

УДК 621.311.25:621.039:661.654

Киселёва Н.И.

Одесский национальный политехнический университет

Погребной Я.С.

Одесский национальный политехнический университет

Беглов К.В.

Одесский национальный политехнический университет

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С ВВЭР-1000 В РЕЖИМЕ Т

В настоящее время в Украине большая часть электроэнергии производится на атомных электростанциях (47%). Вклад тепловых электростанций составляет около 43%. Производство энергии из экологически чистых источников электроэнергии составляет около 7% всей производимой в стране энергии. Лидером производства электроэнергии среди украинских АЭС является Запорожская АЭС с реакторами ВВЭР-1000, которая имеет установленную мощность 6000МВт. Указанное несоответствие должен устранять автоматический регулятор мощности энергоблока, который предоставляет управляющее воздействие или на реактор, или на турбину в зависимости от режима работы энергоблока с требованием, чтобы надежность и безопасность энергоблока были снижены, а также чтобы экономическая эффективность энергоблока сохранялась на необходимом уровне.

Ключевые слова: регулятор, программа регулирования, мощность, энергоблок, аксиальный офсет.

Постановка проблемы. Основной задачей регулирования паросиловой установки является поддержание равенства между количеством производимой и потребляемой энергии. Несоответствие между выработкой энергии в реакторе и потреблением в турбине проявляется (для двухконтурной АЭС) с изменением давления и температуры теплоносителя в первом контуре и давления (температуры) насыщенного пара во втором контуре. Залогом надежной и безопасной эксплуатации энергоблока является устойчивость реактора при возмущениях как при работе с постоянным уровнем нагрузки, так и в маневренном режиме. Количественной мерой устойчивости реактора является аксиальный офсет (АО) – технологическая характеристика равномерности энерговыделения, поэтому мерой эффективности эксплуатации энергоблока с ВВЭР-1000 является минимизация отклонения АО.

Анализ последних исследований и публикаций. Авторы Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М.В. Никольский написали статью на тему: «Анализ влияния методов управления мощностью энергоблока с водо-водяным реактором на аксиальный офсет». Статья посвящена анализу влияния методов управления мощностью энергоблока с ВВЭР-1000 в маневренном режиме на количественную меру устойчивости, а именно на величину аксиального офсета [3, с. 19–27].

Цель работы. Целью работы является разработка автоматизированной системы регулирования мощности энергоблока с постоянной поддержкой давления пара в главном паровом коллекторе, которая позволит эксплуатировать энергоблок в маневренных режимах суточного цикла для поддержания баланса мощности в энергосистеме Украины.

Основная часть. На любой АЭС различают теплоноситель и рабочее тело.

Назначение теплоносителя – отводить тепло, выделившееся в активной зоне реактора в результате деления ядерного топлива. Для надежной работы тепловыделяющих элементов реактора теплоноситель должен обладать высокой степенью чистоты. Поэтому контур теплоносителя на АЭС всегда является замкнутым. К этому обязывает также наличие радиоактивности в теплоносителе.

Рабочим телом для АЭС является водяной пар. Требования к чистоте рабочего тела также высоки. Поэтому контур рабочего тела также является замкнутым. Отсутствие замкнутости привело бы к большим затратам на водоподготовительные системы, при замкнутом контуре заполняют лишь незначительные потери рабочего тела.

Тепловая схема энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 (рис. 1) имеет четыре петли (четыре

парогенератора, четыре ГЦН, один реактор, один компенсатор давления), она моноблочная (один реактор – одна турбина).

Все теплотехническое оборудование подразделяются на реакторное, парогенераторное, турбогенераторное, конденсационные установки и конденсатно-питательный тракт, включая системы регенерации низкого и высокого давления и деаэрационно-питательную установку.

Теплоноситель – вода под давлением (без кипения) главным циркуляционным насосом (ГЦН) подается в реакторную установку (РУ), где она нагревается и далее поступает в парогенератор (ПГ), где передает свою тепловую энергию рабочего тела второму контуру. Поскольку вода практически несжимаемая, то для безопасной работы реактора на контуре циркуляции теплоносителя устанавливают компенсатор давления (КД), поддерживающий давление в первом контуре постоянным.

Контур рабочего тела является нерадиоактивным и называется вторым контуром. В парогенераторе вырабатывается пар, который по паропроводах поступает в турбину (Т), где при его расширении потенциальная и кинетическая энергия потока пара превращается в механическую энергию вращения вала турбогенератора. Механическая энергия, передаваемая на вал ротора генератора (Г) от вала турбины, преобразуется в электрическую энергию электромагнитным путем. Постоянный ток обмотки ротора возбуждает магнитный поток, под действием которого в обмотке статора наводится электродвижущая сила и возникает электромагнитная связь ротора со статором.

