

Выводы

В статье рассматриваются результаты исследований внедрения алгоритма ВСГ на основе АГЭК. Был проведён литературный обзор, анализ частотного регулирования изолированных ЭЭС, были приведены математическое описание ВСГ в общем случае, для ветроустановок и фотоэлектрических установок, показана разница изменения частоты между ЭЭС, содержащих алгоритм ВСГ, и систем без данного алгоритма управления инвертором, а также технико-экономическое обоснование выбора СНЭЭ. Результаты исследований и проведённых тестов утверждают об ВСГ и внедрения в данную систему проточных накопителей электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ алгоритмов управления виртуальной инерцией ветроустановок ветроэлектрических станций / В.Ю. Астапов, А.А. Ачитаев, А.В. Домышев // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: материалы 95-го заседания Международного научного семинара. Выпуск 74 / отв. редактор В.А. Стенников. – пос. Хужир (оз. Байкал), 09–15 июля 2023 года. – 2023. – С. 693–702. ил. ISBN 2413-8665.
2. Ачитаев А.А. Демпфирование субсинхронных колебаний в электроэнергетических системах с ветроэнергетическими установками // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: материалы 95-го заседания Международного научного семинара. Выпуск 74 / отв. редактор В.А. Стенников. – пос. Хужир (оз. Байкал), 09–15 июля 2023 года. – 2023. – С. 693–702. ил. ISBN 2413-8665.
3. Мигранов Р.М., Доброскок Н.А. Исследование влияния инерционных свойств виртуального синхронного генератора на устойчивость системы // Молодёжная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – Санкт-Петербург. – 2021. – С. 69–72. ил. ISBN 978-5-7629-2374-3.
4. Ачитаев А.А., Перцевой М.О. Идентификация низкочастотных колебаний и синхронных качаний методами искусственного интеллекта // Гидроэлектростанции в XXI веке: Сб. материалов X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, специалистов, аспирантов, студентов и школьников: 24–28 апреля 2023 г.: сборник. – Саяногорск ; Черемушки : СШФ СФУ, 2023. – С. 346–355. ил. ISBN 978-5-7638-4880-9.
5. Dynamic Inertia Evaluation for type-3 Wind Turbines Based on Inertia Function / Xiang Guo; Donghai Zhu; Xudong Zou; Bingchen Jiang; Yihang Yang; Yong Kang; Li Peng // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems – 2021. – С. 28–38.
6. Frequency support in a micro-grid using virtual synchronous generator based charging station / K. Dhingra, M. Singh // IET Renewable Power Generation. – 2018. – С. 1034–1044.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

А.В. Киевец¹, Ю.Д. Бай²

¹ ООО «Газпром трансгаз Югорск»

² Томский политехнический университет, ОЭЭ ИШЭ, к.т.н., доцент

Особенность работы электроэнергетических систем подразумевает постоянный баланс генерируемой и потребляемой электроэнергии, при нарушении которого, в сторону увеличения генерации влечет за собой необходимость использования различных регуляторов, а резкое возникновение небаланса, вследствие аварийных ситуаций различного характера влечет за собой необходимость использования противоаварийной автоматики (ПА). Использование ПА особенно важно для сохранения синхронной работы генераторов в случае возникновения избыточной энергии ротора турбоагрегата, с этой целью существует три вида управляющий воздействия ПА:

- электрическое торможение;
- отключение генератора,
- кратковременная разгрузка турбины энергоблока (КРТ).

Учитывая специфику функционирования названных выше УВ, выделяется использование КРТ, т. к. данный вид является наиболее экономически выгодным и технологически совершенным, поскольку позволяет выполнить разгрузку генератора на любой необходимый уровень с последующим возвратом до требуемого послеаварийного значения. Следует обозначить, что ожидаемая эффективность УВ КРТ достигается лишь при условии его оптимальной настройки, суть которой заключается в задании определенных значений его настроечных параметров. Однако определения названных параметров является не тривиальной задачей, т. к. для этого требуется обладать информацией о функционировании всех элементов системы регулирования и турбины турбоагрегата. При использовании усредненных параметров УВ КРТ возможно удастся сохранить динамическую устойчивость, однако этот процесс будет сопровождаться переходным процессом с большой амплитудой и длительностью, в противном случае к нарушению синхронной работы и возникновению асинхронного режима [1].

Принцип кратковременной разгрузки турбины заключается в быстром снижении механической мощности, подводимой к ротору генератора, чтобы предотвратить накопление избыточной кинетической энергии в аварийных режимах электроэнергетической системы. Этот процесс выполняется за счет временного уменьшения подачи пара или другого рабочего тела в турбину с использованием специально разработанных управляющих алгоритмов.

