

**Цзянин Чжан, Степан Дмитриев**

**Jianing Zhang, Stepan Dmitriev**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ  
ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

**DESIGN OF A STABILITY CONTROL SYSTEM  
ELECTRIC POWER GENERATION AS ELEMENT  
ENSURING INDUSTRIAL SAFETY  
ENERGY SYSTEMS**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

Энергетическая система представляет собой крупномасштабную нелинейную систему с многочисленными источниками энергии и сложными связями, ее надежность является важным показателем оценки экономической и социальной безопасности. В данном исследовании авторы рассмотрели технологические подходы к проектированию системы контроля устойчивости выработки электроэнергии как основы обеспечения безопасного функционирования энергосистемы.

The energy system is a large-scale nonlinear system with numerous energy sources and complex connections, its reliability is an important indicator of the assessment of economic and social security. In this study, the authors considered technological approaches to the design of a system for monitoring the stability of electricity generation as the basis for ensuring the safe functioning of the power system.

**Ключевые слова:** стабилизатор энергосистемы, обучение с подкреплением, синергетическое управление, модель свободное адаптивное управление, низкочастотные колебания

**Keywords:** power system stabilizer, reinforcement learning, synergetic control, model free adaptive control, low frequency oscillation

Стабильность энергосистемы является важным показателем безопасной, надежной, энергосберегающей и экономичной работы энергосистемы. Как только энергосистема теряет стабильность, синхронные генераторы в системе выходят из строя, и система начинает колебаться, что приводит к демонтажу параллельных систем, что обычно приводит к крупномасштабному и долгосрочному отключению электроэнергии. Системы выходят из строя и распадаются. Поэтому особенно необходимо принять соответствующие меры контроля для улучшения и поддержания стабильности энергосистемы.

Система управления производством электроэнергии представляет собой сложную техническую систему, основным назначением которой является обеспечение стабильности, эффективности и безопасности процесса производства электроэнергии. Такие системы включают несколько подсистем и элементов управления, в частности:

1. Генераторная установка. Генераторная установка является основным компонентом производства электроэнергии. Ее система управления должна контролировать и регулировать выходную мощность, частоту и напряжение в режиме реального времени, чтобы соответствовать системным требованиям и поддерживать стабильность.

2. Система управления скоростью. Система управления скоростью в основном отвечает за управление скоростью генераторной установки. Она должна реагировать на изменения нагрузки, чтобы обеспечить плавный пуск, остановку и работу генераторных установок.

3. Регулятор напряжения. Регулятор напряжения используется для управления выходным напряжением генераторной установки, чтобы удовлетворить требования системы и поддерживать его стабильность. В основном это реализуется за счет регулировки тока возбуждения.

4. Система защит. Система защиты отслеживает и устраняет нештатные ситуации в процессе выработки электроэнергии, такие как перегрев, перенапряжение, короткое замыкание и т. д., для обеспечения безопасности оборудования и персонала.

5. Система SCADA. Система диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) собирает и обрабатывает данные в процессе выработки электроэнергии в режиме реального времени, чтобы оператор мог понимать состояние системы в режиме реального времени и осуществлять дистанционное управление.

6. Прогнозирование и планирование нагрузки. Энергетическая система должна прогнозировать и планировать мощность генерирующих блоков в соответствии с нагрузкой, чтобы достичь баланса между спросом и предложением и снизить эксплуатационные расходы.

7. Интеграция возобновляемых источников энергии. Поскольку доля возобновляемых источников энергии (таких как солнечная энергия, энергия ветра) в энергосистеме продолжает увеличиваться, система управления генерацией должна иметь возможность адаптироваться к характеристикам этих источников энергии, таким как прерывистость и неопределенность.

8. Стратегия и алгоритм управления. Чтобы обеспечить стабильную, эффективную и безопасную работу системы производства электроэнергии, необходимо использовать различные стратегии и алгоритмы управления, такие как ПИД-управление, управление с прогнозированием модели (MPC), адаптивное управление и т.д.

