

ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Попов А.И., Мокеев А.В., Пискунов С.А., Родионов А.В.

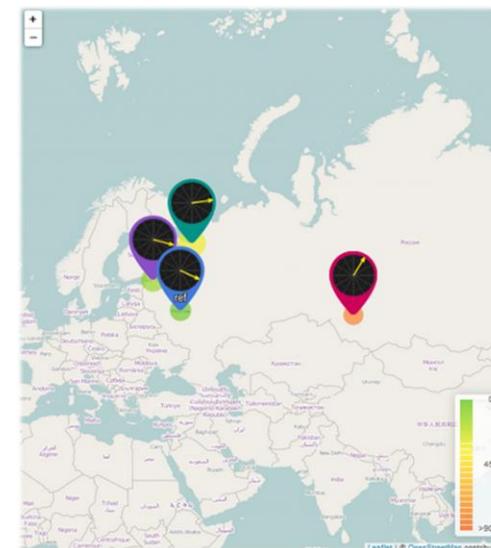
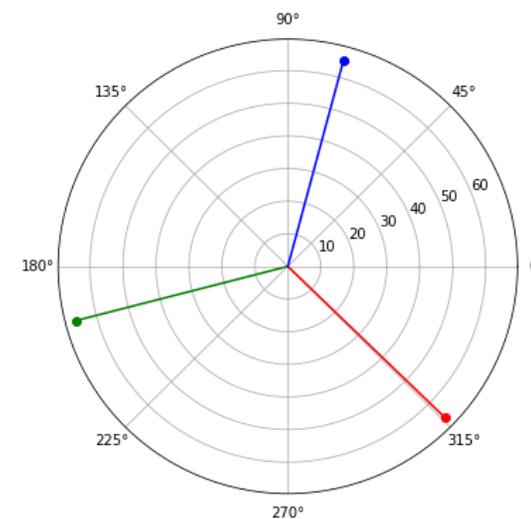
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Технология **синхронизированных векторных измерений (СВИ)** открывает возможности для создания систем управления, мониторинга, защиты и автоматики нового поколения.

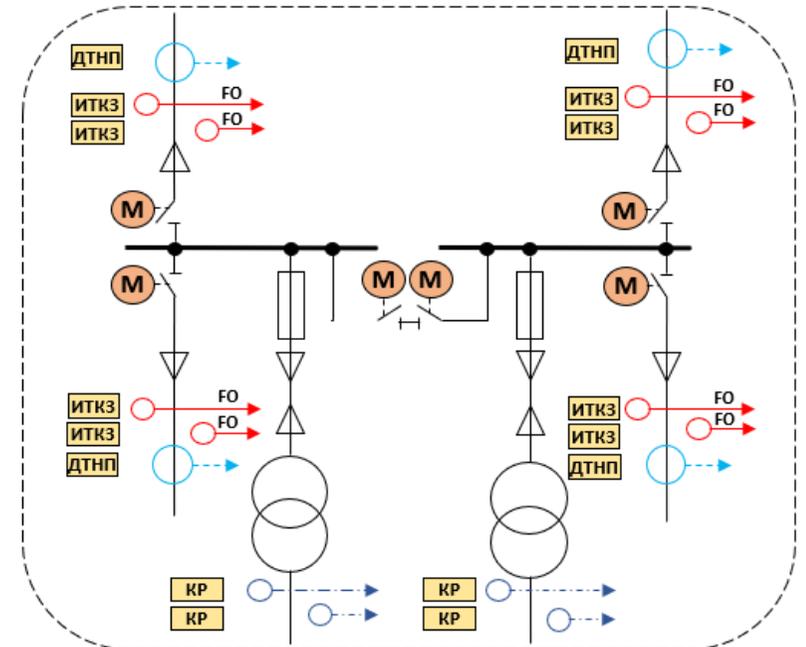
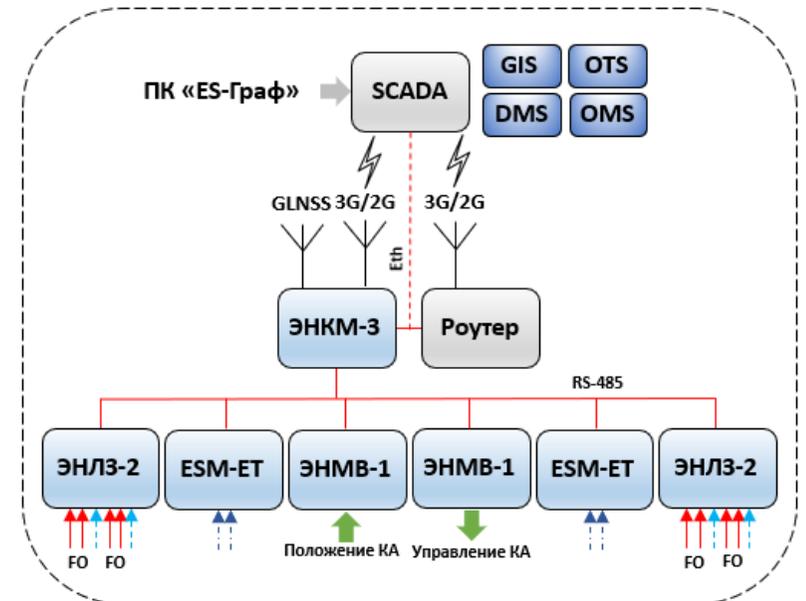
Специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» ведутся работы и исследования по следующим направлениям **применения СВИ в электроэнергетике:**

- автоматизация распределительных сетей 6-10 кВ, в т.ч. разработка алгоритма локализации поврежденной линии при ОЗЗ;
- мониторинг состояния силовых трансформаторов;
- анализ низкочастотных колебаний в энергосистеме.



Задачи:

- измерение **синхровекторов тока НП и напряжения НП (на РП)** с целью обнаружение поврежденной линии при ОЗЗ;
- обнаружение КЗ с помощью **размыкаемых индикаторов тока КЗ**;
- контроль состояния и управление разъединителями;
- телеизмерение, учет, ПКЭ.