Основные этапы работы КРТ заключаются в следующем:

- при возникновении возмущения в сети КРТ инициируется на основе сигналов аварийной автоматики;
- подача пара в турбину уменьшается, что снижает механическую мощность и замедляет вращение ротора;
- избыточная кинетическая энергия ротора, которая могла бы привести к неустойчивости в сети, компенсируется за счет уменьшения механической мощности;
- после стабилизации режима системы параметры подачи пара постепенно возвращаются к исходным значениям.

Этот принцип позволяет быстро адаптироваться к аварийным изменениям в энергосистеме, минимизируя амплитуду синхронных колебаний, снижая риск перехода в асинхронный режим и повышая общую устойчивость системы. КРТ используется в сочетании с высокоточными математическими моделями и системами автоматического управления для обеспечения эффективной работы энергоблоков.

Важнейшим условием эффективной настройки УВ КРТ является необходимость обладания информацией о процессе функционирования УВ КРТ, для чего была синтезирована математическая модель турбины и ее системы регулирования (рис. 1). Представленная модель обеспечивает получение полной и достоверной информации, необходимой для оптимальной настройки УВ КРТ, при которой достигаются ее наилучшие экономические и технологические характеристики [1, 3, 4].

Учитывая, что все процессы, особенно аварийного характера и функционирования ПА, оказывают в разной степени влияние друг на друга, оказывается очевидным, что для полноценного анализа необходимо рассматривать функционирование УВ КРТ совместно со всей энергосистемой, с целью учета их взаимовлияния на переходный процесс. Подобные аварийные эксперименты в реальной ЭЭС невозможны по множеству причин, а физическое моделирование ограничено в своих возможностях. Единственным способом обеспечить необходимую полноту информации для настройки УВ КРТ является математическое моделирование.

Учитывая вышесказанное необходимо определиться с инструментом реализации синтезированной модели и учете влияния на процесс разгрузки остальное оборудования ЭЭС. Однако современные программы обладают некоторыми ограничениями в моделировании больших современных энергосистем, что приводит к необходимости упрощения используемых математических моделей.

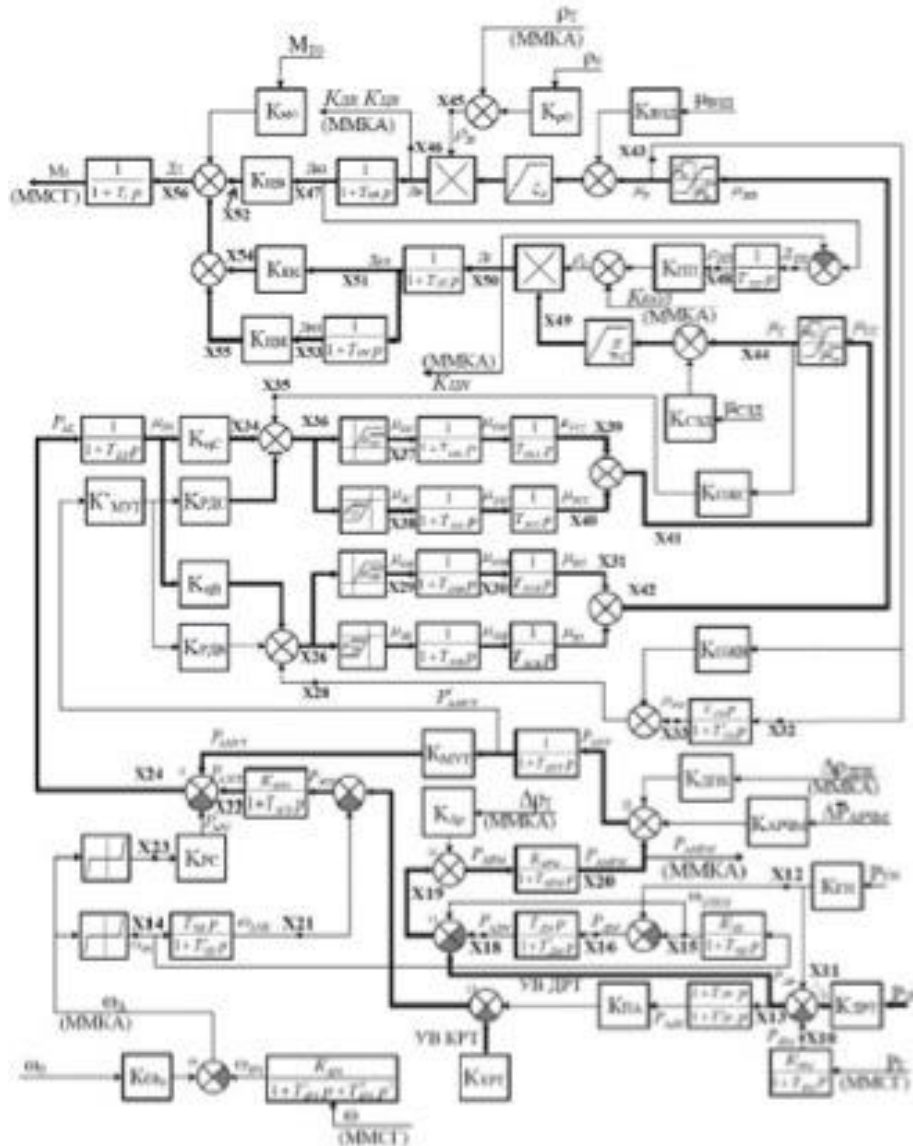


Рис. 1. Структурная схема математической модели турбины и ее системы регулирования

