



#### **4.12. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

А. И. ПОПОВ, А. В. МОКЕЕВ, А. В. РОДИОНОВ, М. А. ДАНИЛОВ, К. П. БУТИН  
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,  
Северный (Арктический) федеральный университет  
Россия

**Контактное лицо:**

А. И. ПОПОВ  
a.popov@ens.ru

**Ключевые слова:**

Синхронизированные векторные измерения, анализ данных, вычисления, обработка сигналов.



## ВВЕДЕНИЕ

В мировой электроэнергетике неуклонно возрастает интерес к технологиям синхронизированных векторных измерений (СВИ). Интеграция технологий СВИ с автоматизированными системами управления SCADA с последующим переходом к автоматизированным системам нового поколения WACS предоставит принципиально новые возможности по управлению энергосистемой, в том числе недоступное ранее выявление ненормальных и аварийных режимов. С ростом количества и качества устройств с поддержкой технологии СВИ (УСВИ) происходит ускоряющееся накопление массивов измерительных данных. Использование этих данных позволяет решать задачи, направленные на повышение наблюдаемости, надежности и эффективности энергосистем. В частности, идёт речь о задачах выявления нормальных, ненормальных и аварийных режимов функционирования энергосистемы, её подсистем и элементов на основе обработки данных СВИ. Такие режимы проявляются в отклонениях ряда наблюдаемых параметров системы от своих нормальных значений, при этом интерес представляет также динамика отклонений, свидетельствующая, в том числе, о развитии в энергосистеме колебательных процессов.

В настоящем докладе обсуждается ряд вопросов, возникающих на этапе практической реализации решений, требующих комплексной обработки данных СВИ. Авторы при этом опираются на собственный опыт решения ряда прикладных задач выявления аварийных и ненормальных режимов работы систем, мониторинга электрооборудования, измерительных трансформаторов тока и напряжения, коммутационной аппаратуры.

## ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ДАННЫХ СВИ

Известно, что СВИ могут быть использованы для решения различных задач, в том числе для оценки устойчивости параллельной работы энергосистемы, выявления повреждений (короткие замыкания, однофазные замыкания на землю), выявления опасных режимов (асинхронный ход, синхронные качания и т.д.), выявления низкочастотных колебаний (НЧК) и т.д. [1-3]. При этом, как указывалось выше, с увеличением количества УСВИ происходит ускоряющееся накопление массивов измерительных данных.

С учетом увеличения объемов данных и растущего многообразия их методов обработки в [4, 5] предлагается подход к высокоуровневому описанию схем вычислений в виде обобщенных графовых структур с возможностью вариации частных алгоритмов обработки данных. Данный подход позволяет разделить организацию вычислений и наполнение вычислительных схем специфическими для предметной области алгоритмами обработки данных.

В докладе рассматриваются вопросы применения предложенных методов обработки данных применительно к задачам мониторинга состояния трансформатора, локализации однофазных замыканий на землю и поиска источника НЧК и использованию СВИ в составе цифровых подстанций. При этом основное внимание уделено анализу НЧК и поиску источников данных колебаний.

Предлагаемые авторами методы обработки данных СВИ реализованы в программно-аппаратном комплексе для мониторинга состояния понижающего трансформатора на основе анализа данных СВИ [6, 7]. Программное обеспечение включает набор сервисов, позволяющих выполнять анализ состояния трансформатора как в режиме онлайн, так и в режиме обработки архива исторических данных. Обработка данных основана на использовании расширяемого множества методов, реализуемых в виде т.н. анализаторов. В частности, реализован расчет параметров различных эквивалентных схем замещения трансформатора, статистический анализ вариации параметров, методы анализа выбросов на основе обновляемого многомерного распределения вероятностей, генетические алгоритмы



и др. Система используется на двух подстанциях филиала компании «Россети Северо-Запад» в г. Архангельск.

