

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ
ТУРБОУСТАНОВКИ ЭНЕРГОБЛОКА БЛОКА АЭС
В МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМАХ
MODERN METHODS AND ALGORITHMS OF OPERATION OF THE
TURBINE OF THE NPP UNIT IN FLEXIBILITY MODES

Худяков И. С., аспирант,
Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация
I. Khudyakov, Postgraduate,
Nizhny Novgorod state technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russian Federation

Аннотация. В данной статье отражены основные методы и алгоритмы работы турбоустановки энергоблока блока АЭС в маневренных режимах, таких как режим первичного регулирования частоты, вторичное регулирование частоты и режим следования за нагрузкой. В статье рассмотрен подход к моделированию работы регулятора частоты вращения турбоустановки подключенной к энергосети в режиме первичного регулирования частоты и вторичного регулирования частоты.

Abstract. This article reflects the main methods and algorithms for the operation of the turbine of the NPP power unit in flexibility modes, such as the primary frequency control mode, the secondary frequency control and the load following mode. The article considers an approach to modeling the operation of the speed controller of a turbine plant connected to the power grid in the mode of primary frequency control and secondary frequency control.

Ключевые слова: маневренные режимы работы, турбина, регулятор, регулирование частоты в сети, АЭС.

Key words: feasibility modes of operation, turbine, governor, network frequency regulation, nuclear power plant.

ВЕДЕНИЕ

Как было изложено в [1; 2] нарушение баланса между производимой и потребляемой мощностью в энергосети ведет к отклонению частоты тока относительно номинального значения 50 Гц (нормальное отклонение частоты переменного тока в электросети в соответствии с ГОСТ 32144-2013 составляет $\pm 0,2$ Гц, а предельно допустимое $\pm 0,4$ Гц). Для устойчивой работы энергосети необходимо поддерживать стандартную частоту, т. е. регулировать нагрузку энергосети – поддерживать баланс производимой и потребляемой мощности, что делается в основном за счет изменения мощности входящих в энергосеть энергоблоков. Для конкретного энергоблока

это осуществляется путем изменения расхода или параметров рабочего тела через турбину. Режимы изменения мощности энергоблока с целью регулирования нагрузки энергосети называются маневренными режимами.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматривая маневренные режимы, необходимо учитывать принципиальное различие между случайными и плановыми изменениями нагрузки энергосети.

Случайные изменения нагрузки энергосети происходят в результате отключений, подключений или изменений режимов работы множества маломощных бытовых потребителей, а также в результате аварийных отключений крупных потребителей или производителей электроэнергии. Компенсация случайных изменений нагрузки энергосети обеспечивается изменением мощности энергоблоков в автоматическом режиме, который называется режимом первичного регулирования частоты (ПРЧ).

ПРЧ стабилизирует частоту тока на уровне, который может отличаться от номинального значения. При необходимости, восстановление номинального значения частоты тока и восстановление исходной мощности энергоблоков, изменивших нагрузку в режиме ПРЧ, обеспечивается за счет изменения мощности других специально выделенных для этой цели энергоблоков. Этот процесс называется вторичным регулированием частоты (ВРЧ). Вторичное регулирование может осуществляться как автоматически – по сигналам центрального регулятора энергосети, так и вручную – оператором энергоблока по заданию, согласованному с диспетчером энергосети.

Электрическая мощность энергоблока определяется мощностью турбогенератора. Управление его мощностью осуществляется изменением расхода пара на турбину при помощи стопорно-регулирующих клапанов турбины, под действием системы регулирования турбины. Она, в свою очередь, может работать либо поддерживая электрическую мощность турбогенератора, либо изменять ее в заданном темпе – режим РМ. Или поддерживать давления пара в заданном диапазоне – режим РД [3]. При работе энергоблока в режиме маневрирования основным режимом работы системы регулирования турбины является режим РМ. При этом автоматический регулятор мощности реактора должен работать в поддержания постоянной температуры [4]. Традиционно регулирование мощности ВВЭР при работе в базовом режиме основано на сохранении баланса между мощностью реактора и мощностью турбины за счет поддержания заданного давления пара в ГПК – программа P_{const} [5]. Зависимость заданного номинального давления пара от мощности реактора называется статической программой регулирования мощности

В данной статье рассматривается подход к моделированию работы турбоустановки в энергосистеме в режимах ПРЧ и ВРЧ.

Для поддержания частоты вращения на заданном уровне необходимо постоянно сохранять баланс мощностей турбины и генератора (нагрузки). Приведенные выше рассуждения для одного изолированного агрегата, работающего на изолированную нагрузку, справедливы и для нескольких агрегатов, работающих параллельно на общую нагрузку. Так, для энергосистемы, состоящей из большого числа турбогенераторов, в первый момент изменения нагрузки (при неизменном открытии регулирующих органов) последняя покрывается за счет кинетической энергии всех вращающихся масс системы. При увеличении нагрузки кинетическая энергия и частота вращения агрегатов снижается. Снижение нагрузки приводит к увеличению частоты вращения и, следовательно, к увеличению кинетической энергии вращающихся масс системы. Так как нагрузка системы непрерывно меняется, то для поддержания постоянной частоты вращения агрегатов системы необходимо менять мощности, развиваемые турбинами, постоянно сохраняя при этом баланс вырабатываемой и потребляемой мощностей. Такое непрерывное наблюдение за сохранением баланса мощностей генерации и потребления в энергосистеме выполняется автоматически регуляторами частоты вращения турбин. В энергосистеме, помимо сохранения баланса мощностей, возникает задача распределения нагрузок между отдельными агрегатами, которая решается с помощью дополнительных регуляторов частоты и обменной мощности [6; 7].

