

**Плохотнюк М.А.**

Одеський національний політехнічний університет

**Уліцька О.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ АЕС

*На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним із способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів. Система регенерації турбоустановки призначена для підвищення термодинамічного ККД її циклу шляхом підігрівання основного конденсату і живильної води паром нерегульованих відборів турбіни. Необхідно враховувати також, що після аварії на Чорнобильській АЕС атомній енергетиці приділяється пильніша увага і стають більш суворими вимоги до надійності систем контролю, управління і захисту – як із боку державних наглядових органів, так і з боку світової спільноти. Упровадження систем автоматизованого управління рівнем конденсату в підігрівачах низького тиску, побудованих на основі програмованих контролерів, допомагає автоматизувати процес контролю рівня конденсату в підігрівачах низького тиску. Застосування такої системи дає змогу підвищити коефіцієнт корисної дії атомної електростанції.*

*Підтримання заданого рівня конденсату в підігрівачах низького тиску є складовою частиною автоматизованої роботи атомної електростанції. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня конденсату від нормального призводить до затоплення поверхонь теплообміну, а іноді призводить до проскакування крапель води до турбіни; пониження рівня призводить до проскакування конденсату до конденсаційних насосів, що призводить до кавітації. Тому виникла необхідність синтезу та аналізу автоматизованої системи регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів низького тиску, що дає змогу підтримувати характерний технологічний параметр.*

*Є регенеративні підігрівачі двох типів: змішувального та поверхневого. До складу групи підігрівачів низького тиску атомної електростанції входять два підігрівачі низького тиску змішувального типу та два поверхневого. У статті розглядається автоматизована система регулювання рівня конденсату в підігрівачах низького тиску поверхневого типу.*

**Ключові слова:** автоматизована система регулювання, підігрівач низького тиску, атомна електростанція, автоматизація, математична модель, передавальна функція.

**Постановка проблеми.** На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним із способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів. Одним із таких процесів є регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів низького тиску.

Система регенерації турбоустановки призначена для підвищення термодинамічного ККД її циклу шляхом підігрівання основного конденсату і живильної води паром нерегульованих відборів турбіни [2, с. 239]. Був запропонований новий алгоритм підтримки рівня конденсату в ПНТ. Для реалізації запропонованого алгоритму в АСР ПНТ була розроблена математична модель, за допомогою якої досліджувались властивості ПНТ за різних програм регулювання. Для реалізації АСР був застосований ПІ-закон регулювання.

**Постановка завдання.** Мета статті – дослідити синтез автоматизованої системи регулювання рівня конденсату в ПНТ. Упровадження систем автоматизованого управління рівнем конденсату в ПНТ, побудованих на основі програмованих контролерів, допомагає автоматизувати процес контролю рівня конденсату в підігрівачах низького тиску. Застосування такої системи дає змогу підвищити ККД атомної електростанції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На блоках АЕС в експлуатації є чотири ступені підігріву основного конденсату з підігрівниками поверхневого типу. Конденсаційні насоси 2-го ступеня через підігрівачі низького тиску подають конденсат на деаератор (рис. 1).

У роботі є всі підігрівачі низького тиску. Пройшовши три паралельно включені ПНТ-1, основний конденсат направляється через охолоджувач



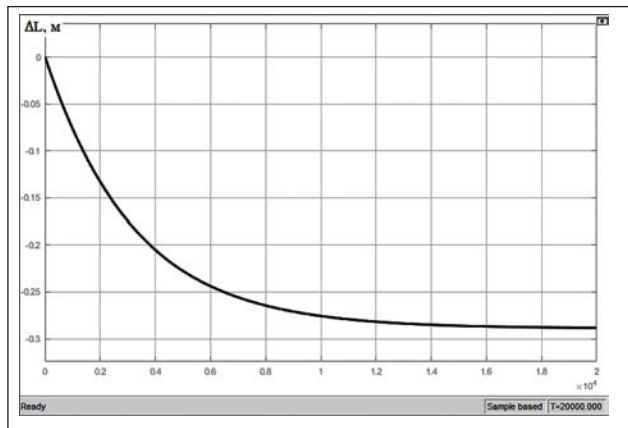


Рис. 2. Статична характеристика по каналу «ступінь відкриття клапана – рівень»

