

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ДЖЭТ»
(АО ИТЦ «ДЖЭТ»)**



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ELECTROCITY

Руководство пользователя

б/н

Номер редакции 1.0

На 31 листах

Москва, 2023

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

ПРАВА НА СОДЕРЖАНИЕ

Настоящий документ является собственностью АО ИТЦ «ДЖЭТ» и защищен законодательством Российской Федерации и международными соглашениями об авторских правах и интеллектуальной собственности

Копирование документа либо его фрагментов в любой форме, распространение, в том числе в переводе, воспроизводство, изменение в любой форме или частично, а также передача во временное или постоянное пользование третьим лицам, разглашение или использование сведений в коммерческих интересах третьих лиц возможны только с письменного разрешения АО ИТЦ «ДЖЭТ».

Документ и связанные с ним графические изображения могут быть использованы только в информационных, некоммерческих или личных целях.

АО ИТЦ «ДЖЭТ» оставляет за собой право на изменение или обновление настоящего документа без предварительного уведомления.

Все названия компаний и продуктов, которые являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками, являются собственностью соответствующих владельцев.

За содержание, качество, актуальность и достоверность используемых в документе материалов, права на которые принадлежат другим правообладателям, а также за возможный ущерб, связанный с использованием этих материалов, ответственности не несет.

АО «ИТЦ «ДЖЭТ»

117335, г. Москва, Нахимовский проспект, дом 58

Сайт компании: <https://get-sim.ru/>

Тел.: +7 495 788 04 06

Электронный адрес службы поддержки: itcget@rosatom.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	4
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ	5
1.1 Назначение программы.....	5
1.2 Основные характеристики программы.....	5
1.3 Ограничения, накладываемые на область применения программы.....	5
2 Библиотека элементов	6
2.2 Основные блоки для моделирования электрических сетей.....	6
2.2.1 Сеть ELECTROCITY	6
2.2.2 Генератор ELECTROCITY	7
2.2.3 Проводник ELECTROCITY.....	8
2.2.4 Узел ELECTROCITY	8
2.2.5 Шина ELECTROCITY	9
2.2.6 Трансформатор ELECTROCITY	10
2.2.7 Трансформатор 3 повышающий ELECTROCITY	11
2.2.8 Трансформатор 3 понижающий ELECTROCITY	11
2.2.9 Трансформатор трехобмоточный.....	12
2.2.10 Заземлитель ELECTROCITY 3	12
2.2.11 Выключатель ELECTROCITY	13
2.2.12 Выключатель ELECTROCITY 2.....	14
2.2.13 Переключатель трехпозиционный ELECTROCITY 3	14
2.2.14 Выключатель ELECTROCITY 5.....	15
2.2.15 Разъединитель ELECTROCITY 2.....	16
2.2.16 Датчик ELECTROCITY	16
2.2.17 Датчик произвольной величины ELECTROCITY	17
3 Создание электрической схемы	19
3.1 Требуемые исходные данные	19
3.2 Компиляция схемы.....	19
4 Выходные файлы.....	21
4.1 Графические файлы	21
4.2 Файл задания значений массивов и переменных.....	21
4.3 Файлы с исходным кодом программы	21
4.4 Файлы базы данных	21
5 Линейные уравнения узловых напряжений, матрица узловых проводимостей	23
5.1 Уравнения узловых напряжений	23
6 Метод относительных единиц	26
7 ELECTROCITY	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	30
Лист регистрации изменений.....	31

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ Р	Государственный стандарт Российской Федерации
ПО	Программное обеспечение
ПК	Персональный компьютер
РП	Руководство пользователя
РЭ	Руководство по эксплуатации
ОС	Операционная система
САПФИР	Система Автоматического Проектирования Физических Инженерных Расчетов – интегрированная программная система для создания и проведения различных физических расчетов и их отладки.
СУБД	Система управления базами данных
ESUSDS	англ. executive system of Universal Software Development System (досл. исполнительная система Универсальной Системы Разработки Программного Обеспечения) – интегрированная программная система, которая поддерживает документирование, разработку, выполнение в режиме реального времени и тестирование всего комплекса программного обеспечения тренажера.
P&ID	англ. Piping and instrumentation diagram (досл. Схема трубопроводов и контрольно-измерительных приборов)

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

Этот документ предназначен для прикладных программистов, разрабатывающих модели электрических сетей в рамках US3 технологии. Он содержит наиболее полную информацию по работе с графическим интерфейсом кодогенератора, правила построения схем, имена используемых массивов и переменных, а так же физические соотношения и законы, использованные для построения математических моделей в режиме реального времени.

1.1 Назначение программы

Кодогенератор электрических схем представляет из себя инструментальное средство в системе US3. Кодогенератор спроектирован для уменьшения усилий разработчиков, увеличения производительности и улучшения качества работ по созданию симуляционных задач в режиме реального времени. Он использует мощный графический редактор САПФИР, который позволяет инженерам моделировать сложные электрические схемы более легко. При использовании код генератора, инженер может графически создавать базисные узлы, узлы соединений, шины нагрузок, генераторы и пути, непосредственно на экране компьютера, вводить значения напряжений в узлах сети и генераторах. Основываясь на топологии введенной пользователем схемы и значениях указанных пользователем величин электрических характеристик, код генератора автоматически создает исходный FORTRAN-код модели, файлы начальной инициализации массивов, рассчитывает необходимые константы. Работоспособность полученной модели может быть проверена путем манипулирования параметрами узлов, базисных узлов, генераторов, трансформаторов, выключателей и т.д., а также сравнением с работой моделируемой системы.

1.2 Основные характеристики программы

Программа является исполняемым файлом для ОС Windows и Linux.

1.3 Ограничения, накладываемые на область применения программы

Разработанные модели функционируют только в рамках исполнительной системы ESUSDS.

б/н	5
-----	---

2 Библиотека элементов

Библиотека представляет собой набор объектов, из которых строится электрическая схема в рамках данного код генератора (Рисунок 1 –). На базе библиотечных объектов будут построены все Ваши схемы.

