



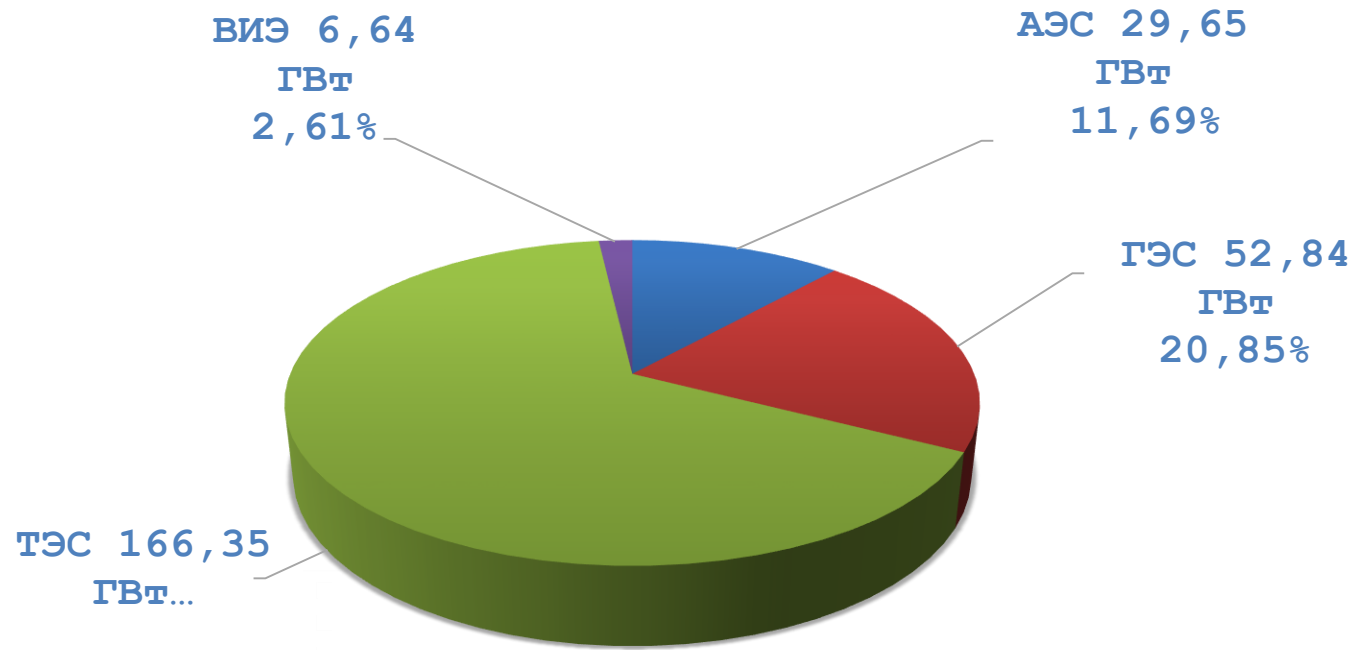
Идентификация узлов энергосистемы с распределенной генерацией с применением устройств синхронизированных векторных измерений

Инженер по релейной защите и противоаварийной автоматике
филиала ПАО «РусГидро»-«Саяно-Шушенская ГЭС им. П. С.
Непорожнего»