Другая область применения разработанных методов связана с разработкой программно-аппаратного комплекса [8] для локализации коротких замыканий (КЗ) и однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в кабельных линиях городских распределительных сетей на основе обработки измерительных данных по векторам тока нулевой последовательности и сигналов от индикаторов тока КЗ. Анализ данных выполняется в системе программным обеспечением «ES-граф». Здесь также заложена возможность применения различных методов обработки данных и расширения перечня этих методов без изменения архитектуры системы. Основной сценарий использования «ES-граф» предполагает встраивание его в пространство стандартизированных данных, что обеспечивает простую интеграцию с существующими системами, в том числе SCADA. Система прошла успешные натурные испытания в Казани осенью 2019 года и в Череповце летом 2020. В настоящее время система находится в эксплуатации в МУП «Электросеть» г. Череповца и в опытной эксплуатации в филиале компании «Россети Северо-Запад» в г. Архангельск.

Внедрение технологий цифровой подстанции (ЦПС) и СВИ являются важными тенденциями совершенствования средств автоматизации энергообъектов. Применение технологии СВИ в составе ЦПС позволяет снизить объем передаваемой информации по шине процесса и станции, замещая синхровекторами токов и напряжений выборочные значения (SV) и часть измеренных значений (MMS). ООО «Инженерный центр «Энергосервис» ведет исследования и разработки в данном направлении. В них, среди прочего представлены архитектурные решения распределенной системы релейной защиты и автоматики (РЗА) подстанции, рассмотрены вопросы интеграции, обмена данными и обеспечения надёжности, обозначены преимущества подхода и перспективы развития [8].

Одной из важнейших проблем для обеспечения надежной работы энергосистем является анализ происходящих в них колебательных процессов [1, 2, 3]. Плохо демпфируемые низкочастотные колебания, отрицательно влияющие на надежность работы системы, представляют особый интерес. Одной из основных причин их возникновения является небаланс мощности, а одним из факторов развития – некорректная работа автоматических регуляторов возбуждения генераторов. Своевременное обнаружение источника НЧК способствует снижению износа оборудования и повышению качества электроснабжения.

Указанные колебания проявляются в низкочастотной части спектра измерительных сигналов, формируемых УСВИ. Соответствующие компоненты сигнала называются низкочастотными модами. Процесс анализа НЧК включает в себя выделение мод из исследуемого сигнала, вычисление их динамических параметров (фазы, частоты, амплитуды, различных параметров демпфирования), кластеризацию объектов, вовлеченных в колебания, определение источника колебаний, прогнозирование развития процесса и др.

В работах [4, 5] авторами предложен метод определения источника НЧК, принципиально относящийся к группе «Mode Shape Estimated» [1]. Автоматизирован процесс формирования выборки сигналов, относящихся к объектам, вовлеченных в колебательный процесс, и подлежащих дальнейшему кластерному анализу. Предложено метрическое пространство признаков, основанное на динамических параметрах мод. Разработан и программно реализован математический аппарат для быстрого вычисления параметров кластеров. Реализованы процедуры определения лидирующей по фазе моды группы сигналов и лидера группы. Все предлагаемые вычислительные процедуры ориентированы на применение в режиме онлайн. Предлагаемые подходы апробированы на ряде достоверных случаев плохо демпфируемых низкочастотных колебательных процессов, имевших место в энергосистеме России, а также на данных из открытых источников [9]. При этом использовались архивные записи частоты и мощности от совокупности присоединений.

Задача анализа НЧК является ресурсоемкой с вычислительной точки зрения. Действительно, в масштабе энергосистемы требуется организовать обработку результатов

