

# Цифровой двойник участка распределительной электрической сети (фидера)

Руководство пользователя ПО (ред. 1 от 18.08.2024)

ООО «Центр прикладных исследований «Центр опережающих технологий электроэнергетики»

#### Оглавление

#### Аннотация

1	Этап	I. Подготовка данных для расчёта.	5
	1.1	Описание системы ввода данных для получения модельного расчёта	5
2	Этап	II. Загрузка ПО «Цифровой двойник участка распределительной электрической сети (фидера)»	8
	2.1	Начало работы	8
3	Этап	III. Заполнение поля канваса	11
	3.1	Работа с канвасом	11
	3.2	Заполнения поля канваса	12
	3.2.1 Pa	измещение однолинейной схемы на пустом поле канваса	13
4	Этап	IV. Расчёт параметров сети. Запуск вычислительного модуля	20
5	Этап	V. Результаты работы вычислительного модуля	21
	5.1	Общее описание	21
	5.2	Окно «Графики»	23
	5.3	Окно «Формирование отчета»	26
	5.4	Окно «Журнал событий»	26
6	Этап	VI. Расчёт вариантов технического решения проблемы поддержания качества электроэнергии в случае набора нагрузки нов	ым
те	хнологи	ическим присоединением льготной группы потребителей	ned.
7	Спра	вочно	29
	7.1	Параметры линий	29

# Руководство пользователя ПО «Цифровой двойник участка распределительной электрической сети (фидера)»

#### Аннотация

Общество с ограниченной ответственностью «Центр прикладных исследований «Центр опережающих технологий электроэнергетики», в рамках реализации научно-исследовательской деятельности осуществляет стратегический проект «Новые принципы управления энергетическими системами».

В соответствии с целями проекта Специалистами общества совместно с командой учёных «Сколковского института науки и технологий» разработан и реализован в виде программных кодов Программный комплекс «Цифровой двойник фрагмента электросетевого комплекса» который используется в сетевом комплексе для решения проблемы «Поддержание параметров

качества электроэнергии до нормативного уровня» в точках присоединения потребителей.



Программный комплекс «Цифровой двойник» позволяет произвести расчёт вариантов технического решения проблем качества электроэнергии и надёжности энергоснабжения.

Программный комплекс может использоваться:

- предприятиями и организациями электросетевого комплекса,

- юридическими и физическими лицам – потребителями электроэнергии,

- производителями и поставщиками компонентов и комплексов Систем Накопления Энергии.

# Цель применения и Принцип работы Программного комплекса «Цифровой двойник»

Целью применения Программного комплекса «Цифровой двойник» является проведение расчёта вариантов технического решения проблем качества электроэнергии и надёжности энергоснабжения.

Решается задача устранения проблемы превышения нормируемых ГОСТ значений качества электроэнергии и надёжности энергоснабжения на участках сети 0,4 кВ в часы пиковых нагрузок вследствие:

- выходом большинства ранее *присоединённых потребителей* на максимальную допустимую мощность;
- набора нагрузки *новым технологическим присоединением* льготной группы потребителей;

Использование Программного комплекса «Цифровой двойник» также возможно для:

- расчёта вариантов выбора технического решения проблемы поддержания качества электроэнергии с целью оптимизации капитальных и операционных затрат на основе изменения фактических или введения проектных данных.
- необходимости резервирования нагрузки потребителя на период отключения основной сети.

Принципами работы алгоритмов ПО «Цифровой двойник участка распределительной электрической сети (фидера)» (далее - цифровой двойник) является:

- организация управления Системой Накопления Энергией (далее СНЭ)
  для контроля накопления и выдачи устройством электроэнергии на
  заданном участке распределительной электрической сети 0,4 кВ;
- определение технических характеристик СНЭ;
- сценарии применения устройства (локализация установки СНЭ) на заданном участке распределительной электрической сети.

Интерфейс ПО «Цифровой двойник» позволяет:

- *визуализировать существующие однолинейные* схемы в удобном для пользователя виде и масштабе.
- идентифицировать (визуализировать) проблемы отсутствия нормативных параметров качества (линейного напряжения) в точках присоединения потребителей выбранного фрагмента сети, в которых

превышается значение, нормируемое ГОСТ 32144-2013, в каждой из трёх фаз.

- визуализировать результаты модельного сравнительного расчёта оптимальной точки установки системы накопления на выбранном участке сети для устранения проблемы отсутствия нормативных параметров качества электроэнергии для всем точек подключения потребителей.

### 1 Этап І. Подготовка данных для расчёта.

#### 1.1 Описание системы ввода данных для получения модельного расчёта

Сценарные условия расчёта.

Расчёт производится для:

- участка распределительной сети, состоящего из одной трансформаторной подстанции (далее - ТП), опор линий электропередач, кабельных линий, проводов и потребителей.
- трёх режимов работы СНЭ (отпуск / потребление активной, реактивной полной мощности);
- условия работы СНЭ, когда заряд в конце суток должен быть равен заряду в начале суток, при этом режим работы СНЭ рассчитываются без поправки на минимальный уровень заряда и КПД.