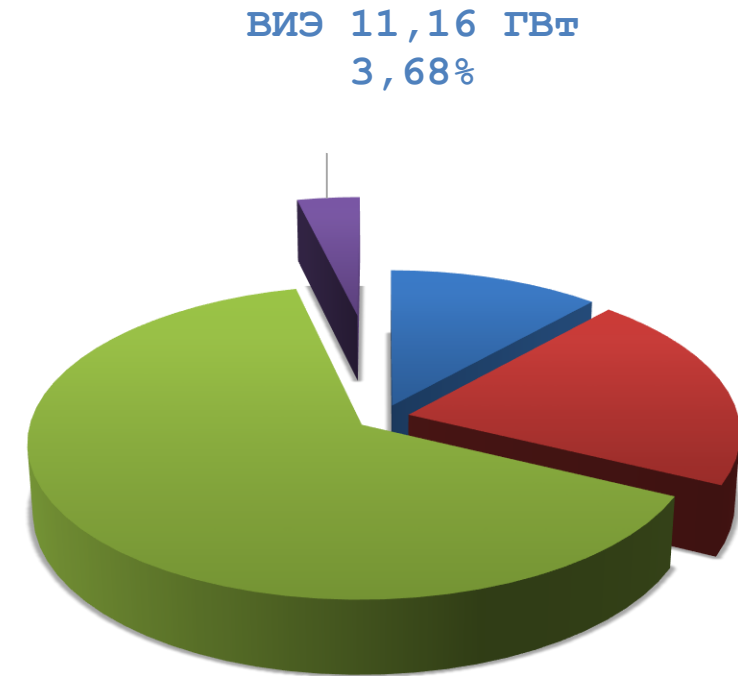
Зинькевич Юрий Анатольевич

Аспирант ИСЭМ СО РАН

Руководитель: научный сотрудник, к.т.н Домьшев А.В.



2025
год



Прогноз на 2030 год согласно СиПР
ЕЭС

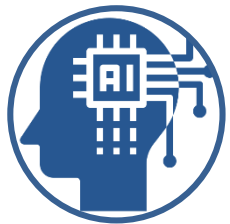




Рост доли распределенной генерации, включая ВИЭ

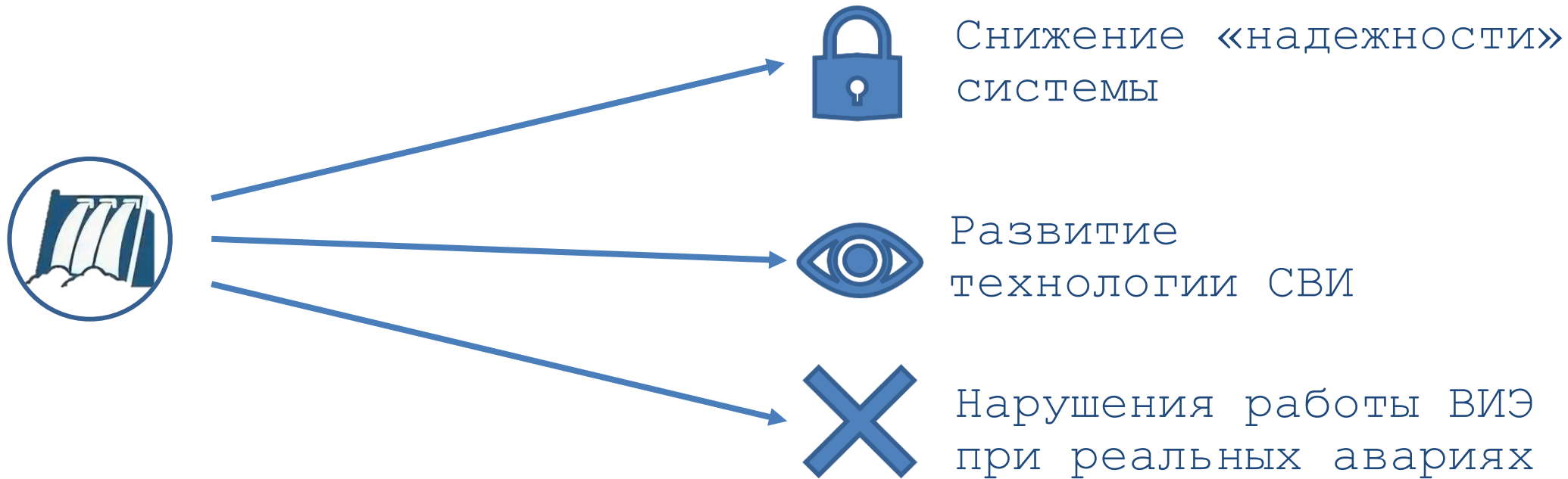


Повышенные требования к надёжности и устойчивости энергосистем



Внедрение цифровых технологий





«При превышении ВИЭ определенной доли в балансе энергосистемы требуются дополнительные мероприятия, без которых работа энергосистемы становится ненадежной из-за специфических характеристик ВИЭ-генерации»