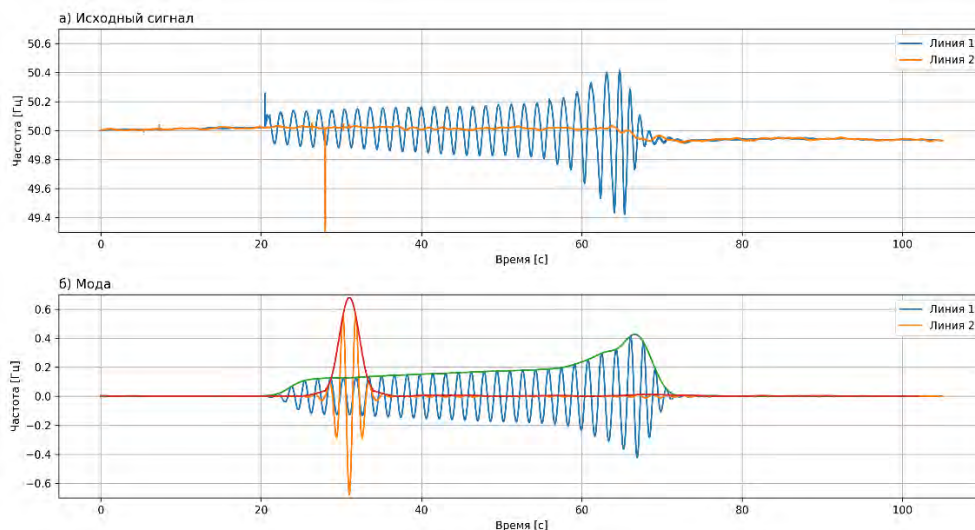


измерений различным оборудованием различных физических величин (частоты, мощности и др.) от различных объектов энергосистемы (линии, генераторы) в различных режимах (онлайн-поток, архивные записи). Разнообразие в определениях и подходах касается самых основных процессов, в том числе, выделения мод, расчета их количественных параметров (особенно, параметров демпфирования), определения источника.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ СВИ

Появление новых и изменение существующих требований к системам мониторинга переходных режимов (СМНР) обуславливает расширение функциональных возможностей системы, в том числе в части передачи, хранения, и организации доступа к данным. Однако реализация указанных изменений в уже развернутых комплексах работы с данными СВИ не всегда возможна, как и на объектах, функционирующих по предыдущим версиям требований. Вследствие этого возникает многообразие форматов данных и способов доступа, а также необходимость поддержки работы с ними.

Это усложняет проведение анализа по архивным измерениям, полученным от большого количества УСВИ, дополнительно возлагая на пользователя или инструменты анализа работу по приведению данных к единому виду. Более того, в части данных может отсутствовать информация о качестве измерений, либо описатель качества имеет ложноположительный



признак. В результате валидация данных становится частью их анализа.

**Рис. 1.** Выделение моды при наличии в исходном сигнале достоверного нуля.

Рассматривая сигналы отдельно, прежде всего стоит указать на имеющиеся в них различные аномалии, такие, как пропуски, скачки значений, константные значения, сохраняющиеся на протяжении длительного времени, неадекватные значения, отмеченные как достоверные и др. Даже кратковременные аномалии, будучи незамеченными, могут приводить к ошибкам при автоматическом анализе. Рассмотрим реальный пример, имевший место при обработке записей НЧК. На рис. 1а. представлены сигналы частоты переменного тока, полученные от двух линий электропередач во время колебательного процесса. Известно, что направлению источника колебаний соответствует линия 1. При этом сигнал от линии 2 содержит ошибочное нулевое значение, отмеченное, однако, как достоверное – достоверный ноль. Если опираться только на признак достоверности, то формируемый этим нулем импульс подается на вход полосового фильтра, что приводит к возникновению на его выходе ложной «моды». На рис. 1б показаны отфильтрованные сигналы, для наглядности приведены также их огибающие. В выходном сигнале от линии 2 проявляется импульсная