Таким образом, система управления производством электроэнергии представляет собой сложную техническую систему, включающую множество подсистем и технологий. При проектировании и реализации системы такого типа необходимо всесторонне учитывать характеристики оборудования для производства электроэнергии, системные требования, факторы безопасности и другие аспекты, при этом, большой объем генерируемых на каждом этапе данных обосновывает потребность в цифровизации процесса проектирования и управления энергетическими системами.

В настоящее время цифровое моделирование энергосистемы стало незаменимым инструментом при исследовании, планировании, эксплуатации, проектировании энергосистем и т. д., особенно при разработке и исследовании новых технологий в энергосистемах, проектировании новых устройств и определении их параметров. Моделирование энергосистемы заключается в составлении динамического математического расчета сети энергосистемы и компонентов нагрузки для имитации работы реальной энергосистемы. Поскольку современная энергосистема является крупномасштабной, изменяющейся во времени, сложная нелинейная сетевая система имеет очень сложный режим работы. Для обеспечения безопасности и стабильности энергосистемы в реальной эксплуатации неудобно использовать традиционный метод испытаний физической мощности для изучения динамического поведения энергосистемы с точки зрения технологии и безопасности. Программное обеспечение для научных и инженерных вычислений MATLAB, разработанное Math Works, привнесло новые методы и средства для моделирования энергосистем. Он имеет мощную функцию интеграции расчетов, визуализации и разработки программ, а также имеет широкий спектр приложений во многих областях, таких как научные расчеты, инженерное проектирование и моделирование систем.

Matlab содержит ряд профессиональных наборов инструментов, среди которых для анализа энергосистем в основном используются EST (Educational Simulation Tool), MatEMTP, Matpower, PST (Power System Toolbox), SPS (Sim Power Systems), PAT (Power Analysis

Toolbox), VST (Набор инструментов стабильности напряжения), PSAT (Набор инструментов анализа энергосистем) и другие наборы инструментов, набор инструментов энергосистемы MATLAB содержит множество богатых модулей.

Simulink – один из наиболее важных компонентов MATLAB, включая платформу моделирования и библиотеку системных имитационных моделей, обеспечивает интегрированную среду для динамического системного моделирования, симуляции и всестороннего анализа. В среде Simulink нам не нужно писать большое количество строк кода, а нужно только нарисовать требуемую модель системы управления в окне модели с помощью простых операций мыши, а затем использовать функции, предоставляемые программным обеспечением, для непосредственного смоделировать систему управления. Simulink имеет широкий диапазон адаптируемости, простую и понятную структуру и процесс, точное моделирование, близкое к реальности, высокую эффективность и гибкую работу. Основываясь на вышеуказанных преимуществах, этот предмет будет изучать метод создания одномашинной бесконечной системы на основе в части SIMULINK программного обеспечения MATLAB Влияние PSS на низкочастотные колебания и динамическую устойчивость энергосистемы.

Таким образом, цель исследования заключается в проектировании с применением средств автоматизации расчетов системы контроля устойчивости выработки электроэнергии как элемент обеспечения промышленной безопасности энергосистем.

**Результаты.** Применение алгоритма оптимизации роя частиц (PSO) и нечеткого алгоритма в системе управления производством электроэнергии в основном направлено на оптимизацию стратегии управления, диспетчеризацию, прогнозирование нагрузки и так далее, что в целом призвано обеспечить безопасность всей энергосистемы. Ниже приводится анализ применения этих двух алгоритмов:

Алгоритм оптимизации роя частиц (PSO). PSO — это эвристический алгоритм оптимизации, который ищет оптимальное решение, моделируя поведение птиц при поиске пищи. В системе управления производством электроэнергии алгоритм PSO может применяться для следующих целей [3]:

1. Оптимизация параметров. Алгоритм PSO может использоваться для оптимизации параметров контроллера, таких как пропорциональные, интегральные и дифференциальные коэффициенты ПИД-регулятора, для достижения лучшей производительности системы.

2. Прогнозирование нагрузки. Алгоритм PSO можно комбинировать с другими методами машинного обучения (такими как нейронные сети) для прогнозирования нагрузки, чтобы повысить точность прогнозирования.

