УДК 621.311.25:621.039:661.654
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/25

Пелюх П.О.
Одеський національний політехнічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ ПІДТРИМКИ ТИСКУ ПАРИ У ДРУГОМУ КОНТУРІ

Стаття присвячена дослідженню роботи в маневреному режимі автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари в другому контурі (режим Т).

Сьогодні понад 47% електроенергії в Україні дають АЕС (Рівненська, Запорізька, Південно-Українська та Хмельницька). Енергоблоки з реакторами ВВЕР-1000, які експлуатуються на чотирьох АЕС, є найпотужнішими на території України.

Сьогодні всі українські АЕС з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблока на заданому рівні, але через роботу АЕС на енергосистему з великою кількістю споживачів електроенергії її споживання досить стрибкоподібне і залежить від потреб користувачів, сезону і часу доби. Тому дослідження роботи енергоблока ВВЕР-1000 у маневреному режимі є гострим питанням сьогодні.

Регулювання потужності реактора здійснюється системою управління і захисту (СУЗ) – зміною положення в активній зоні кластерів зі стрижнями з поглинаючими елементами (трубками з карбідом бору), а також зміною концентрації борної кислоти у воді першого контуру.

У статті розглядається регулювання потужності енергоблока 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 нейтронної потужності реактора на заданому рівні і підтримки потужності турбогенератора відповідно до потужності реактора.

У результаті досліджено автоматизовану систему регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження на реактор зі 100% до 80% і назад у програмі MatLab в прикладному пакеті Simulink. Головні достоїнства цієї моделі: безпека, надійність і економічність експлуатації енергоблоків із реакторами ВВЕР-1000.

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

Постановка проблеми. Запорукою надійної експлуатації енергоблока є його невідмовна робота за різних збурень, як у режимі постійного навантаження, так і в маневреному режимі. У багатьох роботах [1, с. 16–19; 2, с. 128–139], які присвячені дослідженню проблеми покриття змінної частини графіків навантаження, зазначається, що підвищення частки атомних електростанцій у загальновстановленій потужності вимагає використання енергообладнання у маневреному режимі. Отже, стаття присвячена дослідженню регулятора підтримки тиску у другому контурі за зміни навантаження реактора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [3, с. 19–27] розглядається аналіз впливу методів управління потужністю енергоблока з ВВЕР-1000 в маневреному режимі на кількісну міру стійкості, а саме на величину аксіального офсету.

У [4, с. 99–106] було досліджено математичну модель енергоблоку ВВЕР-1000 за компромісно-комбінованою програмою регулювання з точки зору розподілу значень найважливіших технологічних параметрів по висоті активної зони (АКЗ) реактора.

Робота [5, с. 171–174] присвячена дослідженню автоматичної системи регулювання потужності енергоблока в режимі Т. Наприклад, у роботі було розроблено систему регулювання потужності енергоблока з постійною підтримкою тиску пари в головному паровому колекторі, що дає змогу експлуатувати енергоблок у маневрених режимах.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження на реактор зі 100% до 80% і назад.

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

Регулювання потужності реактора здійснюється системою управління і захисту (СУЗ) – зміною положення в активній зоні кластерів зі стрижнів із поглинаючими елементами (трубками з карбідом бору), а також зміною концентрації борної кислоти у воді першого контуру.

У двоконтурних АЕС основним завданням регулювання паросилової установки є підтримка рівності між кількістю виробленої і споживаної енергії; невідповідність між виробляючою енергією у реакторі і споживаної в турбіні може проявлятися зі зміною тиску і температури теплоносія в першому контурі і тиску (температури) насиченої пари в другому контурі. Вказану невідповідність усуває автоматичний регулятор потужності, який згідно з режимом роботи впливає або на реактор, або на турбіну, за допомогою цього підвищуються безпека, надійність і економічність експлуатації енергоблоків із реакторами типу ВВЕР-1000.

У роботі ставиться завдання дослідження роботи регулятора за зміни навантаження реактора зі 100% до 80% і назад. На рисунку 1 зображена структурна схема математичної моделі (ММ) в середовищі Simulink. Для дослідження роботи регулятора змінюється завдання, за якого відбувається зміна навантаження реактора.

