

УДК 621.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ТУРБИНЫ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Т.А. Ефремова, Ю.А. Мефедова

Проведено моделирование переходного процесса амплитудно-частотной и логарифмических характеристик системы автоматического регулирования частоты вращения турбины атомной электростанции, сделаны выводы по показателям качества работы турбины.

*Ключевые слова:* атомная электростанция; моделирование характеристик; системы автоматического регулирования; турбина.

---

## CHARACTERISTIC MODELING OF SPEED-GOVERNING SYSTEM OF A NUCLEAR POWER PLANT TURBINE

Т.А. Efremova, Yu.A. Mefedova

The work considers the modeling of the transition process, the amplitude-frequency and logarithmic characteristics of the system for automatic regulation of frequency rotation of the turbine nuclear power plant, and the conclusions on the performance of the turbine.

*Keywords:* nuclear power plant; characteristic modeling; automatic control system; turbine.

Паровые турбины АЭС с высокой мощностью достаточно широко используются в качестве первичных двигателей для привода синхронных электрических генераторов. Так как электрическая энергия, вырабатываемая атомными электростанциями, нигде в энергосистеме не аккумулируется, то её производство должно соответствовать потреблению. Критерием этого соответствия является постоянство частоты сети, значение этого параметра в установившемся режиме одинаково для любой точки энергосистемы. Номинальное значение частоты сети в России равно 50 Гц, и должно поддерживаться с высокой точностью. Требование постоянства частоты вращения турбины определяет одну из основных задач регулирования: сохранение частоты вращения ротора турбогенератора и, следовательно, турбины постоянной и близкой к номинальной, несмотря на изменения нагрузки. Такую проблему можно решить путем применения в работе энергоблоков атомных электростанций систем автоматического регулирования (САР) частоты вращения турбины, позволяющей выходной величине находиться в нужных пределах [1].

Первичное регулирование частоты это основное средство ограничения отклонений при работе

энергоблоков на АЭС и представляет собой зависимость частоты вращения ротора турбины от ее мощности за время не превышающее 30 с [2].

Вторичное регулирование частоты приводит в соответствие работу регуляторов скорости, предназначенных для астатического регулирования частоты и внешних перетоков в зоне регулирования. Оно предназначено для восстановления частоты в энергосистеме, а также для исключения преувеличения диапазонов первичного регулирования в пределах  $\pm 5\%$ . Именно за счет вторичного регулирования обеспечивается отсутствие колебаний текущей частоты в полосе  $50 \pm 0,05$  Гц за время не более 15 мин [2].

Точность регулирования частоты вращения турбины снижается с ростом нечувствительности, при этом резко возрастает возможность появления автоколебаний. Степень нечувствительности характеризует безупречность системы регулирования. Для турбин АЭС согласно ГОСТ 24277-91 степень нечувствительности устанавливают в пределах  $\varepsilon_n \leq 0,06\%$ .

Современные тенденции ужесточения требований по нечувствительности ставит перед конструкторами систем регулирования турбин непростую задачу. Одним из путей её решения

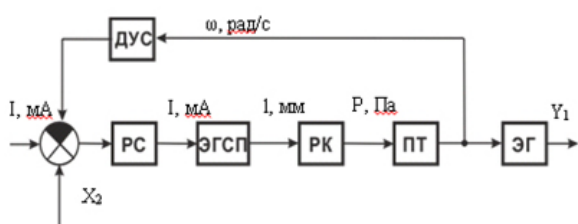


Рисунок 1 – Функциональная схема САР:

$X_2$  – сигнал задающего устройства скорости вращения турбины;  
 РС – регулятор скорости вращения ротора турбины;  
 ЭГСп – электрогидравлический следящий привод;  
 РТ – паровая турбина;  
 ДУС – датчик угловой скорости;  
 ЭГ – электрогенератор

является практически полный отказ от механических связей в системе регулирования и замена их гидравлическими или электрическими.

Таким образом, целью данной работы является моделирование характеристик системы автоматического регулирования частоты вращения турбины атомной электростанции на примере турбины типа К-1000-60/1500-2, применяемой на Балаковской АЭС. Актуальность данной работы заключается в возможности дальнейшего использования полученной модели САР частоты вращения турбины для исследований характеристик турбин других модификаций, используемых в энергоблоках атомных станций. Состав и принцип работы турбины типа К-1000-60/1500-2 описан в [4, с. 189, 190, 198, 203].

Для повышения скорости вычислительного процесса модель САР должна быть достаточно простой и содержать минимум вычислений. Функциональная схема системы автоматического регулирования частоты вращения турбины атомной электростанции представлена на рисунке 1.