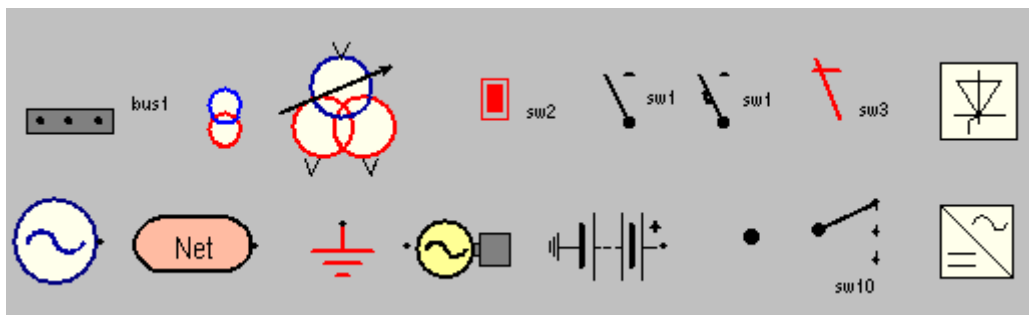


Рисунок 1 – Библиотека элементов.

Каждый объект в библиотеке имеет свой собственный идентификатор (класс) и отвечает за конкретное устройство в электрической схеме.

2.2 Основные блоки для моделирования электрических сетей

2.2.1 Сеть ELECTROCITY

Блок реализует модель внешнего источника электрической сети переменного тока (Рисунок 2 –). Предназначен для использования в однолинейных электрических схемах.



Сеть ELECTROCITY

Рисунок 2 – Сеть ELECTROCITY

Блок реализует модель внешнего источника электрической сети переменного тока. Предназначен для использования в однолинейных электрических схемах.

Таблица 1 – Свойства блока «Сеть ELECTROCITY»:

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Напряжение, В (имя/значение)	ede_base	Имя переменной/Константа	
Частота, Гц (имя/значение)	edf_sour	Имя переменной/Константа	
Весовой коэффициент	edkveskf	Коэффициент для расчёта приведённого напряжения	
Цвет	SColor	Выбор цвета фона блока из палитры цветов	
Название	l_text	Текст внутри блока	
Постоянный индекс	src_const_index	Да/Нет	
Индекс в массиве	src_index	Индекс блока в массиве	

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
		источников напряжений. Задаётся при генерации модели.	
Фаза	fasa	Значение угла фазового сдвига	

2.2.2 Генератор ELECTROCITY

Блок реализует модель синхронного генератора переменного тока (Рисунок 3 –). Может использоваться как батарея или источник напряжения в сети. Предназначен для использования в однолинейных электрических схемах.



Генератор ELECTROCITY

Рисунок 3 – Генератор ELECTROCITY

Таблица 2 – Свойства блока «Генератор ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Напряжение, В (имя/значение)	ede_base	Имя переменной/Константа	
Частота, Гц (имя/значение)	edf_sour	Имя переменной/Константа	
Сопротивление генератора, Ом (имя/значение)	rgen	Имя переменной/Константа	
Угол в град. (имя/значение)	fasa	Имя переменной/Константа	
Минимальное сопротивление линии, Ом	minr	Значение	
Весовой коэффициент	minr	Коэффициент для расчёта приведённого напряжения	
Генератор включен (имя/значение)	ed_metka2	Имя переменной/Константа	
Активный ток генератора, А (имя/значение)	edirload	Активная составляющая нагрузки генератора	
Реактивный ток генератора, А (имя/значение)	ediiload	Реактивная составляющая нагрузки генератора	
Постоянный индекс для источника	src_const_index	Да/Нет	
Индекс в массиве для источника	src_index	Индекс блока в массиве источников напряжений. Задаётся при генерации модели.	
Постоянный индекс	is_const_index	Да/Нет	

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
для узла			
Индекс в массиве для узла	index	Индекс блока в массиве узлов. Задаётся при генерации модели.	
Индекс в массиве для проводника	wire_index	Индекс блока в массиве проводников. Задаётся при генерации модели.	
Постоянный индекс для проводника	wire_const_index	Да/Нет	
Тип источника	edkmetka3	Обычный/Генератор/Батарея	
Узел заземлен	grounded	Да/Нет	
Имя заземлителя	ground_brk		
Использовать соглашение по именам		Да/Нет	

2.2.3 Проводник ELECTROCITY

Блок предназначен для объединения элементов электрических схем (Рисунок 4 –). В блоке рассчитываются значения полной, активной и реактивной составляющей тока и полной, активной и реактивной мощностей.



Проводник ELECTROCITY

Рисунок 4 – Проводник ELECTROCITY

Таблица 3 – Свойства блока «Проводник ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Минимальное сопротивление, Ом	minr	Значение	
Индекс в массиве	wire_index	Индекс в массиве проводников	
Постоянный индекс	wire_const_index	Да/Нет	
Ток подсветки	hi_curent	Значение	

2.2.4 Узел ELECTROCITY

Узел ELECTROCITY с помощью задания активной и реактивной составляющих тока моделирует различные электрические нагрузки (Рисунок 5 –).



Узел ELECTROCITY

Рисунок 5 – Узел ELECTROCITY

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

«Узел ELECTROCITY» – единственный расчетный объект, к которому можно присоединить любое количество связей (проводников) без дополнительных портов входа.

Таблица 4 – Свойства блока «Узел ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Активная составляющая тока нагрузки узла, А (имя/значение)	edirload	Переменная/Значение	
Реактивная составляющая тока нагрузки узла, А (имя/значение)	ediiload	Переменная/Значение	
Постоянный индекс	is_const_index	Да/Нет	
Индекс в массиве	dtString	Индекс в массиве узлов	
Заземлен	grounded	Да/Нет	
Имя заземлителя	ground_brk	Переменная/Пусто	

2.2.5 Шина ELECTROCITY

Блок предназначен для преобразования топологии электрических схем из трехфазного однолинейного представления в трехлинейное и наоборот, или для объединения электрических схем (Рисунок 6 – 2.2.6 Рисунок 7 – Таблица 6 –). Аналогичен блоку «Узел ELECTROCITY».