На рисунку 2 зображено перехідний процес зміни електричної потужності енергоблока. Зокрема, видно, що зміна навантаження зі 100% до 80% відбувається за 2 000 секунд, далі потужність підтримується на рівні 80% протягом 10 000 секунд, після чого відбувається повернення навантаження реактора до 100% за 2 220 секунд.

На рисунку 3 наведено фрагмент графіку зміни електричної потужності за досягнення значення 100%. Можна побачити, що під час виходу навантаження на 100% відбувається перерегулювання електричної потужності на 0,075%.

На рисунку 4 Ps) зображено перехідний процес регулювання тиску пари у другому контурі. Зокрема, видно, що на перших секундах зміни навантаження зі 100% до 80% відбувається скачок регульованого параметра, далі відбувається стабілізація параметра, після чого на 2 000 секунді, коли навантаження досягає 80%, скачок відбувається знову, далі знову відбувається стабілізація, яка триває 10 000 секунд. Починаючи з 12 000 секунди відбувається повернення навантаження реактора на 100%, оскільки і під час спуску навантаження в регулюванні параметра відбуваються два скачки – на початку збільшення навантаження і наприкінці, коли ректор виходить на 100%, відбувається перерегулювання, так само як і електричної потужності, а на 18 650 секунді відбувається повне налагодження регулятора за 100% навантаження.