© Глава СО ЕЭС РФ Ф.Ю Опадчий



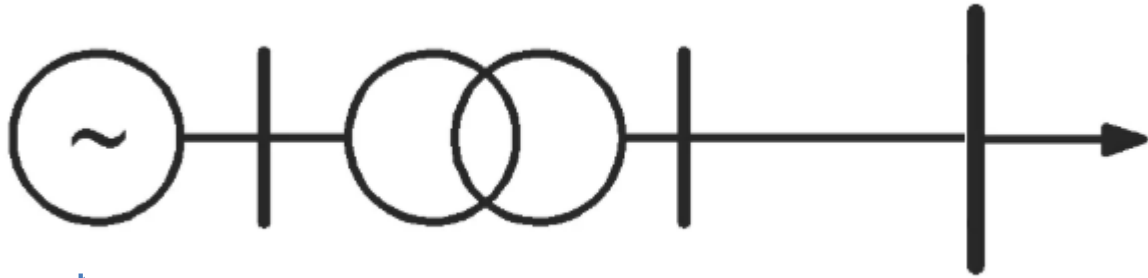


Разработка алгоритма идентификации характера узла



1. Классификации характера нагрузки
2. Идентификации типа генерации в узле
3. Выявление признаков развивающихся нарушений
4. Пространственно-временной локализации источников нарушений
5. Адаптивная настройка алгоритмов ПАУ