Шина ELECTROCITY

Рисунок 6 – Шина ELECTROCITY

Таблица 5 – Свойства блока «Шина ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя шины	busname	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Количество портов	nport	Значение кол-ва возможных присоединений	
Активная составляющая тока нагрузки узла, А (имя/значение)	edirload	Имя переменной/Значение	
Реактивная составляющая тока нагрузки узла, А (имя/значение)	ediiload	Имя переменной/Значение	
Номинальное напряжение, В	sec_volt	Значение напряжения шины	
Время выбега, сек	u_time	Значение	
Имя отказа	mf_name	Имя переменной отказа	

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Ток короткого замыкания, А	ikz	Значение	
Постоянный индекс	is_const_index	Да/Нет	
Индекс в массиве	index	Индекс элемента в массиве узлов	
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Узел-шина	is_shine	Да/Нет	
Цвет обесточенной шины	Off_Color	Значение цвета	
Цвет шины под напряжением	On_Color	Значение цвета	

2.2.6 Трансформатор ELECTROCITY

Блок реализует модель однофазного двухобмоточного трансформатора (Рисунок 7 –).



Трансформатор ELECTROCITY

Рисунок 7 – Трансформатор ELECTROCITY

Коэффициент трансформации определяется выражением:

$$K_{тр} = \frac{U_{номВН}}{U_{номНН}}$$

где:

$K_{тр}$ – коэффициент трансформации;

$U_{номНН}$ – номинальное низшее (НН) напряжение;

$U_{номВН}$ – номинальное высшее (ВН) напряжение.

Таблица 6 – Свойства блока «Трансформатор ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Номинальная мощность, МВА	eds_t_n	Значение	
Коэффициент трансформации	edk_kt_t	Значение	
Номинальное напряжение трансформатора начального узла, кВ	edke_t_n	Значение ($U_{номВН}$)	
Напряжение короткого замыкания, %	edk_uk_t	Значение	
Потери короткого замыкания, %	edk_pk_t	Значение	

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Свойства блока заполняются в соответствии с паспортными характеристиками оборудования. Если модель трансформатора имеет регулятор напряжения под нагрузкой (РПН), вместо значения коэффициента трансформации указывается переменная из вспомогательной модели РПН.

2.2.7 Трансформатор 3 повышающий ELECTROCITY

Блок реализует модель двухобмоточного повышающего трансформатора (Рисунок 8 –).



Трансформатор 3 повышающий ELECTROCITY

Рисунок 8 – Трансформатор 3 повышающий ELECTROCITY

Таблица 7 – Свойства блока «Трансформатор 3 повышающий ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Описание	Desc		
sub_name	sub_name	Имя суб. модели	
Номинальная мощность, МВА	Snom	Значение	
Номинальное напряжение ВН, кВ	Unomhv	Значение	
Коэффициент трансформации	ktr	Значение/Переменная	
Потери холостого хода, кЕт	Pxx	Значение	
Потери короткого замыкания, кВт	Pkz	Значение	
Ток холостого хода, %	Ihh	Значение	
Напряжение короткого замыкания, %	Ukz	Значение	

2.2.8 Трансформатор 3 понижающий ELECTROCITY

Блок реализует модель двухобмоточного понижающего трансформатора (Рисунок 9 –).



Трансформатор 3 понижающий ELECTROCITY

Рисунок 9 – Трансформатор 3 понижающий ELECTROCITY

Блок аналогичен трансформатору 3 повышающему.

Таблица 8 – Свойства блока «Трансформатор 3 понижающий ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Описание	Desc		
sub_name	sub_name	Имя суб. модели	
Номинальная мощность, МВА	Snom	Значение	

б/н	11
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Номинальное напряжение ВН, кВ	U _{nomhv}	Значение	
Коэффициент трансформации	ktr	Значение/Переменная	
Потери холостого хода, кЕт	P _{xx}	Значение	
Потери короткого замыкания, кВт	P _{kz}	Значение	
Ток холостого хода, %	I _{hh}	Значение	
Напряжение короткого замыкания, %	U _{kz}	Значение	

2.2.9 Трансформатор трехобмоточный

Блок реализует модель силового трехобмоточного понижающего трансформатора (Рисунок 10 –).



Трансформатор трехобмоточный ELECTROCITY

Рисунок 10 – Трансформатор трехобмоточный ELECTROCITY

Таблица 9 – Свойства блока «Шина ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Номинальное напряжение ВН, кВ	_U _{vn}	Значение	
Потери КЗ, кВт	_dP _{kz}	Значение	
Напряжение КЗ, %	_dU _{kz}	Значение	
Потери КЗ НН-НН, %	_dU _{kzn}	Значение	
Номинальная мощность, МВА	_S _{nom}	Значение	
Коэффициент трансформации.	_ktr	Значение	

Свойства блока заполняются в соответствии с паспортными характеристиками оборудования. Если модель трансформатора имеет регулятор напряжения под нагрузкой (РПН), вместо значения коэффициента трансформации указывается переменная из вспомогательной модели РПН.

2.2.10 Заземлитель ELECTROCITY 3

Блок является расчетным, является ссылкой на другой узел расчетной схемы и служит для указания подключения к точке заземления (Рисунок 11 –).



Заземлитель ELECTROCITY 3

Рисунок 11 – Заземлитель ELECTROCITY 3

Таблица 10 – Свойства блока «Заземлитель»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Активная составляющая тока, входящего в узел, А (имя/значение)	edirload		
Реактивная составляющая тока, входящего в узел, А (имя/значение)	ediiload		
Постоянный индекс	is_const_index		
Индекс в массиве	index		

2.2.11 Выключатель ELECTROCITY

Блок реализует модель выключателя нагрузки (рубильник) переменного тока с визуализацией коммутационного состояния (Рисунок 12 –).



