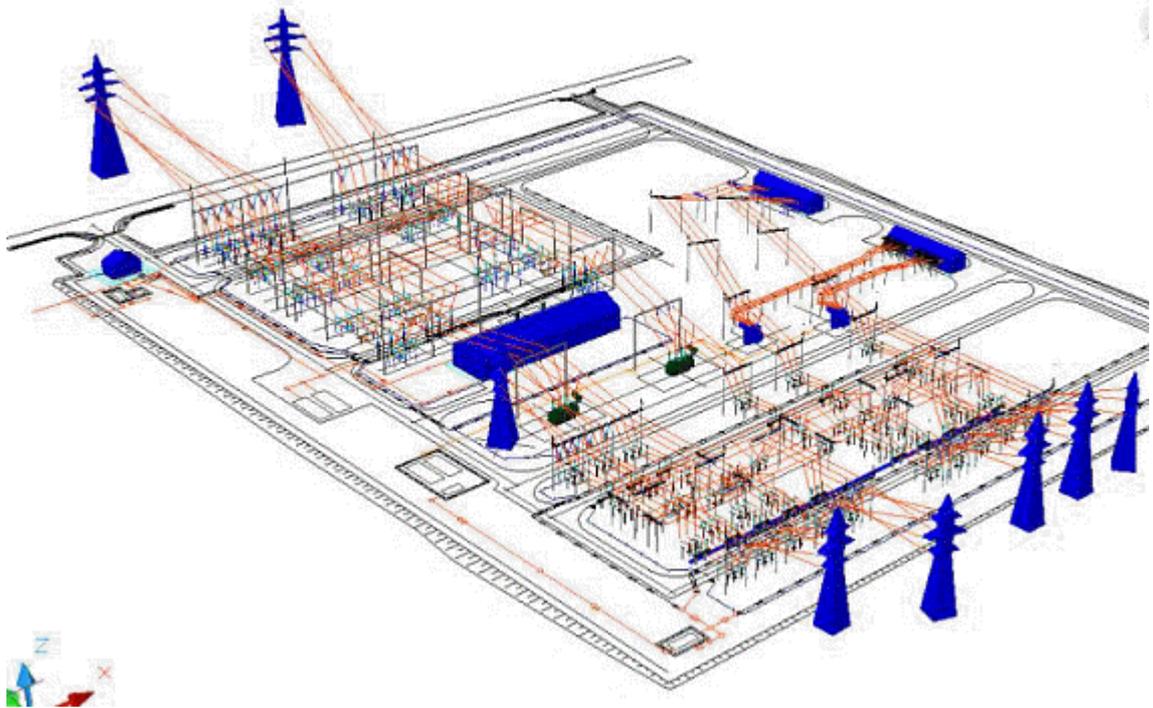


Рисунок 3.14 - Проект ОРУ 220/110/35, реализованный в Model Studio CS  
ОРУ

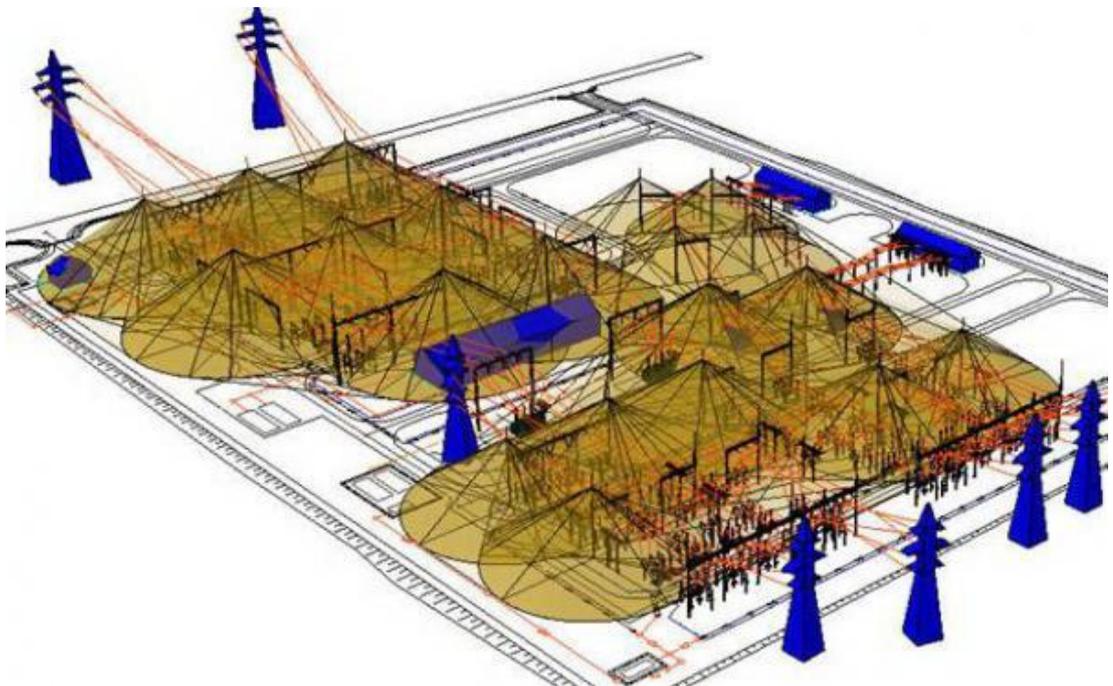


Рисунок 3.15 – Система молниезащиты ОРУ 220/110/35, реализованная в  
Model Studio CS Молниезащита.

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.