ЭНЛЗ-2



ЭНМВ-1



ESM-ET



ЭНКМ-3

Размыкаем
ый датчик
тока НПИндикатор
ы тока КЗКатушка
Роговского

Для автоматизации ТП и РП предлагается использовать:

- устройство **ЭНЛЗ**,
- модуль ввода-вывода **ЭНМВ-1**;
- устройство сбора данных **ЭНКМ-3** осуществляет синхронизацию времени ЭНЛЗ, сбор и передачу данных с ЭНЛЗ и ИТКЗ, управление приводом КА через устройство ЭНМВ-1.
- для локализации ОЗЗ применяется **распределенная система обработки синхровекторов тока и напряжения НП**;
- **расширение функций системы** за счет применения интеллектуальных устройств учета, измерения параметров режима сети и показателей качества электроэнергии.



Размыкаем
ый датчик
тока НП



Устройство ЭНЛЗ



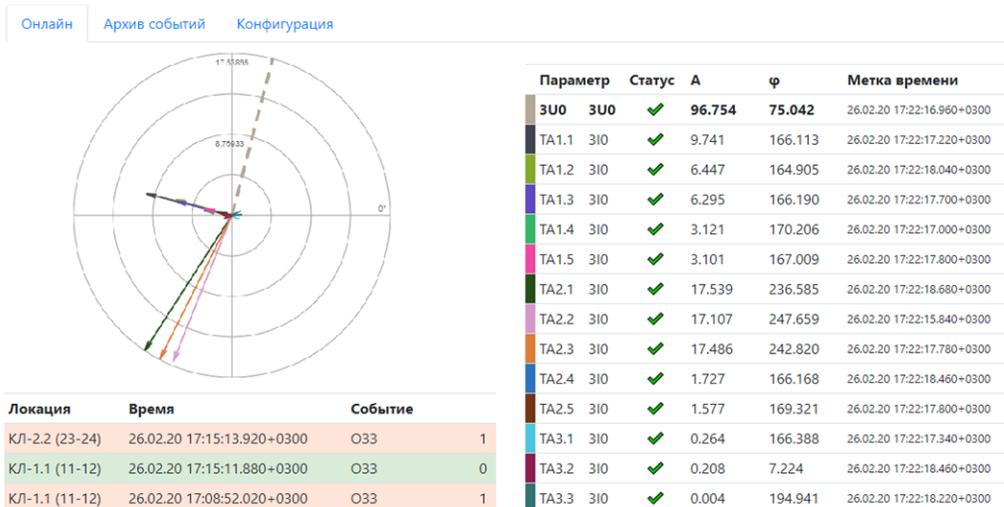
Индикатор
ы тока КЗ



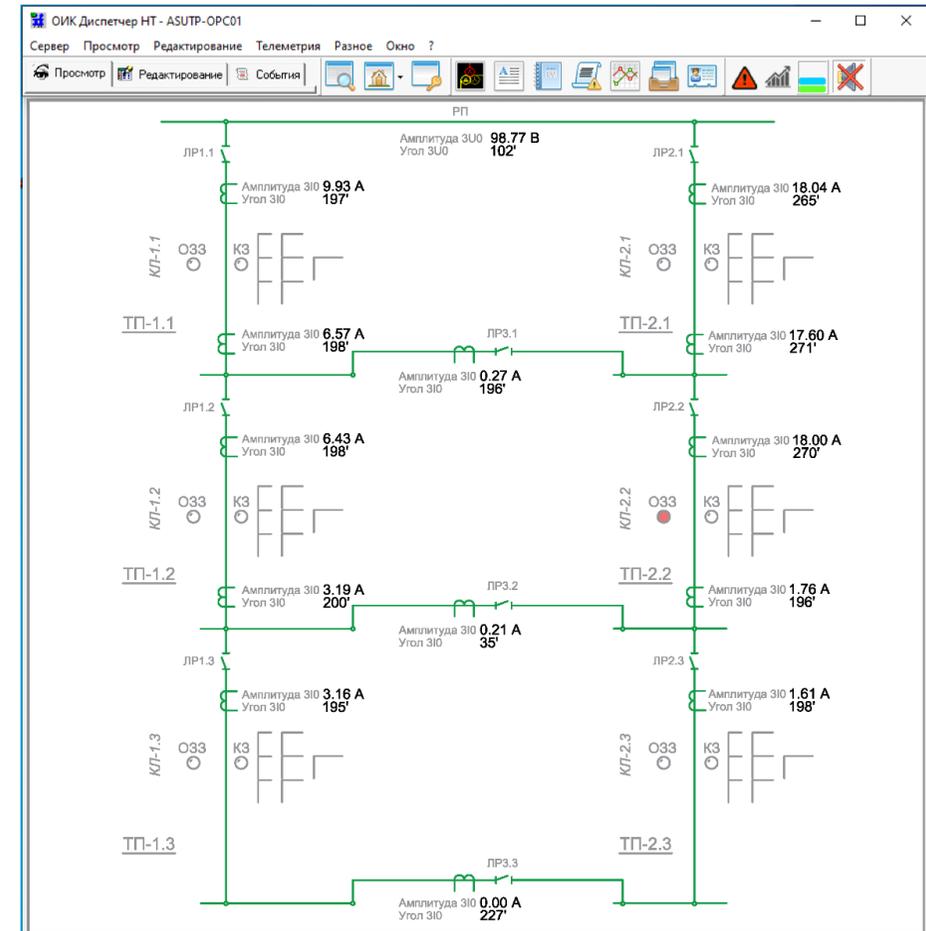
Шкаф ЭНТМ

Специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» разработан программный комплекс «ES-Граф», осуществляющий определение места ОЗЗ и КЗ в кабельных распределительных сетях;

Комплекс «ES-Граф» обеспечивает простую интеграцию SCADA



Веб-интерфейс программы «ES-Граф»



