УДК 621.311
ББК 31.27

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИАКОПТИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Воронов Павел Леонидович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО "Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова", РФ, г. Чебоксары
E-mail: plv911@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются направления совместного применения диакоптики Г. Крона и методов искусственного интеллекта (ИИ) для анализа крупномасштабных систем электроснабжения (СЭС). Показано, что диакоптика естественно сочетается с машинным обучением, позволяя создавать гибридные вычислительные схемы: интеллектуальную оптимизацию разбиения системы на подсхемы, нейросетевую аппроксимацию матричных операций, применение графовых нейронных сетей для объединения решений, использование ИИ для расчёта несимметричных повреждений и создание гибридных физико-информационных моделей.

Abstract. The article discusses promising directions for the joint application of G. Kron's diakoptics and artificial intelligence (AI) methods for analyzing large-scale power supply systems. It is shown that diakoptics naturally combines with machine learning, allowing the creation of hybrid computational schemes: intelligent optimization of system partitioning into subsystems, neural network approximation of matrix operations, use of graph neural networks for combining solutions, application of AI for asymmetric fault analysis, and creation of hybrid physical-informational models.

Ключевые слова: диакоптика; тензорный анализ сетей; искусственный интеллект; машинное обучение; системы электроснабжения; нейронные сети.

Keywords: diakoptics; tensor analysis of networks; artificial intelligence; machine learning; power supply systems; neural networks.

Современные СЭС - крупномасштабные инфраструктуры с распределённой генерацией и сложными схемами электропередачи. Традиционные методы анализа сталкиваются с высокой размерностью переменных, большим временем счёта и

накоплением погрешностей при обращении матриц высоких порядков. Метод диакоптики, предложенный Г. Кроном, преодолевает эти трудности путём разделения системы на подсхемы, независимого решения каждой и последующего объединения частных решений. Развитие методов ИИ открывает новые возможности для совершенствования диакоптического подхода.

Диакоптика, или метод расчленения, разработана Г. Кроном в 1957-1959 гг. Суть метода - разрыв топологической модели сложной системы на части, расчёт каждой отдельно и формирование общего решения без составления общих уравнений всей системы. Ключевую роль играют несингулярные матрицы преобразования, позволяющие переходить от параметров подсхем к параметрам объединённой системы и обратно. Показано, что сложная система, представленная схемой замещения, может считаться решённой по частям, если определены три тензора: матрица преобразования, матрица узловых сопротивлений подсхем и матрица проводимости цепи пересечений. Это создаёт основу для интеграции с методами ИИ.

На первом этапе диакоптического анализа выполняется разбиение схемы замещения на подсхемы. Традиционно оно осуществляется по заданным правилам, часто на основе физических или функциональных признаков. Методы ИИ позволяют автоматизировать этот процесс. С помощью машинного обучения можно обучить агента, который по топологии сети, параметрам элементов и требуемой точности определяет оптимальные места разрезов, минимизирующие вычислительную сложность, время счёта или объём передаваемых данных. Это особенно актуально для динамически изменяющихся режимов СЭС. Кластерный анализ позволяет группировать узлы по электрической близости, обеспечивая минимальное число разрезаемых ветвей.

Наиболее ресурсоёмкий этап диакоптического расчёта - обращение матриц узловых проводимостей подсхем и матрицы контурных сопротивлений цепи пересечений. С ростом размерности системы время счёта возрастает нелинейно. Нейронные сети позволяют аппроксимировать результаты матричных операций и существенно ускорить вычисления. Вместо повторного решения системы уравнений при изменении параметров режима используется обученная сеть, которая по входным данным (топология, параметры элементов, задающие токи) прогнозирует выходные параметры (напряжения в узлах, токи в ветвях). Такой подход, известный как суррогатное моделирование, эффективен для задач с многократными расчётами. Свёрточные нейронные сети могут применяться для верификации конфигурации электрической сети.

Ключевой этап диакоптики - объединение частных решений подсхем в общее решение с помощью матриц преобразования, отражающих топологические связи. Графовые

нейронные сети (GNN) - естественный инструмент для данной задачи, поскольку схема замещения СЭС представляет собой граф. GNN могут быть обучены выполнять функцию "сшивания" решений отдельных подсхем с учётом граничных условий в местах разрезов и взаимных влияний. Это ускоряет расчёты и повышает точность за счёт учёта нелинейных эффектов. GNN обеспечивают масштабируемость: обученная на одном наборе подсхем сеть может применяться к другим конфигурациям без переобучения.

Заключение

Совместное применение диакоптики и методов ИИ открывает новые возможности для повышения эффективности расчётов и управления крупномасштабными СЭС. Основные направления интеграции: интеллектуальная оптимизация разбиения системы на подсхемы; нейросетевая аппроксимация матричных операций; применение графовых нейронных сетей для объединения решений; использование ИИ для диагностики несимметричных повреждений; создание гибридных физико-информационных моделей. Дальнейшее развитие видится в создании цифровых двойников СЭС, интеграции методов в системы управления в реальном времени, применении гибридных моделей для релейной защиты и противоаварийной автоматики. Тензорно-топологическая методология Крона остаётся фундаментальной основой, а методы ИИ выступают инструментами, расширяющими её вычислительные и адаптивные возможности.

Список литературы

1. Воронов П.Л. Расчёт по частям трёхфазных сетей при несимметричных и сложных видах повреждений // Вестник Чувашского университета. 2017. № 1. С. 76-87.
2. Воронов П.Л. Разработка и реализация методик и алгоритмов расчёта по частям симметричных и несимметричных режимов систем электроснабжения: дис.... канд. техн. наук. Чебоксары, 2019. 258 с.
3. Крон Г. Тензорный анализ сетей. М.: Советское радио, 1978. 719 с.
4. Семенова Н.Г. Модели и методы искусственного интеллекта в задачах электроэнергетики. Оренбург: ОГУ, 2022. 189 с.
5. Мясников Е.Ю., Антонов В.И., Наумов В.А. Верификация конфигурации электрической сети на основе свёрточных нейронных сетей // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы XIII всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2022. С. 344-349.
6. Крысанов В.Н., Руцков А.Л. Вопросы концептуального развития Smart Grid в электроэнергетике с применением принципов искусственных нейронных и нейро-нечётких сетей // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 1. С. 7-14.