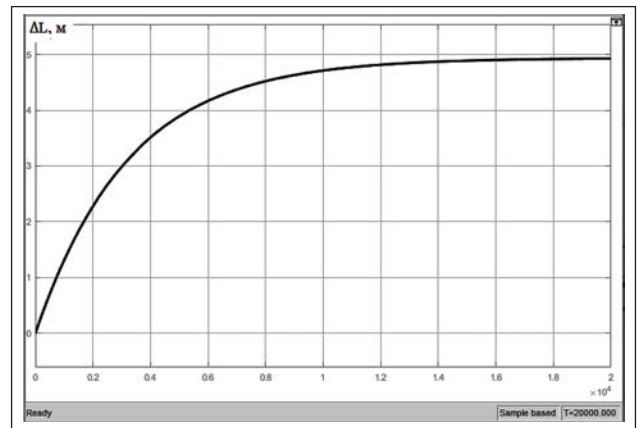


Рис. 3. Статична характеристика по каналу «витрата пари – рівень»

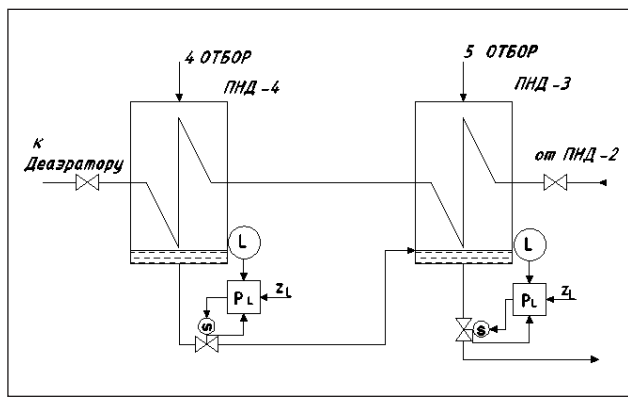


Рис. 4. Схема регулювання рівня конденсату в групі ПНТ

Під час підвищення рівня затоплюються поверхні теплообміну. У разі аварійного розвантаження енергоблока тиск пари різко зменшується, що призводить до закипання дренажу і можливості попадання його в турбіну. За низького рівня конденсату можливе проскакування пари або в нижчий підігрівач, що зменшує ККД, або в дренажний насос, що призводить до кавітації.

Динамічні властивості ПНТ описуються рівнянням інтегруючої ланки. З цієї причини для регулювання рівня використовують ПІ-закон регулювання. Для поліпшення процесу регулювання в ПНТ між регуляторами встановлюють пристрої динамічного зв'язку. Властивості

