

Улицкая Е.О.

Одесский национальный политехнический университет

Широкова А.Н.

Одесский национальный политехнический университет

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В КОМПЕНСАТОРЕ ДАВЛЕНИЯ АЭС

Система компенсації тиску є системою нормальної експлуатації, важливою для її безпеки. Вона належить до першої категорії сейсмостійкості. У першому контурі водо-водяних енергетичних реакторів в якості теплоносія застосовується вода, недогріта до кипіння приблизно на 60 градусів за Цельсієм (при нормальному тиску в першому контурі). Вибір саме такої величини недогріву обумовлений компромісом між досягненням максимальних параметрів теплоносія на виході з реактора (для отримання високого ККД установки) при заданому номінальному тиску в першому контурі і забезпеченням запасів до кризи теплообміну на оболонках паливних елементів, а також забезпечення можливості роботи головних циркуляційних насосів.

Вода при параметрах I контуру володіє відносно великим температурним коефіцієнтом зміни обсягу і низьким рівнем стискання, що при замкненому першому контурі призводить до неприпустимо великих змін тиску й температурного режиму першого контуру (навіть при нормальних перехідних режимах). Співвідношення водяного і парового об'єму КТ вибрано з умови, що ні в одному з проектних режимів аварійного розцильнення першого і другого контурів не повинно відбуватися закидання пари в перший контур із КТ і оголення електронагрівачів КТ.

Однією з регульованих величин є тиск теплоносія. У стаціонарному стані потужність ТЕНів (трубчастий електронагрівач) компенсує втрати теплоти в навколишнє середовище. При зниженні температури теплоносія, частина цього теплоносія переходить у перший контур. Пар у компенсаторі тиску (КТ) розширюється, і тиск падає. Для його відновлення необхідно збільшити потужність ТЕНів. При збільшенні потужності реактора процеси відбуваються у зворотному напрямку. При великих і швидких підвищеннях тиску використовується впорскування води з холодної нитки циркуляційного контуру. Якщо після відкриття клапанів уприскування тиск у компенсаторі продовжує зростати, то пар скидається в барботер, якщо це не допомагає, – в атмосферу. У статті досліджується автоматична система регулювання (АСР) тиску в КТ.

Ключові слова: тиск, АЕС, АСР, компенсатор тиску, система управління, перехідний процес регулювання, модель.

Постановка проблеми. Компенсатор давления работает на поддержание давления в первом контуре при проектных нарушениях условий нормальной эксплуатации и проектных аварийных ситуациях, поэтому КД является важным и неотъемлемым объектом. Повышение или снижение давления в первом контуре может привести к аварии на атомной электростанции, поэтому целью статьи является создание АСР давления в КД.

Постановка задания: показать обзор настройки регулятора на примере компенсатора давления АЭС с дальнейшей настройкой регуляторов, управляющих работой группы ТЭНов и группы клапанов впрыска воды.

Изложение основного материала исследования. Система компенсации давления теплоно-

сителя – автономная система ядерного реактора, которую подключают к контуру теплоносителя с целью выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счет теплового расширения. Система компенсации давления является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности. Она относится к первой категории сейсмостойкости. Система КД предназначена для:

- поддержания давления в первом контуре;
- создания давления в первом контуре при пуске реактора;
- снижения давления в первом контуре при расхолаживании;
- поддержания постоянного давления в первом контуре при работе реактора на мощности в номинальном режиме;

- ограничения отклонения давления в первом контуре в аварийных режимах;
- компенсации изменений объема в первом контуре, которые приводят к изменениям температурного режима работы РУ;
- ограничения отклонений давления в первом контуре, которые вызывают изменения температурного режима реакторной установки;
- защиты первого контура от превышения давления выше допустимого в аварийных режимах.

В состав системы компенсации давления входят:

- а) компенсатор давления;
- б) барботажный бак;
- в) импульсные предохранительные устройства КД;
- г) трубопроводы и арматура.

Схема автоматического регулирования давления в КД изображена на рис. 1.