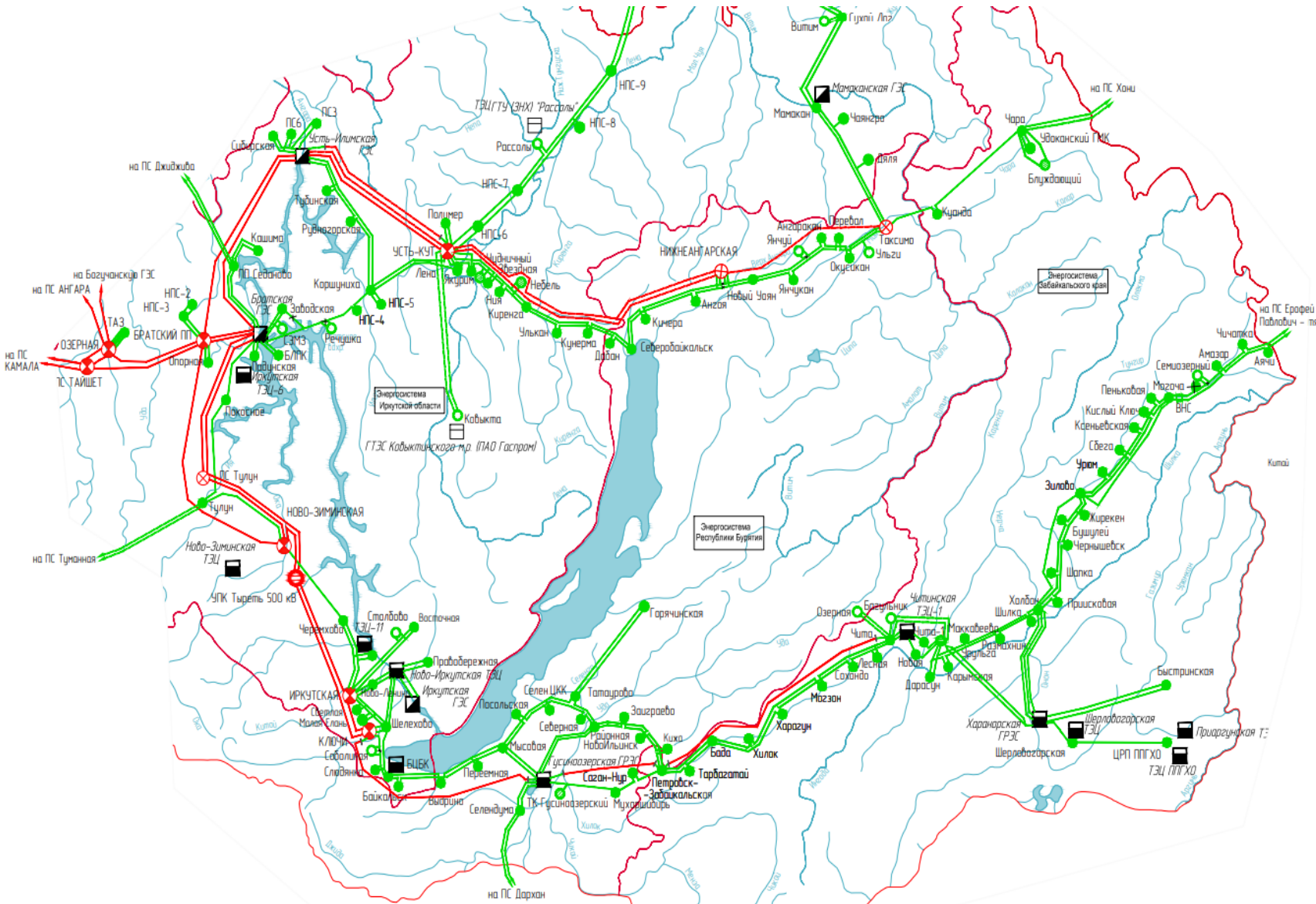


- Мгновенные и действующие значения напряжения и тока
- Активная и реактивная мощности
- Фазовый угол между током и напряжением
- Содержание высших гармоник и коэффициент искажений (THD)
- Скорость изменения частоты (df/dt)