Для анализа процесса разгрузки с учетом влияния как системы регулирования и турбины, так и всей электроэнергетической системы (ЭЭС), был применен гибридный подход к моделированию. Этот подход реализован во Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС), разработанном в Томском политехническом университете.

Модернизация ВМК РВ ЭЭС включала использование специализированной платы (рис. 2), основанной на математической модели, реализуемой на аналоговом уровне. Применение ключевого свойства конденсатора, обеспечивающего точное интегрирование без необходимости численных методов решения дифференциальных уравнений, позволило отказаться от упрощения математических моделей оборудования. Такой подход открывает широкие возможности для дальнейшего усовершенствования и развития ВМК РВ ЭЭС, обеспечивая высокую точность моделирования.

Для оценки работоспособности созданной детализированной математической модели турбины, её системы регулирования и средств реализации был проведён эксперимент, включающий сценарий работы кратковременного регулирования турбины (рис. 3).

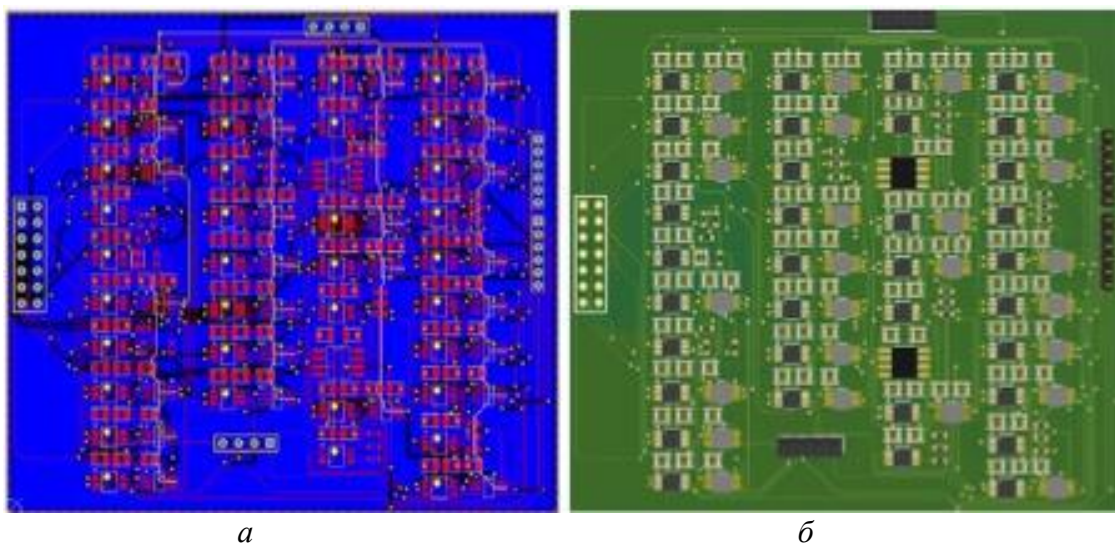


Рис. 2. Трассировка печатной платы (а), печатная плата, реализующая разработанную математическую модель (б)