3. Планирование выработки. Алгоритм PSO может использоваться для оптимизации стратегии планирования генерирующих установок для достижения более высоких экономических выгод и стабильности системы.

Нечеткий алгоритм. Нечеткий алгоритм — это метод управления, основанный на нечеткой логике, который подходит для решения неопределенных и нелинейных задач. В системах управления производством электроэнергии нечеткие алгоритмы могут применяться для целей:

1. Стратегия управления. Нечеткий регулятор может использоваться для замены традиционного ПИД-регулятора для решения нелинейных и неопределенных проблем, таких как проблемы управления во время пуска, останова и работы генераторной установки.

2. Прогнозирование нагрузки: Нечеткие алгоритмы могут использоваться для устранения неопределенности и неоднозначности данных о нагрузке и повышения точности прогнозирования.

3. Диагностика неисправностей и защит. Нечеткие алгоритмы могут использоваться для устранения неопределенности и неоднозначности данных о неисправностях, а также для повышения точности и надежности диагностики неисправностей и защиты.

Тогда, алгоритм PSO и нечеткий алгоритм имеют широкие перспективы применения в системе управления производством электроэнергии. Комбинируя эти два алгоритма, можно эффективно решать нелинейные, неопределенные и многокритериальные задачи оптимизации в энергосистеме, а также повышать стабильность, надежность, экономичность и промышленную безопасность системы.[4]

**Заключение.** Таким образом, применение вышеуказанных алгоритмов в системе управления выработкой электроэнергии позволяет оптимизировать ее функционирование, тем самым повышая производительность энергетической системы и ее безопасность. Стоит отметить, что в практических приложениях алгоритм PSO необходимо корректировать и оптимизировать в соответствии с конкретными задачами и требованиями, такими как выбор соответствующих диапазонов параметров, условий сходимости и т. д. Визуализация же элементов модели с применением программного продукта MATLAB делает возможным получение оперативных наглядных данных о работе компонентов системы, а также оценочных суждений об уровне производительности системы и направлениях оптимизации стратегии управления ей [5].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ван Чжунли и др. Методы применения Matlab [М]. Пекин: Издательство Университета Цинхуа, 2014
2. Yu Q. Моделирование и симуляция энергосистем в MATLAB/Simulink [М]. Пекин: Издательство машиностроительной промышленности, 2016
3. Сюн Синьинь. Основы проектирования энергосистем [М]. Ухань: Издательство Хуачжунского университета науки и технологии, 2021.
4. V. Hussain et al. Improvement of Small Signal Performance of Multi Machine Power System Using SMIB Based PSS and STATCOM Designs [J]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012
5. Liu T. Устойчивость энергосистемы и управление возбуждением генератора [ М ]. Пекин: China Electric Power Press , 2007.

**Миржалол Ширинбоев, Гайрат Шертайлаков, Бахтияр Мухаммадиев,**

**Mirzhalol Shirinboev, Gayrat Shertailakov, Bakhtiyar Mukhammadiev,**

### РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### THE ROLE OF TECHNICAL REGULATION IN THE DEVELOPMENT OF INDUSTRY

Джизакский политехнический институт Республика Узбекистан

Jizzakh Polytechnic Institute Republic of Uzbekistan

В работе рассмотрены дальнейшее углубления структурных преобразований в области технического регулирования в республике, а также их адаптации к международным стандартам, создания среды широкого применения стандартов, внедрения современных методов в процессы оценки соответствия, где технические регламенты определяют требования к безопасности продукции, защищают жизнь и здоровье граждан, предотвращают действия, вводящие в заблуждение потребителей, создают основу для повышения конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Transformations in the field of technical regulation in the republic, as well as their adaptation to international standards, the creation of an environment for the widespread application of standards, the introduction of modern methods in conformity assessment processes, where

---

Ширинбоев М. – студент магистратуры

Шертайлаков Г.М. – доктор педагогических наук, доктор фил. наук

Мухаммадиев Б. – старший преподаватель