

УДК 621.311.25:621.039:661.654

Козоровська К.А.

Одеський національний політехнічний університет

Газзірєєв Р.А.

Одеський національний політехнічний університет

Беглов К.В.

Одеський національний політехнічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АСР КОНЦЕНТРАЦІЇ БОРНОЇ КИСЛОТИ (БК) У ПЕРШОМУ КОНТУРІ АЕС ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

В енергосистемі України існує невідповідність між виробленням і споживанням електричної енергії протягом добового циклу, а сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми, дуже мала, тому актуальним питанням є адаптація діючих енергоблоків АЕС до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління енергоблоку потужністю в маневрених режимах. Усі АЕС з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні, хоча обладнання першого контуру допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю. Раніше були запропоновані нові алгоритми управління потужністю енергоблоку по компромісно-комбінованій програмі регулювання. Одним із елементів зазначеної системи регулювання є самоналагоджувальний регулятор потужності, який впливає на реактор зміною концентрації рідкого поглинача. Таким чином, у статті розглядаються властивості зазначеного регулятора.

Ключові слова: АЕС, енергоблок, програма регулювання, потужність.

Постановка проблеми. У даний час виникла задача плавного регулювання потужності енергоблоків АЕС. Одним із методів регулювання є зміна концентрації борної кислоти (БК) в теплоносії першого контуру АЕС. Але як об'єкт регулювання концентрація БК має різні статичні і динамічні властивості під час нанесення керуючого впливу з різними знаками.

У численних роботах, присвячених проблемі покриття змінної частини графіків навантажень, зазначається, що підвищення частки АЕС у загальній встановленій потужності вимагає підвищеної маневреності енергообладнання АЕС, тобто роботи енергоблоків АЕС у змінному режимі. Був запропонований новий алгоритм підтримки технологічних параметрів енергоблоку. Для реалізації запропонованого алгоритму в АСУ ТП енергоблоку була розроблена математична модель, за допомогою якої досліджувалися властивості енергоблоку при різних програмах регулювання. Для реалізації зазначеного алгоритму був застосований новий самоналагоджувальний регулятор потужності енергоблоку. Таким чином, стаття присвячена дослідженню властивостей самоналагоджувального регулятора потужності.

Постановка завдання. Мета – дослідити синтез автоматизованої системи контролю борної кислоти в теплоносії першого контуру для об'єкта зі змінними статичними і динамічними властивостями, а також дослідити самоналагоджувальний регулятор концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру.

Виклад основного матеріалу. В енергоблоці, що працює на електричну мережу, відбувається перетворення теплової енергії, яка виробляється в ядерному реакторі, в механічну енергію вала турбіни, а потім – в електричну енергію в генераторі, як показано на рисунку 1.

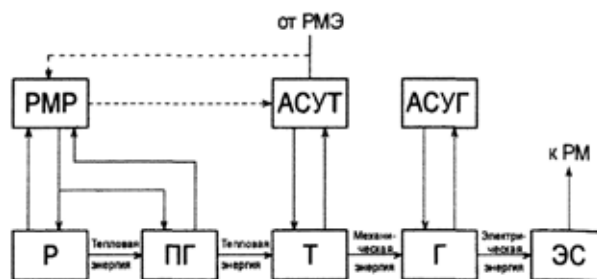


Рис. 1. Схема перетворення енергії та регулювання енергоблоку

Основне завдання регулювання паросилової установки – підтримка рівності між кількістю

виробленої і споживаної енергії. Невідповідність між виробленою енергією в реакторі і споживаною в турбіні проявляється у зміні тиску і температури теплоносія в 1-му контурі і тиску (температури) насиченої пари у 2-му контурі. Зазначена невідповідність має усуватися регулятором потужності реактора (РПР), який надає керуючий вплив або на реактор, або на турбіну в залежності від режиму роботи енергоблоку.

Система автоматизованого управління потужністю енергоблоку (САУП) включає в себе регулятори тиску пари, частоти і потужності реактора і турбіни. Конкретний вид САУП визначається типом реактора, турбогенератора, теплової схеми енергоблоку і режимом роботи в енергосистемі.

Для двоконтурних АЕС важливим є характер зміни параметрів робочих середовищ із контурів (тиск, температура, витрата) під час зміни потужності у статичних режимах роботи (так звана програма регулювання). Вибір статичної програми регулювання залежить від багатьох фізичних, конструктивних, техніко-економічних особливостей енергоблоку і режиму використання його в енергосистемі. Обрана програма регулювання реалізується за допомогою системи управління енергоблоком.