В программе предусмотрен инструмент выполняющий расчет стрел провеса троса, в зависимости от механических характеристик выбранного троса и условий грозового режима для конкретной местности (рис. 2). Пример отображения результатов механического расчета тросового молниеприемника для защиты резервуаров приведён на рисунке 3.16.

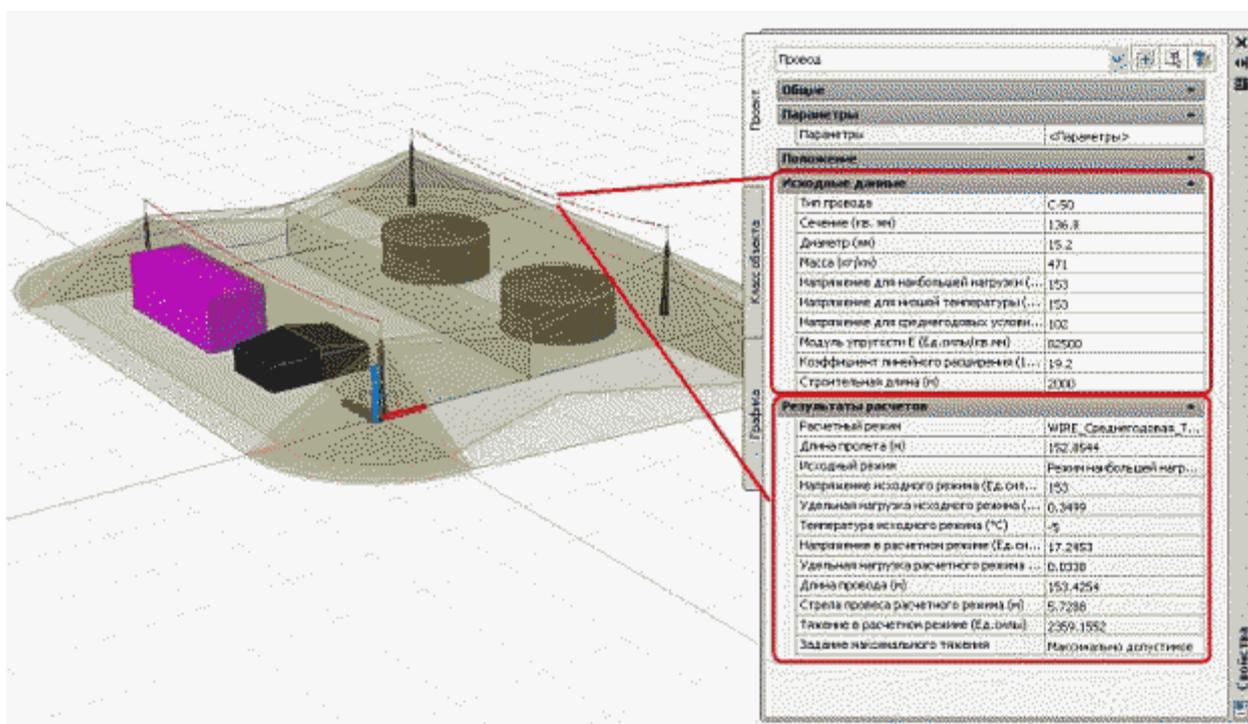
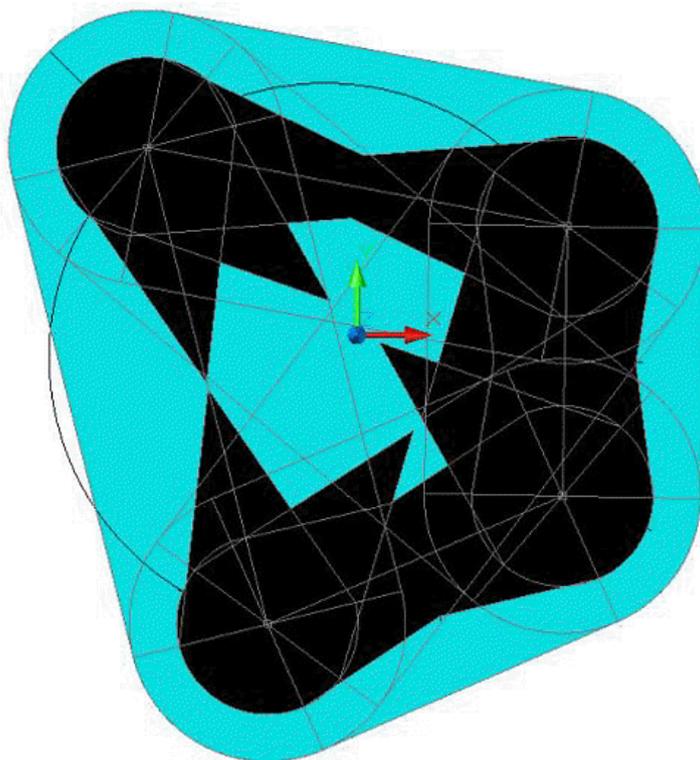


