

- Choice of the feed water temperature t_{fw} as 234.8 °C in order to reduce the number of HPH which is affects positively to the economics calculations for the NPP.

Conclusion

Development a 900 MW NPP unit to obtain the optimal parameters for the thermal efficiency taking into account the economical issues was the aim of this work, in addition to updating the blowdown system of SG, improving the performance and operating reliability of the blowdown system as far as its design functions are concerned, this leading to such secondary circuit water chemistry as will minimize the amount of deposits on the heat-exchange surfaces.

REFERENCES:

1. The need of large and small reactors, today and tomorrow, September 2020, World Nuclear Association.
2. <https://www.world-nuclear.org/our-association/publications/policy-papers/the-need-for-large-and-small-nuclear,-today-and-to.aspx>
3. <https://nuclear-power-engineering.ru/article/2017/03/14/>
4. Tunisia plans nuclear power plant by 2020.
5. <https://www.reuters.com/article/idUKAM233712620061123>
6. Opyt vvoda v ekspluatatsiyu sistemy produvki parogeneratorov proyekta AES-2006 (RU V-392M) / S. V. Yaurov, K. F. Galiyev, A. V. Borovoy, A. S. Vol'nov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika. – 2017. – № 3. – S. 151-161. – DOI 10.26583/npe.2017.3.14.

Scientific supervisor: A.M. Antonova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the I.N. Butakov Scientific and Educational enter of the Tomsk Polytechnic University School of Energy Engineering.

ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, И РАЗРАБОТКА СООТВЕТСТВУЮЩИХ КРИТЕРИЕВ ОБУЧЕНИЯ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ

М.В. Андреев¹, Ю.Д. Бай¹, Я.Ю. Малькова²
Томский политехнический университет^{1,2}
ИШЭ, ОЭЭ^{1,2}, группа 5АМ11²

Искусственные нейронные сети (НС) и принципы машинного обучения являются одной из наиболее обсуждаемых тем в настоящее время. Данная концепция нашла применение практически во всех значимых для человечества сферах деятельности. Электроэнергетика не является исключением.

В последние годы появилось множество проектов, посвященных разработке алгоритмов автоматического управления электроэнергетическими

системами (ЭЭС), в основе которых лежит нейронная сеть. В частности, разработаны и исследованы алгоритмы устройств релейной защиты (РЗ), которые способны «различать» и классифицировать аварийные режимы работы объектов энергосистемы. Например, в работе [1] авторы создали НС, которая способна распределить режимы в сети на следующие категории: 1) междуфазные короткие замыкания (КЗ); 2) междуфазные КЗ на землю. Разработанная сеть использована в основе алгоритма дистанционной защиты линии электропередачи, предназначенной именно на выявление и локализацию такого рода режимов КЗ. Однако подавляющее число проектов по разработке алгоритмов функционирования РЗ с использованием НС связано с дифференциальной защитой, главным образом силовых трансформаторов (автотрансформаторов). Повышенный интерес к данной РЗ вызван нерешенностью задачи радикальной минимизации неправильных действий дифференциальной защиты трансформаторов (ДЗТ) при броске тока намагничивания (БНТ), а также режимах внешних КЗ, сопровождающихся глубоким насыщением измерительных трансформаторов тока. В статьях [2] авторы разработали нейронные сети, базирующиеся на разных принципах определения коэффициентов связей, функций активации и др., однако, направленных на одну и ту же задачу – отнести входной режим к одной из четырех групп режимов, наиболее критичных для корректного функционирования ДЗТ: 1) внутренние КЗ; 2) внешние КЗ; 3) БНТ; 4) перевозбуждение.

Одним из ключевых моментов реализации нейронной сети является её обучение. Для реализации данной возможности необходима обширная база данных. Применительно к РЗ – это база режимов ЭЭС, относящихся к тем категориям, в соответствии с которыми необходимо выполнить классификацию входного режима. Получить такого рода информацию, в особенности по аварийным режимам для конкретного объекта, например, силового трансформатора, из реальной ЭЭС невозможно, поскольку для эффективной тренировки НС требуется сотни и даже тысячи опытов для одного и того же вида повреждения. Единственным вариантом остается математическое моделирование ЭЭС. При этом во всех работах подобного рода, включая названные ранее, тренировка НС выполняется с использованием минимально возможной схемы. Данное обстоятельство связано с проблематикой численных методов, исследованной авторами и опубликованными, например, в работе [3]. Суть данной проблемы заключается в том, что наращивание совокупной модели ЭЭС (при этом не имеет значения за счет моделей силового оборудования или РЗ) при условии сохранения максимальной полноты отдельных математических моделей оборудования приводит к увеличению жесткости формирующей её системы дифференциальных уравнений. Это в свою очередь может привести к тому, что решение численными методами, плохо применимыми для решения жестких (диапазон постоянных времени >1000) дифференциальных уравнений, не будет сходиться. Упрощение же модели ЭЭС с целью получения результата приведет к увеличению погрешности. Поэтому уменьшение схемы представляется в данном случае лучшим способом обойти указанную проблему. Следует указать, однако, что процессы в ЭЭС реальной размерности и их сжатых эквивалентах протекают неодинаково, что подтверждается, в частности, исследованиями [4], а значит небольшие абстрактные модели

не позволяют учесть специфику функционирования реальных энергосистем. Следует отметить еще одну особенность существующих подходов – при формировании тренировочных данных не учитываются элементы измерительной и преобразовательной частей самой защиты, определяющие в значительной степени изменение формы входного сигнала до его попадания в микропроцессор, где он уже может быть оценен нейронной сетью.