КСВД – концентратор синхронизированных векторных данных





$U, I, P, Q, df/dt$

$$\cos \varphi = \frac{\vec{U} \cdot \vec{I}}{|\vec{U}| |\vec{I}|}$$

$$\frac{dP}{dt}, \frac{dQ}{dt}$$

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

$$X = \left[P, Q, \cos \varphi, THD, \frac{dP}{dt}, \frac{dQ}{dt} \right]$$





$$\cos \varphi = [0,8 - 0,95]$$

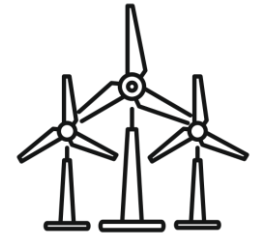
$$\text{THD} = [2 - 5] \%$$

$$df/dt = [0,001 - 0,01] \text{ Гц/с}$$

$$\cos \varphi = [0,8 - 0,99]$$

$$\text{THD} = [20 - 50] \%$$

$$df/dt = [0,05 - 0,3] \text{ Гц/с}$$



$$\cos \varphi = [0,9 - 0,98]$$

$$\text{THD} = [2 - 4] \%$$

$$df/dt = [0,01 - 0,05] \text{ Гц/с}$$

$$\cos \varphi = [0,85 - 1,0]$$

$$\text{THD} = [20 - 40] \%$$

$$df/dt = [0,1 - 0,5] \text{ Гц/с}$$





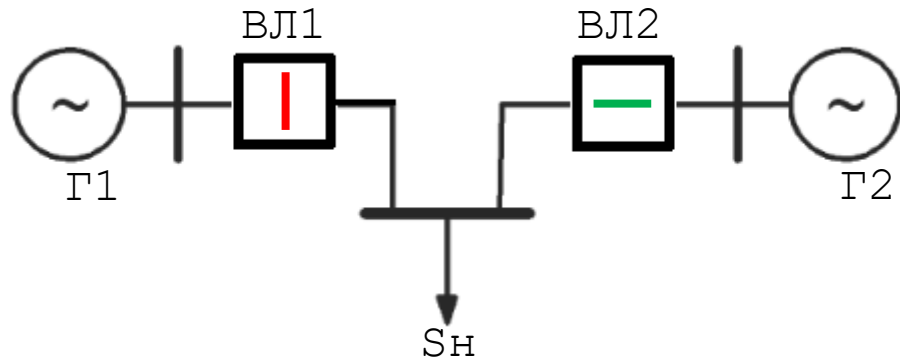
```

def calculate_phasor(v_samples, i_samples):
    """Расчёт действующего значения и фазового угла"""
    V_rms = np.sqrt(np.mean(v_samples ** 2))
    I_rms = np.sqrt(np.mean(i_samples ** 2))
    phase_v = np.angle(np.mean(v_samples * np.exp(-1j * 2 * np.pi * 50 *
np.arange(len(v_samples))/len(v_samples))))
    phase_i = np.angle(np.mean(i_samples * np.exp(-1j * 2 * np.pi * 50 *
np.arange(len(i_samples))/len(i_samples))))
    return V_rms, I_rms, phase_v, phase_i

def power_parameters(V_rms, I_rms, phase_diff):
    """Расчёт мощности и коэффициента мощности"""
    S = V_rms * I_rms
    P = S * np.cos(phase_diff) # Активная мощность
    Q = S * np.sin(phase_diff) # Реактивная мощность
    cos_phi = np.cos(phase_diff)
    return P, Q, cos_phi

def total_harmonic_distortion(signal, sampling_rate, fundamental_freq=50):
    """Расчёт коэффициента гармонических искажений THD"""
    N = len(signal)
    yf = fft(signal)
    yf = np.abs(yf[:N // 2])
    fundamental_bin = int(fundamental_freq * N / sampling_rate)
    fundamental_ampl = yf[fundamental_bin]
    harmonics = yf[2 * fundamental_bin::fundamental_bin]
    thd = np.sqrt(np.sum(harmonics ** 2)) / fundamental_ampl
    return thd
  