Турбина снабжена конденсационным устройством, сепарационным-пароперегревочным устройством (СПП) и регенеративной установкой для подогрева питательной воды.

Парогенератор, разделяющий первый и второй контуры, в равной степени принадлежит первому и второму контуру. Передача теплоты в парогенераторе через поверхность требует перепада температур между теплоносителем и рабочим телом. Стремление не допустить кипения в реакторе требует создания давления в первом контуре существенно выше давления во втором контуре. По этой причине параметры рабочего тела на двухконтурной АЭС с ВВЭР всегда ниже параметров теплоносителя.

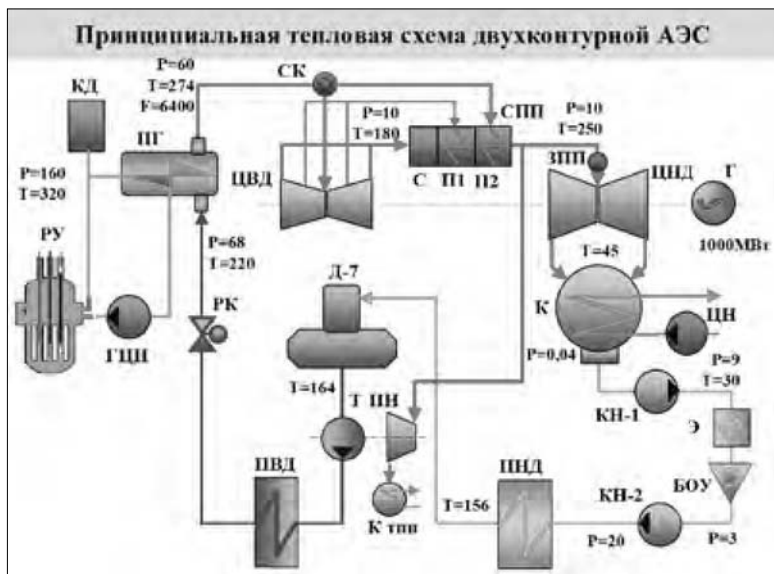


Рис. 1.1. Упрощённая тепловая схема энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000

Упрощённая тепловая схема энергоблока АЭС изображена на рисунке 1.1.

При разработке и исследовании систем автоматического управления ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) пользуются математическим моделированием. Для современных 2-контурных ЯЭУ с реактором типа ВВЭР математическая модель (ММ), учитывающая все сложные динамические процессы, описывается системой многих нелинейных дифференциальных уравнений. Решение и исследование такой системы затруднено. В тоже время для некоторых инженерных и учебных задач возможно использование упрощенных ММ, которые обеспечивают достаточную точность.

Технологическая схема 2-контурной АЭС изображена на рисунке 1.2, структурная схема энергоблока – на рисунке 1.3.

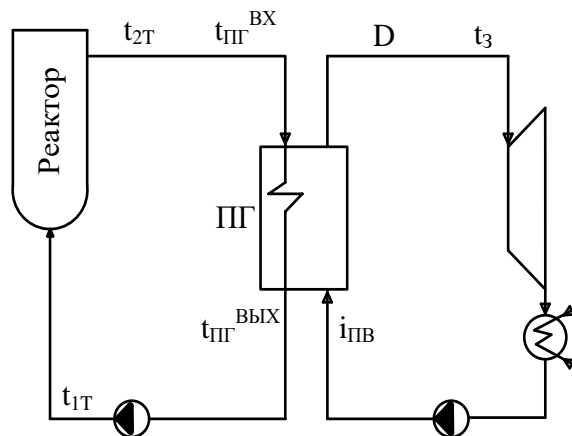


Рис. 1.2. Технологическая схема 2-контурной АЭС

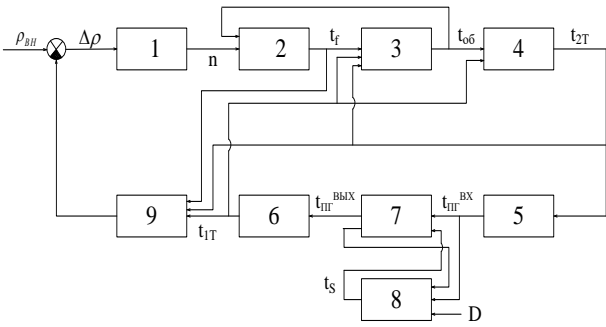


Рис. 1.3. Структурная схема энергоблока

Подставим найденные настройки регулятора и скорректируем их для получения необходимых переходных процессов.