Интеграция в SCADA

АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВРЕЖДЕННОЙ ЛИНИИ ПРИ ОЗЗ

вычисление синхровекторов токов НП в начале и конце участков сети: $i_{01} = I_{01}e^{j\varphi_1}$
 $i_{02} = I_{02}e^{j\varphi_2}$

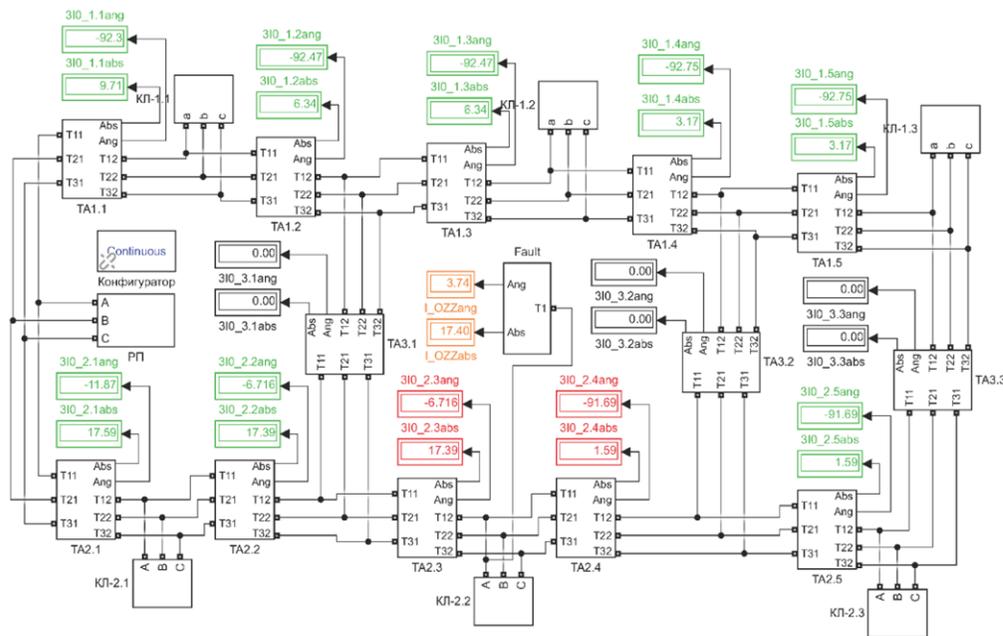
определение углового сдвига между синхровекторами i_{01} и i_{02} : $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$

определение угловой характеристики участков сети: $k_{\Delta} = I_{0\max}\Delta\varphi$

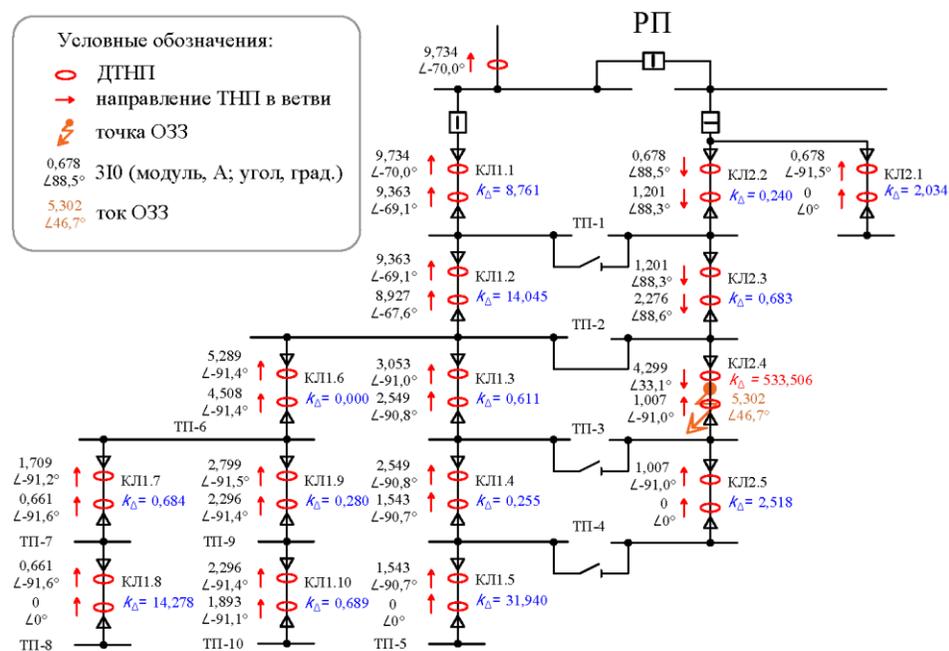
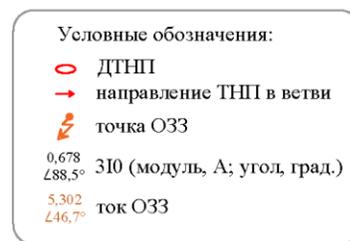
определение поврежденного участка сети по максимальному угловому сдвигу и угловой характеристики, проверка по угловому сдвигу между напряжением НП на РП и синхровекторами тока НП на участках (дополнительно)

Работа алгоритма локализации ОЗЗ была протестирована в среде динамического моделирования Simulink (MatLab).

Результаты моделирования подтверждают эффективность применяемого метода.