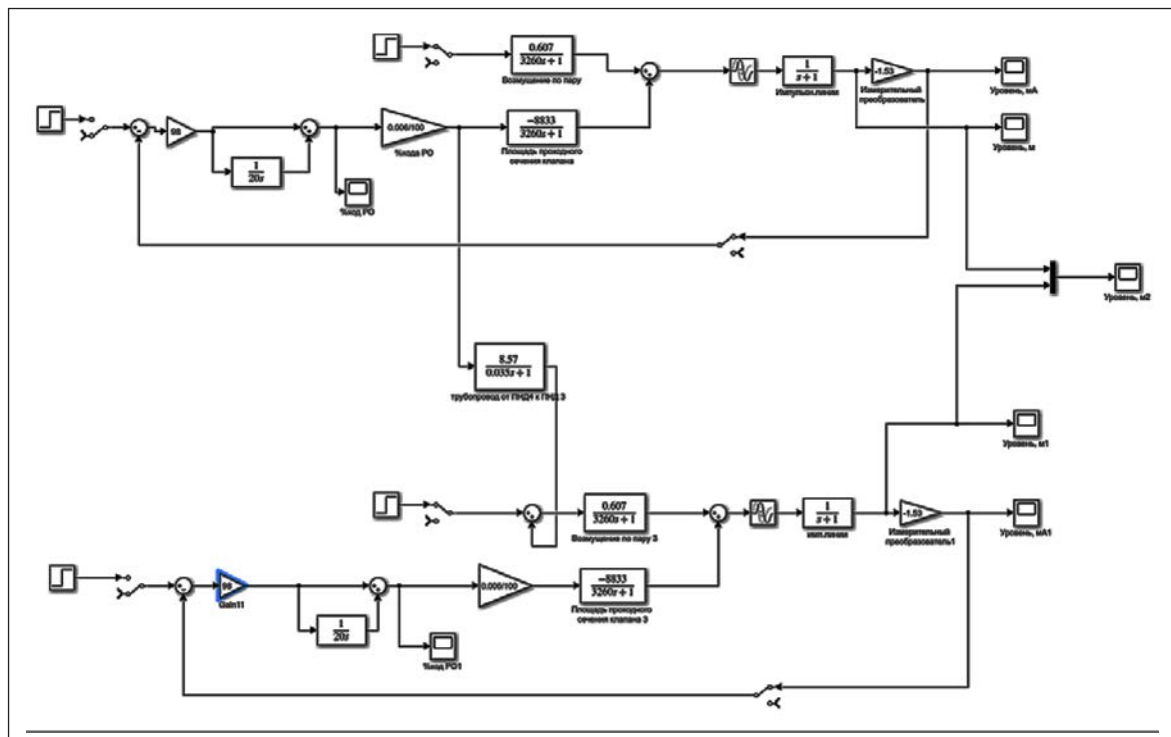


Рис. 5. Математична модель регулювання рівня конденсату в групі ПНТ

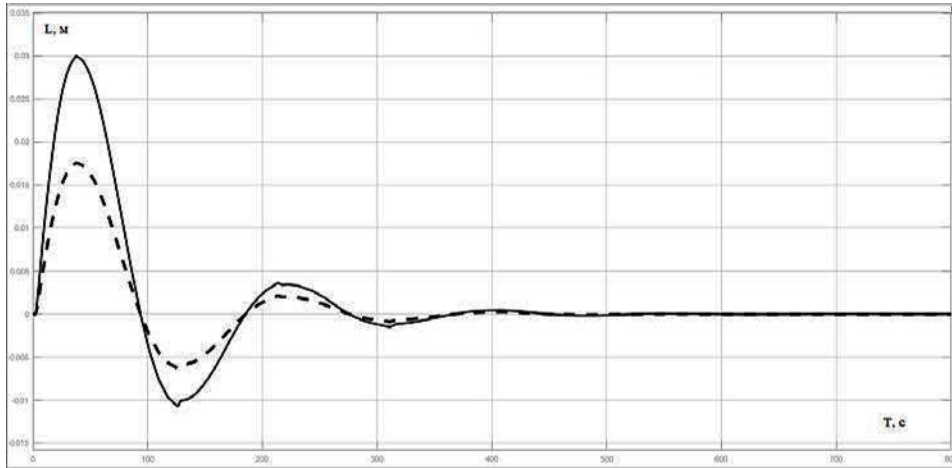


Рис. 6. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ (- ПНТ-4; -- ПНТ-3)