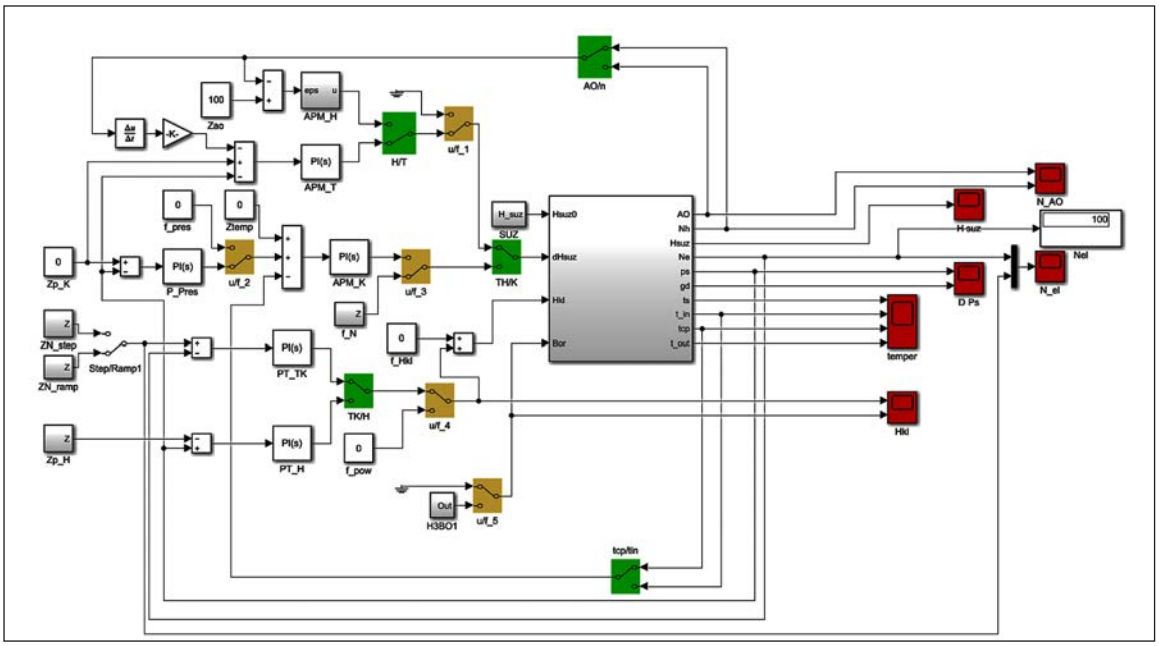

Рис. 1. Структурна схема ММ в середовищі Simulink

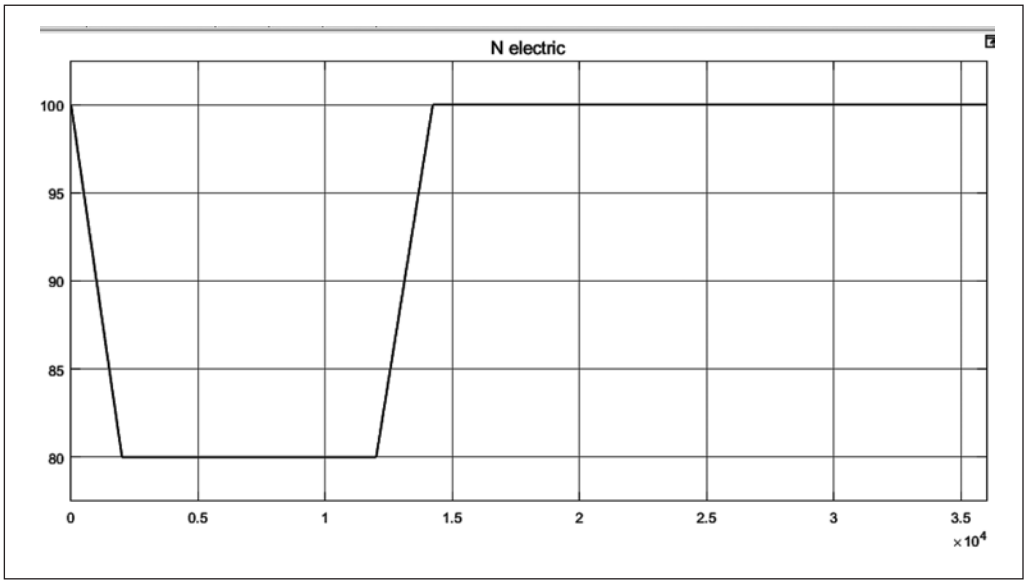

Рис. 2. Перехідний процес зміни електричної потужності енергоблока

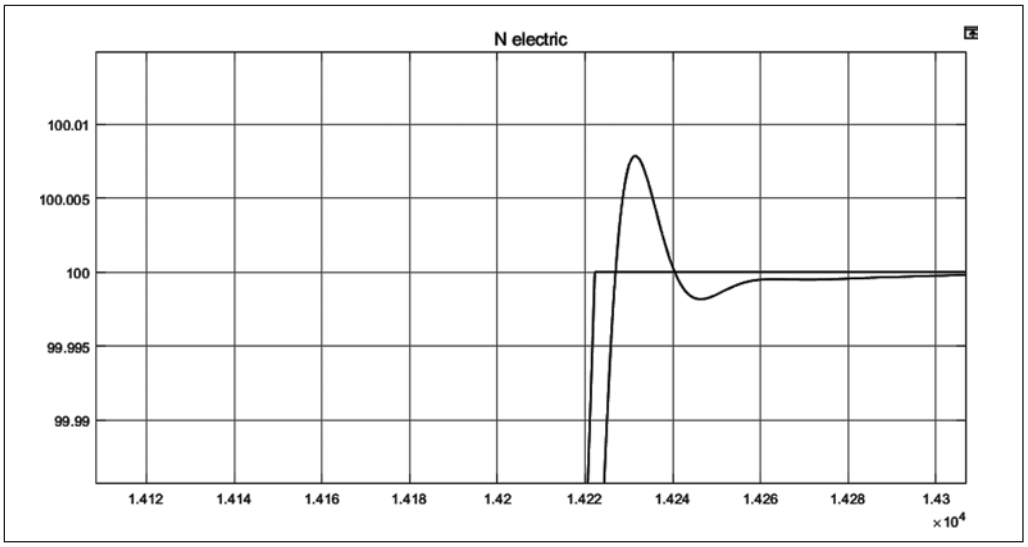

Рис. 3. Фрагмент графіку зміни електричної потужності

На рисунку 4 D) зображено зміну рівня пари у другому контурі. Зокрема, видно, що рівень пари змінюється відповідно до зміни електричної потужності.