Під час вибору статичних програм регулювання враховують техніко-економічні показники, а також тривалість роботи енергоблоку на знижених рівнях потужності. Найбільше поширення отримали програми з постійним тиском пари у другому контурі ($P_s = \text{const}$), з постійною середньою температурою теплоносія в 1-му контурі ($t_c = \text{const}$) і компромісні програми.

Однак усім перерахованим вище програмам регулювання притаманний загальний недолік: у них не контролюється такий важливий для надійної експлуатації ТВЕЛ параметр, як аксіальний офсет.

Значення АО повинні підтримуватися в певних межах залежно від поточного рівня потужності, як це показано на рисунку 2.

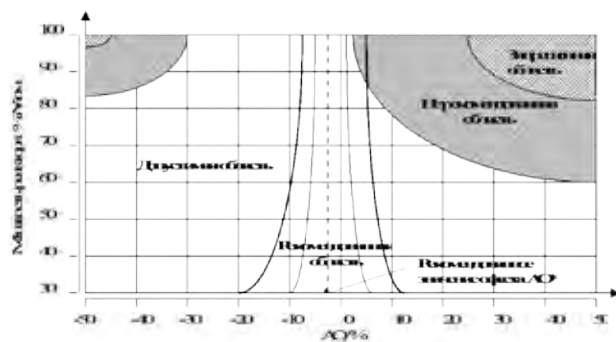


Рис. 2. Залежність аксіального офсету від поточного рівня потужності реактора

Перевищення гранично-допустимих значень коефіцієнтів нерівномірності і АО може призвести до нестійкості нейтронного поля ЯР і виникнення ксенонових коливань висотного розподілу енерговиділення, збільшення часу стабілізації стану реактора в перехідних режимах.

Нерівномірність нейтронного поля реактора знижує економічні показники роботи РУ і в деяких випадках може привести до виникнення передаварійних і аварійних ситуацій. Оскільки під час експлуатації реактора регулюючі стрижні ОР СУЗ знаходяться тільки у верхній частині активної зони, то підтримувати АО можливо тільки переміщуючи ОР СУЗ. З іншого боку, в типових програмах регулювання регулюючі стрижні використовуються для підтримки потужності реактора в цілому.

Потужність енергоблоку є заданою величиною, при цьому вона може бути постійною під час роботи енергоблоку в базовому режимі або змінною під час роботи в регулюючому режимі.

На АЕС із реакторами типу ВВЕР важливим завданням є контроль деяких параметрів теплоносія. Одним із основних контрольованих параметрів є вміст БК ізотопу ^{10}B в технологічних розчинах енергоблоків. Процес зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру називається борним регулюванням (БР). Борне регулювання згідно з ГОСТ 24693-81 застосовується для:

- 1) компенсації повільних змін реактивності, пов'язаних із вигоранням ядерного палива, отруєнням ^{135}Xe і ^{149}Sm , розігрівом-розхолоджуванням першого контуру із заданими швидкостями і змінами потужності реактора;
- 2) забезпечення переходу з будь-якого стану нормальної експлуатації в підкритичний стан і підтримання цього стану при робочій температурі теплоносія;
- 3) створення і підтримки в першому контурі концентрації борної кислоти, необхідної для безпечного проведення перевантаження реактора і ремонтних робіт;
- 4) компенсації протікання теплоносія з першого контуру до значень, що не вимагають включення систем аварійного введення бору.

За необхідності проведення БР у колектор ПН подається розчин із бака з концентрованою БК або з бака із чистим конденсатом (знесоленою водою).

Оцінку своїх дій із БР оперативний персонал здійснює, як правило, виходячи зі зміни рівня потужності, аксіального офсету і значення коефіцієнтів нерівномірності енерговиділення.