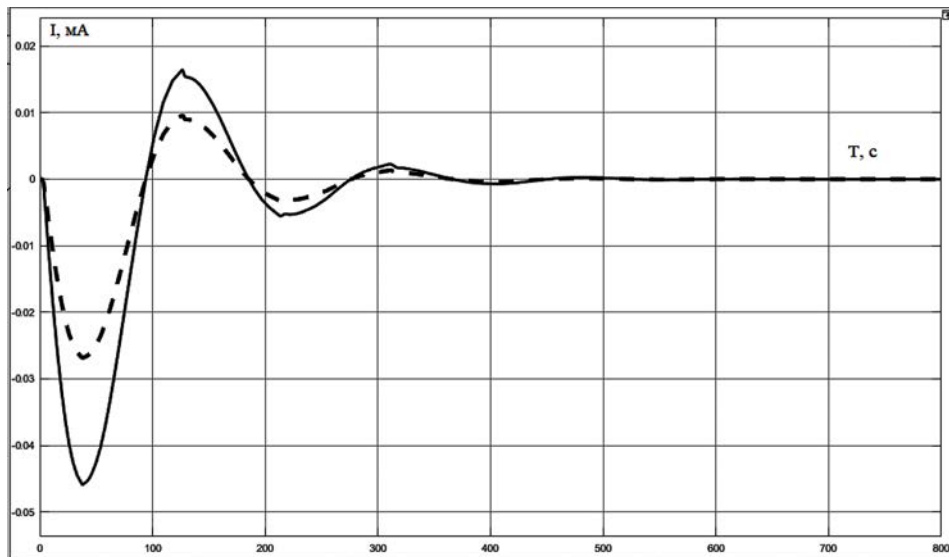


Рис. 7. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ (- ПНД-4; -- ПНД-3)

динамічної ланки визначаються умовою інваріантності. Схема регулювання представлена на рисунку 4.

Розраховану математичну модель необхідно реалізувати в середовищі Simulink, що дасть змогу наочно простежити зміну перехідного процесу з урахуванням додавання регулятора і без нього.

Для пояснення процесу так само необхідні графіки зміни положення РК і свідчення зміни рівня конденсату в підігрівачі.

Структурна схема регулювання рівня конденсату в групі ПНД представлена на рисунку 5.

Отримано перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ під час подачі збу-

рення по каналу витрати пари, який представлений на рисунках 6 і 7.

Компенсація РК під час подачі збурення по пару в групі ПНТ представлена на рисунку 8.

За перехідними процесами регулювання видно, що регулятор справляється зі своїм завданням і виконує регулювання рівня в ПНТ-3 і ПНТ-4. Різниця в першому відхиленні зумовлена тим, що ПНТ-4 і ПНТ-3 з'єднує трубопровід, що призводить до зливу конденсату з наступного ПНТ в попередній.

Для перевірки стійкості АСР проведемо випробування у Simulink. Аналіз даних представлений у таблиці 1.

Аналіз випробувань

Збурення витратою пари	Тр, с		Δh max, мм		Ψ	
	ПНТ-4	ПНТ-3	ПНТ-4	ПНТ-3	ПНТ-4	ПНТ-3
+10%	500	450	30	17	0,13	0,18
+15%	550	500	45	27	0,12	0,11
-10%	500	450	-30	-17	0,12	0,17
-15%	550	500	-45	-27	0,12	0,10

