УДК 62+53.07

Галанин Г.А.
студент 3 курса
Самарский государственный технический университет
(г. Самара, Россия)

Петровский С.В.
кандидат технических наук, доцент
кафедра «Электрические станции»
Самарский государственный технический университет
(г. Самара, Россия)

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Аннотация: *рассмотрена разработка информационной системы моделирования установившихся и послеаварийных режимов электрических сетей на основе единой цифровой модели. Цель исследования — обеспечить воспроизводимость режимных расчётов и отказоустойчивое исполнение вычислений.*

Ключевые слова: *цифровая модель, электрическая сеть, стандарт CIM, установившийся режим, послеаварийный режим, режимный расчёт, отказоустойчивость, резервирование.*

Введение.

Электрическая сеть постоянно меняется: вводятся новые линии и подстанции, изменяется состав генерации, растёт число распределённых источников, а нагрузка становится менее предсказуемой. Диспетчеру и проектировщику недостаточно видеть перечень оборудования. Им нужна согласованная расчётная модель, позволяющая быстро ответить на практические вопросы: сохранятся ли допустимые напряжения, какая линия будет

перегружена, где возрастут потери и что произойдёт после отключения одного элемента.

На практике исходные данные нередко распределены между таблицами, геоинформационными системами, SCADA, паспортами и локальными расчётными файлами. Один и тот же выключатель может иметь разные обозначения или состояние. Из-за этого значительная часть времени уходит не на решение уравнений, а на поиск расхождений и ручное согласование версий. Международные стандарты семейства CIM и российская серия ГОСТ Р 58651 направлены именно на устранение этой проблемы.

Методы расчета режимов.

В работе использованы системный анализ, объектное ин формационное моделирование, метод Ньютона - Рафсона, расчёт в относительных единицах, критерий N-1, элементы теории надёжности и имитация отказов. Численные результаты получены двойной точностью; условием сходимости принято максимальное значение невязки 10^{-8} о.е.

Научная новизна заключается в совместном рассмотрении трёх обычно раздельных задач:

- качества цифровой модели;
- корректности режимов расчёта;
- доступности вычислительного сервиса.

Предложен детерминированный алгоритм дублирования, в котором резервный узел не просто ждёт отказа, а повторяет вычисление, сравнивает контрольную сумму входных данных и проверяет отклонение результата по заданным допускам.

Практическая значимость состоит в возможности применить предложенную схему как учебный стенд, внутренний расчётный сервис сетевой организации или основу для интеграционного модуля АСУ ТП. Система не привязана к одному коммерческому пакету: модель хранится отдельно от

решателя, а вход и выход описаны открытыми структурами. Это снижает риск технологической зависимости и упрощает независимую проверку результатов.

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и трёх приложений. В работе сначала рассмотрены цифровые информационные системы и системы защиты четырёх регионов, сопоставлены пять оперативных комплексов и обоснован выбор D5000. Далее изложена математическая модель, метод расчёта и сравнение нормального и послеаварийных режимов пятиузловой сети. Затем представлена архитектура информационной системы, цифровой алгоритм дублирующего устройства и оценка его отказоустойчивости.

Совместимость модулей цифровых систем защиты.

Энергосистема объединяет множество национальных операторов, поэтому центральной задачей является не единая программа, а совместимость моделей. План цифровизации энергетики связывает обмен данными, интеграцию возобновляемой генерации, гибкость и защиту потребителя. На уровне магистральных сетей ENTSO-E развивает CGMES - согласованные профили CIM для обмена моделями и формирования общей сетевой модели.

Подход строится на профилях. Вместо передачи одного огромного файла данные разделяются по назначению: оборудование, топология, установившийся режим, динамика и другие части. Каждый профиль содержит минимально необходимый набор классов и правил. Это облегчает проверку и позволяет обновлять только изменившуюся часть, но требует строгого управления зависимостями между файлами.

Европейская практика показывает различие семантической и численной совместимости. Две программы могут успешно прочитать один CGMES-пакет, но получить немного разные результаты из-за трактовки трансформаторных регулировок, пределов генераторов или параметров эквивалентов. Поэтому ENTSO-E проводит испытания соответствия и совместимости приложений. Для

проектируемой системы это означает необходимость сохранять допущения преобразования и контрольные тесты вместе с кодом.

Каждый оператор готовит индивидуальную модель своей зоны ответственности. Затем модели проверяются, объединяются по межсистемным соединениям и используются для совместных расчётов. Ошибки на границе особенно опасны: одна и та же линия может быть описана дважды, иметь разные направления или несовпадающие идентификаторы терминалов.

Материалы и методы исследования.

На этапе обзора сопоставлены системы СО ЕЭС/ЕЦИМ, D5000, PJM EMS, RTE/CNES и 50Hertz MCCS. Критериями служили стандартизация данных, архитектура, расчётные функции, открытость интерфейсов и отказоустойчивость.

Система предусматривает импорт CIM/XML и CSV, нормализацию единиц и идентификаторов, контроль связности топологического графа, хранение неизменяемых версий модели, расчёт потокораспределения и пакетный анализ N−1. Результат связывается с версией исходных данных, параметрами решателя и протоколом проверки. Расчётное ядро отделено от пользовательского интерфейса и хранилища.

Испытательная модель представляет пятиузловую сеть 110 кВ с семью ветвями. Базисная мощность принята равной 100 МВА, суммарная активная нагрузка — 165 МВт.

Заключение.

В разработке архитектура информационной системы, объединяющая импорт и верификацию цифровой модели, расчёт установившегося режима, проверку N−1 и отказоустойчивое исполнение. На пятиузловой сети 110 кВ подтверждена сходимость метода Ньютона — Рафсона и выявлены три недопустимых сценария из семи единичных отключений. Сценарное

моделирование резервирования показало переключение за 0,36 с при допустимых 0,5 с.

Научная новизна состоит в совместном рассмотрении качества сетевых данных, численной достоверности и отказоустойчивости расчётного сервиса. Практическая значимость связана с возможностью использования прототипа как учебного стенда или основы внутреннего расчётного сервиса сетевой организации. Дальнейшая работа предполагает расширение модели на крупные сети, независимую проверку решателя, интеграцию с SCADA/EMS и натурные испытания резервирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учебник. М.: Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 715 с.
3. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» (ред. от 26.06.2026). Ст. 28.4 «Цифровые информационные модели в электроэнергетике»
4. Постановление Правительства РФ от 29.09.2025 № 1491 «Об утверждении Правил формирования и поддержания в актуальном состоянии цифровых информационных моделей электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики»
5. ГОСТ Р 58651.1-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Основные положения
6. ГОСТ Р 58651.2-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели
7. ГОСТ Р 58651.3-2020. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Профиль линий электропередачи и оборудования 110–750 кВ

Galanin G.A.
student of 3rd year
Samara State Technical University
(Samara, Russia)

Petrovsky S.V.
PhD in Engineering, Associate Professor
Department of «Electrical Power Stations»
Samara State Technical University
(Samara, Russia)

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MODELING ELECTRIC POWER NETWORK OPERATING CONDITIONS

Abstract: *development of an information system for modeling steady-state and post-contingency operating conditions of electric power networks using a unified digital model is examined. The study aims to ensure reproducibility of operating-condition calculations and fault-tolerant execution of computations.*

Keywords: *digital model, electric power network, CIM standard, steady-state operating condition, post-contingency operating condition, operating-condition calculation, fault tolerance, redundancy.*