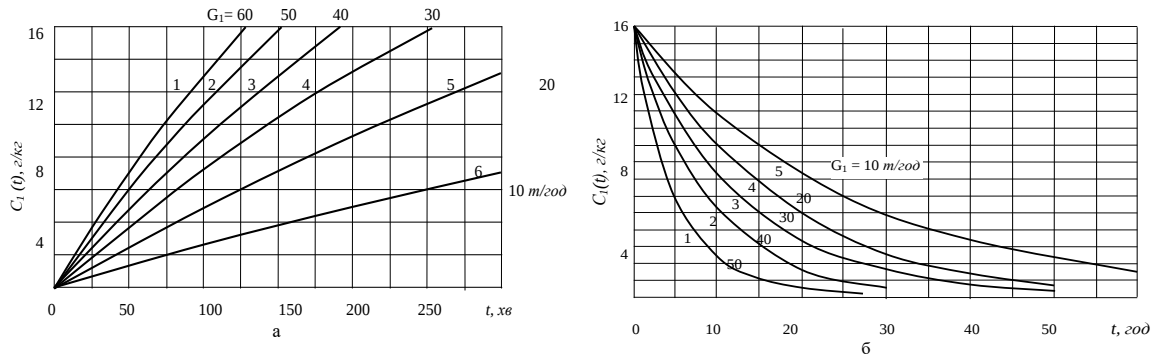


Рис. 3. Зміна концентрації борної кислоти в теплоносії в разі концентрованої підпитки борною кислотою (а) і чистим конденсатом (б)

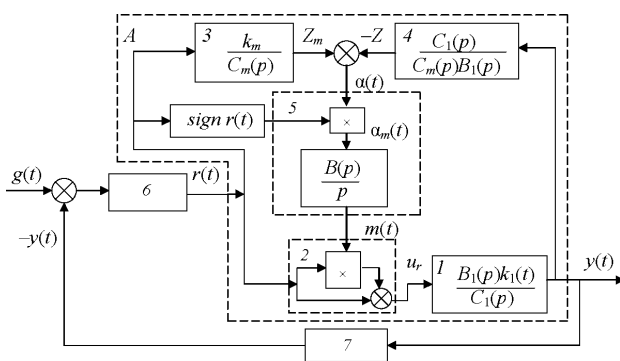


Рис. 4. Структура самоналагоджувальних САУ з еталонною моделлю

У роботі розглянуто залежність концентрації в АЗ під час введення БК і чистого конденсату в теплоносії першого контуру. Криві розгону по вказаних каналах приведені на рисунку 3.

Самоналагоджувальні системи з еталонною моделлю для автоматичного управління об'єктами зі змінним коефіцієнтом передачі можна будувати за структурою, що складається із самоналагоджувальної частини А, звичайного регулятора 6 і датчика зворотного зв'язку 7 (рис. 4) [3–5].

Самоналагоджувальна частина А включає об'єкт управління (ОУ) 1 зі змінним коефіцієнтом передачі $k_1(t)$, еталонну модель 3 ОУ з бажаним (номінальним) коефіцієнтом передачі k_m , ланку 4 узгодження виходу ОУ $y(t)$ з виходом Z_m еталонної моделі 3, блоку 5 самонастроювання коригуючої ланки 2. Контур самонастроювання охоплює частину основної системи управління, утворюючи додатковий (крім основної системи) негативний зворотній зв'язок через блок 5, здійснюючи синтез управління u_r , що забезпечує при $\alpha(t) = 0$ рівність процесів на виходах ОУ 1 і еталонної моделі 3.

Для цього у схемі на рис.4 проведемо еквівалентні заміни операторних функцій передачі ОУ

$$\frac{B_1(p)k_1(t)}{C_1(p)} = \frac{k_1(t)}{C_m(p)} \text{ и звенна } 4 \frac{C_1(p)}{C_m(p)B_1(p)} = 1;$$

тоді отримаємо $y(t) = z(t)$.

$$\frac{B_1(p)K_1(t)}{C_1(p)} = \frac{K_1(t)}{Tp+1},$$

$$K_1 = K_{\text{поч}} \dots K_{\text{кон}};$$

$$B_1(p) \equiv 1; C_1(p) = Tp+1; \frac{K_m}{C_m(p)} - \text{еталонна модель } \frac{K_{op}}{Tp+1};$$

$B(p)$ – настроюваний параметр, може бути константою.

Результати досліджень

Розглянута САУ з еталонною моделлю була реалізована в Matlab для підтримки концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру. Як було зазначено, об'єкт регулювання має змінний коефіцієнт передачі і змінну постійну часу. Однак для дослідження було прийнято, що в синтезованій САУ об'єкт має змінний коефіцієнт передачі і незмінну постійну часу. Схема моделювання показана на рисунку 5.

У процесі роботи були використані настройки регулятора, отримані в [1]. Перехідний процес регулювання в САУ без використання самонастроювання і з використанням самоналагоджувального регулятора показано на рисунку 6.