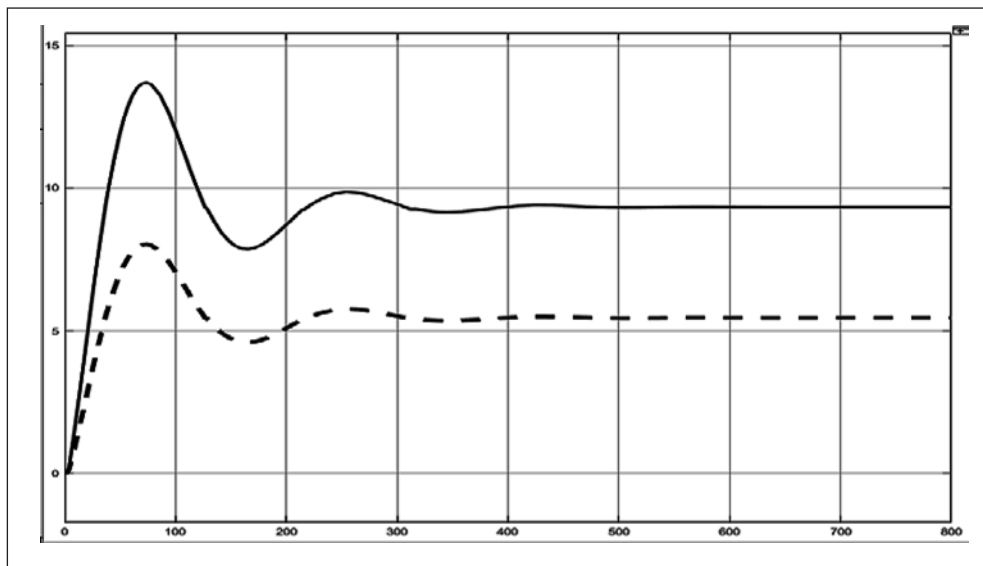


Рис. 8. Компенсація РК під час подачі збурення по парі (- ПНТ-4; -- ПНТ-3)

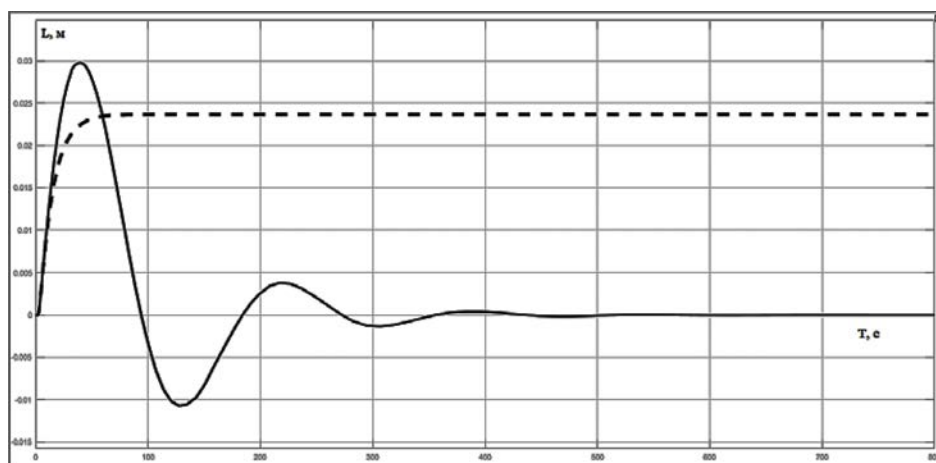


Рис. 9. Порівняння П-регулятора (--) та ПІ-регулятора (-) в регулюванні рівня ПНТ-4

Отже, аналіз даних, наведений у таблиці 1, доводить, що ця структура АСР здатна забезпечити стійкість АСР.

Для того, щоб переконатися в якості ПІ-регулятора, порівнюємо його з П-регулятором. Для цього використаємо Simulink. Перехідні процеси регулювання П- та ПІ-регуляторів представлені на рисунках 9 та 10.

За перехідними процесами регулювання видно перевагу ПІ-регулятора, а саме – відсутність статичної похибки регулювання.