```



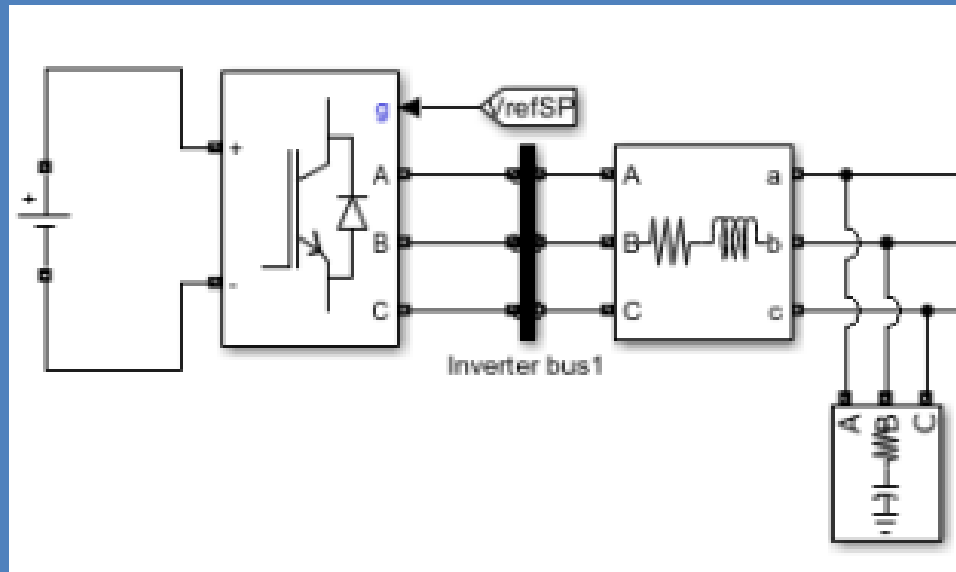


Коэффициент мощности ($\cos \phi$): 0.866

THD тока: 14.14 %

Тип нагрузки: Активная нелинейная нагрузка

Тип генерации: Инверторная генерация



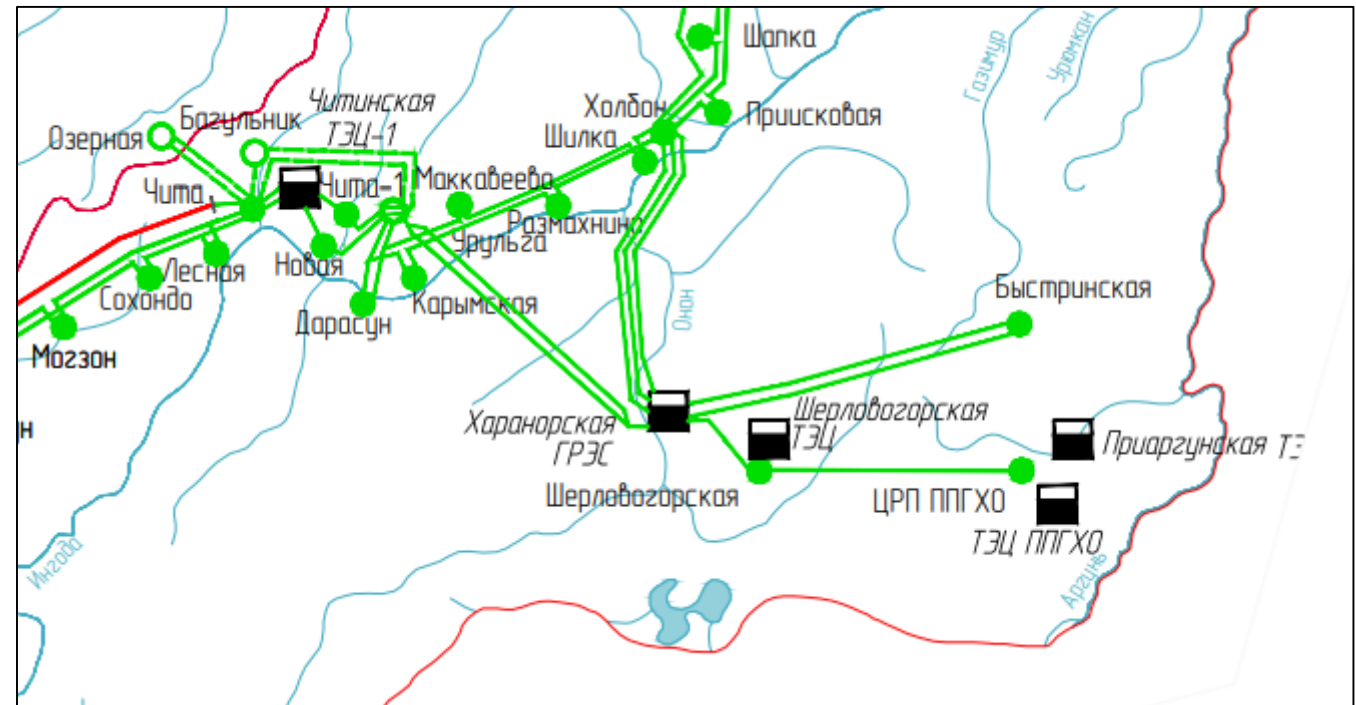
Модель сетевого инвертора реализованная в среде MatLab Simulink

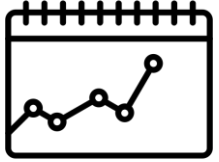




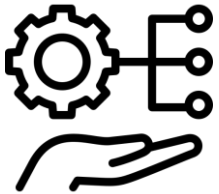
Структура генерации в
Забайкальском крае на 2025
год

	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.
Всего, МВт	2090,6	2331,6	2382,2	2468,5
ТЭС, МВт	1593,8	1593,8	1593,8	1593,8
СЭС, МВт	496,8	717,8	788,4	874,7





Предиктивная аналитика основанная на машинном обучении



Виртуальная инерция и управление ВИЭ



Динамическая оптимизация объёма разгрузки



Интеллектуальная классификация узлов



Спасибо за внимание!