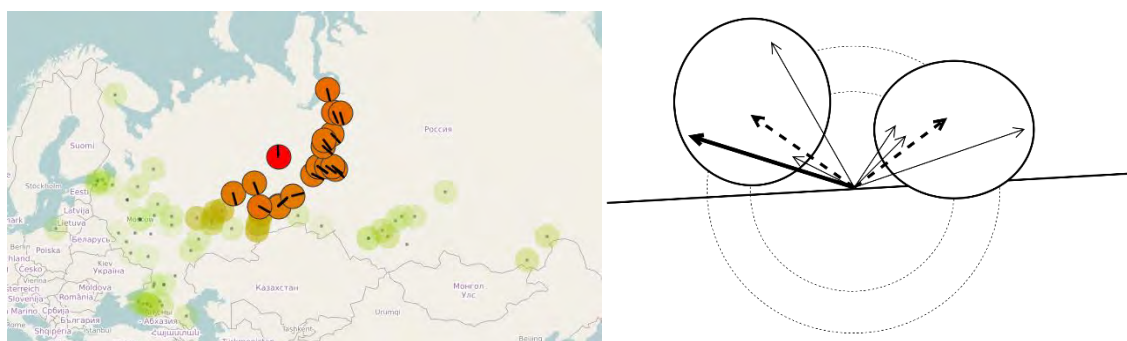


характеристика фильтра, которая может быть интерпретирована как существенно возросшая мода, т. е. ложным образом.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Решение рассматриваемых задач анализа требует привлечения знаний из различных областей, включая цифровую обработку сигналов, математическую статистику, интеллектуальный анализ данных, технологии программирования и др. Структура решения характеризуется многоэтапностью процесса обработки данных и наличием расширяющегося множества частных реализаций каждого этапа. Наличие альтернативных методов выполнения каждого этапа вычислений, а также множества их параметров и реализаций, приводит к различным итоговым результатам всего процесса. Примером является задача поиска источника НЧК. Ни одно из существующих на сегодняшний день решений этой задачи не является универсальным, т. е. позволяющим с достаточной точностью идентифицировать источник НЧК при любых условиях [9].

Одним из методов определения источника колебаний является «Mode Shape Estimated» (MSE) [1, 10]. Для его применения необходимо выделить интересующую моду для каждого источника и сравнить полные фазы полученных сигналов. Метод предполагает, что источнику колебаний соответствует сигнал, опережающий остальных по фазе (рис.2).



**Рис. 2.** Пример поиска источника колебаний по опережению фазы мод.

При этом сигналы предварительно могут быть разделены на когерентные группы, и может решаться вопрос о лидирующей группе. В [4] авторы показали применение для этой цели метода кластерного анализа GDBSCAN [11], привлекательность которого обусловлена отсутствием необходимости предварительного задания количества кластеров, а также возможностью использовать различные метрики для определения соседства точек в пространстве признаков.

Вторым рассмотренным методом обнаружения источника НЧК является Dissipating Energy Flow (DEF) [12]. Данный метод основывается на явлении диссипации энергии на высоковольтных линиях, связанных с электростанциями, которые вовлечены в колебательный процесс. При этом выбирается одна исходная точка (электростанция или конкретный генератор), и вычисляется значение формулы (1) за небольшой промежуток времени (20–40 периодов НЧК). Величина  $W_{ij}^D$  на линии  $i$ - $j$  вычисляется на основе синхровектора напряжения, а также значения активной и реактивной мощности

$$W_{ij}^D = \int \Delta P_{ij} d\Delta\theta_i + \Delta Q_{ij} \frac{d\Delta U_i}{\bar{U}_i}, \quad (1)$$

где  $\Delta U_i$  и  $\Delta\theta_i$  – амплитуда и угол фазы напряжения проблемной моды,

$\bar{U}_i$  – среднее значение исходного напряжения,

$\Delta P_{ij}$  и  $\Delta Q_{ij}$  – активная и реактивная мощность моды.

