УДК 621.311.25:621.039:661.654
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-1/32

Пелюх П.О.
Державний університет «Одеська політехніка»

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКУ АЕС ІЗ РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ ПІДТРИМКИ ТИСКУ ПАРИ У ДРУГОМУ КОНТУРІ

Стаття присвячена розробленню і дослідженню функціональної схеми автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС із реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі (режим Т).

Сьогодні всі українські АЕС із ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні. Це насамперед пов'язано з тим, що нині маневрування потужністю реакторної установки (РУ) здійснюється операторами в ручному режимі і тільки на вимогу диспетчерів енергосистеми. Отже, основним завданням регулювання паросилової установки є підтримка рівності між кількістю виробленої і споживаної енергії. Для двоконтурної АЕС невідповідність між виробляючою енергією в реакторі і споживаною в турбіні може проявлятися зі зміною тиску і температури теплоносія в першому контурі і тиску (температури) насиченої пари в другому контурі.

За усування вказаної невідповідності відповідає автоматичний регулятор потужності енергоблоку, який, маючи декілька режимів роботи, може надавати керуючий вплив або на органи рулювання системи управління та захисту реактора, або на турбіну. Тож за допомогою АРП відбувається стабілізація параметру на заданому рівні і підтримка економічності енергоблоку.

Запорукою надійної та безпечної експлуатації енергоблоку є стійкість реактора при збуреннях як під час роботи на постійному рівні навантаження, так і в маневреному режимі. Кількісною мірою стійкості реактора є аксіальний офсет (АО) – технологічна характеристика рівномірності енерговиділення, тому мірою ефективності експлуатації енергоблоку з ВВЕР-1000 є мінімізація відхилення АО.

У результаті досліджено функціональну схему автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС ыз реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари в другому контурі (режим Т).

Ключові слова: *регулятор, енергоблок, програма регулювання, автоматизована система регулювання, автоматичний регулятор потужності, навантаження, функціональна схема автоматизації.*

Постановка проблеми. Запорукою надійної експлуатації енергоблоку є його невідмовна робота під час різних збурень. Таким чином, стаття присвячення розробленню і дослідженню функціональної схеми автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС у режимі підтримки тиску пари, а також вибору комплексу технічних засобів, що відповідають основним вимогам роботи і є безпечними, надійними і легко замінними у разі виявлення неполадок у роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [2, с. 99–106] було досліджено математичну модель енергоблоку ВВЕР-1000 за компромісно-комбінованою програмою регулювання з погляду розподілу значень найважливіших технологічних параметрів по висоті активної зони (АКЗ) реактора.

Робота [3, с. 171–174] присвячена дослідженню автоматичної системи регулювання потужності енергоблоку в режимі Т. Так, у роботі було розроблено систему регулювання потужності енергоблоку з постійною підтримкою тиску пари в головному паровому колекторі, що дає змогу експлуатувати енергоблок у маневрених режимах.

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення і дослідження функціональної схеми автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі (режим Т).

Виклад основного матеріалу. Енергоблок із реактором ВВЕР-1000 – самостійна частина атомної електростанції. Реактор ВВЕР-1000 призначений для здійснення керованої ланцюгової реакції, яка сама підтримується шляхом поділу ядер палива з метою вироблення теплової енергії.

У статті розглядається регулювання потужності енергоблоку за підтримки тиску у другому контурі на заданому рівні, функцію регулятора виконує автоматичний регулятор потужності (АРП). Регулюючий пристрій призначений для підтримки потужності реактора відповідно до потужності турбогенератора, стабілізації ней-

тронної потужності реактора на заданому рівні і підтримки потужності турбогенератора відповідно до потужності реактора.

Для виконання основних функцій у комплект АРП входять два регулятори: регулятор реактора за теплотехнічним параметром (РРТ) і регулятор реактора за нейтронною потужністю (РРН), кожен з яких складається із трьох незалежних каналів. Для підвищення надійності та завадостійкості вихідний сигнал кожного регулятора формується за мажоритарним принципом «два з трьох», тобто вплив від регулятора передається на органи регулювання (ОР) системи управління та захисту реактора (СУЗ) тільки в тому разі, якщо принаймні два канали з трьох видадуть сигнал на переміщення ОР СУЗ у цьому напрямі.