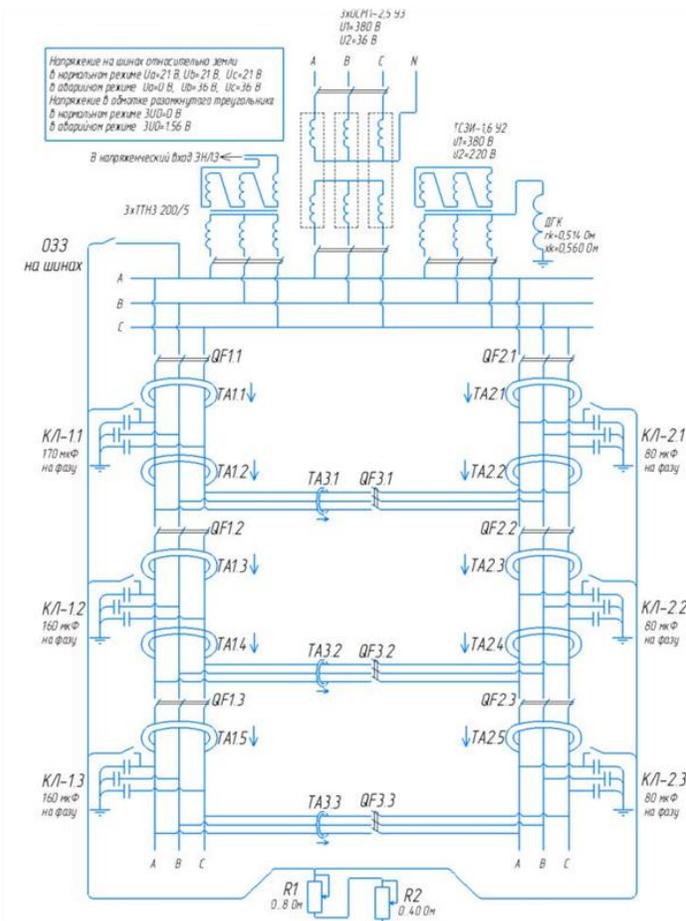


Пример Simulink-модели



Моделирование распределительной кабельной сети при ОЗЗ

В лаборатории ООО «Инженерный центр «Энергосервис» была протестирована работа комплекса «ES-Граф» на **физической модели (стенде)** сети с компенсированной нейтралью



Произведены натурные испытания на объектах ОАО «Сетевая компания», в частности, система точно определила искусственно созданное ОЗЗ на одной из кабельных линий *Казанских городских электрических сетей*;

В рамках реализации **пилотного проекта** в сети *МРСК Северо-Запада* были автоматизированы несколько ТП 6/0,4 кВ в Архангельских городских кабельных сетях;

В настоящее время программно-аппаратный комплекс «Цифровой РЭС» установлен и находится в **опытной эксплуатации** на ряде ТП и РП МУП «*Электросеть*» г. Череповец



Перспективным направлением в электроэнергетике является применение СВИ для *мониторинга состояния силового оборудования и измерительных трансформаторов тока и напряжения.*

Мониторинг трансформатора решает две основные задачи:

- определение *динамики изменения состояния* трансформатора на основе данных СВИ;
- идентификация *параметров схемы замещения* трансформатора.

На основе *параметров схемы замещения трансформатора* рассчитываются его **электромагнитные параметры;**

По *динамике изменения* данных параметров производится выявление дефектов и неисправностей в силовом трансформаторе.



Состав системы мониторинга трансформатора:

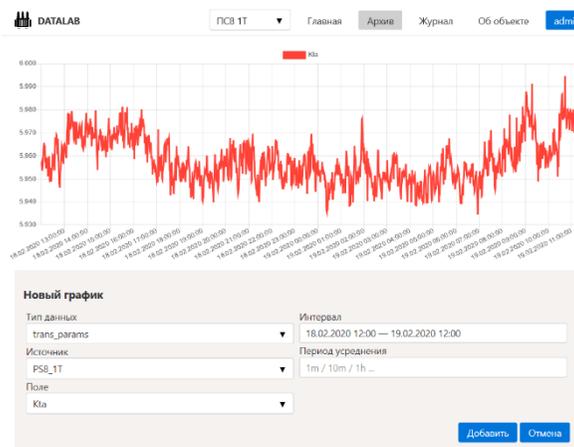
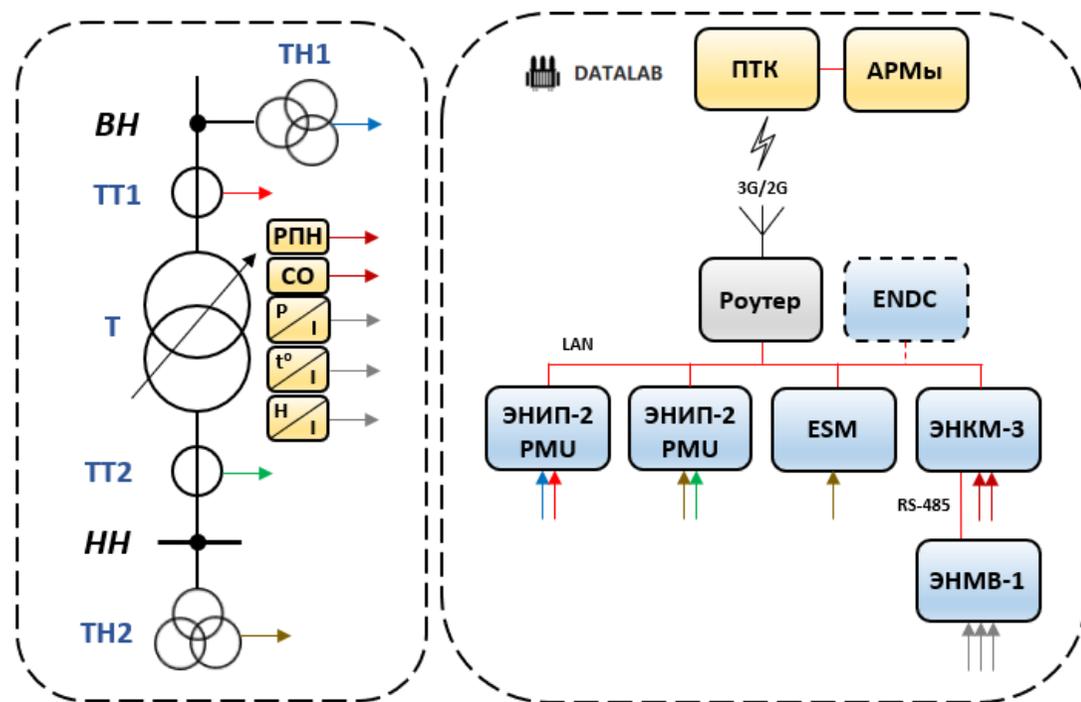
- ЭНИП-2-УСВИ со встроенными GPS/ГЛОНАСС-приемником и КСВД;
- ЭНКС-3м или ENDC.

