

УДК 681.51

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-67-1-4

ЯРОЦЬКИЙ М. М.

Одеський національний політехнічний університет

## ОГЛЯД СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ ПАРОГЕНЕРАТОРА БЛОКУ ВВЕР-1000

*Досліджені властивості парогенератора блоку ВВЕР-1000, виведені основні характеристики об'єкта і вказані основні принципи, які допоможуть застерегти від помилок у вивченні даного питання. Представлені види автоматичних систем регулювання та вивчені основні недоліки кожної з систем регулювання. На основі зробленого аналізу було встановлено, яка саме автоматична система регулювання є найбільш краща для парогенератора. Пояснений процес знаходження параметрів регулятора та коефіцієнтів пристроїв зв'язку для каналу витрати пари, витрати живильної води та рівня води в парогенераторі. В більшості публікацій не робиться пояснень, чому використовується 3-імпульсна автоматична система керування, не виконується порівняння з іншими системами регулювання, і просто приводиться вже як факт що використовується 3-імпульсна система регулювання без пояснень та тонкощів налаштування самої системи регулювання. Не робляться пояснення стосовно налаштування регулятора для 3-імпульсної автоматичної системи регулювання і для чого потрібні коефіцієнти пристроїв зв'язку. Тому в статті зроблено пояснення, чому використовується 3-імпульсна автоматична система регулювання а не 2-імпульсна, як правильно налаштувати регулятор рівня води та як налаштувати пристрої зв'язку і для чого вони потрібні. Приведена модель парогенератора в середовищі Simulink та показано яким чином проходить налаштування спочатку пристроїв зв'язку і потім знаходження параметрів для ПІ-регулятора. Зроблені висновки стосовно застосування 3-імпульсної системи регулювання, яку модернізацію вона отримала на виробництві та доцільність її використання.*

*Ключові слова:* парогенератор блоку ВВЕР-1000, витрата води, витрата пари, тиск, блок ВВЕР-1000.

M. YAROTSKYI

Odessa National Polytechnic University

## OVERVIEW OF THE WATER LEVEL CONTROL SYSTEM OF THE VVER-1000 UNIT STEAM GENERATOR

*The properties of the steam generator of the VVER-1000 unit are studied, the main characteristics of the object are deduced and the basic principles which will help to warn against mistakes in studying of this question are specified. The types of automatic control systems are presented and the main disadvantages of each of the control systems are studied. Based on the analysis, it was determined which automatic control system is the best for the steam generator. The process of finding the parameters of the regulator and the coefficients of communication devices for the steam flow channel, feed water flow and water level in the steam generator is explained. Most publications do not explain why the 3-pulse automatic control system is used, do not compare with other control systems, and simply cite the fact that the 3-pulse control system is used without explanations and subtleties of setting up the control system itself. No explanation is given regarding the setting of the controller for the 3-pulse automatic control system and why the coefficients of the communication devices are required. Therefore, the article explains why a 3-pulse automatic control system is used instead of a 2-pulse one, how to properly adjust the water level regulator and how to configure communication devices and why they are needed. The model of the steam generator in the Simulink environment is resulted and it is shown how adjustment of at first communication devices and then finding of parameters for PI-regulator passes. Conclusions are made regarding the application of the 3-pulse control system, what modernization it received in production and the expediency of its use.*

*Keywords:* VVER-1000 unit steam generator, water flow rate, steam flow rate, pressure, VVER-1000 unit.

**Вступ.** Парогенератор є теплообмінником трубчатого типу, призначений для переробки тепла, що виробляється реактором, для приведення в рух турбіни. Через те, що реактор ВВЕР-1000 є двоконтурним, пар який генерується в парогенераторі залишається радіоактивно чистим. Парогенератор є важливим компонентом циркуляційної петлі першого контуру реактора ВВЕР-1000. Він розташований на кожній петлі першого контуру між корпусом реактора і головних циркуляційних насосів. Парогенератори діють як сполучна ланка між першим і другим контуром енергоблоку. Теплоносій першого контуру проходить по трубах парогенератора, де тепло передається в другий контур, створюючи суху насичену пару. Так як теплоносій першого контуру протікає по трубах, він ніколи не потрапляє і не змішується з середовищем другого контуру. Це дозволяє використовувати ядерне паливо, в той же час підтримуючи радіоактивну чистоту пара. Тому підтримка рівня води в парогенераторі являється одним з важливих аспектів роботи енергоблоку. Тому виникає завдання максимально дослідити системи автоматичного регулювання та розібрати чому саме ця автоматична система застосовується на такому важливому об'єкті.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Вивчаючи літературу яка наявна у відкритому доступі, завжди використовується трьохімпульсна автоматична система регулювання, але не наводиться аргументів чому саме дану систему регулювання треба використовувати. Немає детальних пояснень у налаштуванні даної автоматичної системи регулювання.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження являється огляд всієї теорії стосовно регулювання рівня води в парогенераторі блоку ВВЕР-1000, виведення детальної інформації стосовно регулювання рівня в парогенераторі та пояснення стосовно застосування саме даної автоматичної системи регулювання. Завдання які ставляться в даній темі прості, саме головне це внести необхідні пояснення стосовно застосування та налаштування 3-імпульсної автоматичної системи регулювання.