Рисунок 3.16 - Механический расчет тросового молниеприемника.

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 разработки

уделили особое внимание, постаравшись создать наиболее эргономичный и эффективный инструмент. Во-первых, при проектировании доступна визуализация горизонтального сечения непосредственно на зоне молниезащиты. Как и все продукты линейки, Model Studio CS Молниезащита предлагает два режима проектирования - 2D и 3D.

Например, в режиме 2D отображается контур сечения на заданной высоте (рисунок 3.17), а в режиме 3D - часть зоны защиты ниже заданного уровня (рисунок 3.18). 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 (рисунок 3.19) [19].



.Рисунок 3.17 - Контур сечения на заданной высоте в режиме 2D.

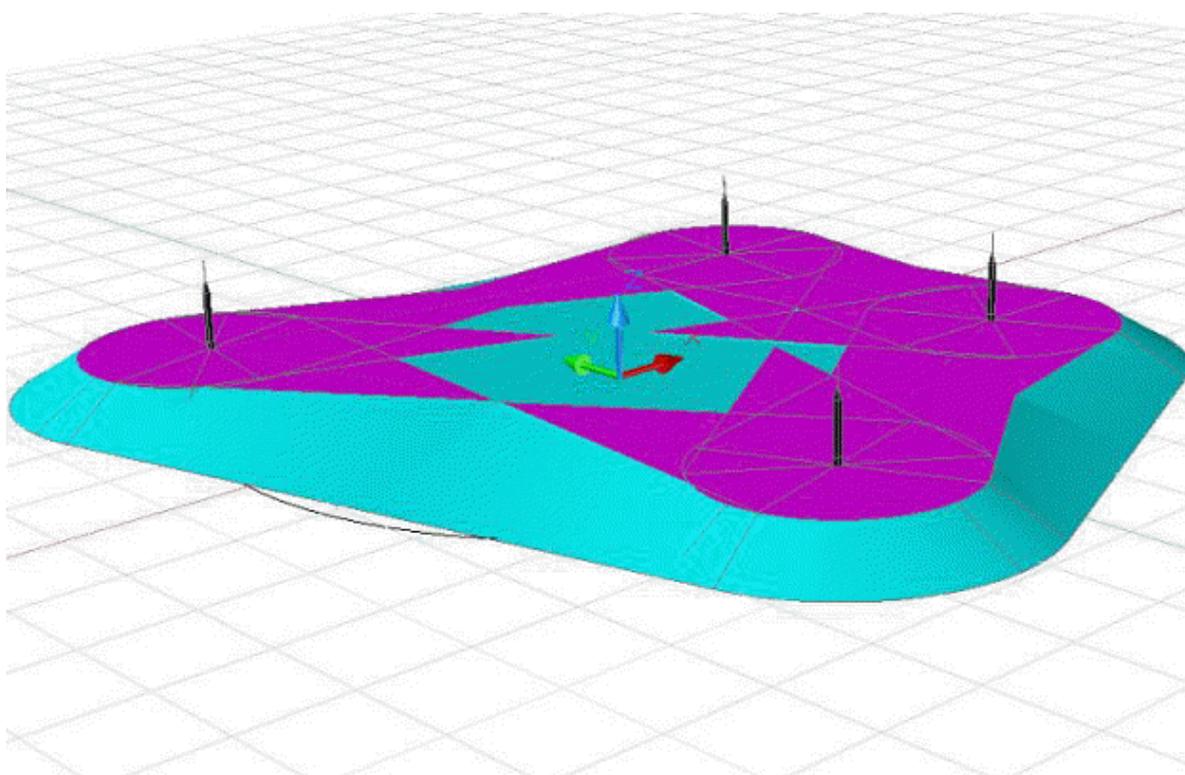


Рисунок 3.18 - Контур сечения на заданной высоте в режиме 3D

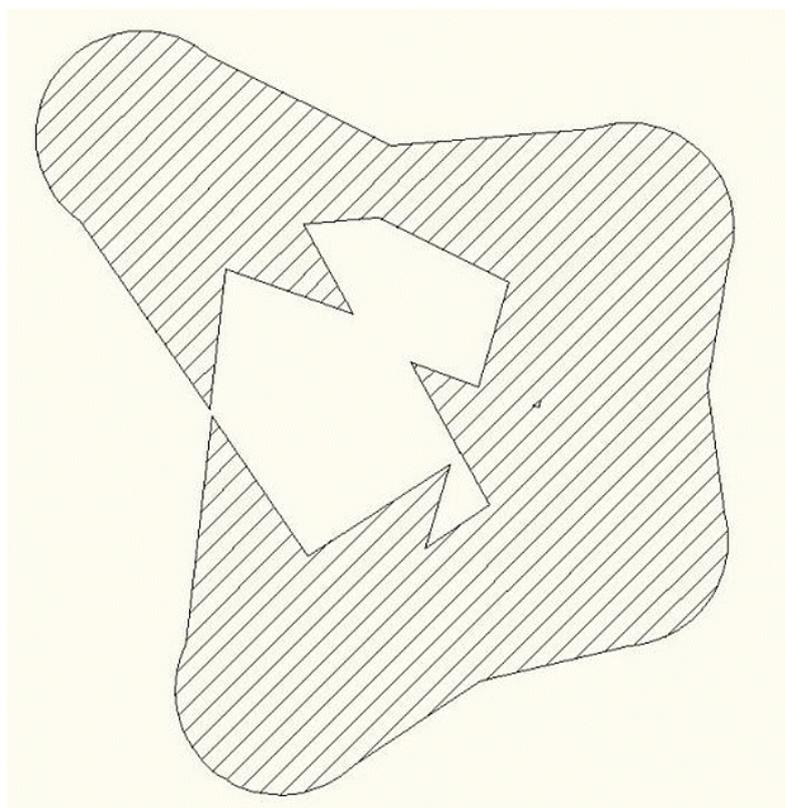


Рисунок 3.19 - Сечение по зоне молниезащиты.

Для построения чертежей проекций по соответствующим зонам одиночных, двойных, многократных стержневых, а также одиночных, двойных и замкнутых тросовых молниеотводов в соответствии с

выбранными методиками расчета, проставленными размерами и обозначениями в Model Studio CS Молниезащита предусмотрена специальная команда. Пример реализации данной команды для зоны защиты многократного стержневого молниеприемника, рассчитанной по методике РД 34.21.122-87 показан на рисунке 3.20.