Дополнительно используется:

- ЭНМВ-1: контроль положения РПН, обдува трансформатора, температуры, влажности и атмосферного давления и т.д.;
- ESM: контроля несимметрии и несинусоидальности токов и напряжений.

Программное обеспечение DATALAB:

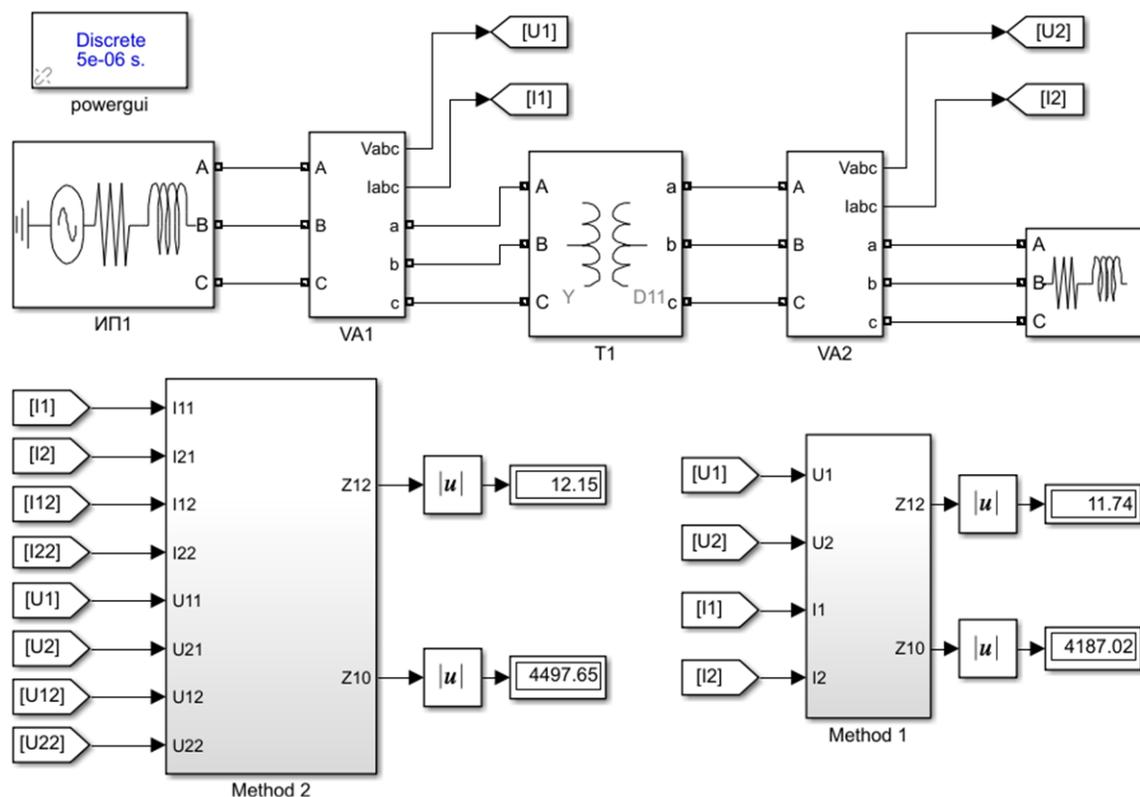
использование облачных вычислений и/или контроллер ENDC на подстанции.



Определен **наиболее эффективный способ** расчета электромагнитных параметров трансформатора на основе Г-образной схемы замещения.

Алгоритм позволяет эффективно **оценивать динамику изменения параметров** схемы замещения трансформатора.

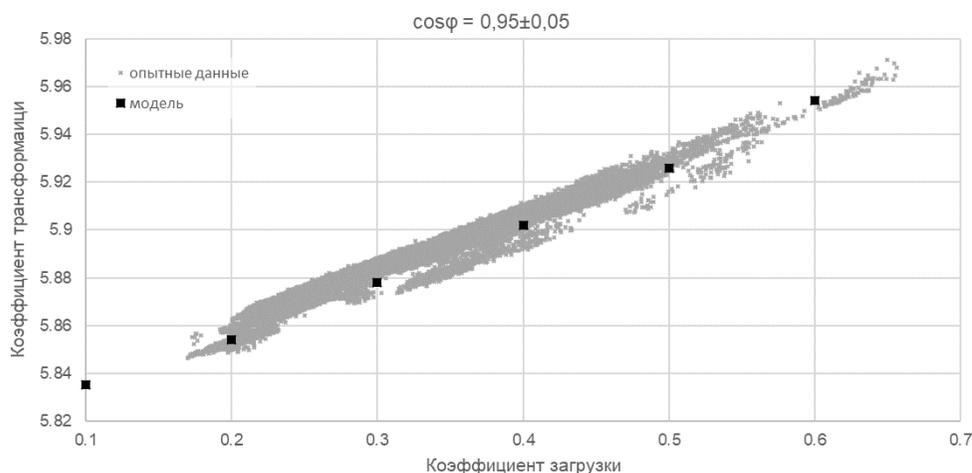
Произведено **математическое моделирование** системы мониторинга трансформатора с использованием программной среды MATLAB/Simulink, а также **физическое моделирование** на базе трансформаторов малой мощности в лабораторных условиях.