Выключатель ELECTROCITY

Рисунок 12 – Выключатель ELECTROCITY

Схема замещения выключателя представлена активным сопротивлением, изменяющимся в зависимости от коммутационного состояния.

Таблица 11 – Свойства блока «Выключатель ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя выключателя	sw_name	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Точка отнесения	j_point	Не используется	
Активное сопротивление, Ом	edrisr		
Реактивное сопротивление, Ом	edrisx		
Текущее положение	position	0 – включен (по умолчанию), 1 - выключен	
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name		
Цвет выключенного	OffColor	Черный – включен (по умолчанию)	
Цвет включенного	OnColor	Красный – выключен (по умолчанию)	

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

2.2.12 Выключатель ELECTROCITY 2

Блок реализует модель предохранителя с визуализацией коммутационного состояния (Рисунок 13 –).

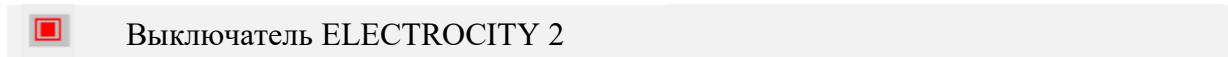


Рисунок 13 – Выключатель ELECTROCITY 2

Схема замещения выключателя представлена активным сопротивлением, изменяющимся в зависимости от коммутационного состояния.

Таблица 12 – Свойства блока «Выключатель ELECTROCITY 2»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя выключателя	sw_name	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Точка отнесения	j_point	Не используется	
Активное сопротивление, Ом	edrisr		
Реактивное сопротивление, Ом	edrisx		
Текущее положение	position	0 – включен (по умолчанию), 1 - выключен	
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name		
Цвет выключенного	OffColor	Черный – включен (по умолчанию)	
Цвет включенного	OnColor	Красный – выключен (по умолчанию)	

2.2.13 Переключатель трехпозиционный ELECTROCITY 3

Блок реализует модель коммутационного устройства, обеспечивающего коммутацию между источником и тремя подключенными линиями с визуализацией коммутационного состояния (Рисунок 14 –).



Рисунок 14 – Переключатель трехпозиционный ELECTROCITY 3

Схема замещения выключателя представлена активным сопротивлением, изменяющимся в зависимости от коммутационного состояния. Возможность поворота переключателя в стороны показана точкой.

Таблица 13 – Свойства блока «Переключатель трехпозиционный ELECTROCITY 3»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя выключателя	sw_name		
Активная составляющая ток,	edirload		

б/н	14
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
входящего в узел, А (имя/значение)			
Реактивная составляющая ток, входящего в узел, А (имя/значение)	ediiload		
Активное сопротивление, Ом	edrisr		
Реактивное сопротивление, Ом	edrisx		
Режим	mode		
Текущее положение	position		
Приоритеты по входам	priority		
Установка автоматического переключения	avtolevel		
Постоянный индекс	is_const_index		
Индекс в массиве	index		
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name		
Заземлен	grounded		
Имя заземлителя	ground_brk		

2.2.14 Выключатель ELECTROCITY 5

Блок реализует модель коммутационного аппарата (Рисунок 15 –).



Выключатель ELECTROCITY 5

Рисунок 15 – Выключатель ELECTROCITY 5

Таблица 14 – Свойства блока «Выключатель ELECTROCITY 5»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя выключателя	sw_name	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Точка отнесения	j_point	Не используется	
Активное сопротивление, Ом	edrisr		
Реактивное сопротивление, Ом	edrisx		
Текущее положение	position	0 – включен (по умолчанию), 1 - выключен	
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name		
Цвет выключенного	OffColor	Черный – включен (по	

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
		умолчанию)	
Цвет включенного	OnColor	Красный – выключен (по умолчанию)	

2.2.15 Разъединитель ELECTROCITY 2

Блок реализует модель разъединителя (Рисунок 16 –) – коммутационного аппарата, предназначенного для отключения электрической цепи в отсутствие тока или с незначительным током (например, холостым током трансформаторов).



Разъединитель ELECTROCITY 2

Рисунок 16 – Разъединитель ELECTROCITY 2

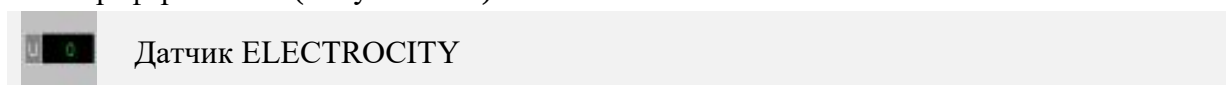
Разъединители используются для обеспечения безопасности на время ремонта или обслуживания оборудования путем создания видимого разрыва электрической цепи. Кроме этого, разъединители применяются в электроустановках с несколькими шинами для переключения с одной шины на другую.

Таблица 15 – Свойства блока «Разъединитель ELECTROCITY 2»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Имя выключателя	sw_name	Отображается значение свойства «Имя» вкладки «Общие»	
Точка отнесения	j_point	Не используется	
Активное сопротивление, Ом	edrisr		
Реактивное сопротивление, Ом	edrisx		
Текущее положение	position	0 – включен (по умолчанию), 1 - выключен	
Имя в s3 (для просмотра)	trans_name		
Цвет выключенного	OffColor	Черный – включен (по умолчанию)	
Цвет включенного	OnColor	Красный – выключен (по умолчанию)	

2.2.16 Датчик ELECTROCITY

Блок отображает одно из рассчитанных значений матмодели в схеме или отклонение значение от референсного (Рисунок 17 –).



Датчик ELECTROCITY

Рисунок 17 – Датчик ELECTROCITY

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Упрощает отображение больших значений в соответствии с приставками значений в СИ. Также можно задавать пределы измерений и шумы.