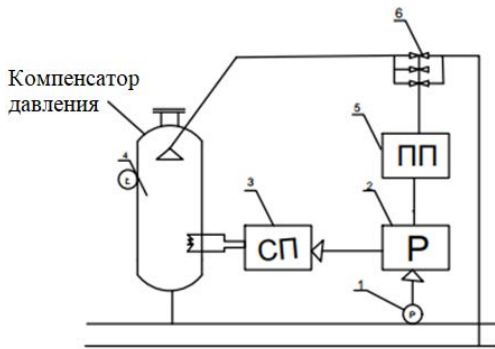


Рис. 1. Принципиальная схема АСР давления в КД

Давление в первом контуре измеряется с помощью манометра 1, сигнал давления подается на логическое устройство 2 и производит дискретные сигналы, управляющие силовыми устройствами 3 электронагревателей 4 или клапанами впрыска воды 6 через пусковые устройства 5.

Логическое устройство 2 представляет собой два регулятора. Первый регулятор имеет ПД-закон регулирования. Он влияет на регулирующий клапан впрыска воды. П-закон реализован охватом ПИ-регулятора жесткой обратной связью по положению регулирующего органа. Дифференциальная составляющая реализуется с помощью дифференциатора.

Второй многоканальный регулятор – позиционный с дифференциальной составляющей, который управляет двумя быстродействующими задвижками и четырьмя группами электронагревателей. Применение дифференциальной составляющей вызвано тем, что при открытии клапанов

впрыска давление в КД снижается с большой скоростью. Для предотвращения значительного снижения давления при сбросах нагрузки необходимо с предупреждением закрыть клапаны впрыска и включить ТЭНы.

В стационарном состоянии мощность ТЭНов компенсирует потери теплоты в окружающую среду. При понижении температуры теплоносителя его часть переходит в первый контур. Пар в компенсаторе давления расширяется, и давление падает. Для его восстановления необходимо увеличить мощность ТЭНов. При увеличении мощности реактора процессы происходят в обратном направлении. При больших и быстрых повышениях давления используется впрыск воды с холодной нити циркуляционного контура. Если после открытия клапанов впрыска давление в компенсаторе продолжает расти, то пар сбрасывается в барботер, если это не помогает, – в атмосферу. Таким образом, одной из регулирующих величин является давление теплоносителя.

Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью или расходом пара являются нелинейными. Такие нелинейные свойства можно примерно описать с помощью инерционных звеньев первого порядка и звена чистого запаздывания, как это показано на рисунке 2.

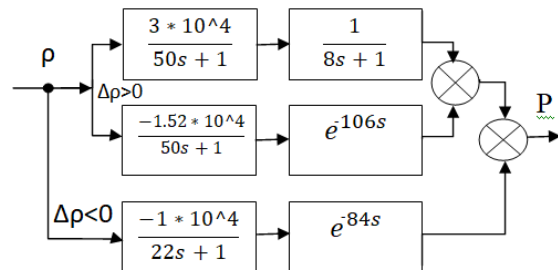


Рис. 2. Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью

В реальной энергетической установке возмущающим воздействием на давление является изменение реактивности реактора и расход пара на турбину. Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью или расходом пара являются нелинейными.

Далее была создана структурная схема имитационной модели, которая изображена на рис. 4.

Моделирование регуляторов дискретного действия основано на алгоритмах регуляторов реальной системы компенсации давления. Установки включения/выключения представлены в таблице 1. «Тонкий» впрыск управляется регулятором

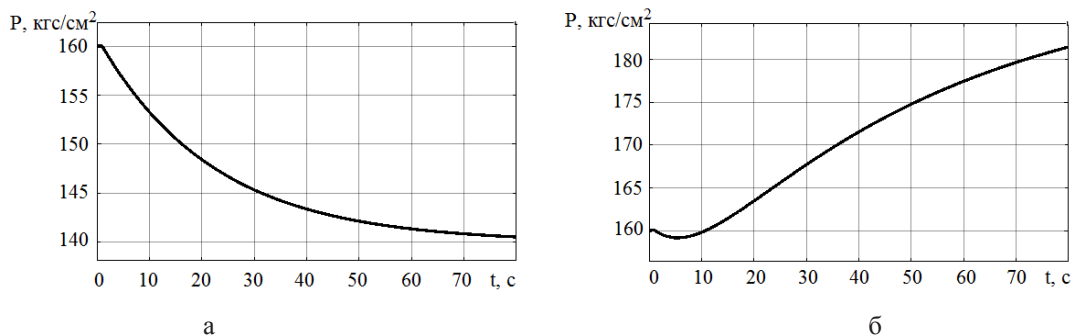


Рис. 3. Кривые разгона компенсатора давления при уменьшении (а) и увеличении (б) реактивности