**Методи і матеріали досліджень.** Після короткого пояснення, перейдемо до теми публікації. А саме до вибору схеми і закону регулювання рівня води в парогенераторі блоку ВВЕР-1000. Регулювання живлення в парогенераторі зводиться до підтримки рівня живильної води в парогенераторі. Використання пропорційно-інтегрального (ПІ) закону регулювання для астатичного об'єкта з ефектом «набухання», не забезпечує потрібної якості регулювання. Так як інтегральний закон дає погану стійкість системи. Пропорційний закон не допустимий через статичну похибку регулювання. Тому для регулювання рівня в парогенераторі використовують комбіновану автоматичну систему регулювання (АСР). Регулювання по відхиленню з П-регулятором і контуром інваріантності по основному збуренню – витраті пари. Схема АСР з пристроєм вводу сигналу по витраті пари зображена на рис. 1.

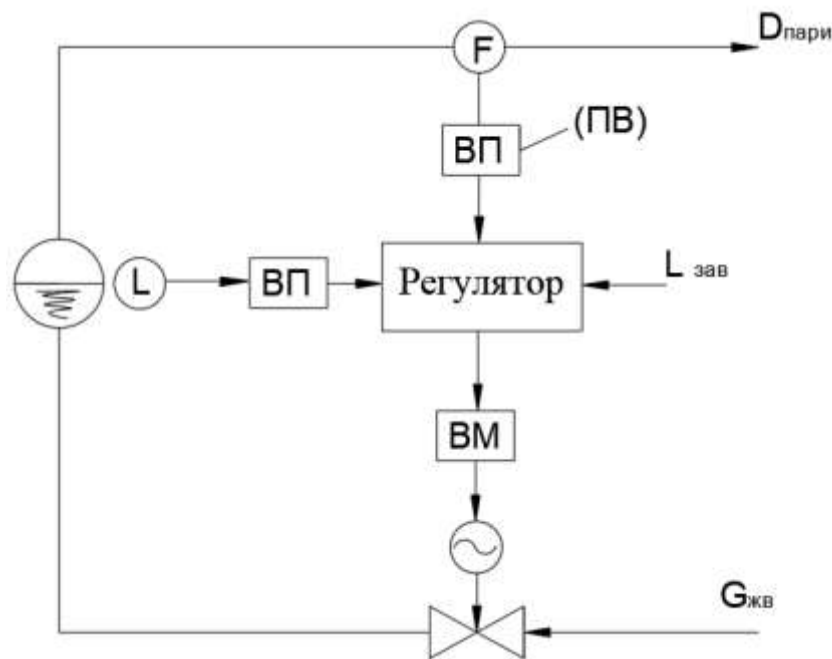


Рис. 1. Схема автоматичної системи регулювання з пристроєм вводу сигналу по витраті пари:  
де ВП – вимірювальний перетворювач; ПВ – пристрій вводу сигналу по витраті пари; ВМ – виконуючий механізм

В цій АСР в регулятор заносяться сигнали по витраті пари та рівню води в парогенераторі. Регулятор зрівнюючи сигнали з завданням, наносить керуючий вплив на виконуючий механізм, в якості якого виступає регулюючий клапан живильної води.

Не дивлячись на приведення здавалось би адекватного прикладу АСР, у неї є свої недоліки які дозволяють її використовувати в промисловості.

Недоліки даної 2-імпульсної АСР наступні:

1. Витрата живильної води через регулюючий живильний клапан залежить не тільки від положення клапана, але і від перепаду тиску на даному клапані, адже в процесі експлуатації перепад тиску може змінюватися.