Таблица 16 – Свойства блока «Датчик ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Дифференциальный вход	diff_meter	Да / Нет	
Тип датчика	meter_type	Напряжение / Ток / Частота / Мощность полная / Мощность активная / Мощность реактивная / Коэффициент мощности	
Точка отнесения для линий	main_point	Начало / Конец	
Значение при обесточивании	off_value_type	Минимальное / Максимальное	
Имя шины питания	el_name		
Минимальное значение	minimum		
Максимальное значение	maximum		
Коэффициент усиления	koefficient		
Смещения нуля	zero_shift		
Постоянная времени, сек	time		
Уровень шума (доля от максимума)	noise		
Тип выводимого значения	dis_type	Аналоговый / Уставка	
Тип уставки	ust_type	Больше / Меньше	
Значение уставки	ust_value		
Формат числа	num_format	Основной / Научный / Фиксированный / Целый	
Общее кол-во знаков	precition	Точность отображения дробной части значения.	
Кол-во знаков после запятой	digits	Количество отображаемых разрядов после запятой.	
Размерность	unit		
Описание	description		
Имя в s3	trans_name		

2.2.17 Датчик произвольной величины ELECTROCITY

Блок отображает рассчитанную в матмодели переменную (Рисунок 18 –). Упрощает отображение больших значений в соответствии с приставками значений в СИ.



Датчик произвольной величины ELECTROCITY

Рисунок 18 – Датчик произвольной величины ELECTROCITY

Можно задавать пределы измерений и шумы.

Таблица 17 – Свойства блока «Датчик произвольной величины ELECTROCITY»

Название	Имя свойства	Значение	Имя переменной (где применимо)
Тип датчика	meter_type	Текст описывающий отображаемую переменную	
Имя измеряемой переменной	varname		
Значение при обесточивании	off_value_type	Минимальное / Максимальное	
Имя шины питания	el_name		
Минимальное значение	minimum		
Максимальное значение	maximum		
Коэффициент усиления	koefficient		
Смещения нуля	zero_shift		
Постоянная времени, сек	time		
Уровень шума (доля от максимума)	noise		
Тип выводимого значения	dis_type	Аналоговый / Уставка	
Тип уставки	ust_type	Больше / Меньше	
Значение уставки	ust_value		
Формат числа	num_format	Основной / Научный / Фиксированный / Целый	
Общее кол-во знаков	precision	Точность отображения дробной части значения.	
Кол-во знаков после запятой	digits	Количество отображаемых разрядов после запятой.	
Размерность	unit		
Описание	description		
Имя в s3	trans_name		

3 Создание электрической схемы

Графический редактор ELECTROCITY используется для создания математических моделей электрических схем.

3.1 Требуемые исходные данные

Следующие данные требуются для этого процесса:

- 1) ELECTROCITY схема электрических узлов и связей. Эта схема должна включать в себя все узлы, выключатели, выпрямители, инверторы, трансформаторы, генераторы, аккумуляторные батареи и т.д. Эта схема может быть сгенерирована на основе технологических и принципиальных схем.
- 2) ELECTROCITY требует дополнительные данные:
 - активное и реактивное сопротивления выключателей;
 - коэф. трансформации, мощность, напряжение и потери короткого замыкания трансформаторов и т.д.;
 - частота и напряжение в базисных узлах;
 - номинальное напряжение секции;
 - рабочие характеристики выпрямителей/инверторов;
 - напряжение генераторов;
 - характеристики дизель-генераторных установок;
 - характеристики аккумуляторных батарей.

3.2 Компиляция схемы

Для запуска схемы на компиляцию (Рисунок 19 –), выберите мышью меню ELECTROCITY и строку «Сгенерировать исходники».

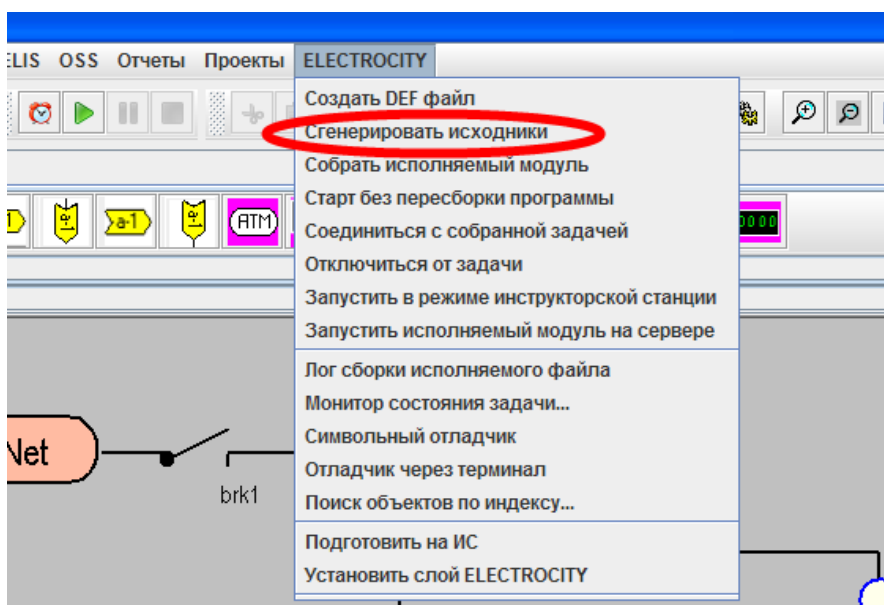


Рисунок 19 – Компиляции схемы

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

После этого Вы получите сообщение об ошибках, если они есть. Если ошибки имели место, то Вы можете двойным нажатием левой кнопки мыши на сообщение выделить место возникновения ошибки. Оно будет подсвечено красным прямоугольником для объекта и красными точками для пути. Для продолжения работы необходимо исправить ошибки и перекомпилировать схему. В случае отсутствия ошибок, программа автоматически перейдет к генерации *FORTTRAN* кода набранной модели. В окне сообщений Вы получите отчет о сделанной работе.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

4 Выходные файлы

После компиляции схемы, ELECTROCITY создает различные файлы, необходимые для запуска программы в режиме реального времени. В качестве примера возьмем систему sb с номером задачи 12.

4.1 Графические файлы

Вы можете сохранить файл, содержащий схему, в любом месте и с любым именем на компьютере.