1. Для получения данных необходимых для работы алгоритма заполняются следующие таблицы в формате EXCEL:

- лист «Сеть» содержит описания структуры сети (таблица 1), включая описания всех электрических опор с нагрузкой и без неё (маркируются соответствующим образом с нагрузкой «1», без нагрузки «0») и марок кабельных линий, проводов между опорами (при необходимости выбирается из раздела «Справочно. Параметры линий)»;
- лист «Потребители» содержит данные потребления электроэнергии (кВт\*ч) (таблица 2) в точках присоединённой нагрузки потребителей по данным дня (зимнего/летнего), характерного для максимальной суммарной нагрузки на ТП;
- лист «Подстанция» содержит получасовые значения (Таблица 3), активной (кВт) и реактивной мощности (кВар).

Таблица №1

Имя шины	Имя шины	Длина	Марка кабеля
(номера шин присоединения	присоединения, к которой	линии (м)	(тип кабеля)
в порядке возрастания)	присоединена шина		
	указанная в столбце 1.		
1	2	3	4
1 (ТП - точка входа)			
2	1		
n			

Таблица 2

Имя шины	Энергия (кВт*ч)
1 (ТП - точка входа)	
2	
n	

#### Таблица 3

Время	Активная мощность (кВт)	Реактивная мощность (кВар)
0:00		
0:30		
1:00		
1:30		
23:30		

Заполненные таблицы сохраняются в компьютере пользователя в специально *выбранном для этой цели месте*. Важно создать один файл EXCEL с тремя листами (Сеть, Потребители, Подстанция), соответствующими трём заполненным таблицам.

Опционально для загрузки в ПО можно подготовить данные только по получасовкам для вкладки «Подстанция», а в остальных вкладках («Сеть» и «Потребители») данные могут отсутствовать. В таком случае, в ПО будут загружены только получасовки, а пользователю нужно будет вручную через соответствующие поля ПО добавить информацию по нагрузке и сети.

На основании представленных данных расчётным модулем ПО формируется модель, представленная в виде таблиц, схем, графиков и поузлового комплексного расчёта:

I. Значений параметров участка распределительной сети без учёта модельного расчёта установки СНЭ. Идентификации (визуализацити проблемы отсутствия нормативных параметров качества (линейного напряжения) в точках присоединения потребителей выбранного фрагмента сети, в которых превышается значение, нормируемое ГОСТ 32144-II. 2013.

- II. Фактических значений параметров участка распределительной сети *без учёта установки СНЭ*:
  - профилей (по всем точкам подключения) активной мощности, реактивной мощности, напряжения;
  - схемы качественных характеристик напряжения.
- III. Значений параметров участка распределительной сети с учётом модельного расчёта установки СНЭ:
  - места установки и параметров СНЭ: ёмкость накопителя, максимальная (активная, реактивная и суммарная) мощность инвертора, профилей (по получасам) заряда / разряда СНЭ;
  - в табличном виде получасовые значения напряжения, активной и реактивной мощности 3-х (начиная с понедельника) рабочих летних дней, 3-х (начиная с понедельника) рабочих зимних дней, выходного летнего и зимнего дня.
  - в виде схемы качественные характеристики напряжения: с использованием только активной мощности СНЭ; с использованием как активной, так и реактивной мощности СНЭ.
  - виде графиков почасовые значения нормативного В уровня напряжения, значений до после установки СНЭ ИХ И с активной использованием мощности СНЭ, только И С использованием как активной, так и реактивной мощности.

2. Для удобства пользователя визуализация однолинейной схемы выбранного участка сети может производится на фоне (поверх) поопорной схемы этого участка.

Для этой цели поопорную схему выбранного участка сети необходимо создать в формате PDF и затем *сохранить в формате PNG* в том месте, где ранее были размещены заполненные таблицы данных для этого участка.

# 2 Этап II. Загрузка ПО «Цифровой двойник участка распределительной электрической сети (фидера)».

- 2.1 Начало работы
- 1. Производится загрузка ПО с внешнего носителя.