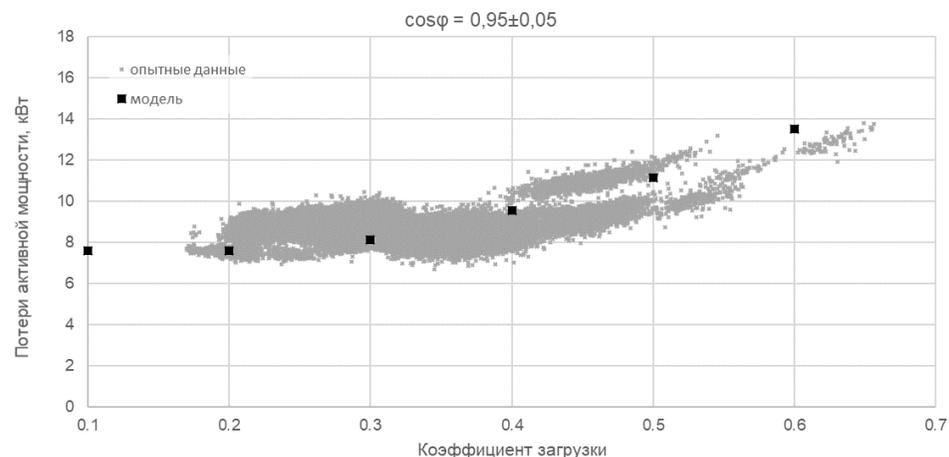
Модель Simulink

Полученные в ходе лабораторных испытаний опытные данные о характеристиках трансформатора соответствуют значениям, рассчитанным в **математической модели**.

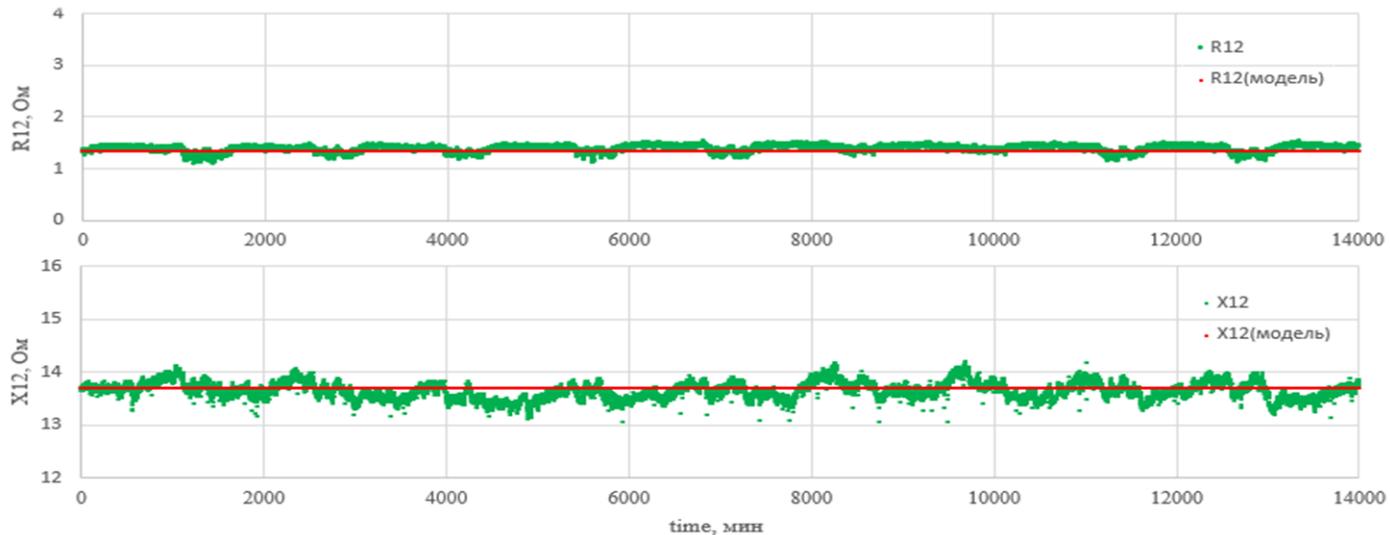
По основным режимам работы трансформатора возможно **прогнозировать состояние его параметров** и, в случае появления значений, выходящих за допустимые границы, формировать сигнал ТС.



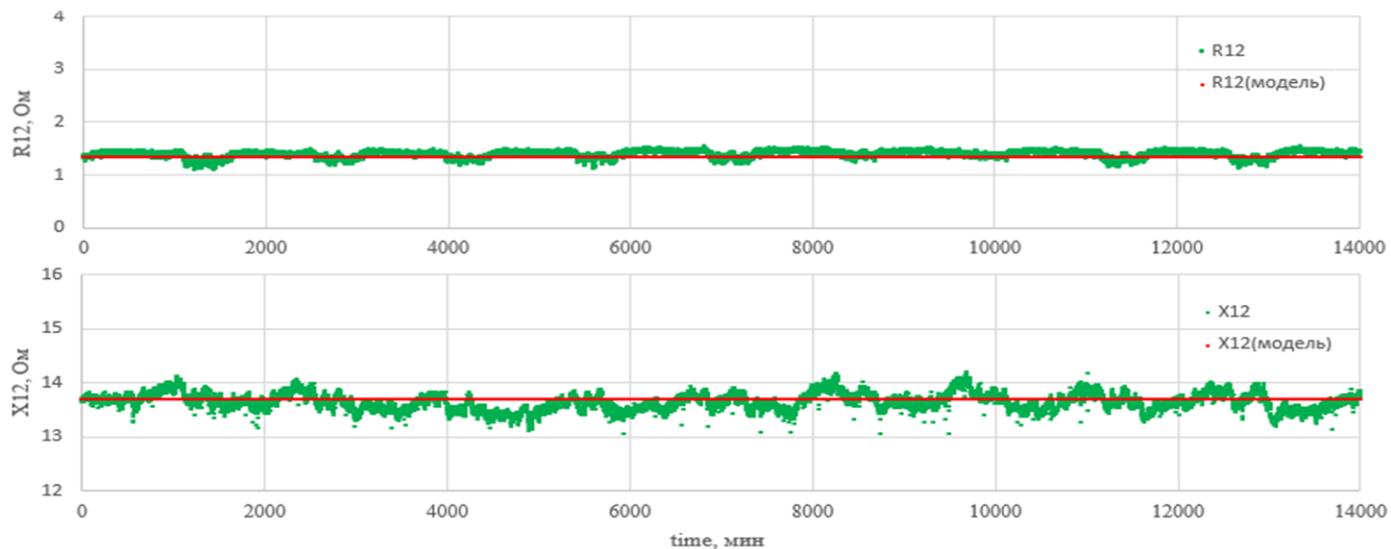
Зависимость коэффициента трансформации от коэффициента загрузки