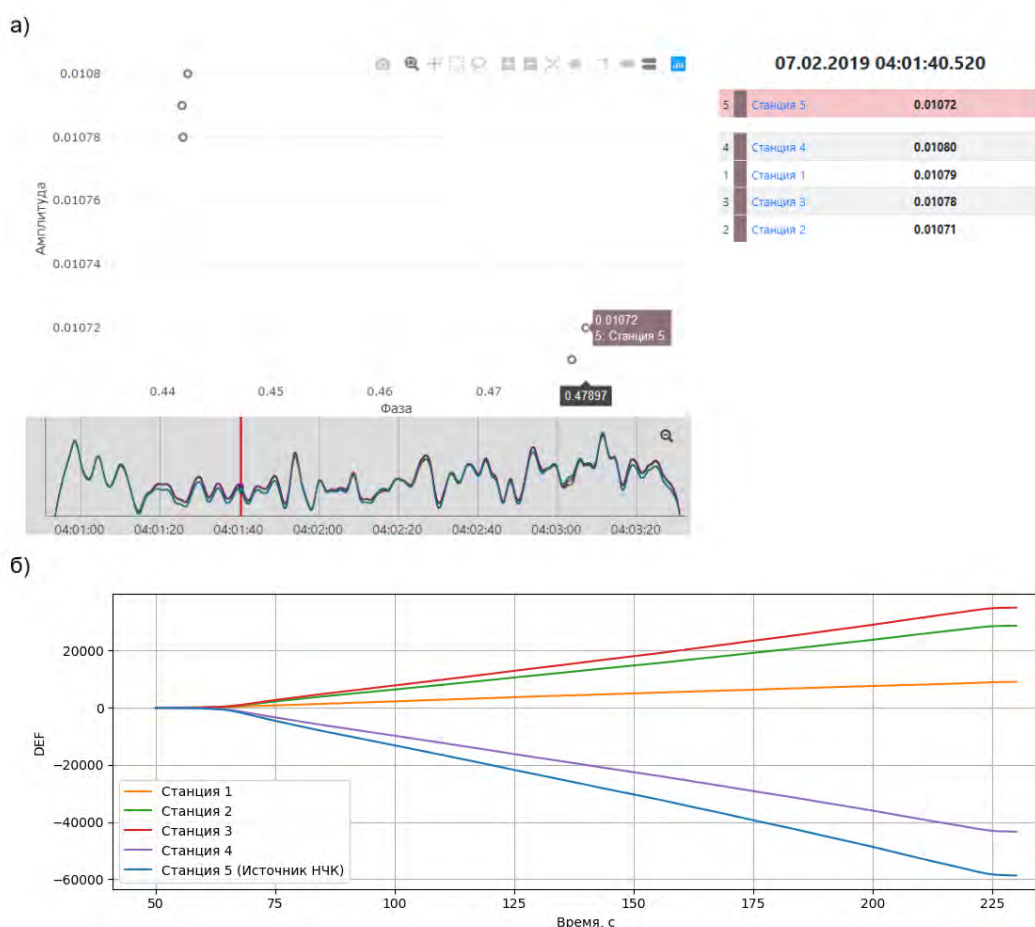
Если сопоставить графики данной величины, вычисленной для нескольких точек генерации, то можно сделать вывод об их вовлеченности в колебательный процесс. Если





функция возрастает, то генератор или электростанция вовлечен в него или является его источником. В противном случае диссипация энергии падает, т. е. генератор или электростанция оказывается под сильным воздействием НЧК. Чем больше угол, тем сильнее воздействие. Источником НЧК можно считать точку генерации, на линии к которой рассеивается наибольший объем энергии. Для определения этого значения целесообразно использовать методы линейной регрессии – наибольший угловой коэффициент регрессии соответствует источнику НЧК.

На рис. 3а показаны результаты применения метода MSE в одном из реальных случаев НЧК, имевших место в энергосистеме России. Графиками показаны амплитуды анализируемой моды для множества наблюдаемых объектов. Показаны также моды в некоторый момент времени в пространстве признаков «амплитуда – фаза». Точка, расположенная в крайнем правом положении, соответствует источнику колебаний. В общем списке объектов так же указаны источник и группы объектов.



**Рис. 3.** Определение источника низкочастотных колебаний.

Источник колебаний был определен верно. Однако видно, что угол между лидирующим вектором и следующим за ним мал, что может вызывать сомнения надежности сделанного вывода. Значения амплитуд моды также отличается весьма незначительно, что негативно сказывается на точности метода MSE. К этим же записям был применен метод DEF (рис. 3б). Наибольший угол наклона функции DEF получен для станции 5, что подтверждает результат MSE, обеспечивая более убедительный вывод.

Предлагается одновременно использовать несколько методов и сопоставлять результаты их применения. Эффективность применения каждого конкретного метода зависит