Экран 1. Первоначальное состояние экрана после загрузки ПО

V ( Arcyclask Laparenjos    V ( Arcs Mattjærstell det T)    V ( Arcs Mattjærstell det T)      Darpysant Latti Sappysant Edet Sappysa	Программа Помощь		
Improve database    Defente:	▼ Настройка параметров	🔻 Схена электрической сети	▼ Запуск расчета
Balance    Carena balance    Recretabageaned    Recretaba	Загрузка исходных данных:	Добавить: Опору 🚟 Магрузку 🔊 Отменить 👘 Загрузить 💦 Видимость Фойл: Моле	Параметры ТП и уставки:
Solition:    200    Commo Sonergyment Coll    200    Solition:    <	Загрузить ЕХСЕL Загрузить Проект	Насытабирование 🧹 Показать тип линии и длину 🖌 Показать Vnin в узлах	400 Напряжение на ТП, В
Prime      Prim      Prime      Prime	∮sin:	Crema Adextographia ceta	
Balances	Kone		
And some the some	Сеть Нагрузка Получасовки		
PRECENT    Assess	Имя шины Имя шины Длина Марка		Старт ОК
10    .    .    .    .	присоед-я линии, ки кабеля		Визуализация результатов расчета
All      3.1 <td>m</td> <td></td> <td>Pactoneoverum CH3</td>	m		Pactoneoverum CH3
			- <b>&gt;</b>
2.3      3      3      3      3      3      10	Имя шины Имя шины Длина Марка присово-я линии, ки кабеля		
			Напряжен Заряд СНЭ Активаня Реактива Параметр
1.5			
1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1			0.9 Bes CH3
			0.7 CH3 a.H.
			0.6- СНЗ р.м.
0.5 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.2 0.1 0.2 0.1 0.2 0.2 0.1 0.2 0.2 0.1 0.2 0.2 0.1 0.2 0.2 0.1 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2			© 0.5
			0
		-0.5.	
			▼ Формирование отчета
-1 Информация для формирования отчета			
Название проекта			
400 atterctatemoro			ФИО ответственного
T Response Same Same Same Same Same Same Same Sam	▼ Исходная электрическая сеть		Сохранить Проект Сохранить Отчет
Jarpyana Asiwar. 34rpyana Mandara	Загрузка данных: Загрузить		▼ Журнал событий
-1			
-3.5			
-4.5			
-5 -4, 5 -4 -3.5 -3 -2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5		-5 -4.5 -4 -3.5 -3 -2.5 -2 -1.5 -1 -0.8 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5	

2. Перенесение заполненных EXCEL таблиц на основной экран (поле визуализации – далее канвас)

В верхней левой части экрана располагается контекстное меню, которое содержит две вкладки: "Программа" (стрелка →) с возможностью выхода из ПО и "Помощь" (стрелка →) с возможностью вывода информации о ПО (руководство пользователя).

🗾 Digital Twin	
Г Программа Помощь 👡	
👅 🔻 Настройка параметрой	🔻 Схема электри
Загрузка исходных данных:	Добавить: Опору
Загрузить EXCEL Загрузить Проект	
Файл: None	5
Сеть Нагрузка Получасовки	
Има шинн Има шинн Паина Марка	4.5

Ниже располагается **Окно** «**Настройка параметров**» (стрелка →). Данное окно позволяет загружать исходные данные в виде \*.xlsx таблицы нажатием кнопки «Загрузить EXCEL» (стрелка →) или вводить их в текстовом виде, а также загружать ранее сохранённые результаты расчёта через кнопку «Загрузить Проект» (стрелка →).

📧 Digital Twin												
Программа Помощь												
▼ Настройка па	араметров											
Загрузка исход	ных данных											
Загрузить ЕХС	EL Загрузить	Проект										
Файл: 👋												
Сеть Нагрузка	а Получасовки											
Mar	M	0		M								
имя шины	имя шины присоед-я	длина линии,	км	марка кабеля								
тп												
Добавить Уд	Добавить Удалить											
Имя шины	Имя шины присоед-я	Длина линии,	км	Марка кабеля								

Для ввода данных в текстовом виде (см. Этап I «Подготовка данных для расчёта) используются вкладки «Сеть», «Нагрузка» и «Получасовки» (получасовые значения нагрузок).

Структура данных в каждой вкладке соответствует структуре данных в \*.xlsx файле.

- Таблица во вкладке «Сеть» в первой строке содержит имя трансформаторной подстанции. Остальные строки содержат в столбцах 1-4 имя опоры электропередачи, имя опоры присоединения (к опоре, указанной в столбце 1), длину линии в км и марку кабельных линий (см. Справочно. Параметры линий) соответственно.
- Таблица во вкладке «Нагрузка» состоит из двух столбцов: имя опоры и доля от общей нагрузки.
- Таблица во вкладке «Получасовки» содержит 48 строк по количеству получасовок в сутках. В данной таблице первый столбец – имя Получасовки, второй столбец – количество активной мощности, потребляемой на ТП, третий столбец – количество реактивной мощности, потребляемой на ТП.