2. В дифманометрах-витратомірах минулих років виробництва, вихідний сигнал був пропорційний квадратному кореню з перепаду тиску.

Постає питання в модернізації АСР, адже дана не зможе забезпечити потрібної якості регулювання і може нанести непоправної шкоди як для об'єкта так і для всієї атомної станції. Тому вказані недоліки 2-контурної АСР можна виправити за допомогою введення в регулятор третього імпульсу по витраті живильної води від дифманометра-витратоміра. І це вже виходить, що схема буде 3-імпульсна. Насамперед треба пояснити в чому різниця 2- і 3-імпульсної системи відповідно. Різниця дуже проста. Адже якщо дивитися на прикладі який був приведений вище, 2-імпульсна система використовує сигнали з інформацією по витраті пари та по рівню води в парогенераторі, а вже 3-імпульсна система буде складатися з трьох сигналів: сигнали по витраті пари, рівню води в парогенераторі та витраті живильної води.

3-імпульсна АСР яка зображена на рис. 2.

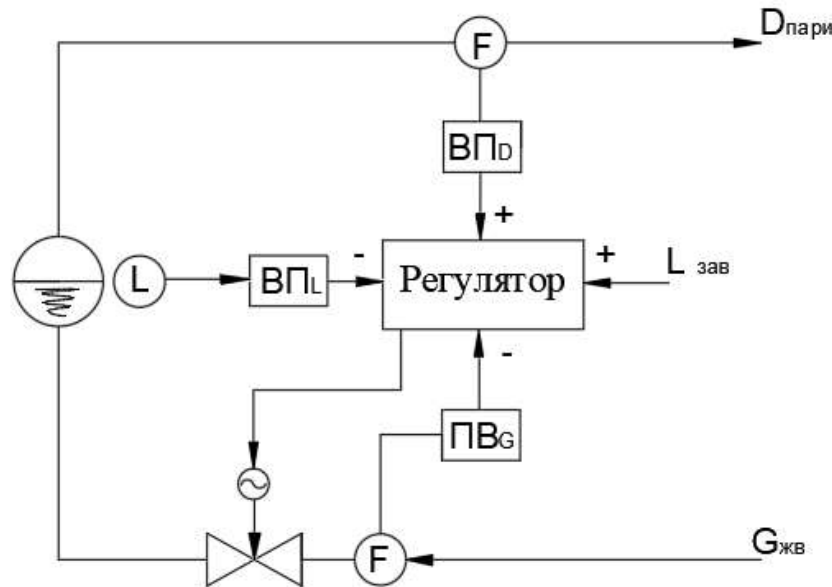


Рис. 2. Принципова схема 3-імпульсної автоматичної системи регулювання

Принцип роботи даної АСР в тому, що сигнали по витраті пари та витраті живильної води вводяться в регулятор з різними знаками. В сталому режимі ці сигнали рівні та протилежні за знаком і слідуючи з цього, компенсують один одного. А сигнал по рівню води компенсується сигналом завдання по рівню води. І тому дана АСР являється більш кращою з точки зору регулювання і тому використовується вже не один рік. Але хоч і виникають проблеми з тим, що при вимірюванні витрати пари, виникає перепад тиску пари який не критичний для ТЕС, але критичний для АЕС. Саме тому замість сигналу по витраті пари, використовують сигнал по різниці температур в гарячій і холодній нитці циркуляційного трубопроводу першого контуру. Але і в такому випадку виявилися недоліки, а саме при збільшенні електричної потужності змінювалась температура живильної води, яка і вносила похибку в розрахунок витрати пари. А також ще одним недоліком являється те, що при відключенні головного циркуляційного насоса виникає запізнення сигналу по витраті живильної води що приводить до збільшення рівня води в парогенераторі блоку. Але і для цих проблем знайшлися рішення. Була введена різниця по температурі живильної води в двох нитках. А для більш швидкого регулювання при зміні витрати пари, був введений сигнал по швидкості зміни тиску в паровому колекторі.

В середовищі Simulink детально буде показано як правильно будувати 3-х імпульсну автоматичну систему регулювання. На рис. 3 зображена модель парогенератора блоку ВВЕР-1000 в середовищі Simulink.