Расчет передаточной функции системы регулирования представлен в [3]. На основании проведенных расчетов, используя классическую методику расчета систем автоматического регулирования, построен переходный процесс работы САР частоты вращения турбины, представленный на рисунке 2.

Анализ графика на рисунке 2 показал, что полученная линейная модель системы паровой турбины устойчива. Быстродействие системы регулирования составляет 5,12 с; установившееся значение регулируемой величины – 1500 об/мин, что соответствует техническим характеристикам турбины. Следовательно, построенная модель системы автоматического регулирования частоты

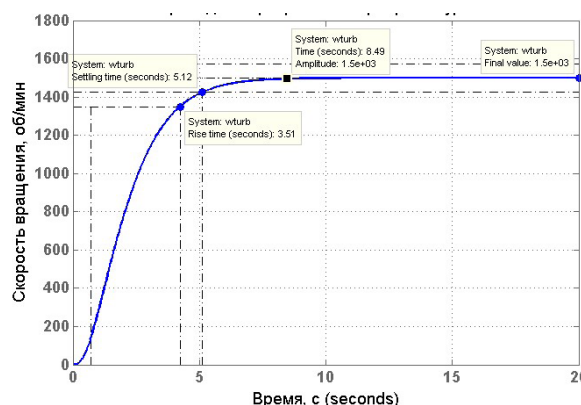


Рисунок 2 – Переходный процесс САР частоты вращения турбины

вращения турбины адекватная и может быть использована при проектировании оборудования для атомных станций. Первичное регулирование скорости вращения турбины (время мобилизации до 30 с) есть основное средство ограничения отклонений частоты. Система удовлетворяет требованиям к участию блоков АЭС в первичном регулировании частоты.

На рисунке 3 представлена модель амплитудно-частотной характеристики САР.

Косвенные показатели качества работы системы удовлетворяют следующим требованиям:

- амплитуда при нулевой частоте  $A(0) = 1500$ ;
- максимальная амплитуда  $A_{max} = 1596$ ;
- показатель колебательности  $M = 0,64$ ;
- резонансная частота  $\omega_p = 0,12$  Гц;
- частота среза  $\omega_{cp} = 19$  Гц.

Модели логарифмических характеристик САР частоты вращения турбины приведены на рисунке 4.

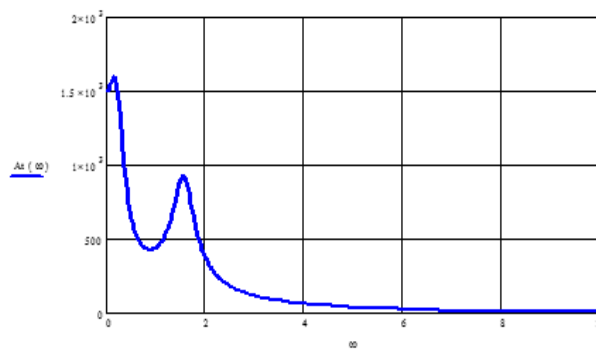


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика САР турбины

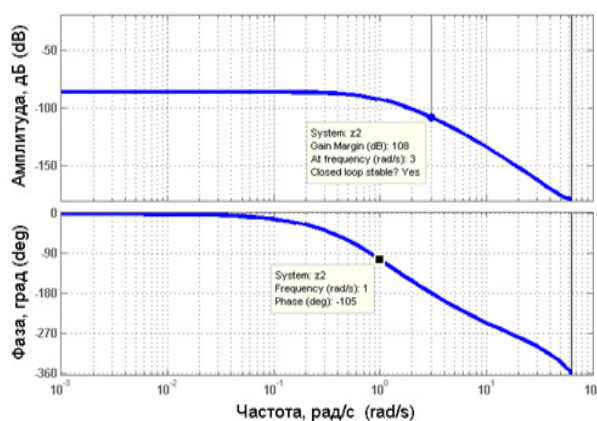


Рисунок 4 – Модель логарифмических характеристик САР турбины

На рисунке 4 видно, что САР частоты вращения турбины является устойчивой, запас устойчивости по амплитуде составляет 108 дБ, а запас устойчивости по фазе равен бесконечности. Такие

высокие показатели качества САР позволяют активно и эффективно использовать такие типы турбин в энергоблоках атомных электростанций.

#### Литература

1. Аминов Р.З. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность / Р.З. Аминов и др. М., 1990.
2. Ключев А.С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования / А.С. Ключев, А.Г. Товарнов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Ефремова Т.А. Расчет характеристик системы автоматического управления мощностью энергоблока АЭС / Т.А. Ефремова, Д.Н. Мартюшев // Научн. ж. "Молодой ученый". 2015. № 22,5(102,5). С. 39–42.
4. Тепловые и атомные электрические станции: справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989.