Із даних перехідних процесів можна зробити висновок, що на збільшення борної кислоти, як і на її зменшення, система самоналагоджувального регулятора працює добре. А різкий «закид» (на графіку) спостерігається, оскільки відбувається перемикання.

Висновки. У процесі регулювання концентрації борної кислоти в першому контурі енергоблоку АЕС об'єкт регулювання має різні властивості під час нанесення керуючого впливу різних знаків. Тому під час синтезу САУ з нелінійним об'єктом регулювання було прийнято рішення

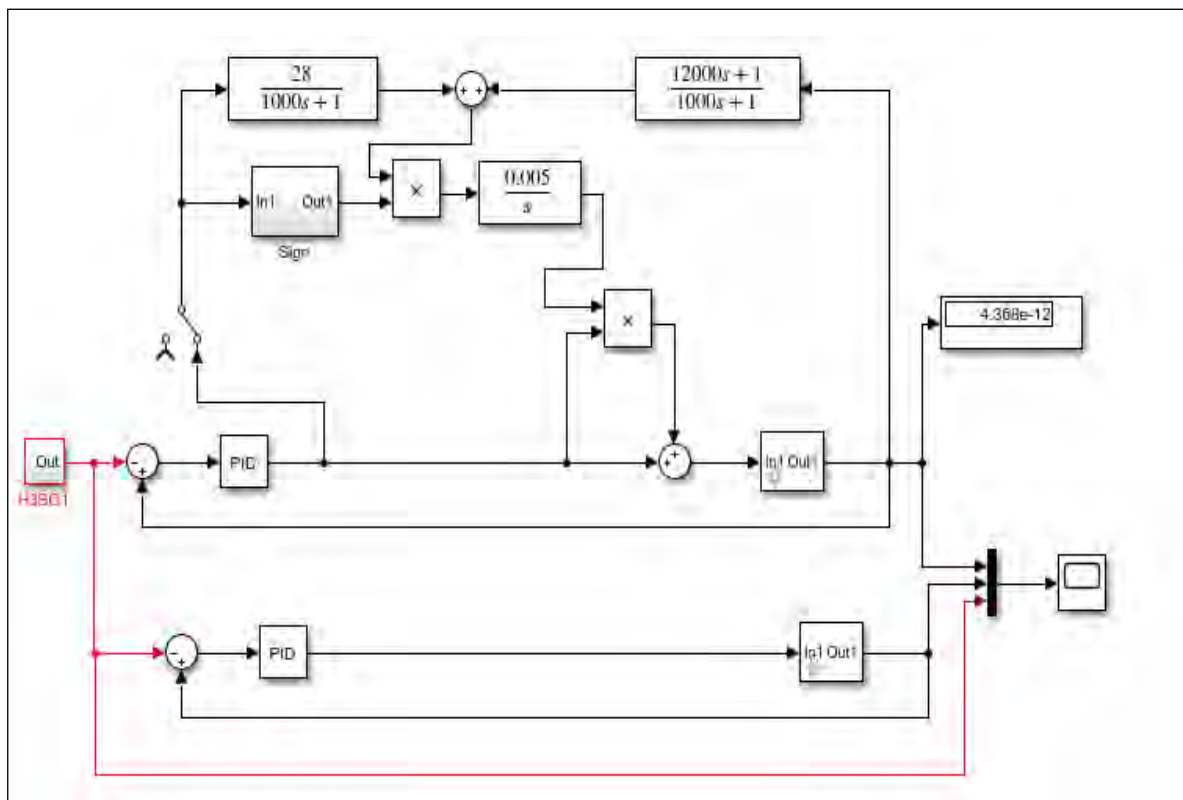


Рис. 5. Схема моделювання САУ концентрації борної кислоти із самоналагоджувальним регулятором