Регулятор реактора по теплотехнічному параметру РРТ призначений для стабілізації теплотехнічного параметра (тиск пари перед турбіною) на заданому рівні зі статичної точністю ± 0,5 кгс/см^2 шляхом впливу на по-тужність реактора переміщенням ОР (режим «Т»). Оскільки основною причиною зміни тиску пари перед турбіною є коливання потужності, цей регулятор підтримує теплову потужність реактора відповідно до необхідної потужності турбіни.

На рис. 1 зображено спрощену теплову схему енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Нечіткий регулятор призначенний для управління технологічними процесами. Для синтезу нечіткого регулятора пропонується методика, заснована на експертній інформації. Перш ніж почати синтез нечіткого регулятора, необхідно розробити його концептуальні моделі. Використання нечіткої логіки у проектувані регуляторів дає змогу підвищити їх «інтелект» та можливість навчатися.

Функціональна схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки (системи управління з нечітким регулятором або системи фаззі-управління) наведена на рис. 2. Схема складається з пристрою порівняння, нечіткого регулятора НР, об'єкта управління ОУ і ланцюга зворотного зв'язку. Нечіткий регулятор (фаззі-регулятор, fuzzy-controller) включає три основні блоки – блок фазифікації (fuzzyfication), блок формування логічного рішення (inference) і блок дефазифікації (de-fuzzy fication).

Рис. 2. Система управління з нечітким регулятором

На рис. 3 зображено структурну схему математичної моделі ММ автоматизованної системи регулювання потужності енергоблоку АЕС у режимі Т з нечітким регулятором у середовищі Simulink. У результаті отримана схема дає змогу здійснити коригування завдання для ПІ- регуляторів.

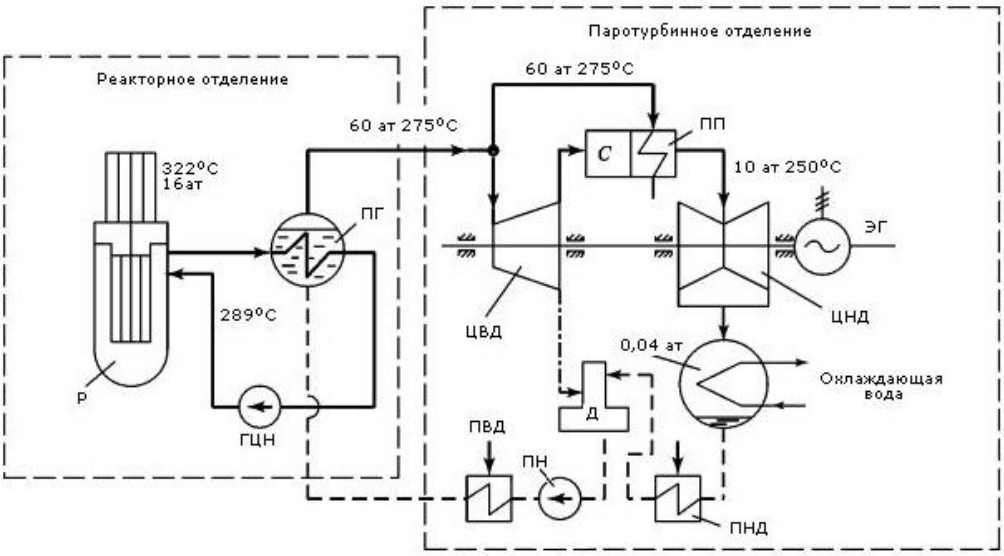

Рис. 1. Спрощена теплова схема енергоблоку АЕС із реактором ВВЕР-1000: Р – реактор; ПГ – парогенератор ; ГЦН – головний циркуляційний насос; ЦВД – циліндр високого тиску; ЦНД – циліндр низького тиску; ЕГ – електрогенератор; ПНД – підігрівач низького тиску; Д – деаератор; ПВД – підігрівач високого тиску