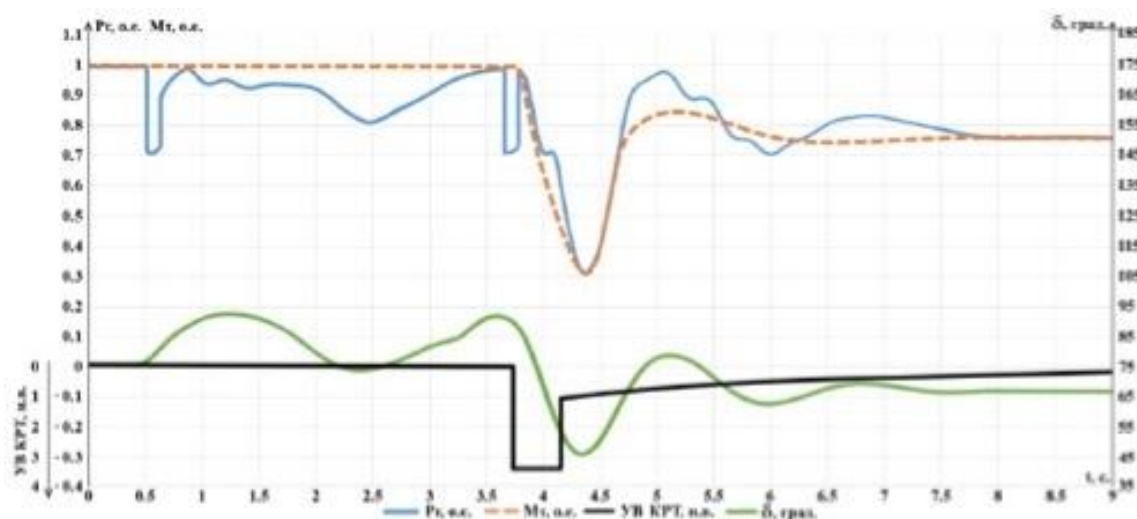


Рис. 3. Осциллограмма электрической мощности генератора и момента турбин разгружаемого агрегата

Анализ полученной осциллограммы демонстрирует, что разработанные инструменты моделирования успешно и с высокой точностью воспроизводят процессы, происходящие в турбогенераторе в условиях работы КРТ.

Проведённое исследование подтвердило, что УВ в виде КРТ является наиболее эффективным способом компенсации избыточной кинетической энергии роторов в аварийных режимах электроэнергетических систем. Благодаря высокой точности управления и возможности адаптации параметров под конкретные условия, КРТ обеспечивает устойчивость энергосистемы, минимизирует амплитуду синхронных колебаний и снижает риск перехода в асинхронные режимы.

Разработка и внедрение детализированных математических моделей турбин и их систем регулирования, реализованных в программно-аппаратной форме, позволяют достоверно воспроизводить процессы, происходящие в турбогенераторах, и открывают новые перспективы для дальнейшего совершенствования КРТ. Это делает данный подход незаменимым инструментом для повышения надёжности и эффективности работы современных электроэнергетических систем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. – Л.: Машиностроение, 1982. – 311 с.
2. Kievets A., Ruban N., Andreev M., Suvorov, A. Turbine Fast Valving Setting Method Based on the Hybrid Simulation Approach // *Energies* – 2023. – Vol. 16 (4).
3. Стернинсон Л.Д. Переходные процессы при регулировании частоты и мощности в энергосистемах. – М.: Энергия, 1975. – 216 с.
4. Портной М.Г., Рабинович Р.С. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. – М.: Энергия, 1978. – 352 с.
5. Баринин В.А. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике // под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 648 с.
6. Ершевич В.В., Зейлигер А.Н., Илларионов Г.А. и др. Справочник по проектированию электроэнергетических систем // под ред. С.С. Рокотьяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
7. Божанов С.А., Батхон И.С., Баумштейн И.А. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения // под ред. И.А. Баумштейна и М.В. Хомякова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 656 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЛОННЫ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

А.В. Уфимцев

Томский политехнический университет, ИШИТР, гр. 8Т11, avu34@tpu.ru

В данной работе приведён анализ существующих методов оптимизации параметров протекающего технологического процесса путём численного моделирования и тестирования оптимальных параметров функционирования на примере ректификационной колонны в нефтехимической отрасли. Представленная работа предлагает решение по обнаружению недостатков в работе колонны и предложение технических решений для оптимизации процесса выделения бутана. Полученные результаты имеют практическую значимость для инженеров и специалистов в области управления технологическими процессами промышленных предприятий, а также представляют интерес для всех, кто работает в области проектирования химического оборудования и технологических процессов.

Ключевые слова: идентификация, ректификационная колонна, многопараметрический контроллер, математическое моделирование, трендовые группы, T-Softt.

Введение

В данной работе рассматривается идентификация динамических моделей многопараметрического контроллера с целью повышения эффективности функционирования ректификационной колонны, применяемой для выделения бутана в технологических процессах нефтехимической промышленности. В работе рассматриваются исторические данные и методы анализа, а также шаги по оптимизации процесса на основе проведенных исследований. Ректификационная колонна является ключевым устройством в процессах физического разделения вещества с получением целевых продуктов заданного качества. Системой для идентификации данных технологического процесса модели в промышленном программном обеспечении T-Soft.

Особое внимание уделено исследованию реальных данных численного моделирования, составление и последующий анализ трендовых групп для реализации пошагового теста. Направленного на определение оптимальных параметров функционирования колонны. Исследование, представленное в данной статье, имеет практическую значимость для технических специалистов и инженеров, занимающихся проектированием и управлением технологическими процессами в промышленности, поскольку проделанная в статье работа направлена на обнаружение и устранение недостатков в работе ректификационной колонны, а также