При возмущении по каналу внешняя реактивность, относительная мощность реактора:

- X1 – первый динамический заброс;
- X2 – второй динамический заброс;
- X3 – третий динамический заброс;
- Время регулирования T = 300 с.
- Коэффициент колебательности:

$$\sigma = \frac{X_2}{X_1} * 100\% = \frac{0}{1.7} * 100\% = 0\% .$$

Степень затухания:

$$\Psi = 1 - \frac{X_3}{X_1} = 1 - \frac{0}{1.7} = 1 .$$

При возмущении по каналу внешняя реактивность, давление пара в ГПК:

- X1 – первый динамический заброс;
- X2 – второй динамический заброс;
- X3 – третий динамический заброс;
- Время регулирования T = 300 с.
- Коэффициент колебательности:

$$\sigma = \frac{X_2}{X_1} * 100\% = \frac{0}{-0.042} * 100\% = 0\% .$$

Степень затухания:

$$\Psi = 1 - \frac{X_3}{X_1} = 1 - \frac{0}{-0.042} = 1 .$$

При возмущении по каналу мощность генератора, относительная мощность реактора:

- X1 – первый динамический заброс;
- X2 – второй динамический заброс;
- X3 – третий динамический заброс;
- Время регулирования T = 300 с.
- Коэффициент колебательности:

$$\sigma = \frac{X_2}{X_1} * 100\% = \frac{0}{0.088} * 100\% = 0 .$$

Степень затухания:

$$\Psi = 1 - \frac{X_3}{X_1} = 1 - \frac{0}{0.088} = 1 .$$

При возмущении по каналу мощность генератора, давление пара в ГПК:

- X1 – первый динамический заброс;
- X2 – второй динамический заброс;

- X3 – третий динамический заброс;
- Время регулирования T = 300 с.
- Коэффициент колебательности:

$$\sigma = \frac{X_2}{X_1} * 100\% = \frac{0}{-2.2} * 100\% = 0\% .$$

Степень затухания:

$$\Psi = 1 - \frac{X_3}{X_1} = 1 - \frac{0}{-2.2} = 1 .$$

Полученные переходные процессы регулирования изображены на рисунках 1.4–1.7.

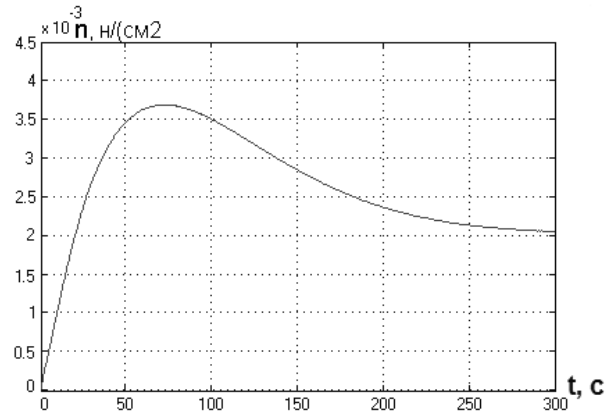


Рис. 1.4. Переходной процесс регулирования при нанесении возмущений по внешней реактивности

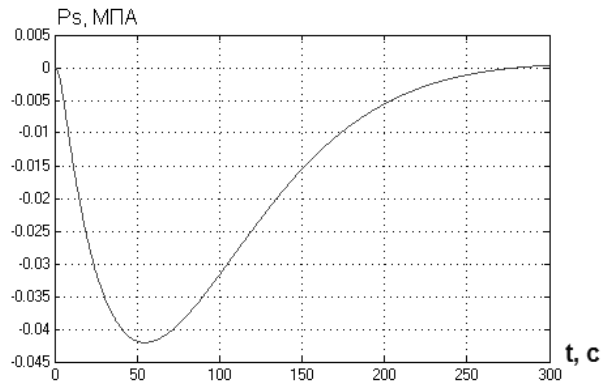


Рис. 1.5. Переходной процесс регулирования при нанесении возмущений по внешней реактивности

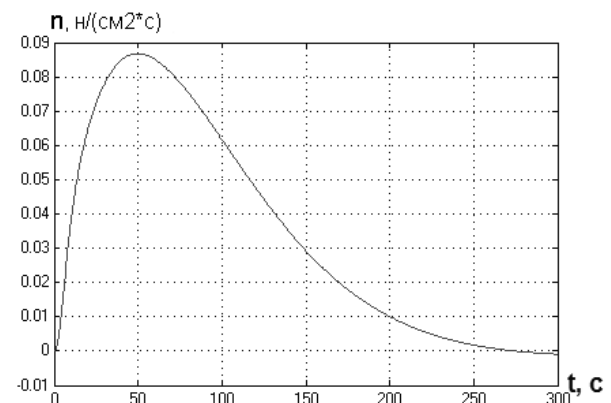


Рис. 1.6. Переходной процесс регулирования при нанесении возмущений по мощности генератора