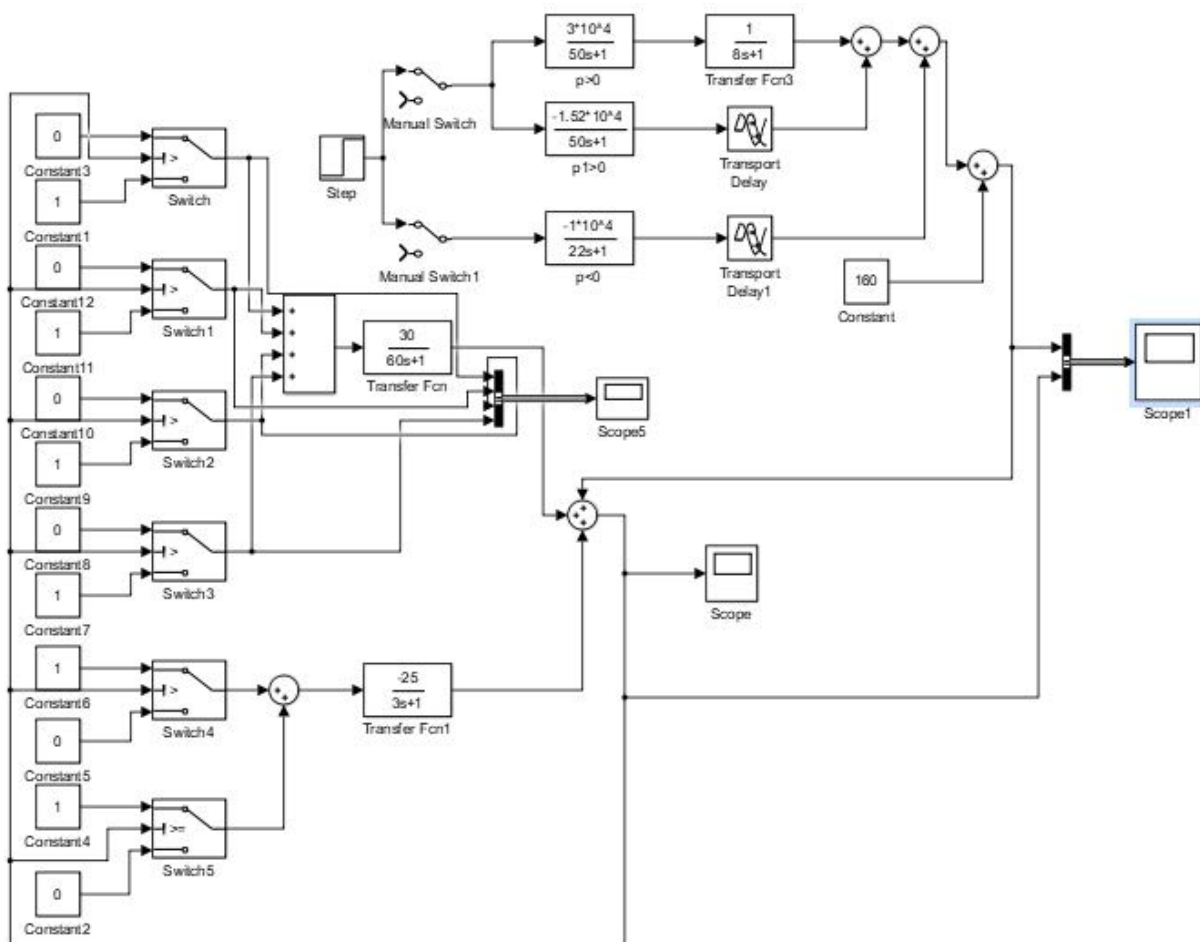


Рис. 4. Модель замкнутой АСР компенсатора давления

Таблица 1

Эффективность групп ТЭН компенсатора давления

Значение параметра, кгс/см ²	Регулирующее воздействие	Зона нечувствительности соотв. релейных элементов
164,0	Вкл. впрыск	0,5
160,0	Вкл. впрыск	0,2
159,9	Вкл. ТЭН	0,2
158,5	Вкл. ТЭН	2
157,0	Вкл. ТЭН	3
155,0	Вкл. ТЭН	5