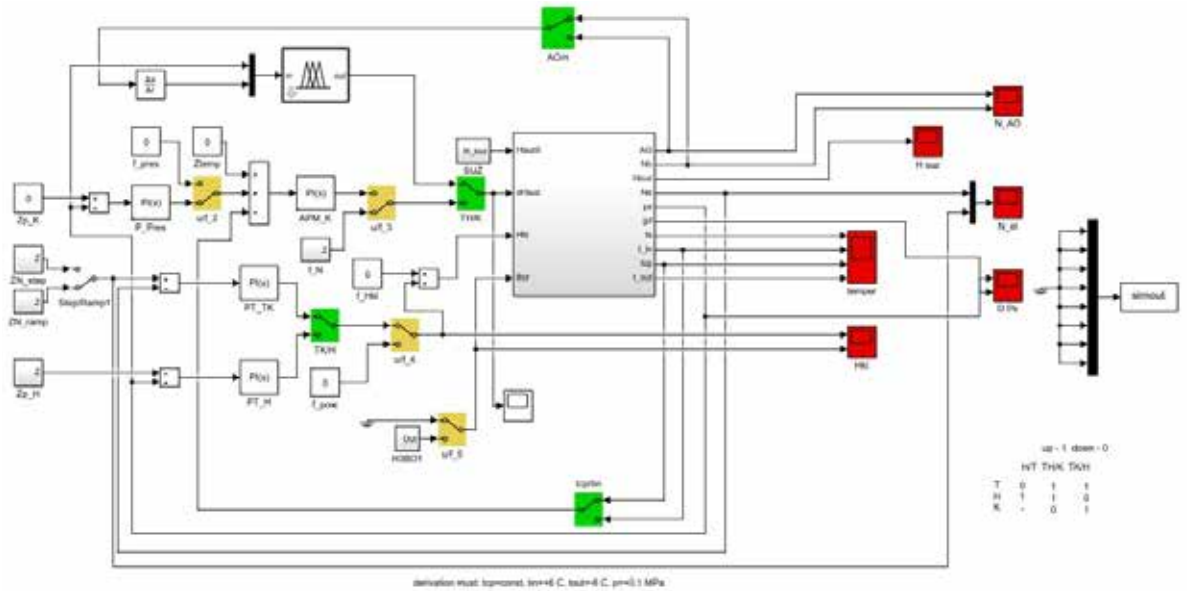

Рис. 3. Структурна схема ММ у середовищі Simulink із нечітким регулятором

Функціональні схеми автоматизації є основним проектним документом, що визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу проектованого об'єкта й оснащення його приладами та засобами автоматизації (в тому числі засобами обчислювальної техніки). Функціональні схеми являють собою креслення, які показують технологічне обладнання, комунікації, органи управління, прилади та засоби автоматизації, обчислювальної техніки та інші агрегатні комплекси із зазначенням зв'язків між приладами і засобами автоматизації.

На рис. 4 зображено розроблену функціональну схему автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС із реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари в другому контурі (режим Т).

Запропонована функціональна схема автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари у другому контурі (режим Т) включає таке технологічне обладнання, органи управління, прилади та засоби автоматизації:

1) Для вимірювання температури був вибраний термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П (див. елемент 5,7 на рис. 4), призначений для вимірювання температури поверхні твердих тіл і підшипників, газоподібних і рідких неагресивних і агресивних середовищ, матеріали захисної арматури, які не розрушають.

2) Нормуючий перетворювач НП–02 (див. елемент 14,15 на рис. 4) призначений для роботи з перетворювачами термоелектричними типу ТХА і ТХК, а також із термоперетворювачами опору типу ТСМ і ТСП. НП–02 здійснює перетворення і лінеаризацію вхідних сигналів в уніфіковані вихідні сигнали.

3) Цифровий дванадцятиканальний паперовий реєстратор Технограф-160 (див. елемент 21, 22, 23 на рис. 4), який є реєструючим приладом, призначений для вимірювання та реєстрації по дванадцяти незалежних каналах (К1–К9, КА, КВ, КС) напруги і сили постійного струму, а також неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали постійного струму або активний опір; також він призначений для візуального контролю, реєстрації, сигналізації і позиційного регулювання параметрів технологічних процесів (температури, тиску, витрати, вологості тощо). Самописець – реєстратор Технограф-160 – у всіх виконаннях має інтерфейс RS485 для зв'язку з персональним комп'ютером.