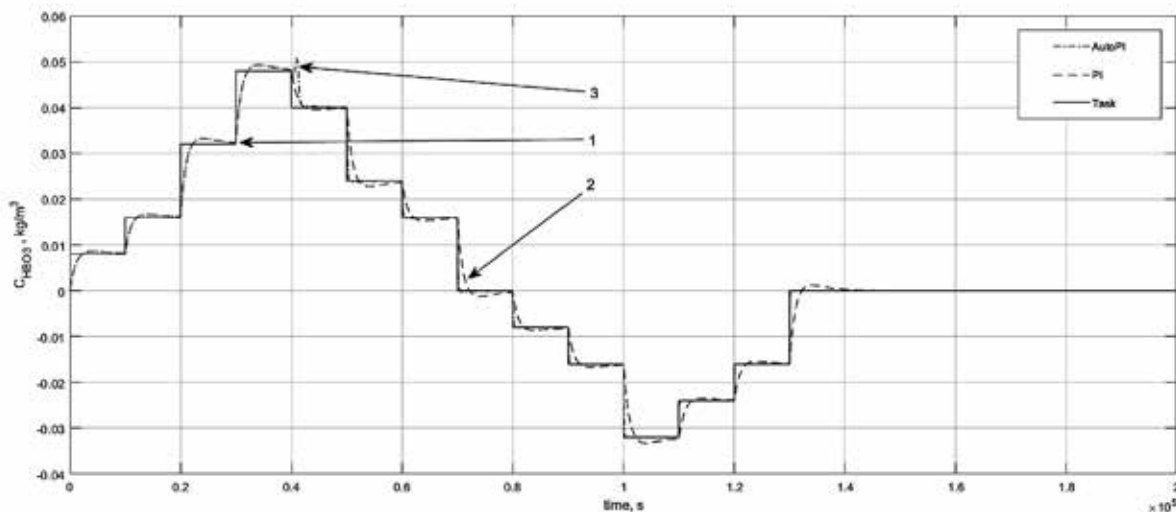


Рис. 6. Перехідний процес регулювання концентрації борної кислоти

1. Зміна завдання.
2. Робота регулятора без самоналаштування.
3. Робота регулятора із самоналаштуванням.

синтезувати самоналагоджувальний регулятор з еталонною моделлю. Порівняння перехідних процесів регулювання показує, що під час включення в роботу блоку самоналаштування і при незмінних властивостях об'єкта перехідні процеси в САУ з автопідстройкою збігаються з

перехідними процесами у вихідній АСР. Під час зміни властивостей об'єкта (спадна частина графіка) виконується самопідстройка регулятора, і регульована величина більш точно відповідає завданню. А саме скорочується час перехідного процесу регулювання.

Список літератури:

1. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. Праці Одеського політехнічного університету. 2015. Вип. 2(36). С. 7.
2. Бейнарович В.А. Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического. Москва : Наука, 2003. 752 с.
4. Кориков А.М. Основы теории управления. Томск : Изд-во НТЛ, 2002. 393 с.
5. Бейнарович В.А. Инвариантные самонастраивающиеся системы автоматического управления. Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2008. № 1(17). С. 61–64.

ИССЛЕДОВАНИЕ АСР КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ (БК) В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ САМОНАСТРАИВАЮЩЕГОСЯ РЕГУЛЯТОРА

В энергосистеме Украины существует несоответствие между выработкой и потреблением электрической энергии в течение суточного цикла, а суммарная доля установок, предназначенных для регулирования нагрузки энергосистемы, очень мала, поэтому актуальной является адаптация действующих энергоблоков АЭС к новым специфическим условиям путем создания автоматизированной системы управления мощностью энергоблока в маневренных режимах. Все украинские АЭС с ВВЭР-1000 эксплуатируются в режиме стабилизации мощности энергоблока на заданном уровне, хотя оборудование первого контура допускает эксплуатацию в режимах маневрирования мощностью. Ранее были предложены новые алгоритмы управления мощностью энергоблока по компромиссно-комбинированной программе регулирования. Одним из элементов указанной системы регулирования является самонастраивающийся регулятор мощности, который воздействует на реактор изменением концентрации жидкого поглотителя. Таким образом, в статье рассматриваются свойства указанного регулятора.

Ключевые слова: АЭС, энергоблок, программа регулирования, мощность.

STUDY OF ASR CONCENTRATION OF BORIC ACID (BC) IN THE FIRST CIRCUIT OF THE NPP USING A SELF-ADJUSTING REGULATOR

In the power system of Ukraine, there is a discrepancy between the production and consumption of electric energy during the daily cycle, and the total share of installations designed to regulate the load of the power system is very small, so it is important to adapt the existing NPP power units to new specific conditions by creating an automated control system for the power unit in maneuvering modes. All Ukrainian nuclear power plants with VVER-1000 are operated in the power unit stabilization mode at a given level, although the primary circuit equipment allows operation in power maneuvering modes. Previously, new algorithms for controlling the power of the power unit by a compromise-combined control program were proposed. One of the elements of this control system is a self-adjusting power control, which affects the reactor by changing the concentration of the liquid absorber. Thus, the article discusses the properties of this regulator.

Key words: NPP, power unit, control program, power.