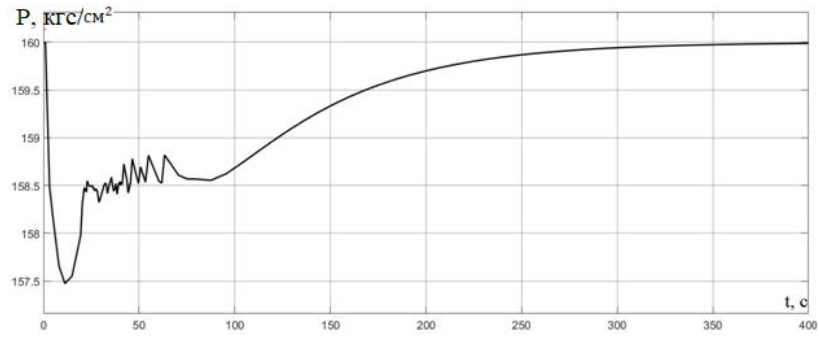


Рис. 5. Переходний процес регулювання (ППР) в компенсаторе тиску при відхиленні $+\Delta p = 0,003$

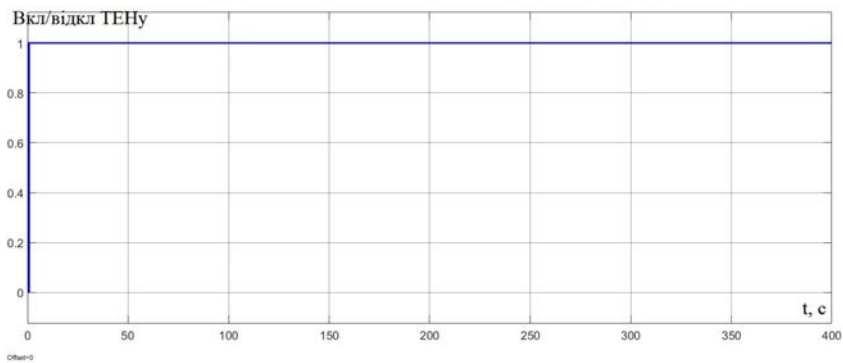


Рис. 6. Включення ТЭН 1 при відхиленні $+\Delta p = 0,003$

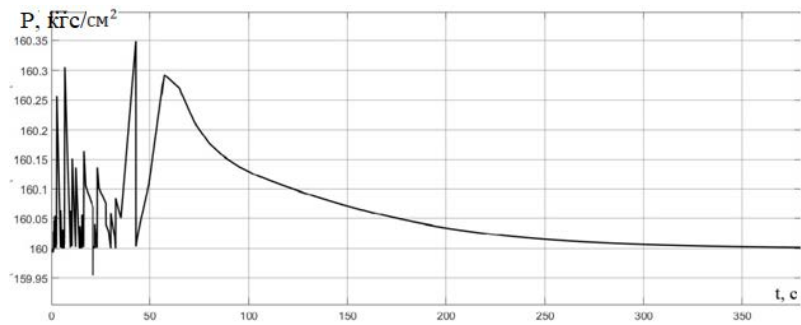


Рис. 8. Переходний процес регулювання (ППР) в компенсаторе тиску при відхиленні $\Delta p = 0,009$

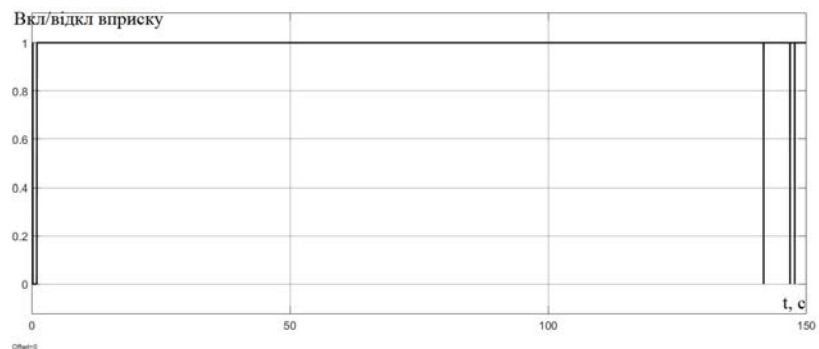


Рис. 9. Включення впрыска при відхиленні $\Delta p = 0,009$

пропорционального действия. При нанесении отклонения по реактивности $\Delta\rho = 0,003$ давление падает до $157,5 \text{ кгс/см}^2$ (рис. 5). Это приводит к включению одного ТЭНа (рис. 6). При беспрерывной работе ТЭНа давление нормализуется на 350 с.