Кількісною мірою стійкості реактора є аксіальний офсет (АО) – технологічна характеристика рівномірності енерговиділення, тому мірою ефективності експлуатації енергоблока з ВВЕР-1000 є мінімізація відхилення АО. На рисунку 5 зображено перехідний процес зміни аксіального офсету. Зокрема, видно, що АО змінюється відповідно до зміни електричної потужності енергоблока, і його значення не виходять за допустимі межі.

Висновки. У роботі розглянуто роботу автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження зі 100% до 80% і назад. З'ясовано, що робота системи в маневреному режимі є задовільною, під час виходу навантаження на 100% можна побачити перерегулювання параметрів на 0,075%, однак необхідно модернізувати систему регулювання тиску пари для поліпшення якості перехідних процесів, а саме – зменшення коливальності.

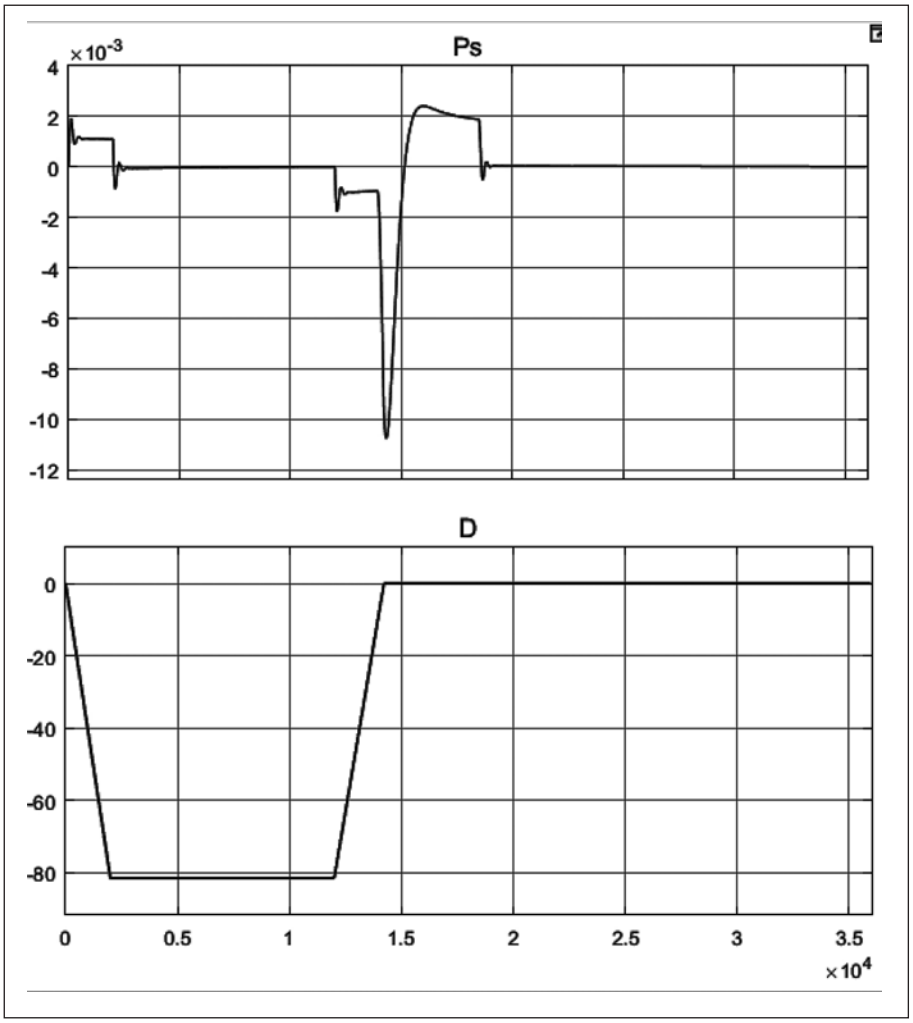

Рис. 4. Перехідний процес регулювання тиску пари у другому контурі Ps) Зміна рівня пари у другому контурі D)