4.2 Файл задания значений массивов и переменных

Техническая информация, такая как коэффициенты трансформации или номинальные напряжения, сохраняется в отдельном файле в директории `~/[имя системы]/selects`. Имя файла формируется по следующему правилу:

`[имя системы]_[номер задачи].dat`

Номер задачи и система указываются в параметрах схемы. Этот файл может быть модифицирован из графического редактора или вручную.

4.3 Файлы с исходным кодом программы

После успешной генерации кода программы, Вы получаете набор файлов, содержащих математическую модель Вашей схемы. Эти файлы расположены в директории `~/[имя системы]/sources`. Каждый файл имеет в своем начале заголовок, в котором дается краткое описание, что делает конкретный модуль. Вот имена этих файлов:

- s.[имя системы]d0[номер задачи]h (s.sbd012h)
- s.s[имя системы]1el[номер задачи] (s.ssb1el12)
- s.s[имя системы]1jn[номер задачи] (s.ssb1jn12)
- s.s[имя системы]2el[номер задачи] (s.ssb2el12)
- s.s[имя системы]2jn[номер задачи] (s.ssb2jn12)
- s.s[имя системы]bat[номер задачи] (s.ssbbat12)
- s.s[имя системы]rec[номер задачи] (s.ssbrec12)
- s.s[имя системы]dis[номер задачи] (s.ssbdis12)
- s.s[имя системы]elm[номер задачи] (s.ssbelm12)
- s.s[имя системы]inh[номер задачи] (s.ssbinh12)
- s.s[имя системы]trm[номер задачи] (s.ssbtrm12)

4.4 Файлы базы данных

Файлы базы данных содержат все имена переменных, используемых в ELECTROCITY для расчетов и список модулей, используемых программой. Эти файлы используются как

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

входные для базы данных. Они имеют формат для прямого ввода их в базу данных. Имена файлов формируются по следующему правилу:

[имя системы]_[номер задачи]_dbm

[имя системы]_[номер задачи]_dsd

Код генератор создает файл базы данных в директории ~/[имя системы]/selects.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

5 Линейные уравнения узловых напряжений, матрица узловых проводимостей

4.1. Схемы электрических систем и их элементы

Электрическую систему можно рассматривать как электрическую цепь, предназначенную для производства, распределения и потребления электроэнергии. Элементы электрических схем делятся на активные и пассивные. Пассивные элементы схем замещения (сопротивления и проводимости) создают пути для прохождения электрических токов. Активные элементы схем замещения—источники ЭДС и тока. Они определяют напряжения или токи в точках присоединения элементов к соответствующей цепи независимо от остальных ее параметров. Источники тока в расчетах электрических систем соответствуют генераторам электрических станций и нагрузкам потребителей. Именно в этих активных элементах генерируется и потребляется мощность. Основными параметрами рассмотренных выше пассивных элементов электрических цепей являются активное сопротивление r , индуктивность L и емкость C . Для простоты изложения не будем учитывать взаимную индуктивность. Параметры цепи почти всегда в той или иной степени зависят от тока и напряжения. Сопротивление r меняется при изменении тока, поскольку при этом изменяется температура проводника. Емкость конденсатора может зависеть от напряжения, а индуктивность катушки от тока. Однако во многих случаях эта зависимость настолько слабая, что ею можно пренебречь и считать параметры пассивных элементов цепи не зависящими от тока и напряжения. В этих случаях характеристики элементов электрической цепи (зависимости напряжения от тока в сопротивлении r , заряда от напряжения на конденсаторе с емкостью C , потокосцепления от тока катушки с индуктивностью L) можно представить прямыми линиями. Такие элементы цепи называются линейными. В линейных элементах сопротивление r , емкость C и индуктивность L постоянны, т.е. не зависят от тока и напряжения этих элементов.

5.1 Уравнения узловых напряжений

На начальном этапе считаются известными сопротивления и проводимости всех пассивных элементов электрической цепи и величины всех источников тока и напряжения, а также напряжение одного узла - базового по напряжению. Надо определить напряжения n узлов и токи в m ветвях. Число независимых уравнений по первому закону Кирхгофа равно числу независимых узлов n . Уравнение первого закона Кирхгофа для $(n+1)$ -го узла является следствием уравнений для остальных n узлов и не входит в число независимых уравнений. Если в качестве неизвестных принять n узловых напряжений, то установившийся режим достаточно описать только узловыми уравнениями, вытекающими из первого закона Кирхгофа и закона Ома. Уравнения узловых напряжений следуют из первого закона Кирхгофа, если все токи в ветвях выразить через узловые напряжения и проводимости ветвей. Число уравнений узловых напряжений равно числу независимых узлов n . Решив n уравнений узловых напряжений с n неизвестными, определим напряжения всех узлов. Затем вычислим токи в ветвях, которые однозначно определяются из закона Ома через известные напряжения узлов. Такой путь эффективнее, чем решение системы m уравнений первого и второго законов Кирхгофа для определения m независимых токов в ветвях, так как число ветвей в электрических системах, как

б/н	23
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

правило, значительно больше числа узлов. В матричной форме система уравнений узловых напряжений записывается в виде:

$$Y_u U = I - Y_{баз} U_{баз} \quad (1)$$

где Y_u - матрица собственных и взаимных проводимостей

U - матрица узловых напряжений

I - матрица токов

$Y_{баз}$ - матрица взаимных проводимостей с базовым узлом

За $U_{баз}$ принимается напряжение узла (узлов), которое не зависит от токораспределения в схеме (напр. напряжение сети).