Экран 2. Экран с выделенным экраном файла пользователя, где сохранены данные исходных таблиц пользователя (далее на экранах примеры).

		igital li	win											
	Про	грамм	на Помощь											
	🔻 Н	астро	ройка параметров					▼ Схема электрической сети						
	Загр	рузка	NCAUNIN USUN				Поберить		Harnvar		тнацити			
5	Заг Оайл Ноле	рузи п: е	+ R Drives R Search :		Users	testingcenter	Documents	ivanov ca	anvas code	ver-0.7.1	03-exai			
	Сет	ън	File name					▲ Туре	Size	Date				
			[File] test_ca	se-2.xlsx				.xlsx	198.59 Ko	2024/08/11	02:04			
	Имя	я шиі	[File] test_ca	se-1.xlsx				.xlsx	196.46 Ko	2024/08/10	21:50			
			[File] 13-08-2	02412-07	-43tes	t-case-2.xlsx	A	.xlsx	5.40 Ko	2024/08/13	12:07			
	ТП	1	[Dir]				"In"							
		_												
	До	бави												
	Имя	я шиі												
			File Name :							lsx	$\overline{}$			
			Cancel											

При нажатии на зелёную кнопку «Загрузить EXCEL» (стрелка →) появляется окно с возможностью выбора файла с исходными данными в формате \*.xlsx» (стрелка →).

Экран 3. Загрузка данных сети из файла пользователя.



В выделенном списке файлов выбирается файл, сохранённый на компьютере пользователя (стрелка →) и нажатием левой клавиши мыши, выделяется и загружаются данные кнопкой «ОК» (стрелка →).

### **3** Этап III. Заполнение поля канваса

#### 3.1 Работа с канвасом

Канвас обладает следующими функциями:

1. Для одновременного перемещения всех элементов поопорной схемы необходимо зажать левую кнопку мыши на пустой области канваса с появлением  $\Leftrightarrow$  переместить их в удобную точку канваса.



2. Для изменения масштаба изображения на канвасе используется прокрутка (колёсика) мыши.

3. При подведении мышки к объекту или линии соответствующий элемент подсвечивается зелёным цветом.



4. Для перемещения конкретного элемента поопорной схемы необходимо навести курсор мышки на центр иконки. Об этом будет сигнализировать *появление координат элемента*. Затем зажав левую кнопку мыши, переместить объект на новое место. Если с элементом связаны линия/линии, то также будут перемещаться связанные концы линии вслед за новым положением элемента.



5. Для построения новой линии необходимо навести курсор на красный треугольник, находящиеся под иконой, и зажав левую кнопку мыши, потянуть за треугольник.



6. Отжатие левой кнопки мыши на каком-либо из объектов завершает построение линий на поле канваса. Цвет линии становится темно синего цвета. Если отжать левую кнопку не в области другого объекта, то линия не построится. Красный треугольник вернётся в исходное положение под своей иконкой.



7. Наведение курсора мыши на элемент сети с зажатой левой кнопкой и с зажатой клавишей "Ctrl" на клавиатуре *удаляет подсвеченный элемент*. При пересечении нескольких элементов в первую очередь удаляются линии. Исключением является ТП. У ТП свойство всегда присутствовать на канвасе или первой строкой в таблице «Сеть» и «Нагрузка», поэтому ТП невозможно удалить с канваса.

#### 3.2 Заполнение поля канваса

Заполнение поля канваса может осуществляться в режиме:

1. Чёрного фона (пустого поля);

2. Пользовательского фона – например, поопорной схемы участка распределительной электрической сети 0,4 кВ. Такой способ позволяет располагать элементы сети в соответствии с поопорной схемой электрической сети.

### 3.2.1 Размещение однолинейной схемы на пустом поле канваса

При загрузке ПО на канвасе создаётся иконка ТП в точке (0,0) в качестве исходного положения. Для канваса задаётся фиксированный масштаб для в пределах -5..+5 делений по горизонтальной и вертикальной осях.

🔳 Digital Twin					– 0 ×
Программа ▼ Настройка	Помоць параметров			▼ Схема злектонческой сати	▼ Запуск расчета
Загрузка исходных данных: Загрузить ЕХСЕL Загрузить Порект				Boldsarts: Gropy 🍂 Rarpysky 🎧 Direkurts 💭 Szepszets 😥 🖉 Buskosts. Szeniskast nagoczy Szepszets Villo B yzocz	Параметры ПП и уставки: 400 Напряжение на ПП, В
Файл:				Скема электоической сети	
Cerb Harpy	stingcenter\Doo	uments\ivanov M			0 Тежпература, °С
Ина цины	Имя шины				CTAPT ON
					▼ Визуализация результатов расчета
TR			- CKD 6×50		
опора 3	onopa 2		СИП 4x50		
опора 4					Точка снятия графика напряжения
опора 5					Напряжен Заряд СНЗ Активаня Реактива Параметр
дом 1					Напляжение
дом 2					
дом 3					В.8 - CH3 п.м.
Добавить					0.7 - СНЗ а.н. 0.6 - СНЗ р.н.
Ина шины	Имя шины				0.5 Th
				0.5	
				-o.s	V Форнирование отчета
					Информация для формирования отнета
					Название проекта
					ФИО ответственного
▼ Исходная :					Сохранить Проект Сохранить Отчёт
Загрузка дан	ных: Загрузит				▼ Курнал собитий
\$eûn:None					

Экран 4. Начальный вид однолинейной схемы на канвасе.