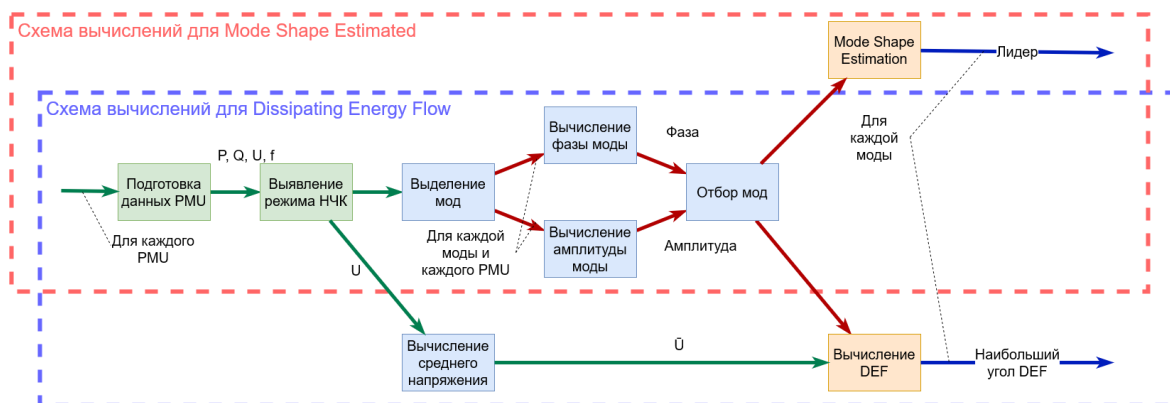


от множества факторов, таких как вид НЧК, топология энергосистемы, наличие ответвлений линии и многих других. Таким образом, применяя несколько методов анализа к одной и той же ситуации, можно добиться не только повышения достоверности результатов обнаружения, но также и повышения универсальности подхода.

Основной проблемой при использовании такого подхода на практике является большой объем обрабатываемых данных, который формируется из-за большого числа источников данных СВИ, а также из-за необходимости выполнять обработку множества различных мод. В качестве решения данной проблемы предлагается использовать методы параллельных и распределенных вычислений.

Ранее в ряде работ [4, 13] авторами предложен и разработан подход к представлению схем вычислений в виде обобщенных графовых структур, обеспечивающий двухшаговую процедуру проектирования: на первом этапе выстраивается система связанных работ (план), на втором – полученная схема наполняется реализациями конкретных методов. Наличие такого общего описания позволяет на общем уровне подойти, в том числе, к задаче распараллеливания вычислений. В [5] предложены и проанализированы различные стратегии, допускающие комбинирование: разделение входного сигнала на фрагменты с последующей сборкой результата; разделение совокупности входных сигналов на параллельно обрабатываемые группы; параллельное исполнение узлов схемы вычислений, для которых выполнены условия запуска. Эти варианты распараллеливания отличаются друг от друга соотношением привлекаемых знаний о решаемой задаче и достигаемым ускорением вычислений.

Использование такого подхода позволило выделить пересекающиеся этапы обработки сигнала у методов MSE и DEF. Объединение схем их вычислений с исключением повторяющихся этапов представлено на рис. 4. Очевидно, что исключение повторяющихся этапов позволило значительно уменьшить количество этапов обработки сигнала для совокупности методов.



**Рис. 4.** Объединение вычислительных схем для разных методов определения источника НЧК.

Распределенные вычисления по полученной схеме могут быть организованы разными способами. Первый их состоит в размещении каждого этапа на отдельном вычислительном узле, однако при этом общая производительность будет ограничиваться скоростью каналов связи между узлами. Второй – в размещении всех этапов, входящих в обе вычислительных схемы, на одном узле, а методов обнаружения – на других. Третий – в обработке каждой моды на свободном узле. В этом случае моды обрабатываются независимо, благодаря чему нет необходимости в синхронизации вычислений и общей памяти.

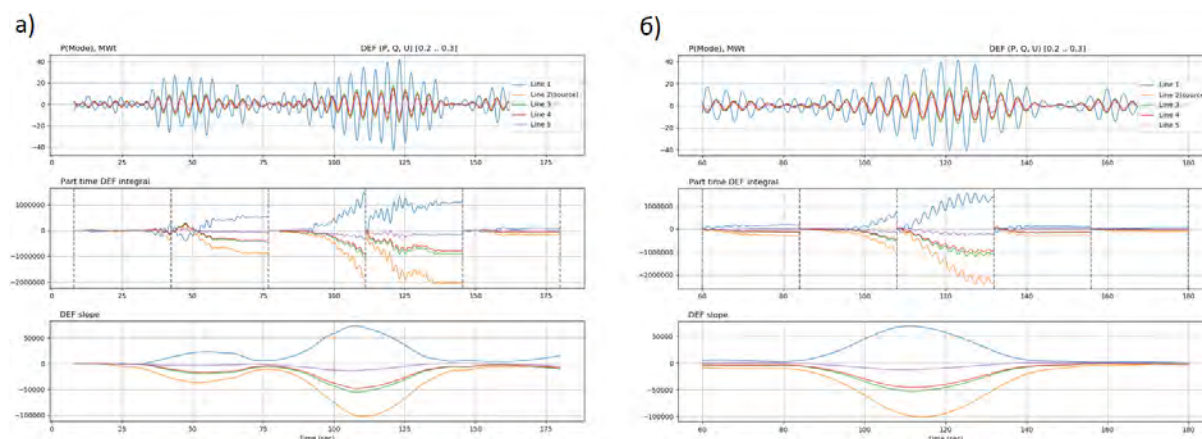
Наращивание схемы путем присоединения к ней новых этапов обработки и использования промежуточных результатов вычислений в качестве входных данных для этих этапов позволяет расширить схему для решения связанных задач: расчета параметров демпфирования колебаний, прогнозирования развития колебательного процесса и др.