$$Y_u = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1n+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ Y_{b+11} & \dots & Y_{1n+1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Если между двумя узлами нет связи, то соответствующая взаимная проводимость равна нулю. Если узлы k и j соединены ветвью с сопротивлением Z_i и проводимостью Y_i , то:

$$Y_{kj} = -Y_i = -1/Z_i \quad (3)$$

Собственная проводимость k -го узла Y_{kk} равна сумме проводимостей всех ветвей, соединенных с узлом k . Если таких ветвей нет, то собственная проводимость Y_{kk} равна сумме всех взаимных проводимостей Y_{kj} , взятой с обратным знаком. Пусть с узлом k соединено m ветвей, тогда:

$$Y_{kk} = \sum_{i=1}^m Y_i = -\sum_{j=1}^{n+1} Y_{kj} \quad (4)$$

При расчетах режимов электрических систем задающий ток I_k равен алгебраической сумме токов источников, подключенных к узлу k . Токи, соответствующие генерации или потреблению, имеют разные знаки. При наличии в цепи источников ЭДС в ток k -го узла I_k входит алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей, соединенных с узлом k , на проводимость этих ветвей. При решении на ЭВМ уравнения узловых напряжений для сети переменного тока, как правило, приводятся к системе действительных уравнений порядка $2n$, где n — число независимых узлов. Для этого представляют матрицы и вектор-столбцы с комплексными элементами в виде сумм матриц и вектор-столбцов с действительными элементами (при этом надо в виде такой суммы представить каждый комплексный элемент и учесть правило сложения матриц):

$$\begin{aligned} Y_u &= G_u + jB_u \\ U &= U' + jU'' \\ I &= I' + jI'' \end{aligned} \quad (5)$$

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

Таким образом, систему уравнений узловых напряжений для цепи переменного тока можно записать в матричном виде следующим образом:

$$\begin{vmatrix} G_y & -B_y \\ B_y & G_y \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} U' \\ U'' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I' \\ I'' \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} G_{баз} & U_{баз} \\ B_{баз} & U_{баз} \end{vmatrix} \quad (6)$$

где G_y - активная проводимость
 $G_{баз}$ - активная проводимость путей с источниками
 B_y - реактивная проводимость
 $B_{баз}$ - реактивная проводимость путей с источниками
 U', I' - активные составляющие напряжения и тока в узле
 U'', I'' - реактивные составляющие напряжения и тока в узле
 $U_{баз}$ - напряжение источников

Матрица собственных и взаимных проводимостей узлов Y_y играет важную роль в расчетах установившихся режимов электрических систем. Обычно в качестве исходных данных для расчетов установившихся режимов электрических систем задают сопротивления продольных ветвей (линий электропередачи, трансформаторов), а также топологию схемы (схему соединений) электрической системы. Топология схемы, как правило, задается парами номеров узлов, соединенных ветвями. Элементы матрицы проводимостей Y_y рассчитываются на ЭВМ. Такой расчет очень прост и состоит практически в определении взаимных проводимостей и в вычислении собственных проводимостей. Последние равны отрицательной сумме взаимных проводимостей ветвей, соединенных с данным узлом.

Матрица собственных и взаимных проводимостей симметричная, т.е. $Y_{ki}=Y_{jk}$. Важнейшим свойством матрицы Y_y является большое количество нулевых элементов - ее слабая заполненность (разреженность). Как отмечалось выше, если узлы не соединены между собой ветвью, то их взаимная проводимость равна нулю. В электрической системе каждый узел связан лишь с небольшим количеством соседних узлов. Легко убедиться, насколько меньше памяти требуется для запоминания ненулевых элементов матрицы Y_y в сравнении с тем случаем, когда пришлось бы запомнить все элементы этой матрицы, число которых равно n^2 . Возможность использования слабой заполненности матриц уравнений является важнейшим свойством, которое надо учитывать при сопоставлении различных методов расчетов установившихся режимов.

6 Метод относительных единиц

Для составления матриц активных и реактивных проводимостей, необходимо все сопротивления элементов схемы перевести в относительные единицы. На этом строится метод относительных единиц. Суть метода заключается в том, что все величины, характеризующие режим работы электрической сети в системе относительных единиц, выражаются в долях некоторых величин (той же размерности), принятых за единицы измерения и называемых *базисными*.

В качестве базисных величин принимают мощность и напряжение, а сопротивление и ток определяются исходя из соотношений:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} * U_6} \quad (7)$$

$$Z_6 = U_6^2 / S_6$$

Если в рассматриваемой схеме имеются трансформаторные связи, то напряжение, принимаемое за базисное, должно быть выбрано на определенной ступени и все сопротивления, находящиеся на разных ступенях трансформации, должны быть сначала приведены к этой ступени трансформации, а затем уже вычислены в относительных единицах.

Для перевода сопротивлений, выраженных в омах, в относительные единицы применяют выражение:

$$Z^* = Z S_6 (k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2) / U_6^2 \quad (8)$$

где $k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$ - коэффициенты трансформации трансформаторов, размещенных между цепью, в которой находится сопротивление, и цепью, к которой приводятся сопротивления системы.

Соотношения между сопротивлениями, выраженными в процентах или долевых единицах, отнесенных к номинальной мощности, записывается как

$$Z^* = Z * S_6 * U_{ном}^2 * (k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2) / (U_6^2 * S_{ном}), \quad (9)$$

где $Z = Z_{ном} / 100$

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

7 ELECTROCITY

В основе программы лежит метод решения уравнений узловых напряжений с использованием системы относительных единиц, основные законы электротехники (закон Ома, 1-й и 2-й законы Кирхгофа, уравнения баланса мощностей) и законы коммутации. Более подробное описание подпрограмм управляемых источников напряжения(тока) и электрических машин представлено в Приложении А.

исходные данные

- число узлов в схеме - в программе соответствует переменная edknodmax;
- число путей – edkpnmax;
- число источников – edknumist;
- базисная мощность - edks_base;
- массив начальных узлов на пути - edknod1(edkpnmax);
- массив конечных узлов на пути - edknod2(edkpnmax);
- массив базисных узлов на пути - edkbas1(edkpnmax);
- связи между узлами -ed:cnct(edkpnmax);
- число источников – edknumist;
- напряжение источников, В - ede_base(edknumist);
- частота источников, Гц - edf_sour(edknumist);
- весовой коэффициент источников (пропорциональный мощности источника) - edkveskf(edknumist);
- активная составляющая тока, входящего в узел (при положительном значении) или выходящего из узла (при отрицательном значении) - edirload(edkpnmax);
- реактивная составляющая тока, входящего в узел (при положительном значении) или выходящего из узла (при отрицательном значении) - ediiload(edkpnmax).