В окне используются следующие символы (иконки):



ТП (исходная точка участка сети);

потребитель (точка на схеме с нагрузкой);

опора линии электропередачи (точка на схеме без нагрузки);

применение СНЭ на стороне конечного потребителя;

применение СНЭ на стороне одной из опор линии электропередач;

Возврат изображения сети кнопка «Отменить» в предыдущее состояние (на шаг назад).



загрузка изображения (поопорной схемы) на канвас в формате PNG.

По данным заполненных таблиц на экране отобразится совокупность всех элементов сети в порядке, занесённых в таблицу «Элементы сети» (стрелка →). Пользователь может разместить эти элементы на канвасе с учётом поопорной схемы (см. экран 6,7) или собственных корректировок фактического размещения объектов.



Для масштабирования содержания канваса необходимо нажать иконку «Масштабирование» в верхней части экрана (стрелка →), которое переключает режим канваса между фиксированным состоянием, которое не позволяет менять масштаб и перемещаться по канвасу, и нефиксированным состоянием, которое позволяет менять масштаб и перемещаться по канвасу.

Прокруткой колёсика мыши достигается изменение масштаба самого поля и соответственно элементов, размещённых на нём. Рекомендуется максимально уменьшить размер совокупной группы элементов и курсором мышки при нажатии левой клавиши, начать последовательно перемещать объекты на поле.



Кнопки «Отменить» (стрелка →) в поле окна «Схема электрической сети» возврата состояние электрической сети в предыдущее состояние, которое было 1 действие назад (только ОДНО действие). Под действием подразумевается такие события как – добавление/удаление нагрузки, опоры и линии как на канвасе путём перетаскивания элементов с панели, так и в таблицах на вкладках «Сеть» и «Нагрузка» при нажатии на соответствующие кнопки Добавить/Удалить.



Кнопка «Показать тип линии и длину» позволяет скрывать и отображать одновременно на канвасе марку кабеля и длину линии в км в соответствии с данными из таблицы «Сеть».



Кнопка «Показать Vmin в узлах» (стрелка →) позволяет одновременно скрывать и отображать на всех узлах электрической схемы значение минимального напряжения, которое отображается на канвасе после выполненных расчётов или загрузке раннее рассчитанного проекта.

Способ перемещение созданных объектов на канвасе:

1. Перемещение элементов на поле начинается с перемещения первого поименованного в таблице объекта.

2. Последующее перемещение объектов на канвас происходит в порядке их размещения в загрузочной таблице «Нагрузка».

Экран 5. Однолинейная схема сети после загрузки данных таблиц и





#### Синхронизация входных данных

В рамках работы ПО входные данные в таблице и на канвасе всегда синхронизуются, это означает, что:

- Количество и имена опор во вкладке «Нагрузки» и на канвасе совпадают.
- Количество линии и топология сети во вкладке «Сеть» и на канвасе совпадают.
- При переименовании опоры во вкладке «Нагрузки», соответствующая опора переименовывается на канвасе и во вкладке «Сеть». Переименование опоры не происходит, если опора с таким именем уже существует

- При изменении имени опоры во вкладке «Сеть», поле «Опора 1» или «Опора 2», соответствующее соединение линии меняется на соответствующую опору. Если опора с таким именем не существует, то она создаётся как новая.
- При указании доли потребления во вкладке «Нагрузка», изменяется соответствующая опора на канвасе: если доля потребления 0, используется иконка опоры, в противном случае иконка потребителя.
- При удалении опоры, нагрузки или линии с канваса этот же элемент удаляется из таблице во вкладке «Нагрузки» и «Сеть». Удаление с канваса осуществляется через нажатие «Ctr + левая кнопка» мыши на наведённый элемент. Если навести на дом или опору связанные линией, то сначала удаляются линии, затем можно поочередно удалить дом и/или опору.
- Данные из таблицы можно удалить через нажатие на кнопку удалить (способ 1), тогда удалится элемент из последней строки или можно стереть название элемента из любой строки нажать ENTER (способ 2). Удаление элементов через таблицу удаляет как сам элемент, так и все связи с ним элементы.

Имя шины	Имя шины присоед-я	Длина линии, км	Марка кабеля	Имя шины	Имя шины присоед-я	Длина линии, км	Марк кабе
тп				тп			
опора 1	тп	0.6	СИП 4х50	опора 1	тп	0.6	сип
опора 2	опора 1	0.25	СИП 4х50	опора 2	onopa 1	0.25	сип
опора З	опора 2	0.5	СИП 4х50	опора З	опора 2	0.5	сип
дом 1	опора 2	0.25	СИП 2×50	дом 1		0.25	сип
дом 2	опора 2	0.1	СИП 2x50	дом 2	опора	0.1	сип
дом 3	опора 3	0.05	СИП 2×50	дом З	опора З	0.05	сип

# 3.2.2 Размещение однолинейной схемы на канвасе на фоне поопорной схемы.

#### 3.2.2.1 Поопорная схема в окне «Исходная электрическая сеть»

Поопорная схема может располагаться в левом нижнем углу в окне «Исходная электрическая сеть» (стрелка →).