На примере анализа низкочастотных мод и поиска источника НЧК показаны возможности разработанного специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» программного обеспечения для выявления и анализа ненормальных или аварийных режимов работы энергосистем. При разработке программного обеспечения особое внимание уделено принципам гибкости, универсальности архитектурных решений и возможности повторного использования реализуемых компонентов.

В случае анализа НЧК могут быть использованы различные алгоритмы обработки сигналов. Гибкость программного обеспечения достигается благодаря возможности формирования сценариев в виде системы вычисляющих узлов, связи между которыми соответствуют потокам данных [13]. Основным параметром узла является реализация некоторого алгоритма обработки из внешней библиотеки. Следовательно, в готовом узле алгоритм может быть заменен другим, совместимым по интерфейсу. Иными словами, алгоритм решения каждой подзадачи может варьироваться без разрушения связей в сценарии. При этом сценарий имеет формальное определение [14] и может быть верифицирован.

Пример такой вариации метода показан на рис. 5. Для выделения информативного компонента измерительного сигнала в качестве альтернатив использованы полосовые фильтры с конечной (КИХ) и бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Предпочтение тому или иному способу синтеза фильтра может отдаваться, исходя из разных соображений: объем вычислений при фильтрации, требование линейности фазочастотной характеристики фильтра, используемый принцип определения источника НЧК. Рисунок демонстрирует влияние выбора фильтра на расчет DEF.



**Рис. 5.** Влияние метода фильтрации на расчет DEF: а) КИХ–фильтр, б) БИХ–фильтр.

При этом в случае анализа НЧК могут быть реализовываться различные алгоритмы обработки сигналов для определения НЧК. Как было показано выше, для поиска источника НЧК могут одновременно использоваться методы MSE и DEF.

Гибкость программного обеспечения достигается благодаря возможности формирования сценариев в виде системы вычисляющих узлов, связи между которыми соответствуют потокам данных [13]. Основным параметром узла является реализация некоторого алгоритма обработки из внешней библиотеки. Следовательно, в готовом узле алгоритм может быть заменен другим, совместимым по интерфейсу. Иными словами, алгоритм решения каждой подзадачи может варьироваться без разрушения связей в сценарии. При этом сценарий имеет формальное определение [14] и может быть верифицирован.

Такой подход позволяет использовать программное обеспечение в решении различных прикладных задач для выявления ненормальных или аварийных режимов работы энергосистем с применением различных методов анализа данных СВИ.





## ТЕСТИРОВАНИЕ

Важным аспектом в разработке и внедрении системы анализа является её проверка на корректную работу во всех режимах исследуемого объекта. На этапе разработки методов анализа применимо математическое моделирование исследуемой системы. Существующие математические описания расчетных методов и программные инструменты, например, MATLAB и Simulink, обеспечивают возможность создания модели и проведения имитационного моделирования. В некоторых задачах математическая модель может стать частью метода исследования и применяться, например, для проведения сравнительного анализа измеренных и расчетных величин.

Однако точное моделирование масштабных энергосистем требует информации о каждом узле, что сопряжено с трудностями получения и внесения этих знаний в модель. Например, для задачи анализа НЧК применимы как аппроксимированная модель энергосистемы, так и теоретическая модель для симуляции процесса НЧК и верификации метода по полученным данным.

Другим способом тестирования методов, связанных с анализом НЧК, является использование набора исходных данных о достоверно известных случаях НЧК в энергосистеме и сравнение результатов исследуемого метода. Для этой цели существует библиотека тестовых наборов данных для валидации методов обнаружения источников НЧК [9]. За счет использования такого подхода, в ходе тестирования методов поиска источника НЧК удастся не только определить корректность их работы, но и уточнить условия их применимости.