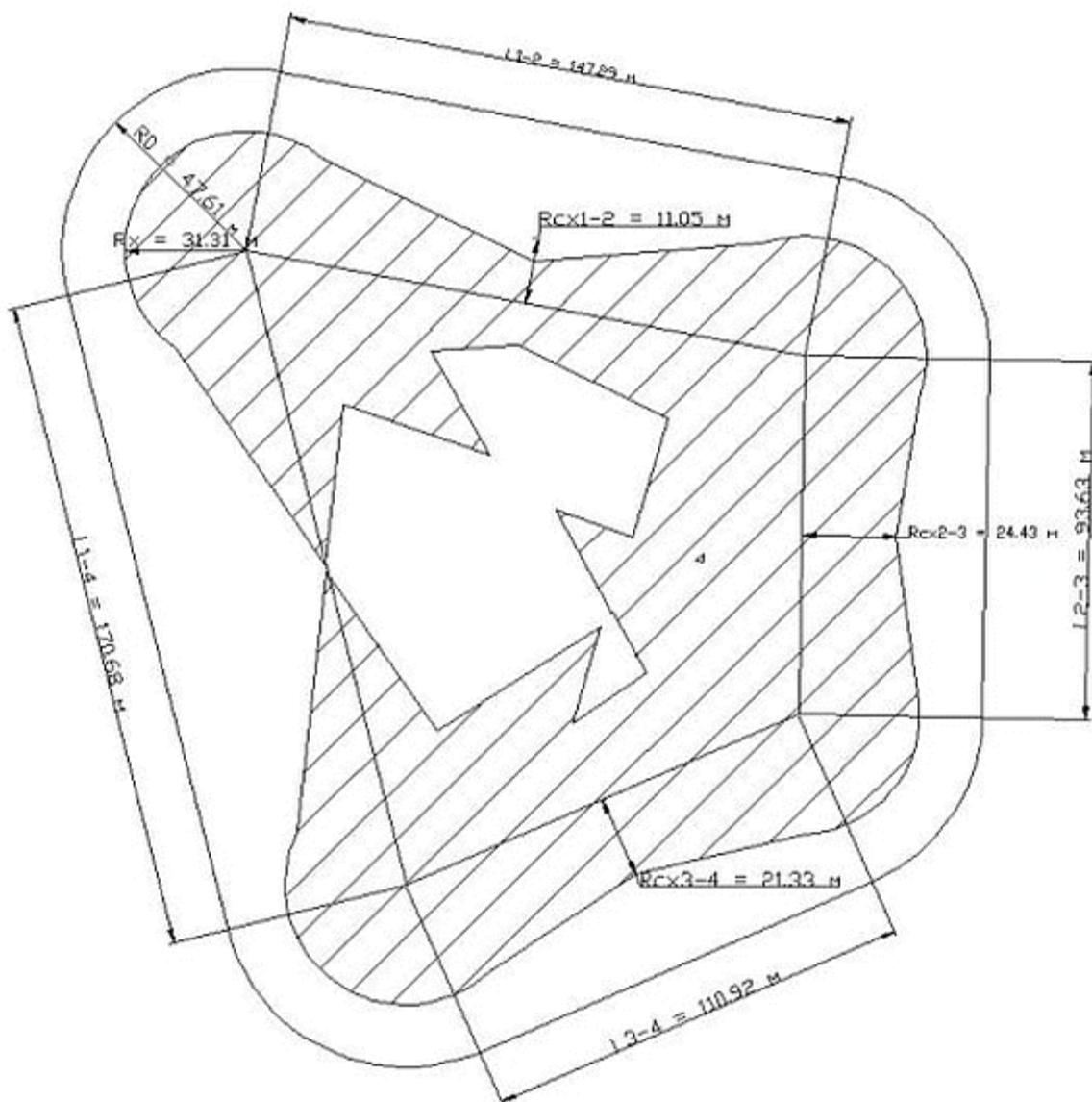


Рисунок 3.20 - Зона защиты многократного стержневого молниеприемника, построенная по РД 34.21.122-87

Комплекс Model Studio CS Молниезащита позволяет формировать спецификации, экспликации, ведомости, сохраняя их в наиболее востребованных форматах (MS Word, MS Excel, RTF), а также непосредственно на чертеже в AutoCAD [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках изучения дисциплины «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике» в пособии изложен материал по наиболее применяемым в России ПВК в области электроэнергетики. Изучение функций программных продуктов, описанных в настоящем пособии, позволит специалисту выбрать оптимальное программное обеспечение для решения задач связанных с электрическими расчётами и автоматизированным проектированием электроэнергетических объектов.

Применение RastrWin3, для которого в приложениях приведены алгоритмы выполнения расчётов, позволит студентам самостоятельно проводить ряд электрических расчетов в самом популярном ПВК в России и СНГ.

Таким образом, изучение настоящего пособия способствует формированию профессиональных компетенций, предусмотренных дисциплиной «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике»:

1) Способность формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологического подготовке производства (ПК-10)

2) Готовность использовать прикладное программное обеспечение для расчёта параметров и выбора устройств электротехнического и электроэнергетического оборудования (ПК-14).