Зависимость потерь активной мощности от коэффициента загрузки



Вычисление сопротивлений продольной ветви Г-образной схемы замещения двухобмоточного трансформатора по данным СВИ измерений



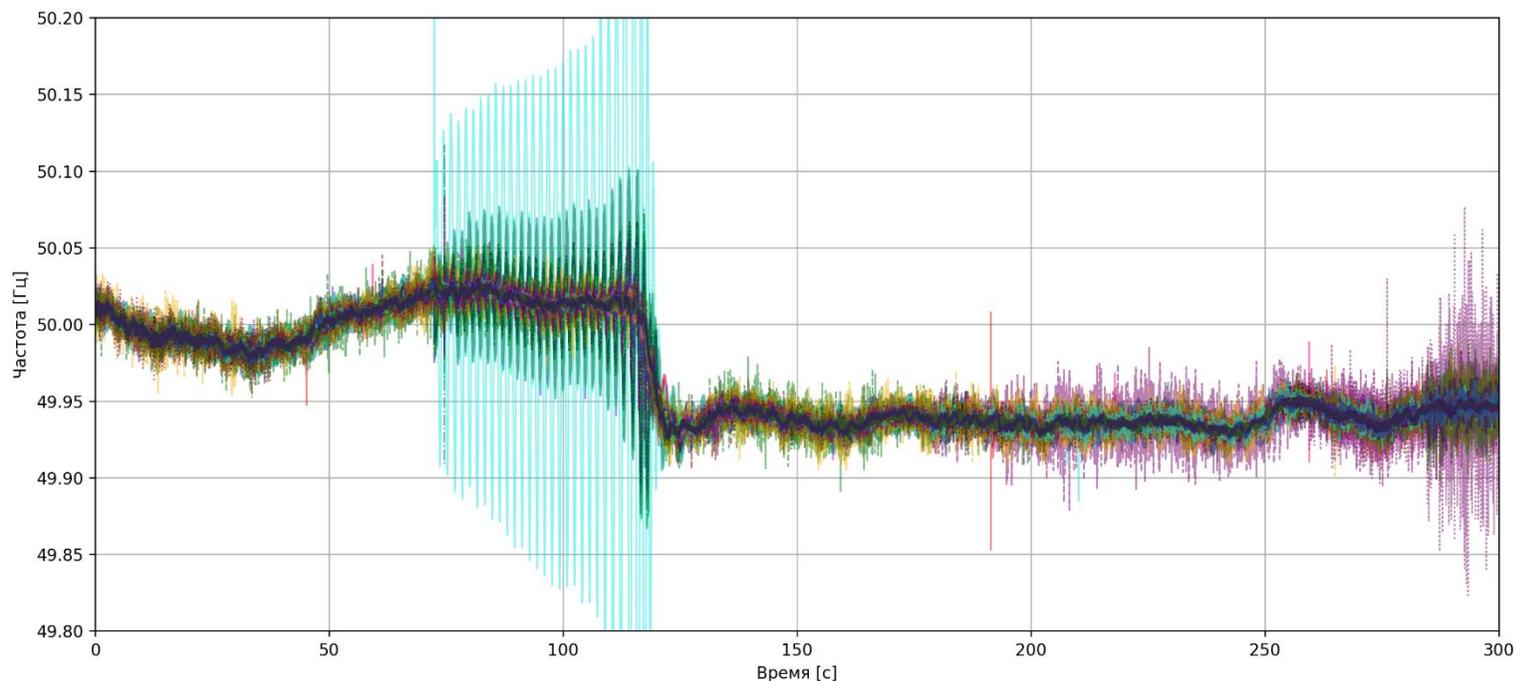
Вычисление сопротивлений ветви намагничивания Г-образной схемы замещения двухобмоточного трансформатора по данным СВИ измерений

Результаты первого этапа **лабораторных испытаний** подтверждают возможность создания системы мониторинга на основе СВИ.

Реализован **пилотный проект по мониторингу трансформатора ТД-10000/35** на ПС №8 35/6 кВ Архангельского филиала компании «Россети Северо-Запад».



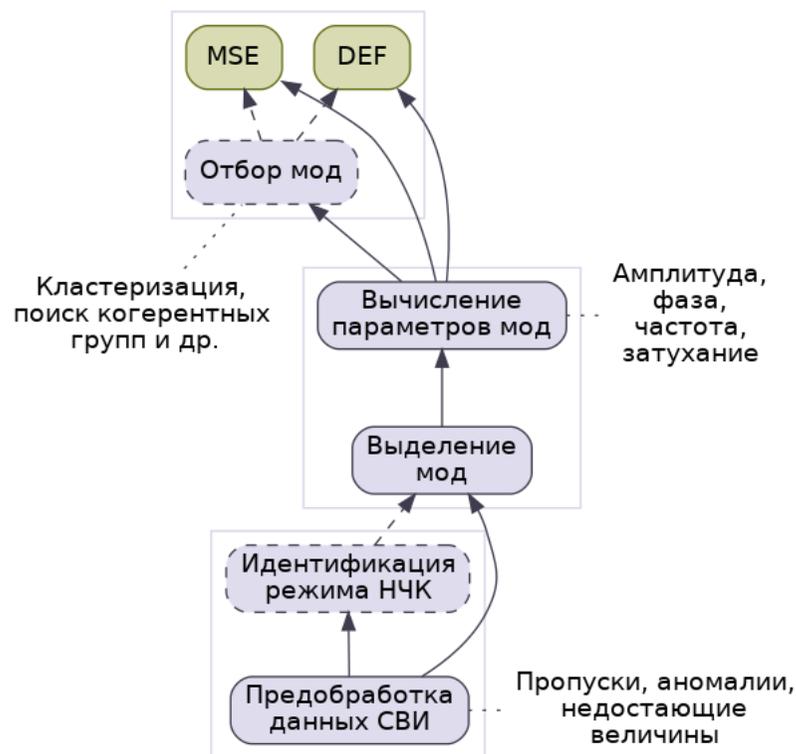
В рамках деятельности проблемной рабочей группы российского комитета **B5 CIGRE** авторы занимаются развитием методов анализа НЧК и способов обнаружения их источников, располагая при этом записями реальных процессов.