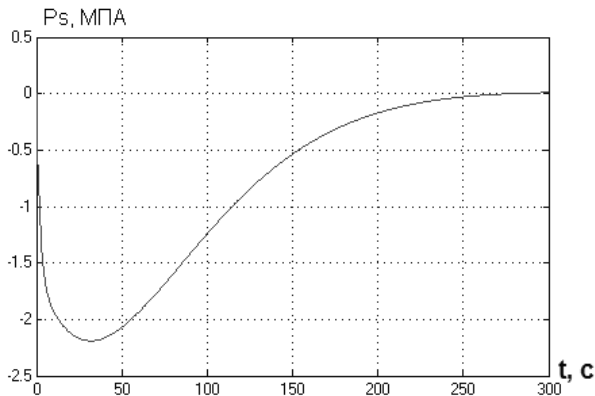


Рис. 1.7. Переходний процес регулювання при нанесенні возмущений по потужності генератора

Выводы. Регулировка мощности энергоблока с реакторами ВВЭР осуществляется с помощью автоматического регулятора мощности реактора АРМ и регулятора турбины РТ. АРМ – автоматическое регулирование мощности реактора в режиме поддержания заданного значения плотности нейтронного потока или давления в главном паровом коллекторе или в режиме ограничения мощности в зависимости от давления в главном паровом коллекторе. Данная группа функций обеспечивает формирование выходных управляющих сигналов «БОЛЬШЕ», «МЕНЬШЕ». Исходя из этого была разработана система регулирования мощности энергоблока с постоянной поддержкой давления пара в главном паровом коллекторе, которая позволит эксплуатировать энергоблок в маневренных режимах.

Список литературы:

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. Теплоэнергетика. 1974. № 6. С. 16–19.
2. Максимов М.В. Метод оценки эффективности алгоритма маневра мощностью энергоблока с реакторами ВВЭР-1000. Известия вузов. Ядерная энергетика. 2008. № 4. С. 128–139.
3. Фощ Т.В. Анализ влияния методов управления мощностью энергоблока с водо-водяным реактором на аксиальный офсет / Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М.В. Никольский. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 2(8). С. 19–27.
4. Современные технологии управления: в 2 т. монография / под общ. ред. С.В. Куприенко; Sworld. Одесса: Куприенко С.В., 2012. 179 с.
5. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2002. № 2 (22). С. 22.
6. Аниканов С.С., Дунаев В.Г., Митин В.И. Управление энергораспределением ВВЭР-1000 в маневренном режиме. Атомная энергия. 1993. Т. 75, № 1. С. 3–8.
7. Коренной А.А., Титов С.Н., Литус В.А., Неделин О.В. Управление аксиальным распределением поля энерговыделения в активной зоне ВВЭР-1000 при переходных процессах. Атомная энергия. 1998. Т. 88, № 4. С. 252–257.
8. Филимонов П.Е., Аверьянова С.П. Поддержание равновесного офсета – эффективный способ подавления ксеноновых колебаний в ВВЭР-1000. Атомная энергия. 2001. Т. 90, № 3. С. 231–233.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ІЗ ВВЕР-1000 У РЕЖИМІ Т

Нині в Україні велика частина електроенергії виробляється на атомних електростанціях (47%). Внесок теплових електростанцій становить близько 43%. Виробництво енергії з екологічно чистих джерел електроенергії становить близько 7% усієї виробленої в країні енергії. Лідером виробництва електроенергії серед українських АЕС є Запорізька АЕС з реакторами ВВЕР-1000, яка має встановлену потужність 6000 МВт. Вказану невідповідність має усувати автоматичний регулятор потужності енергоблока, котрий надає керуючий вплив або на реактор, або на турбіну залежно від режиму роботи енергоблока з вимогою, щоб надійність і безпека енергоблока були знижені, а також, щоб економічна ефективність енергоблока зберігалася на необхідному рівні.

Ключові слова: регулятор, програма регулювання, потужність, енергоблок, аксіальний офсет.

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SYSTEM FOR REGULATING THE POWER OF THE POWER UNIT OF THE WWER-1000 NPP IN THE MODE T

Currently in Ukraine most of the electricity is generated in nuclear power plants (47%). The contribution of thermal power plants is about 43%. Energy production from environmentally friendly sources of electricity accounts for about 7% of all energy produced in the country. The leader in the production of electricity among Ukrainian NPPs is the Zaporozhnia NPP with WWER-1000 reactors, which has an installed capacity of 6000 MW. The indicated discrepancy should eliminate the automatic power regulator of the power unit, which provides control action to either the reactor or the turbine depending on the mode of operation of the power unit with the requirement that the reliability and safety of the power unit be reduced, and also that the economic efficiency of the power unit is kept at the required level.

Key words: controller, control program, power, power unit, aksial offset.