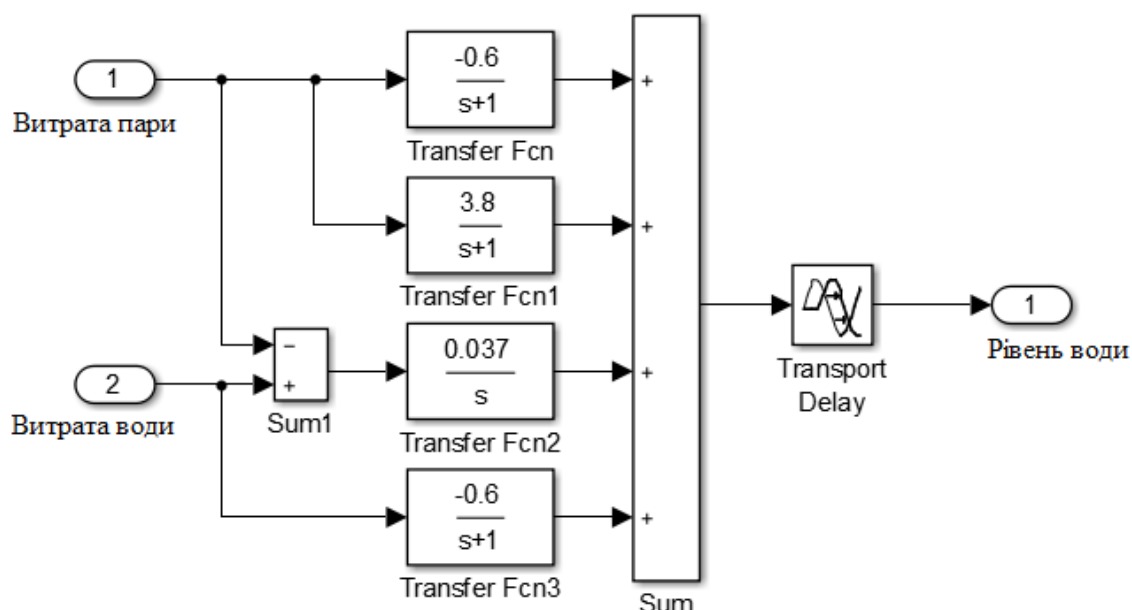


Рис. 3. Модель парогенератора в середовищі Simulink

Представлена модель парогенератора спрощена, так як має два входи а саме: канал по витраті живильної води та канал по витраті пари. Дана модель і буде застосована для побудови 3-імпульсної автоматичної системи регулювання. Для початку треба знайти коефіцієнти приладів зв'язку, для цього потрібно подати збурення по каналу витрати води. Отримана крива розгону обробляється і від неї отримуються коефіцієнти приладів зв'язку по каналу витрати води та витрати пари. Дані коефіцієнти являють собою коефіцієнти передачі дифманометра рівнеміру, витрати пари та витрати води. Для рівнеміру коефіцієнт буде рівний 1. Знайшовши необхідні коефіцієнти, необхідно знайти параметри ПІ-регулятора. Для цього знову знімаємо криву розгону зі збуренням по витраті води помножений на коефіцієнт приладу зв'язку і отримаємо нову криву розгону, з якої і будуть знайдені параметри для регулятора рівня води парогенератора блоку ВВЕР-1000. Загальна структура 3-імпульсної автоматичної системи регулювання в середовищі Simulink зображена на рис. 4.