Два отмеченных ранее фактора, по мнению авторов, негативно влияют на эффективность тренировки (обучения) НС, определяющей работу РЗ. В настоящее время нет исследований, подтверждающих или опровергающих данный вывод, причиной чему является отмеченная проблематика численных методов.

Альтернативным по отношению к вышеобозначенному численному решению дифференциальных уравнений является комплексный подход, позволяющий разрабатывать и применять для каждого значимого аспекта проблемы адекватного моделирования ЭЭС наиболее эффективные методы и способы, агрегирование которых обеспечивает ее успешное решение в целом. Практической реализацией данной концепции, названной гибридной, является многопроцессорная программно-аппаратная система – Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС) [5]. Заложенные в ВМК РВ ЭЭС принципы построения исключают проблему сходимости решения, а также методическую ошибку решения математических моделей элементов и соответственно совокупной модели ЭЭС в целом, безотносительно к дифференциальному порядку, жесткости и интервалу решения, поэтому, точность решения гарантирована и определяется только инструментальной погрешностью аппаратной части комплекса, минимизация которой обеспечивается применением прецизионных интегральных компонентов. Симулятор ВМК РВ ЭЭС также позволяет без ограничений на размерность и детализацию интегрировать математические модели РЗ, разработанные в соответствии с отмеченным комплексным подходом. Существенный опыт в разработке и применении таких моделей получен в научных проектах РНФ, РФФИ и Минобрнауки РФ, успешно выполненных под непосредственным руководством одного из авторов. Результаты названных проектов в частности опубликованы в [6, 7].

Таким образом используя имеющийся опыт, а также существующий технический задел (ВМК РВ ЭЭС, программно-аппаратные средства моделирования РЗ), в рамках выполняемого в настоящее время авторами проекта предполагается выработать критерии обучения нейронной сети, обеспечивающей функционирование РЗ, с точки зрения требуемого уровня детализации и размерности математической модели ЭЭС, необходимости учета современных особенностей её развития (в частности наличие возобновляемых источников энергии), а также внутренних элементов самих защит.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.

ЛИТЕРАТУРА:

1. R. Venkatesan and B. Balamurugan, "A real-time hardware fault detector using an artificial neural network for distance protection," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, no. 1, pp. 75-82, Jan. 2001, doi: 10.1109/61.905596.
2. A. L. Orille-Fernandez, N. K. I. Ghonaim and J. A. Valencia, "A FIRANN as a differential relay for three phase power transformer protection," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16. no. 2, pp. 215-218, April 2001, doi: 10.1109/61.915485.
3. Andreev M., Gusev A., Ruban N., Suvorov A., Ufa R., Askarov A., Bems J., Kralik T. Hybrid Real-Time Simulator of Large-Scale Power Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol. 34 (2), 2019, pp. 1404–1415.
4. E. Muljadi, Y. C. Zhang, V. Gevorgian, and D. Kosterev, "Understanding dynamic model validation of a wind turbine generator and a wind power plant," in *Proc. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Milwaukee, USA, 2016, pp. 1–5.
5. Андреев М.В., Боровиков Ю.С., Гусев А.С., Сулайманов А.О., Суворов А.А., Рубан Н.Ю., Уфа Р.А. Концепция и базовая структура всережимного моделирующего комплекса. *Газовая промышленность*. – 2017. – №5 (752). – С. 18-27.
6. Andreev, M.V. Settings Determination for Numerical Transformer Differential Protection via Its Detailed Mathematical Model / M. Andreev, A. Suvorov, N. Ruban, et al. // *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2020, Vol. 14, Iss. 10, pp. 1962 –1972.
7. Андреев, М.В. Исследование процессов в измерительной части цифровых устройств релейной защиты в программном комплексе MATLAB / М.В. Андреев // *Электротехника*. – 2019. – №7. – С. 58–64.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ ТЭС

В.С. Кутепов¹, О.Ю. Ромашова², А.И. Алчинов³
Томский политехнический университет^{1,2,3}
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова^{1,2,3}, группа 5БМ02¹, группа 5Б8А³

Цель работы – расчетный анализ теплофикации на газотурбинных и парогазовых станциях, их особенностей по сравнению с традиционным паросиловым теплофикационным циклом, исследование эффективности теплофикации в зависимости от разных схем\условий.

Основными показателями эффективности теплофикационной выработки ЭЭ на ТЭЦ являются: мощность на тепловом потреблении, удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, к-т использования теплоты топлива, показатель доли теплоты, КПД по производству электрической энергии для ГТУ-ТЭЦ.