4) Тахометр електронний ТЕ-6К-ТК (див. елемент 17, 18 на рис. 4) призначений для безперервного вимірювання й індикації частоти обертання роторів турбін або валів будь-яких механізмів.

5) Виконавчий механізм для органів СУЗ (див. елемент 2 на рис. 4). Кроковий електромагнітний привід СУЗ разом із поглинаючими стрижнями (ПС), які є робочим органом системи управління і захисту, є виконавчим механізмом. Привід СУЗ призначений для переміщення ПС СУЗ, фіксації його в крайніх і проміжних положеннях, видачі інформації за допомогою датчика про становище ПС СУЗ.

Також привід СУЗ призначений для скидання ПС СУЗ в режимі аварійного захисту. За допомогою приводу здійснюється пуск, регулювання потужності і зупинка реактора шляхом введення в активну зону або виведення з неї ПС СУЗ, а також

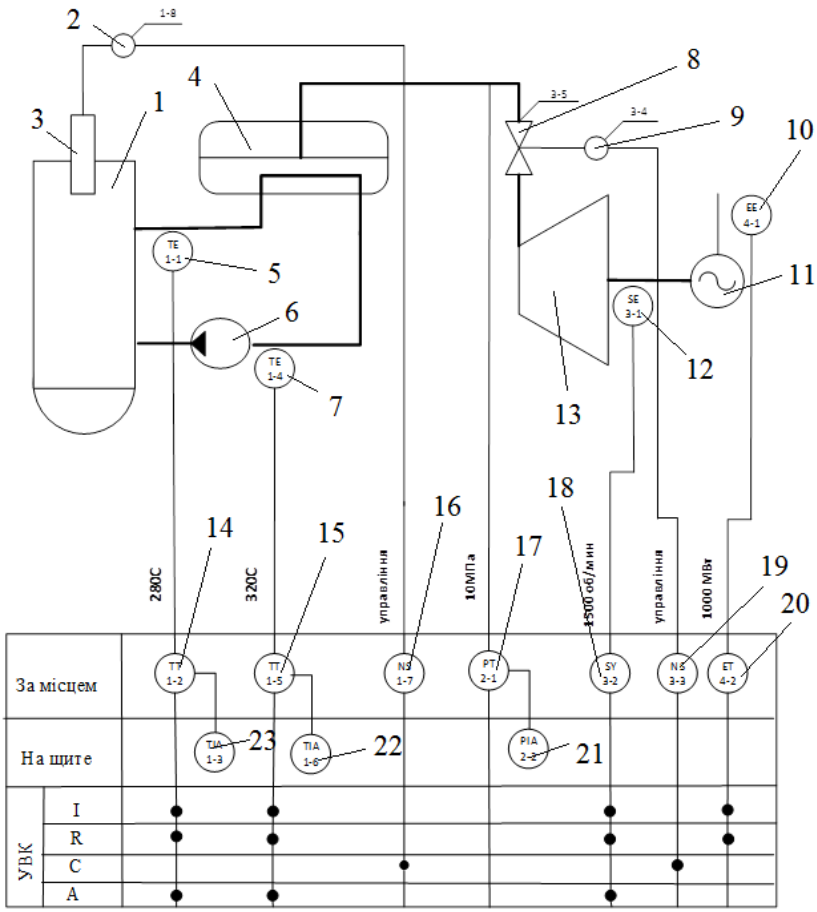

Рис. 4. Функціональна схема автоматизації регулювання потужності енергоблока в режимі Т

аварійна зупинка реактора шляхом скидання ПС СУЗ при знеструмленні приводу. Привід СУЗ є електромагнітним приводом зі зворотно-поступальним рухом якоря, розрахований на тривалу роботу в воді першого контуру під тиском.

6) Первинний перетворювач тиску серії Метран-22-АС-1 (див. елемент 17 на рис. 4) призначений для безперервного перетворення значення вимірюваного параметра (абсолютного, надлишкового тиску, розрідження, тиску розрідження, різниці тисків) в уніфікований струмовий сигнал у системах автоматичного управління, контролю і регулювання технологічних процесів на об'єктах атомної енергетики.