Экран 6. Использование канваса для размещения в качестве фона поопорной схемы в левом нижнем углу канваса.



В поле «Исходная электрическая сеть» (стрелка →) нажать кнопку «Загрузить» (стрелка →). В появившемся окне выбрать файл, соответствующий наименованию сохранённого ранее пользователем файла (формат PNG) с изображением поопорной схемы искомого участка электрической сети (см. Этап I «Подготовка данных для расчёта) (стрелка →) и нажать ОК.

		-				🔻 Исходная электрическая сеть
ть	+ R Drives E R Search :	C: Users testingcenter	Documents ivanov c	anvas code	static	Загрузка данных: Загрузить
	File name					Файл:C:\Users\testingcenter\Documents\ivanov\canvas\cod(
	[File] bat.png		.png	21.66 Ko	2024/07/22 22:38	
	[File] house.png		.png .png	4.33 Ko	2024/07/22 22:38	
	[File] moose_bat.png [File] map-icon.png		.png .png	7.95 Ko	2024/07/27 15:28	
	[File] pole_bat.png		.png .png	65.70 Ko	2024/07/22 22:38	
	[File] sub.png		. prig	100.32 Ko	2024/07/22 22:38	
	File Name : .				ng 🔽	In the second seco
	OK. Dencel					

После этого в окне «Исходная электрическая сеть» появится изображение однолинейной схемы и пропишется путь к выбранному файлу. Прокрутка колесика масштабирует загруженное изображение. Изменение размера окна «Исходная электрическая сеть» (стрелка →) через растягивание краев окна также увеличивает размеры изображения.



### 3.2.2.2 Поопорная схема в окне «Схема электрической сети»

По желанию пользователя однолинейная схема может быть продублирована на центральном поле. Для этого в поле «Схема электрической сети» нажать иконку «Подложка» (стрелка →). После этого появится окно с возможностью выбрать файл, соответствующий наименованию сохранённого ранее пользователем файл с изображением (формат PNG) поопорной схемы искомого участка электрической сети (см. Этап I «Подготовка данных для расчёта) и нажать ОК (стрелка →). После этого в окне «Схема электрической сети» появится изображение и пропишется путь к выбранному файлу.

🔻 Схема													
Добавить	e: Onopy Harp	рузку	Отменить	Загрузі подложі	ить Ку	Видин Масшт	мость Файл:No габирование	one 🗸 Показат	ъ тип лин	чии и длину	🗸 Показа	ть Vmin в	узлах
Програм	ма Помощь			$\sim$									
▼ Настройка параметров					лектричес	кой сети							
Sarpyska Hovorbuy Rauuly:			Поберить	Onony	ter Harm		071000075		Загрузить подложку		🖉 Видимос		
Загрузи	+ R Drives E	C: Users	testingcenter	Documents	ivanov	canvas st	atic					Масшта	бирование
	R Search :				_		_				кема электр	ической с	
Сеть Н	File name				🔺 Туре	Size	Date						
	[Dir] static-2						2024/08/10	18:38					
Имя шиі	[Dir] static-3						2024/08/10	18:37					
	[Dir] static-4						2024/08/12	17:51					
	[Dir] Новая папка												
	[File] bat-1.png				.png	21.66 Ko	2024/07/31	11:27					
Добави	[File] bat.png				.png	69.40 Ko	2024/08/10	14:21					
Имании	[File] bg_image.png				.png	638.17 Ko	2024/07/31	11:27					
	[File] house-1.png				.png	9.02 Ko	2024/08/10	16:09					
	[File] pole-1.png				.png	5.62 Ko	2024/07/31	11:27					
	[File] pole-2.png				.png	4.97 Ko	2024/08/10	15:40					
	[File] scheme.png		- hu		.png	509.25 Ko	2024/07/31	11:27					
	[File] sub-1.png		<u> </u>		.png	100.32 Ko	2024/07/31	11:27					
	[File] sub-3.png				.png	19.48 Ko	2024/08/10	15:04					
	File Name : scheme.							$\mathbf{\nabla}$					
	OK Cancel												
	(In)												
				1									

Экран 7. Размещение однолинейной схемы на фоне поопорной схемы как в центральном, так и левом нижнем поле канваса.



Изменение размера подложки на центральном экране производится не прокруткой колёсика мышки, а путём «растягивания» правого/левого, верхнего/нижнего полей изображения подложки на экране. Перемещение подложки в области канваса производится через зажатие левой кнопкой мыши «серой точки» в верхней средней части изображения и перетаскивания на новое место.



