

УДК 681.51

**Ткаченко В.В.**

Одеський національний політехнічний університет

**Уліцька О.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗВУЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТА РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР ВОДИ ПЕРШОГО КОНТУРУ

*Під час експлуатації парогенераторів працюючих спільно з ядерними реакторами ВВЕР-1000 атомних електростанцій, виникає проблема удосконалення технологій та розроблення нових методів, які б упровадились на АЕС. Під час ППР завжди провадиться наладка та перевірка вимірюючих приладів. Таким чином, актуальною стає питання вдосконалення технологій. Зроблено порівняння методів вимірювання витрати пари на виході з парогенератору.*

**Ключові слова:** парогенератор, ВВЕР-1000, рівень, витрата, пара, АЕС.

**Постановка завдання.** Ефективне управління парогенераторами (далі – ПГ) АЕС із ВВЕР у нормальних і аварійних режимах значною мірою забезпечує динамічну стійкість системи регулювання як окремого котлоагрегату, так і всього енергоблоку. Найважливіший параметр, від якого залежить виконання цих функцій, рівень води в ПГ, який повинен підтримуватися на певному нормованому значенні. У горизонтальному ПГ забезпечується більша площа дзеркала випаровування, полегшує сепарацію вологи з пари, природна циркуляція робочого тіла підвищує надійність установки, хоча і призводить до деякого збільшення розмірів ПГ.

**Метою статті** є порівняння вимірювання витрати пари класичним методом за допомогою звужуючого пристрою (сопла) та опосередковане вимірювання витрати за інформацією різниці температур води першого контуру при вході та виході в парогенератор ПГВ – 1000.

**Вступ.** Управління ділянкою живлення ПГ АЕС із ВВЕР, що складається з чотирьох парогенераторів із регулюючими живильними клапанами (далі – РПК) перед кожним ПГ натепер здійснюється двома автоматичними системами регулювання: рівня води і продуктивності поживних турбонасосів (далі – ПТН). Робота цих систем взаємопов'язана через об'єкт управління, проте налаштовуються вони індивідуально незалежно один від одного. При глибоких внутрішніх і зовнішніх збурень ці системи регулювання не можуть забезпечити підтримку технологічних параметрів у межах нормальної ек-

сплуатації, що призводить до розвантаження або зупинки енергоблоку й економічних втрат [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моделювання реактора типу ВВЕР-1000 є дуже актуальним питанням. Багато статей присвячено дослідженням моделювання поведінки твела реактора в різних режимах навантаження [2], удосконалення автоматизованої системи управління потужністю енергоблоку АЕС для експлуатації в маневрених режимах добового циклу [3], моделювання енергоблоку з ВВЕР-1000 як об'єкт управління потужністю [4], моделювання тепломасообмінних процесів у парогенераторі ПГВ -1000 [5]. Однак недослідженим залишалось питання модернізації вимірювання параметрів у парогенераторі.

**Опис об'єкта дослідження.** Водо-водяний реактор складається з двох непересічних контурів. Першим контуром і є реактор, в якому завантажено ядерне паливо. Крім того, в цей же контур включається парогенератор і насоси, які дозволяють перекачувати воду, що знаходиться під тиском.

У першому контурі водо-водяного реактора вода розігрівається до 320 С, рідкий стан води підтримується за рахунок тиску в 16 МПа.

Вода, нагріта за рахунок реакції поділу ядер атомів, рухається по трубах до парогенератору. Там вона, перетворюючись на пару, і підігріває колектор із водою другого контуру. Завдяки такій технології радіоактивна вода не потрапляє в другий контур.

Нагріта паром першого контуру вода, потрапляє в парогенератор 2 контуру, де її темпера-

тура дорівнює 280°C, а тиск 6,4 МПа. В такому стані пар продовжує рухатися по трубах другого контуру і досягає турбіни, під час розкручування якої утворюється електричний струм [6].

Регулювання живлення в кожному з парогенераторів зводиться до підтримки матеріального балансу між відводом пари, продувкою і подачею живильної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в ПГ.