Открытым остается вопрос валидации системы после её развертывания. Как правило, система, которая производит анализ измерений, состоит из множества узлов: устройства, каналы связи, алгоритмы анализа и прочее. Каждый из этих узлов проходит контроль качества при изготовлении, но при развертывании системы их необходимо монтировать, настраивать, проводить обслуживание. Ошибка даже на одном из этих этапов может стать причиной неверного результата анализа, а её выявление и устранение может оказаться трудоемким, особенно в масштабных системах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный уровень развития технологий синхронизированных векторных измерений обеспечивает широкие возможности для решения ряда важных задач мониторинга энергосистем.

В докладе предлагается к обсуждению ряд вопросов, характерных для этапа практического решения задач анализа данных СВИ. Затронуты вопросы качества исходных данных, наличия аномалий в данных как фактора нестабильности при функционировании компонентов анализа, неравномерности повышения качества измерений в разных частях масштабных систем и вытекающая отсюда проблема сопоставления данных и др. Рассмотрены вопросы организации многоэтапных процедур анализа при наличии постоянно расширяющегося множества методов выполнения каждого этапа и оптимизации обработки больших объемов данных на общем уровне. Рассматривается опыт решения данных вопросов на примере задач мониторинга трансформатора, локализации замыканий, анализа низкочастотных колебаний и поиска их источника.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Antonello, M., Muscas C., Ponci F. Phasor measurement units and wide area monitoring systems. AcademicPress, 2016. 298 p.



- [2] Möller, H. The Dissipating Energy Flow method for analysing generator contribution to power system damping – evaluation and interpretation. CODEN: LUTEDX/TEIE, 2019. 44 p.
- [3] Zhukov A. V., Klimova T. G., Rasshcheplyaev A. I. Monitoring of low-frequency oscillations in electric power systems // *Electricity-MPEI*, №2, 2013. pp. 20-27.
- [4] Rodionov A. V., Blinov A. N., Butin K. P., Mokeev A. V., Popov A. I. Practical Issues of Processing Synchrophasor Measurement Data in the Analysis of Low-Frequency Oscillations in Power System // *2019 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA)*, Moscow, Russia, 2019, pp. 1-16.
- [5] Popov A., Butin K., Rodionov A., Berezovsky V. Performance and Energy Efficiency of Algorithms Used to Analyze Growing Synchrophasor Measurements // *Parallel Computing Technologies. PaCT 2019. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 11657. Springer, Cham.
- [6] DATALAB. <https://proxy.ens.ru/transmon/>
- [7] Blinov A. N., Rodionov A. V., Goryachevskiy I. A., Mokeev A. V., Popov A. I. Synchrophasor measurements application for monitoring transformers in step-down substations. // *2019 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA)*, Moscow, Russia, 2019.
- [8] Khromtsov E. I., Mokeev A. V., Andreev P. I., Petrov K. V., Rodionov A. V., Ulyanov D. N. Applications Of Synchrophasors In Relay Protection Of Digital Substations And Digital Grids // *2019 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA)*, Moscow, Russia, 2019, pp. 1-11.
- [9] Maslennikov S. et al. A test cases library for methods locating the sources of sustained oscillations // *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*. IEEE, 2016. pp. 1-5.
- [10] Dosiek L., Trudnowski D. J., Pierre J. W. New algorithms for mode shape estimation using measured data // *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*. IEEE, 2008. C. 1-8.
- [11] Sander J., Ester M., Kriegel H. P., Xu X. Density-based clustering in spatial databases: The algorithm gbscan and its applications // *Data mining and knowledge discovery* №2(2), 1998. pp. 169-194.
- [12] Maslennikov S., Wang B., Litvinov E. Dissipating energy flow method for locating the source of sustained oscillations // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2017, pp. 55-62.
- [13] Mokeev A., Bovykin V., Khromtsov E., Miklashevich A., Popov A., Rodionov A., Ulyanov D. Application of synchrophasor measurement technology for control, protection and automation // *CIGRE B5 Colloquium in Tromsø*, 2019.
- [14] Dsplab <https://github.com/aleneus/dsplab>