Видимость подложки на канвасе меняется с помощью иконки «Видимость» (стрелка →).



Для *полного удаления* изображений «Схема электрической сети» и/или «Исходная электрическая сеть» нужно нажать на кнопку загрузки изображения и не указывая <u>файл нажать</u> ОК. После этого изображение

удалиться и появится надпись

# 4 Этап IV. Расчёт параметров сети. Запуск вычислительного модуля

В верхней правой части экрана располагается Окно «Запуск расчета».



Данное окно содержит **зелёную** кнопку запуска расчётов «Старт» (стрелка →), шкалу прогресса расчётов (стрелка →) и поля для трёх ключевых параметров (стрелки →): напряжение на ТП, минимальное допустимое напряжение, которое СНЭ поддерживает при наличии физической возможности и температура проводников.

Запуск вычислительного модуля осуществляется по нажатию кнопки «Старт». Процесс расчёта начинается и изменяется цвет кнопки **на синий**, а стальные кнопки блокируется на время вычислений.

Если после успешного завершения этапа расчётов, будет произведено *изменение любого из параметров* линий, нагрузки, напряжения на ТП, минимального напряжения и температуры, то ранее *выполнены расчет стираются* и *необходимо повторно запустить расчёты* кнопкой «Старт» с новыми параметрами.

# 5 Этап V. Результаты работы вычислительного модуля

#### 5.1 Опции расчётного модуля. Общее описание

В результате работы расчётного модуля:

- 1. Идентифицируются (визуализируются) проблемы наличия/отсутствия нормативных параметров качества (линейного напряжения) в точках присоединения потребителей.
- 2. Производится модельный сравнительный расчёт оптимальных точек установки системы накопления на выбранном участке сети для устранения проблемы отсутствия нормативных параметров качества электроэнергии.



Экран 8. Начальный этап работы расчётного модуля.

Экран 9. Результаты расчёта фактического состояния сети (без установки СНЭ).



В результате работы расчётного модуля на центральном поле *визуализируются уровни напряжения в каждой точке сети* и таким образом идентифицируются (палитры цветов от зелёного - «нет проблем» (стрелки →)) до красного – «наличие проблемы» (стрелки →)) проблемы отсутствия нормативных параметров качества (линейного напряжения) в точках присоединения потребителей выбранного фрагмента сети, в которых превышается значение, нормируемое ГОСТ.



Экран 10. Результаты модельного расчёта состояния сети с установкой СНЭ.

В работы результате расчётного модуля на центральном поле визуализируются уровни напряжения кажлой В точке сети И идентифицируются (цветом по шкале палитры от зелёного-«нет проблем» до красного-«наличие проблемы») состояние сети в случае установки СНЭ.

Локация (стрелка →) установки СНЭ определяется и визуализируется на канвасе в порядке приоритета оптимальных параметров.

Поле «Расположение СНЭ» (стрелка →) позволяет выбрать следующее по приоритету или произвольное место установки СНЭ на схеме. Расположение может быть любой кроме ТП.



Экран 11. Результаты расчёта состояния сети. Графики.



#### 5.2 Окно «Графики»

Данное окно позволяет выводить графики с результатами расчётов.

В верхней части окна (стрелка →) находится выпадающее меню. До окончания расчётов это меню не заполнено и вместо выбранного значения используется символ «–».

В окне находятся четыре вкладки с различными графиками. Горизонтальной осью во всех графиках является время в часах. Графики имеют следующие значения:

- Вкладка «Напряжения» содержит графики минимального напряжение во всей сети по получасовкам для четырёх случаев: (а) работа сети без СНЭ (график «Без СНЭ»); (б) работа СНЭ в режиме полной мощности (график «СНЭ п.м.); (в) работа СНЭ в режиме активной мощности (график «СНЭ а.м.»); (г) работа СНЭ в режиме реактивной мощности (график «СНЭ р.м.»).
- Вкладка «Заряд» содержит график заряда СНЭ для режимов полной и активной мощности.
- *Вкладка «Активная мощность»* содержит график отпуска активной мощности СНЭ в режиме полной и активной мощности.
- Вкладка «Реактивная мощность» содержит графики отпуска реактивной мощности для (а) СНЭ в режиме полной мощности (график «СНЭ п.м.»); (б) СНЭ в режиме реактивной мощности (график «СНЭ р.м.»).
- *Вкладка «параметры СНЭ»*. Выводит параметры СНЭ для выбранного места установки



Для каждого графика масштабирование осуществляется прокручиванием колёсика мышки. Масштабирование по предельным значениям графика осуществляется двойным кликом левой кнопки мыши.

Изменение расположения поля графиков может производится, например путём его перемещения в центральную часть экрана (стрелка →). Для

увеличения размеров графиков необходимо увеличить размеры самого окна «Визуализация результатов расчета» путем растягивания за края.



Экран 12. Формирование отчёта.