Структурная схема модели турбогенератора, включенного в энергосистему представлена на рис. 1.

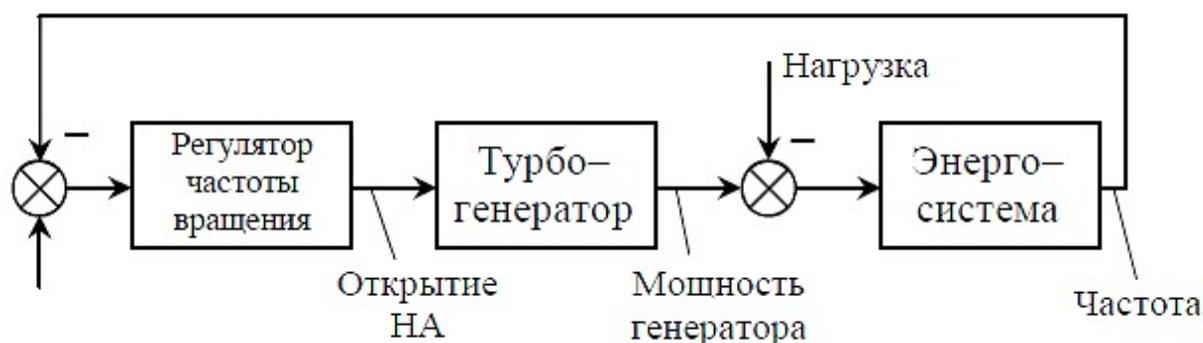


Рис. 1. Структурная схема модели турбогенератора, включенного в энергосистему

В качестве регулятора частоты могут использоваться электрогидравлические регуляторы частоты или же более простые аналоговые регуляторы угловой скорости. Функциональная схема аналогового регулятора показана на рис. 2.

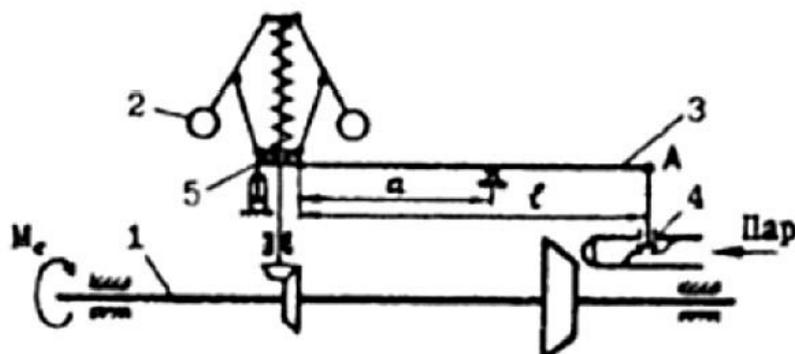


Рис. 2. Функциональная схема аналогового регулятора:
 1 – турбина; 2 – грузы; 3 – рычаг; 4 – задвижка; 5 – муфта

При отклонении угловой скорости турбины от заданного значения меняется центробежная сила грузов, в связи с чем изменяется положение муфты, которая рычагом приводит в действие исполнительный механизм – задвижку. Данная САР является системой прямого действия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании упрощенного моделирования системы турбоустановка – сеть в большинстве источников [6; 7] в качестве передаточных функций звеньев структурной схемы, показанной на рис. 2, используются простые апериодические звенья первого порядка. При таком подходе и жесткой обратной связи процесс носит колебательный характер. Уменьшение времени и амплитуды колебаний, а также выбора зон нечувствительности заставляет использовать более современные электронные регуляторы и существенно более сложные модели систем управления, чем это показано на рис. 1 и 2. От совершенствования систем управления и их компонентов напрямую зависит качество и стоимость электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Худяков И. С., Власичев Г. Н. Обоснование целесообразности работы энергоблока АЭС в маневренных режимах // XIV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. – Том I Технические и естественные науки, 2020 – с. 280–282.
2. Худяков И. С., Власичев Г. Н., Ворошилов А. А. Обзор различных программ для моделирования работы АЭС и их применимость для анализа маневренных режимов // Будущее технической науки: сборник материалов XIX Всероссийской молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2020. – С. 79–80.
3. Баскаков В. Е, Максимов М. В, Маслов О. В. Алгоритм эксплуатации энергоблока с ВВЭР в поддержании суточного баланса мощности энергосистемы // Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – вып. 2 (28).

4. Тодорцев Ю. К., Фощ Т. В., Никольский М. В. Анализ методов управления мощностью энергоблока с водо-водяным реактором при маневрировании // восточно-европейский журнал передовых технологий. – 6/8 (66). – 2013.

5. Аверьянова С. П., Дубов А. А., Косоуров К. Б., Семченков Ю. М., Филимонов П. Е. Развитие способов управления ВВЭР-1200/1300 в суточном графике нагрузки. Атомная энергия. – Т. 114, вып. 5. – май 2013.

6. Павлов Г. М., Меркурьев Г. В. Автоматика энергосистем. – СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2005.

7. Меркурьев, Г. В. Устойчивость энергосистем / Г. В. Меркурьев, Ю. М. Шаргин – СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2008. – Т. 2. – С. 376.