**Висновки.** Для визначення динамічних характеристик ПНТ отримала подальший розвиток математична модель, заснована на розв'язку рівнянь збереження маси, енергії та об'єму. У результаті проведеного аналізу впливу

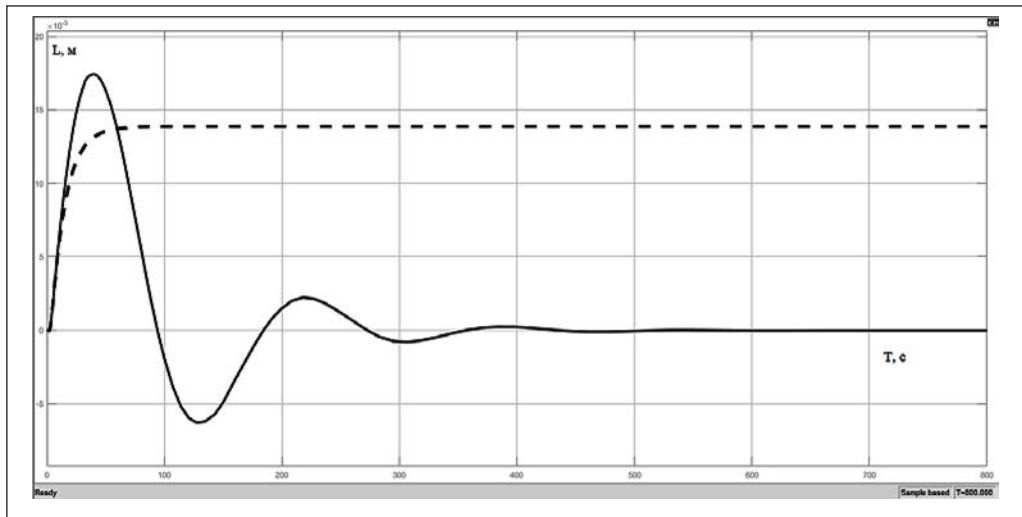


Рис. 10. Порівняння П-регулятора ( - - ) та ПІ-регулятора ( - ) в регулюванні рівня ПНТ-3

зовнішніх збурень отримано криві розгону збурюючими каналами, використовуючи програмне забезпечення Simulink. Розроблена математична модель може бути використана для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання.

#### Список літератури:

1. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблока АЕС. Праці Одеського політехнічного університету. 2015. Вип. 2 (36). С. 7.
2. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЭС. Одеса : Асторпринт, 2001. С. 239–240.
3. Преображенский В.П. Теплотехнічні виміри і прилади : підручник для ВНЗ за фахом «Автоматизація теплоенергетичних процесів». 3-є вид., перероб. Москва : Енергія, 1978. 704 с.

#### **Plohotniuk M.O., Ulitska O.O. RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONDENSATE LEVEL CONTROL SYSTEM IN THE LOW PRESSURE HEATER GROUP**

*At nuclear power plants, much attention is paid to safety, reliability and quality of operation of the main equipment. One way to improve the quality of these issues is through the automation of technological processes. The turbine plant regeneration system is designed to enhance the thermodynamic efficiency of its cycle by heating the main condensate and feed water with steam from unregulated turbine selections. It should also be borne in mind that after the Chernobyl disaster, nuclear energy has been given closer attention and stricter requirements for the reliability of control, management and protection systems, both from state supervisors and from the international community. The introduction of automated condensate level control systems in low pressure heaters, built on the basis of programmable controllers, allows to automate the process of controlling the condensate level in low pressure heaters. The use of such a system allows to increase the efficiency of a nuclear power plant.*

*Maintaining a predetermined level of condensation in low pressure heaters is an integral part of the automated operation of a nuclear power plant. The urgency is that increasing the condensate level from normal leads to flooding of the heat transfer surfaces, and sometimes leads to the leakage of water droplets into the turbine; lowering the level causes the condensate to leak into the condensation pumps, which leads to cavitation. Therefore, there was a need to synthesize and analyze an automated condensate level control system in the low pressure heater group, which allows to maintain the characteristic technological parameter.*

*There are two types of regenerative heaters: mixing and surface heaters. The Nuclear Power Plant Low Pressure Heaters Group includes two low pressure mixers of mixed type and two surface heaters. This article discusses an automated condensate level control system for low pressure surface type heaters.*

**Key words:** *automated control system, low pressure heater, nuclear power plant, automation, mathematical model, transfer function.*