К актуальным направлениям работы в указанной области относятся повышение достоверности и обеспечение своевременности **определения источника НЧК** при обработке данных в режиме онлайн.

Предлагается представление схем вычислений в виде **обобщённых** графовых структур и двухшаговая процедура проектирования: 1) построение системы связанных работ, 2) наполнение схемы конкретными реализациями методов.

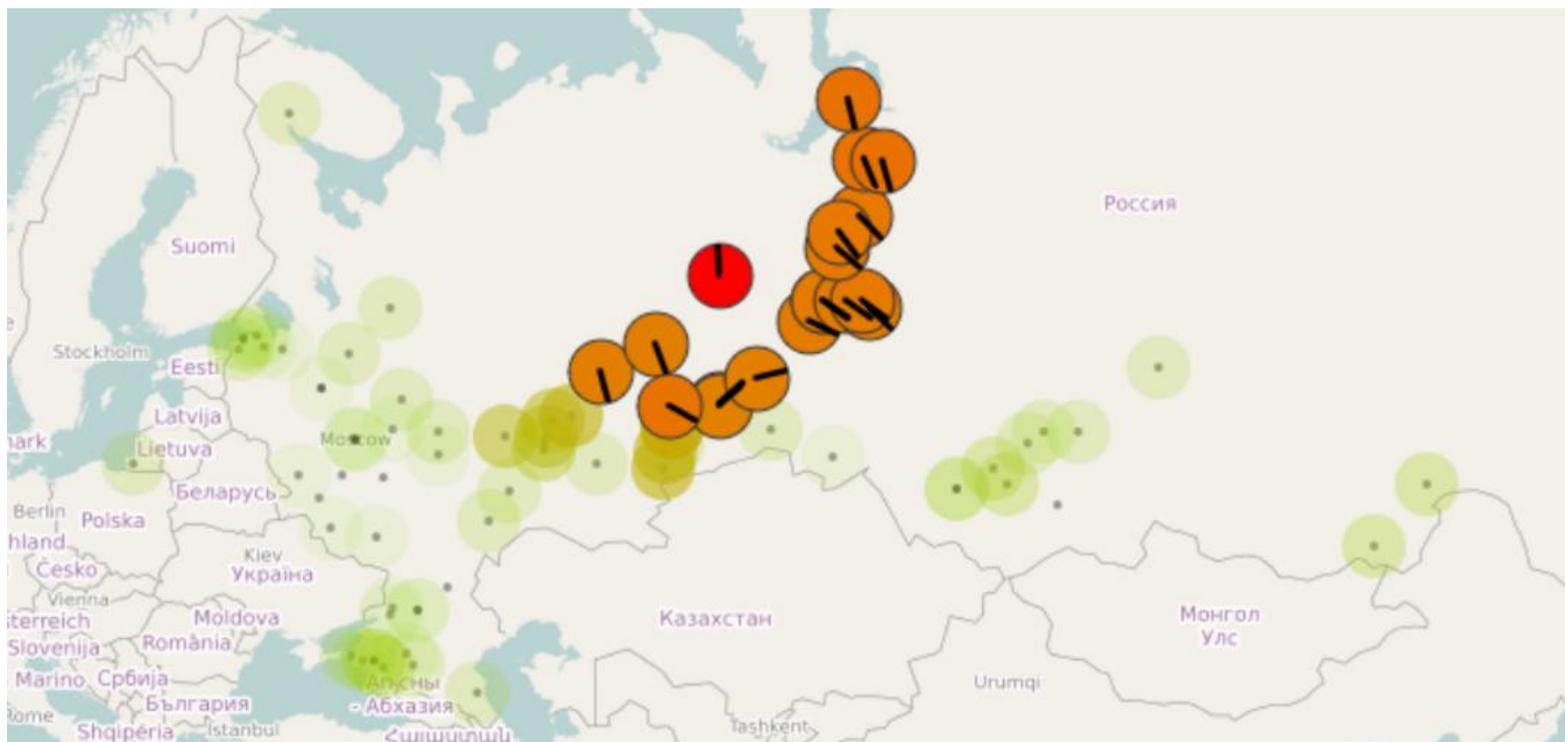
С одной стороны, это позволяет выделить топологию решения, а с другой - обеспечить его необходимую вариативность.



Работа с обобщенным представлением процесса упрощает **комбинирование методов**, позволяя снизить нагрузку на вычислительные ресурсы, упростить масштабирование системы и организовать распределенные вычисления

Данный подход был использован для оптимизации совместного применения методов определения источника низкочастотных колебаний: «**Dissipating Energy Flow**» и «**Mode Shape Estimation**»

Для более эффективного использования вычислительных ресурсов предложены различные стратегии **распараллеливания**: разделение входного сигнала на перекрывающиеся участки и последующая сборка результата; разделение совокупности входных сигналов на параллельно обрабатываемые подмножества; одновременное исполнение готовых к запуску узлов обобщенной схемы.



Спасибо за внимание

Попов Александр Игоревич

Инженер-программист отдела аналитики и обработки данных «ИЦ Энергосервис»,

a.popov@ens.ru,

САФУ, доцент кафедры прикладной информатики и информационной безопасности, к.т.н.

a.popov@narfu.ru,

Мокеев А.В., Пискунов С.А., Родионов А.В.

a.mokeev@narfu.ru, a.mokeev@ens.ru, s.piskunov@ens.ru, a.rodionov@ens.ru