Посредством задачи активной и реактивной составляющей тока моделируется нагрузка в узлах.

Для определения сопротивления пути необходимо знать сопротивления каждого элемента находящегося на данном пути. Сопротивления трансформаторов (выраженные в относительных единицах) определяются, исходя из (9) , по следующим формулам:

$$R_{тр-ра} = P_k * (U_{ном\ t}^2 / S_{ном\ t}) * (S_{баз} / U_{прив}^2) \quad (10)$$

$$X_{тр-ра} = (U_k / 100) * (U_{ном\ t}^2 / S_{ном\ t}) * (S_{баз} / U_{прив}^2)$$

где P_k - потери короткого замыкания, кВт (в программе соответствует массив edk_pk_t(edkpnmax))

U_k - напряжение короткого замыкания, % (edk_uk_t(edkpnmax))

$U_{ном\ t}$ - номинальное напряжение трансформатора со стороны начального узла, кВ (ede_t_n (edkpnmax))

$S_{ном\ t}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА (eds_t_n (edkpnmax))

$U_{прив}$ - напряжение, приведенное к данной ступени трансформации, кВ (ede_lev(edknodmax))

$U_{прив}$ рассчитывается внутри программы по следующему алгоритму:

б/н	27
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

- определяются статусы источников (ed:sour(edknumist));
- зная напряжения источников и коэффициенты трансформации трансформаторов (edk_kt_t(edkpnmax)), определяются напряжения в узлах от каждого источника и записываются в массив edebufer(номер источника, номер узла);
- в соответствии с принципом суперпозиции $U_{\text{прив}}$ определяется как отношение сумм напряжений в узле от разных источников, умноженных на соответствующие весовые коэффициенты, к сумме весовых коэффициентов источников.

Сопротивления других элементов (выраженные в относительных единицах) (выключателей, инверторов, выпрямителей и т.д.) определяются исходя из (8) по формуле:

$$\begin{aligned} R^* &= R * (S_{\text{баз}} / U_{\text{прив}}^2) \\ X^* &= X * (S_{\text{баз}} / U_{\text{прив}}^2) \end{aligned} \quad (11)$$

где: R и X - активная и реактивная составляющая сопротивления элемента в омах.

Частота в узле (edfnod(edknodmax)) определяется аналогично $U_{\text{прив}}$ с использованием массива edfbufer(edknumist,edknodmax).

Сопротивления путей (активные (edrisrpath(edkpnmax)) и реактивные (edrisxpath(edkpnmax)) составляющие) определяются как сумма соответствующих сопротивлений элементов, находящихся на данном пути. На основе их формируются массивы активных (edcondg(edkpnmax)) и реактивных (edcondb(edkpnmax)) проводимостей путей по следующим формулам:

$$\begin{aligned} g_{\text{пути}} &= R_{\text{пути}} / (R_{\text{пути}}^2 + X_{\text{пути}}^2) \\ b_{\text{пути}} &= X_{\text{пути}} / (R_{\text{пути}}^2 + X_{\text{пути}}^2) \end{aligned} \quad (12)$$

На следующем этапе происходит создание матриц активных (edmaing(edknodmax,edknodmax)) и реактивных (edmaing(edknodmax,edknodmax)) взаимных проводимостей (матрицы G_y и B_y из уравнения (5)), а также вектор-столбцов активных (edmcvg(edknodmax)) и реактивных (edmcvb(edknodmax)) взаимных проводимостей с базисными узлами (последний член уравнения (6)). Правая часть уравнения (6) записывается в массив edmrside(2*edknodmax), а первый член уравнения (6) в массив edmain(2*edknodmax,2*edknodmax). Расчет напряжений из уравнения (6) производится в подпрограмме EDINV, предварительно преобразовав матрицу полных проводимостей edmain в edmain_1, исключив нулевые элементы. Результат вычислений записывается в edmrside, где первые edknodmax-элементов - активные составляющие напряжения, а последующие - реактивные составляющие напряжения (в относительных единицах). Активные (ede_u_r) и реактивные (ede_u_i) составляющие напряжения (в именованных единицах) в узлах получают последующим умножением на $U_{\text{прив}}$ соответствующего узла. Полная составляющая напряжения (ede_u) рассчитывается как квадратный корень из суммы квадратов активной и реактивной составляющих напряжения.

Активные (edi_ir_b, edi_ir_e), реактивные (edi_ii_b, edi_ii_e) и полные (edi_i_b, edi_i_e) составляющие токов в начале и конце пути определяются по формулам:

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

$$\begin{aligned}
I_{ij}^{' } &= ((U_i^{' } - U_j^{' }) * g_{ij} - (U_i^{'' } - U_j^{'' }) * b_{ij}) * I_{\delta} \\
I_{ij}^{'' } &= ((U_i^{' } - U_j^{' }) * b_{ij} + (U_i^{'' } - U_j^{'' }) * g_{ij}) * I_{\delta} \\
I_{ij} &= \sqrt{I_{ij}^{' 2} + I_{ij}^{'' 2}}
\end{aligned}
\tag{12}$$

где I_{δ} (edi_nod_bas(edknodmax)) определялось по уравнению (7).

Активные (edw_p), реактивные (edw_q) и полные (edw_s) составляющие мощности рассчитываются по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}
P &= \sqrt{3} * (I^{' } * U^{' } - I^{'' } * U^{'' }) \\
Q &= \sqrt{3} * (I^{' } * U^{'' } + I^{'' } * U^{' }) \\
S &= \sqrt{3} * U * I
\end{aligned}
\tag{12}$$

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ELECTROCITY Руководство пользователя	Номер редакции 1.0
---------------	---	--------------------

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) ГОСТ 19.105–78 ЕСПД. Общие требования к программным документам (Раздел «Аннотация»).

Лист регистрации изменений

[illegible]