3) Готовность решать инженерно-технические и экономические задачи с применением средств прикладного программного обеспечения (ПК-19).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. АРМ СРЗА – Полная документация [Электронный ресурс]:  
Официальный сайт разработчиков АРМ СРЗА. – режим доступа  
<http://www.pk-briz.ru/node/145>.

2. Воробьев. С П. Проектирование Проектирование ЛЭП в Model Studio CS ЛЭП // Эффективные технологии проектирования систем электроснабжения и автоматики. Решения группы компаний CSoft. сб. статей ЗАО «СиСофт Иваново», ЗАО «СиСофт». - Москва, 2012. - 240 с.

3. Воробьев. С П. Проектирование молниезащиты в Model Studio CS Молниезащита// Эффективные технологии проектирования систем электроснабжения и автоматики. Решения группы компаний CSoft. сб. статей ЗАО «СиСофт Иваново», ЗАО «СиСофт». - Москва, 2012. - 240 с.

4. Воробьев. С П. Проектирование ПС и ОРУ в Model Studio CS Открытые распределительные устройства // Эффективные технологии проектирования систем электроснабжения и автоматики. Решения группы компаний CSoft. сб. статей ЗАО «СиСофт Иваново», ЗАО «СиСофт». - Москва, 2012. - 240 с.

5. Заслонов С.В., Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Программный комплекс РТП 3 для расчета технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 – 110 кВ [Электронный ресурс]:  
Официальный сайт РТП-3 – режим доступа <http://www.rtp3.ru/publ.htm>

6. Заслонов С.В., Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Новые возможности комплекса программ РТП 3 по расчету и нормированию потерь электроэнергии, анализу режимных параметров в распределительных сетях 0,38–110 кВ

7. Зачем нужен КОСМОС? [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/81-programm>.

8. Информационный проспект "Новые возможности ПВК АНАРЭС и SCADA-АНАРЭС в 2008 году [Электронный ресурс]: Официальный сайт программы АНАРЭС. – режим доступа <http://anares.ru/>
9. Информационный проспект "Программно вычислительный комплекс АНАРЭС-2010" [Электронный ресурс]: Официальный сайт программы АНАРЭС. – режим доступа <http://anares.ru/>
10. О направлениях деятельности коллектива разработчиков ПВК АНАРЭС, двух сибирских компаниях ООО "ИДУЭС" и ЗАО "Энергетические технологии" [Электронный ресурс]: Официальный сайт программы АНАРЭС. – режим доступа <http://anares.ru/>
11. Программа КАСКАД-РЕТРЕН [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/81-programm>
12. Программа СДО-6 [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/49-%D0%A0%D0%8E%D0%A0%E2%80%9D%D0%A0%D1%9B-6>
13. Программа Dakar [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/68-Dakar>.
14. Программа DIgSILENT PowerFactory [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/81-programm>
15. Программа EUROSTAG [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/60-Eurostag>
16. Серия программных комплексов Model Studio CS [Электронный ресурс]: Официальный сайт CSoft Development. – режим доступа <http://www.mscad.ru>.
17. Шмойлов А.В. Расчет электрических величин при повреждениях в электрических системах и уставок токовой релейной защиты с помощью пакета программ ТКЗ-3000: Учебно-методическое пособие. Томск: Изд.ТПУ, 2010. – 85 с.

18. EnergyCS 3 [Электронный ресурс]: Официальный сайт CSoft Development. – режим доступа <http://www.csoft.ru/catalog/soft/energycs/energycs-3.html>.

19. Model Studio CS Молниезащита [Электронный ресурс]: сайт компании nanoCAD. – режим доступа <http://www.nanocad.ru/products/detail.php?ID=141301>.

20. PSS®E Siemens PTI [Электронный ресурс]: Неофициальный сайт режимщиков. – режим доступа <http://regimov.net/content.php/81-programm>

21. RastrWin3 - Документация пользователя [Электронный ресурс]: Официальный сайт разработчиков RastrWin . – режим доступа <http://www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php>.

22. RastrKZ - Документация пользователя ТКЗ [Электронный ресурс]: Официальный сайт разработчиков RastrWin . – режим доступа <http://www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php>.

23. RastrKZ - Презентация ТКЗ [Электронный ресурс]: Официальный сайт разработчиков RastrWin . – режим доступа <http://www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php>.