#### 5.3 Окно «Формирование отчета»

Окно «Формирование отчёта» (стрелка →) отвечает за формирование результатов расчетов. В окне находится два поля для ввода данных (Название проекта и ФИО ответственного). Кнопка «Сохранить Отчёт» (стрелка →) служит для выгрузки PDF отчёта и EXCEL таблицы с параметрами СНЭ в папке для отчётов. Также в этом окне есть кнопка «Сохранить Проект» (стрелка →) при нажатии на которую, сохранятся все информация о проекте включая расчеты для возможности в последующем его загрузки в качестве исходных данных в программу через кнопку «Загрузить Проект» в окне «Настройка параметров». Кнопка «Сохранить Отчет» и «Сохранить Проект» становятся доступными (зеленый цвет) только после успешного завершения расчетов.



#### 5.4 Окно «Журнал событий»

Данное окно содержит все сообщения, возникающие после запуска программы.

В правой нижней части экрана располагается Окно «Журнал событий» (стрелка →) где выводятся сообщения о результатах работы ПО.

Для удобства пользователя сообщения разделены на 3 категории:

- 1. Сообщения, возникающие при нормальной работе (зелёный цвет текста). Данные сообщения выводятся для оповещения пользователя о том, на каком этапе работы находится программа. Сообщения могут быть следующими:
  - Старт расчётов. Сообщение о начале расчётов и прогресса расчётов в %. Необходимо учитывать, что в зависимости от количества элементов сети сведения о прогрессе (в %), появиться после паузы необходимой для обработки данных.
  - *Параметры сети определены*. Входные данные прочитаны успешно и модель сети построена.
  - Параметры сети со СНЭ в режиме активной мощности определены. Расчёт параметров СНЭ в режиме активной мощности для всех возможных расположений завершён.
  - Параметры сети со СНЭ в режиме полной мощности определены. Расчёт параметров СНЭ в режиме полной мощности для всех возможных расположений завершён.
  - Параметры сети со СНЭ в режиме реактивной мощности определены. Расчёт параметров СНЭ в режиме реактивной мощности для всех возможных расположений завершён.
  - *Расчёты окончены*. Окончание расчётов. выводятся сообщения о работе ПО.
- 2. Сообщения о некорректности входных данных (красный цвет текста). Данные сообщения выводятся в случае, если входные данные сформированы так, что запуск расчёта не является возможным. Сообщения могут быть следующими:
  - Сеть не связная. Существуют опоры без подключения к ТП.
  - Длина линии [указание линии] не является числом". Поле «Длина» во вкладке «Сеть» не является числом.
  - *"Тип линии [mun] не найден"*. Указанный тип отсутствует в списке марок кабелей (см. Параметры линий).
  - Потребление в получасовку [получасовка] не является числом. Соответствующее поле во вкладке «Получасовки» не является числом.
  - *Потребление на опоре [опора] не является числом*. Соответствующее поле во вкладке «Нагрузки» не является числом.
- 3. Сообщения о невозможности выполнения корректных расчётов (желтый цвет текста). Данные сообщения выводятся, если данные сформированы корректно, но задача потокораспределения не может быть решена

(например, при слишком больших токах). Сообщения могут быть следующими:

Исходная система несовместна в получасовку № [номер получасовки].
 Указанное количество мощности невозможно передать в исходной сети в указанную получасовку.



▼ Журнал событий
[INF0] 2. onopa 4
[INFO] 3. onopa 5
[INF0] Время выполнения: 0:00:42.870057
01:00:37 15-08-2024
[ERROR] Длина линии опора 5 - опора 4 не является
1:00:58 15-08-2024
[ERROR] Потребление на опоре опора 5 не является числом

# 6 Справочно

#### 6.1 Параметры линий

Программа обладает набором определенных заранее типов кабельных с погонными активными r и реактивными x сопротивлениями. Данные параметры выбраны с целью максимального соответствия реальным условиям. Тем не менее, параметры каждого конкретного проводника различны и, как следствие, могут отличатся от представленных в таблице (при температуре проводника равный 0 °C).

Тип кабеля	Реактивное	Активное
	сопротивление х Ом/км	сопротивление г Ом/км
AC-30	1.801	0.356
A-35	1.801	0.356
A-25	1.15	0.319
АВВГ 2x16	1.91	0.075
ABBГ 2x6	5.26	0.09
ABBГ 2x8	3.08	0.073
АВВГ 4х6	5.21	0.1
АВВГ 4x8	3.12	0.099
ВВГ 4х10	1.84	0.073
ВВГ 4х6	3.09	0.09
СИП 2х16	1.91	0.075
СИП 2х50	0.822	0.077
СИП 4х16	1.91	0.082
СИП 4x25	1.54	0.075
СИП 4х50	0.822	0.085
СИП 4х70	0.568	0.085
СИП-1 3x50	0.822	0.078
СИП-2 3х95	0.411	0.076