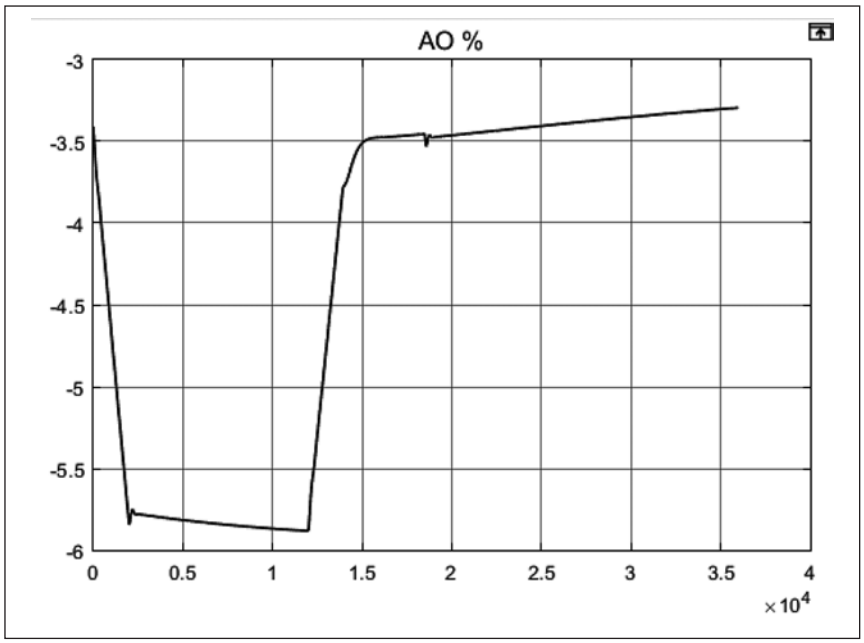

Рис. 5. Перехідний процес зміни аксіального офсету

Список літератури:

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. Игнатенко Е.И., Пыткин Ю.Н. Маневренность реакторов типа ВВЭР. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 83 с.
3. Аналіз впливу методів управління потужністю енергоблока 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.
4. Максимов М.В., Беглов К.В., Цисельська Т.А. Модель реакторної установки енергоблока з ВВЕР-1000 як об'єкта керування потужністю. *Праці Одеського політехнічного університету.* 2012. № 1. С. 99–106.
5. 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.
6. Беркович В.М., Горохів В.Ф., Татарників В.П. Про можливості регулювання енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика*. 1974. № 6. С. 16–19.
7. Сучасні технології управління : в 2 т. Монографія / за заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса : Купрієнко С.В., 2012. 179 с.

Peliukh P.O. 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 study and development of a mathematical model of an automated system for regulating the power of an NPP unit with the VVER-1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit (mode T).

Today, more than 47% of electricity in Ukraine is supplied by NPPs (Rivne, Zaporizhzhia, South-Ukrainian and Khmelnitsky). Power units with VVER-1000 reactors, which are operated at four NPPs, are the most powerful in Ukraine.

Today all Ukrainian NPPs with VVER-1000 are operated in the mode of stabilization of capacity of the power unit at the set level, but due to the operation of the NPP for the power system with a large number of electricity consumers, its consumption is rather abrupt and depends on the needs of users, season and time of day. Therefore, the study of the operation of the VVER-1000 maneuvering unit is an urgent question now.

The reactor power is regulated by a control and protection system (CPS) – by changing the position in the core of clusters with absorbent cores (boron carbide tubes), as well as by changing the concentration of boric acid in the water of the first circuit.

The article deals with regulating the power of the power unit while maintaining the pressure in the second circuit at a given level, the function of the regulator is performed by an automatic power regulator (ARP). The control unit is designed to maintain the reactor power in accordance with the power of the turbogenerator, stabilize the neutron power of the reactor at a predetermined level, and to maintain the power of the turbo generator according to the power of the reactor.

As a result, an automated system for regulating the power of an NPP unit with the VVER-1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit was investigated, when the load on the reactor was changed from 100% to 80% and back in the MatLab software package Simulink. The main advantages of this model: safety, reliability and economy of operation of power units with VVER-1000 reactors.

Key words: *controller, power unit, control program, automated control system, automatic power regulator, load.*