7) Первинний перетворювач кутової швидкості ротора (див. елемент 17 на рис. 4) призначений для перетворення частоти обертання турбіни в частоту синусоїдального сигналу. Первинний перетворювач кутової швидкості ротора являє собою безконтактний електромагнітний пристрій, який складається з двохполюсного статора і складової шестерні.

Принцип роботи первинного перетворювача кутової швидкості такий. Під час обертання ротора відбувається перерозподіл магнітного потоку магніту в магнітопроводі, що пов'язано з періодичною зміною магнітної провідності робочих повітряних зазорів, які утворені полюсами. Внаслідок цього в котушках індексується ЕРС, частота якої пропорційна кутовій швидкості обертання ротора. Діючі значення ЕРС у правій і лівій котушках рівні між собою, а фази перших гармонік ЕРС відрізняються на половину періоду основної гармоніки. При зустрічному включенні правої і лівої котушок ЕРС, що наводяться в них, алгебраїчно підсумовуються. При цьому непарні гармоніки складаються, а парні віднімаються, що дає можливість отримати менш спотворену форму вихідного сигналу.

Висновки. У роботі розглянуто роботу автоматизованної системи на базі нечіткої логіки, а також розроблено і досліджено функціональну схему автоматизації регулювання потужності енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі. Також для розробленої схеми було вибрано комплекс технічних засобів, головними достоїнствами яких є безпека, надійність і економічність експлуатації.

Список літератури:

1. Фощ Т.В. Аналіз впливу методів управління потужністю енергоблоку з водо-водяним реактором на осьової офсет / Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М. В. Нікольський. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. No 2 (8). С. 19–27.
2. Максимов М.В., Беглов К.В., Цисельська Т.А. Модель реакторної установки енергоблоку з ВВЕР-1000 як об'єкта керування потужністю / Праці Одеського політехнічного університету. 2012. № 1. С. 99–106.
3. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Розробка автоматичної системи регулювання потужності енергоблока АЕС з ВВЕР-1000 в режимі Т. Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського». Серія «Технічні науки», 2018. Вип. 29(68). Ч. 1. № 3. С. 171–174.
4. Пелюх П.О. Автоматизована система регулювання потужності енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі. Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського». Серія «Технічні науки», 2019. Вип. 30 (69). Ч. 1. № 6. С. 138–142.
5. Сучасні технології управління: в 2 т. Монографія / під заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса: Купрієнко С.В., 2012. 179 с.
6. Гостєв В.І., Нечіткі регулятори в системах автоматичного управління. К.: Радіоматор, 2008. – 972 с.

Peliukh P.O. FUNCTIONAL SCHEME OF AUTOMATED SYSTEM OF REGULATION OF POWER OF NPP WITH VVER-1000 REACTOR IN THE MODE OF STEAM PRESSURE SUPPORT IN THE SECOND CIRCUIT

The article is devoted to the development and research of the functional scheme of power control automation of the NPP power unit with VVER–1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit (mode T).

Today, all Ukrainian NPPs with VVER-1000 are operated in the mode of stabilization of the power unit at a given level. This is primarily due to the fact that currently maneuvering the power of the reactor unit (RU) is carried out by operators manually and only at the request of power system managers. Therefore, the main task of regulating the steam power plant is to maintain equality between the amount of energy produced and consumed. For a double-circuit NPP, the mismatch between the energy produced in the reactor and consumed in the turbine can manifest itself with a change in the pressure and temperature of the coolant in the first circuit and the pressure (temperature) of saturated steam in the second circuit.

The elimination of this discrepancy is the responsibility of the automatic power regulator of the power unit, which, having several operating modes, can have a controlling influence either on the controls of the control and protection system of the reactor, or on the turbine. Therefore, with the help of ARP there is a stabilization of the parameter at a given level and maintaining the efficiency of the unit.

The key to reliable and safe operation of the power unit is the resistance of the reactor to disturbances both during operation at a constant load level and in shunting mode. The quantitative measure of the stability of the reactor is the axial offset (AO) – a technological characteristic of the uniformity of energy release, so a measure of the efficiency of operation of the power unit with VVER-1000 is to minimize the deviation of the AO.

As a result, the functional scheme of automation of power control of the NPP unit with the VVER-1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit (mode T) is investigated.

Key words: *regulator, power unit, control program, automated control system, automatic power regulator, load, functional scheme of automation.*