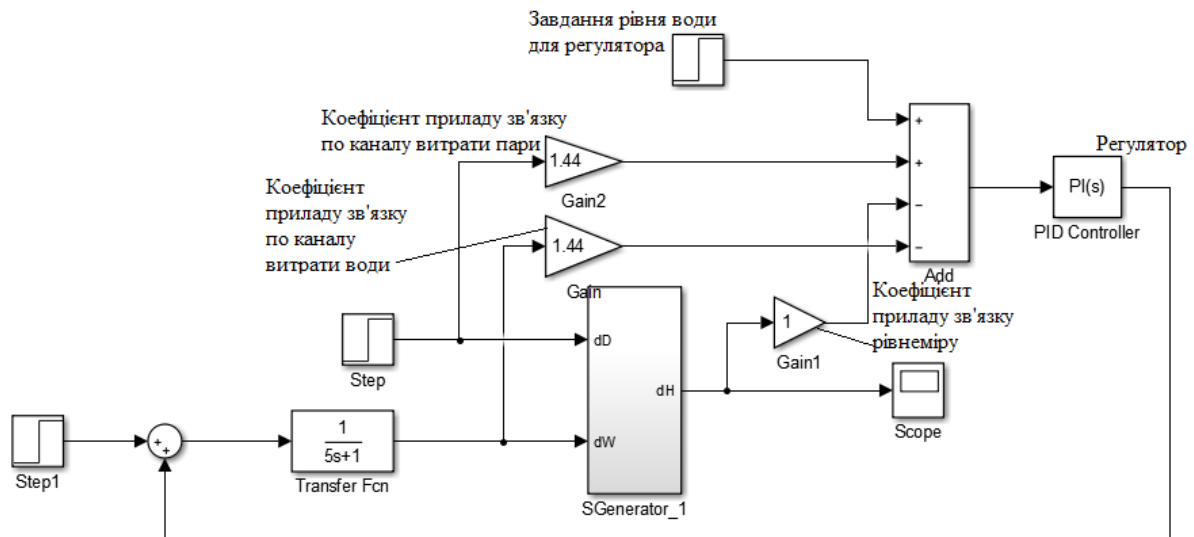


Рис. 4. Трьохімпульсна автоматична система регулювання в середовищі Simulink

Коефіцієнти приладів зв'язку край необхідні, адже без них не буде працювати система регулювання. Результати регулювання рівня води приведені на рис. 5 та 6.

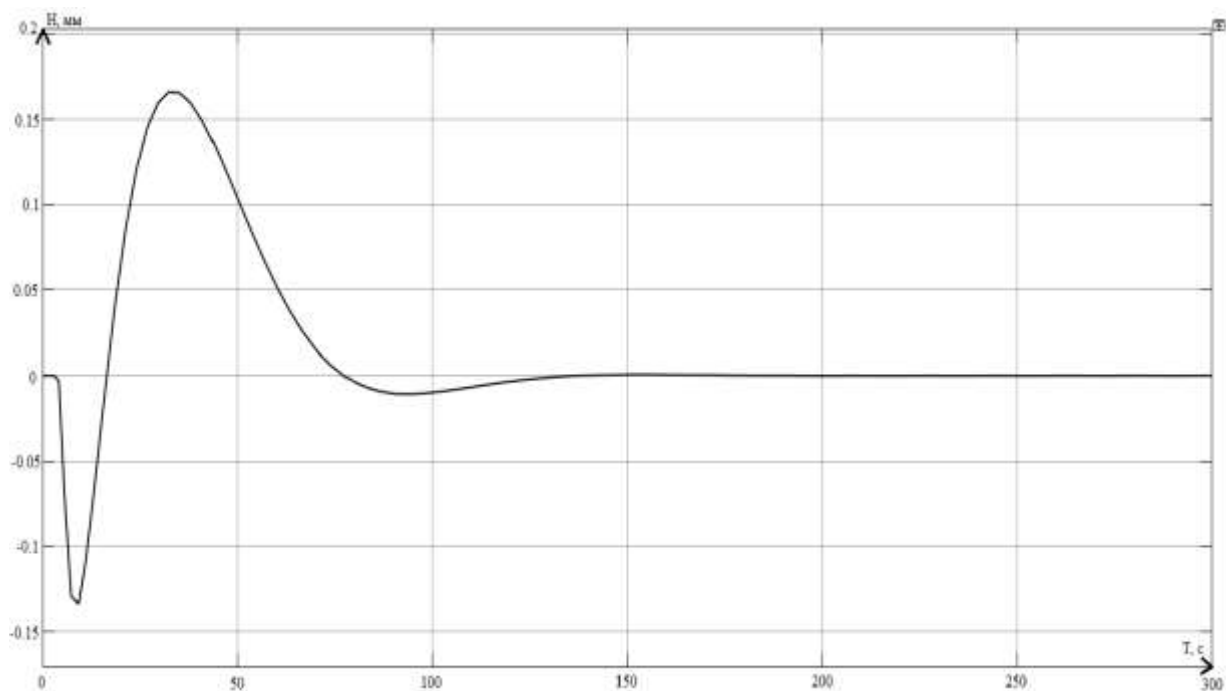


Рис. 5. Регулювання рівня води в парогенераторі при збуренні по витраті живильної води в середовищі Simulink