Автор рассматривает случай нанесения возмущения по реактивности $\Delta\rho = 0,009$. В этом случае давление возросло до $160,35 \text{ кгс/см}^2$ (рис. 7), что привело к включению впрыска холодной воды (рис. 8). На 350 с давление пришло в норму 160 кгс/см^2 .

Выводы. Была создана автоматическая система регулирования давления в компенсаторе, построена структурная схема имитационной модели,

рассмотрены варианты при нанесении различного возмущения. Автор рассмотрел принципиальную схему АСР давления в КД. Поскольку в компенсаторе давления два управляющих воздействия для точного поддержания заданного давления, КД вызывает интерес в исследовании в качестве объекта управления. Система управления была настроена таким образом, чтобы при повышении давления включался впрыск, а при его падении – группа ТЭН.

Анализируя полученные переходные процессы можно сделать вывод, что ошибка регулирования давления не превышает $\pm 5 \text{ кгс/см}^2$, то есть требования технологического регламента соблюдены.

Список литературы:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / КБ «Теплоэнерго», 2001. 102 с.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. Теплоэнергетика. / Вып. 6. 19 с.
3. Максимов М.В. Метод оценки эффективности алгоритма маневра мощностью энергоблока с реакторами ВВЭР-1000 / Известия вузов. Серия «Ядерная энергетика», 2008. Вып. 4. С. 128–139.
4. Баскаков В.Е. Алгоритм эксплуатации энергоблока с ВВЭР в поддержке суточного баланса мощности энергосистемы / Труды Одесского политехнического университета, 2007. Вып. 2(28). С. 56–59.
5. Современные технологии управления : монография: в 2 т. / Под общ. ред. С.В. Куприенко; Sworld. Одесса : Куприенко С.В., 2012. 179 с.
6. Медведев Р.Б., Сангинова А.В. Оптимальное управление процессом изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура АЭС с ВВЭР-1000 / Научные вестии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», 2002. Вып. 2(22). С. 29–56.
7. Волошкина А.А., Беглов К.В., Плахотнюк А.А. Исследование регулятора концентрации жидкого поглотителя энергоблока АЭС / Автоматизация технологических и бизнес-процессов, 2015. Т. 7. Вып. 4. С. 18–24.
8. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М. : Энергоиздат, 1981. 159 с.

Ulytskaia E.O., Shyrokova A.N. AUTOMATIC PRESSURE CONTROL SYSTEM IN THE NPP PRESSURE COMPENSATOR

The pressure compensation system is a normal operation system that is important for safety and belongs to the first category of seismic resistance. In the first circuit of water-cooled power reactors, water is used as a coolant, which is not heated to boiling by about 60 degrees Celsius (at normal pressure in the first circuit). The choice of just such a magnitude of underheating is due to a compromise between reaching the maximum parameters of the coolant at the outlet of the reactor (and, therefore, obtaining a high efficiency of the installation as a whole) at a given nominal pressure in the primary circuit and providing reserves before the heat exchange crisis on the shells of fuel cells, as well as ensuring the possibility of operation main circulation pumps.

Water with parameters 1 of the circuit has a relatively large temperature coefficient of volume change and low compressibility, which, when the primary circuit is closed, leads to unacceptably large changes in pressure when the temperature of the primary circuit changes (even under normal transient conditions). The ratio of the water and steam volume of the CD is selected from the condition that in none of the design modes of emergency decompression of the first and second circuits, steam should not be thrown into the first circuit from the CD and the electric heaters of the CD exposed. One of the adjustable values is the coolant pressure.

In a stationary state, the power of the heating elements (tubular electric heater) compensates for the loss of heat into the environment. When the temperature of the coolant decreases, part of this coolant passes into the primary circuit. The steam in the pressure compensator (CD) expands and its pressure drops. To restore it, it is necessary to increase the power of the heating elements. With an increase in reactor power, processes occur in the opposite direction. At large and rapid increases in pressure, water injection is used from the cold thread of the circulation circuit. If, after opening the injection valves, the pressure in the compensator continues to increase, then the steam is discharged into the bubbler. If this does not help, then into the atmosphere. The article examines the automatic control system (ASR) pressure in the CD.

Key words: *pressure, nuclear power plant, ASR, pressure compensator; control system, transient regulation process, model.*