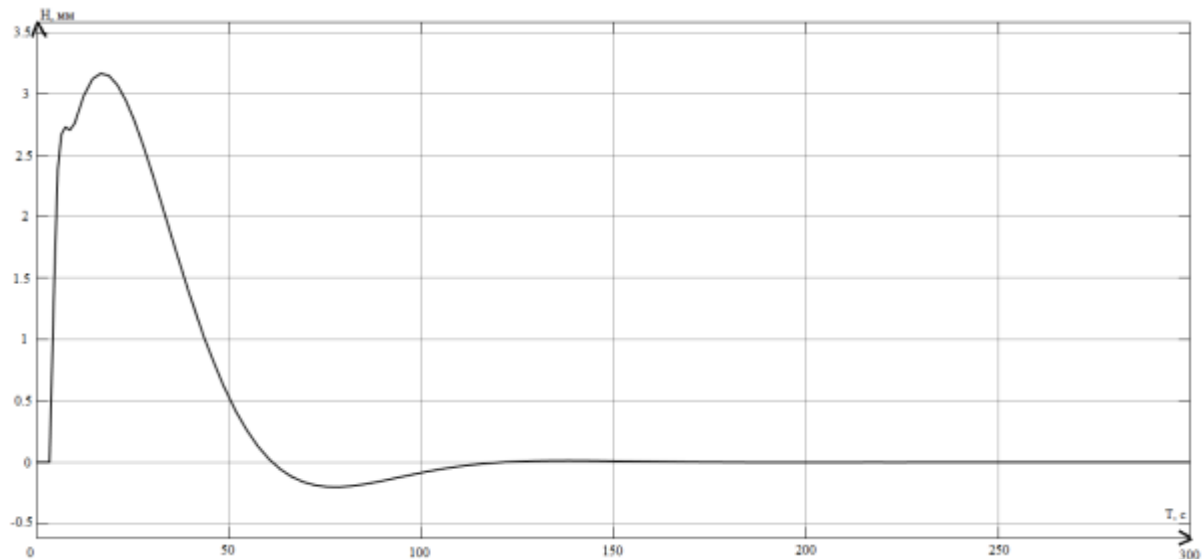


Рис. 6. Регулювання рівня води в парогенераторі при збуренні по витраті пари в середовищі Simulink

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результатом розгляду даної теми, був детальний розбір побудови 3-імпульсної автоматичної системи регулювання та розглянуто її застосування в середовищі Simulink. Дана система регулювання показала себе якнайкраще з точки зору регулювання рівня води парогенератора блоку ВВЕР-1000. Відхилення рівня води в динаміці не перевищують критичних значень і тому дана система регулювання добре виконує свою роботу. Були також вказані необхідні параметри, без котрих дана система регулювання не змогла би працювати.

**Висновки.** Виконуючи дослідження даного питання, можна зробити наступні висновки: регулювання живлення парогенератора блоку ВВЕР-1000 зводиться до підтримки рівня води в парогенераторі. Це підтримка балансу між живленням парогенератора живильною водою та витратою пари. Тому більш ефективно буде використовувати саме 3-імпульсну автоматичну систему регулювання. На реальній атомній електростанції 3-імпульсна система регулювання була дещо доповнена, з деякими поправками на те, що сигнал по витраті пари буде замінюватись іншими сигналами які і допоможуть дотримуватись балансу між витратою води і витратою пари в парогенераторі. В середовищі Simulink 3-імпульсна система регулювання добре себе зарекомендувала і тому саме вона застосовується на даний момент на реальному об'єкті. Треба не забувати також про нюанси з якими можливо зустрінеться при побудові системи регулювання в середовищі Simulink, адже якщо не дотримуватись даних рекомендацій, система регулювання не буде працювати з достатньою ефективністю та буде збільшуватись час регулювання.

## References

1. V.A. Demchenko, Automatic control systems and technological processes NPP and TPS. Odesa: Astroprint, 2001, 305 p.
2. G. T. Kulakov et al., "Matematicheskoe modelirovanie perekhodnyh processov trekhimpul'snoy sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya pitaniya vodoj parogeneratora na sbros nagruzki," Energy. Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS, no. 1, pp. 57-64, 2014.
3. V.S. Mihajlenko et al., "Sintez nejromerezhevoj sistemi avtomatichnogo reguluvannya rivnya vodi v barabani kotla energobloku TES," Scientific news of NTUU "KPI", no. 5, pp. 45-51, 2012.
4. N.V. ZHukova et al., "Issledovanie SAR urovnya vody v PG," Donetsk National Technical University, no. 1, pp. 8-10, 2011.