Розглянемо принципову схему АСР і вибір закону регулювання

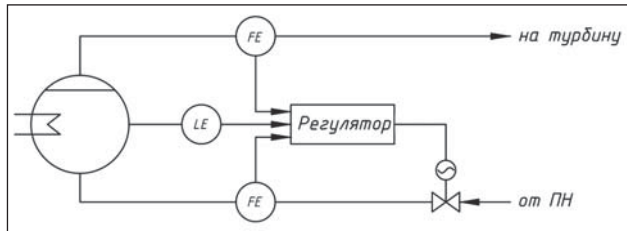


Рис. 1. Принципова схема 3-х імпульсної АСР

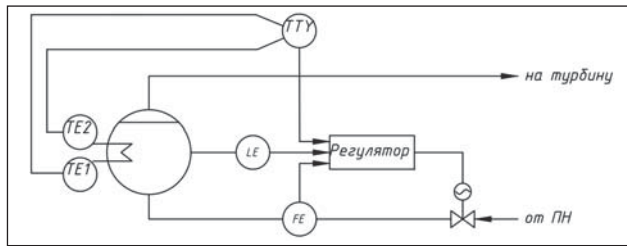


Рис. 2. Модернізована схема 3-х імпульсної АСР

Під час формування керуючого впливу на вхід регулятора подається сигнал за трьома каналами: канал витрати пари, канал витрати живильної води та канал по рівня води другого контуру в парогенераторі. На рисунку 2 переставлена аналогічна схема, але сигнал з витрати пари отримуємо за допомогою розрахунку різниці температур води першого контуру на вході та виході з парогенератора. Далі для регулювання рівня застосовується регулятор з ПІ-закон регулювання з уведенням у регулятор безінерційного зворотного зв'язку з витрати живильної води, що забезпечує ПІ-закон регулювання, з коректором з витрати пари.

Оскільки застосування пропорційно-інтегрального (далі – ПІ) закону регулювання для астатичного об'єкта з явищем «набухання» не забезпечує необхідної якості регулювання (тривалі слабо затухаючі коливання рівня при ступінчастому вхідному збурення). Інтегральний (І) закон також дає погану стійкість системи. Пропорційний (далі – П) закон не допустимий через статичну помилку регулювання. Тому для регулювання рівня в ПГ застосовують комбіновану АСР.

Розрахуємо налаштування 3-х імпульсної АСР рівня. Для вимірювання витрати пари і води були обрані витратоміри з межами вимірювання 0–555 кг/с (0–2000 т/год) і вихідним сигналом 4–20 мА. Отже, коефіцієнт передачі витратомірів складає  $K_D=K_G = 16.8 / 408 = 0,0411 \text{ мА}\cdot\text{с}/\text{кг}$ . (4.1-б)

Рівень у ПГ вимірюється датчиком перепаду тиску типу «Сафір М» 2161 за малим рівнеміром з межею вимірювання 0-1000 мм, використовуючи двокамерну вирівнювальну посудину. Отже, коефіцієнт передання рівнеміра становить:  $K_L=8.3 \text{ мА}/\text{м}$ .

2) передатна функція умовного об'єкта за регулюючим каналом «витрата пари  $G_{ПВ}$  – рівень L»

$$W(s) = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot s + 1}$$

$$K_{об} = \frac{\Delta t}{\Delta G_{ПВ}} = \frac{31}{21200} = 0.00146$$

$$\Delta t = t_{вх} - t_{вих} = 320 - 389 = 31^\circ\text{C}$$

$$\Delta G_{ПВ} = 21200 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$W(s) = \frac{0.00146}{s + 1}$$

3) передатна функція умовного об'єкта по регулюючому каналу «витрата живильної води  $G_{ПВ}$  – рівень L».

$$W(s) = \frac{B_1}{s} e^{-\tau s} = \frac{37 \cdot 10^{-6}}{s} e^{-20s};$$

4) по формулі А.П. Копеловича знаходимо коефіцієнт передання  $K_P^*$ , кг/(мА·с) умовного ПІ-регулятора, для аперіодичного процесу;

$$K_P^* = \frac{0.4}{K^* \tau} = \frac{0.4}{1.85 \cdot 10^{-4} \cdot 20} = 108 \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

5) необхідний коефіцієнт передання дифманометрів – витратомірів:

$$K_G^{TP} = K_D^{TP} = \frac{1}{K_P^*} = \frac{1}{108} = 9.26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

6) уставки ручок «чутливість» регулятора з витрати пари і живильної води:

$$\alpha_G = \frac{K_G^{TP}}{K_G} = \frac{9.26 \cdot 10^{-3}}{0.01125} = 0.82$$

$$\alpha_D = \frac{K_D^{TP}}{K_D} = \frac{9.26 \cdot 10^{-3}}{0.01125} = 0.82$$

7) налаштування ПІ-регулятора контуру стабілізації витрати живильної води знаходимо для об'єкта:

$$W_{вн}(s) = K_{po} \cdot \frac{1}{T_{TP}s + 1} \cdot K_G = 1.037 \cdot \frac{1}{10s + 1} \cdot 0.0411 = \frac{0.42}{10s + 1}$$

$$K_p = 9.58 \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

$$T_i = 1,5 \text{ с.}$$

Промодельюємо порівняння АСР рівня в парогенераторі класичного методу та модернізованого

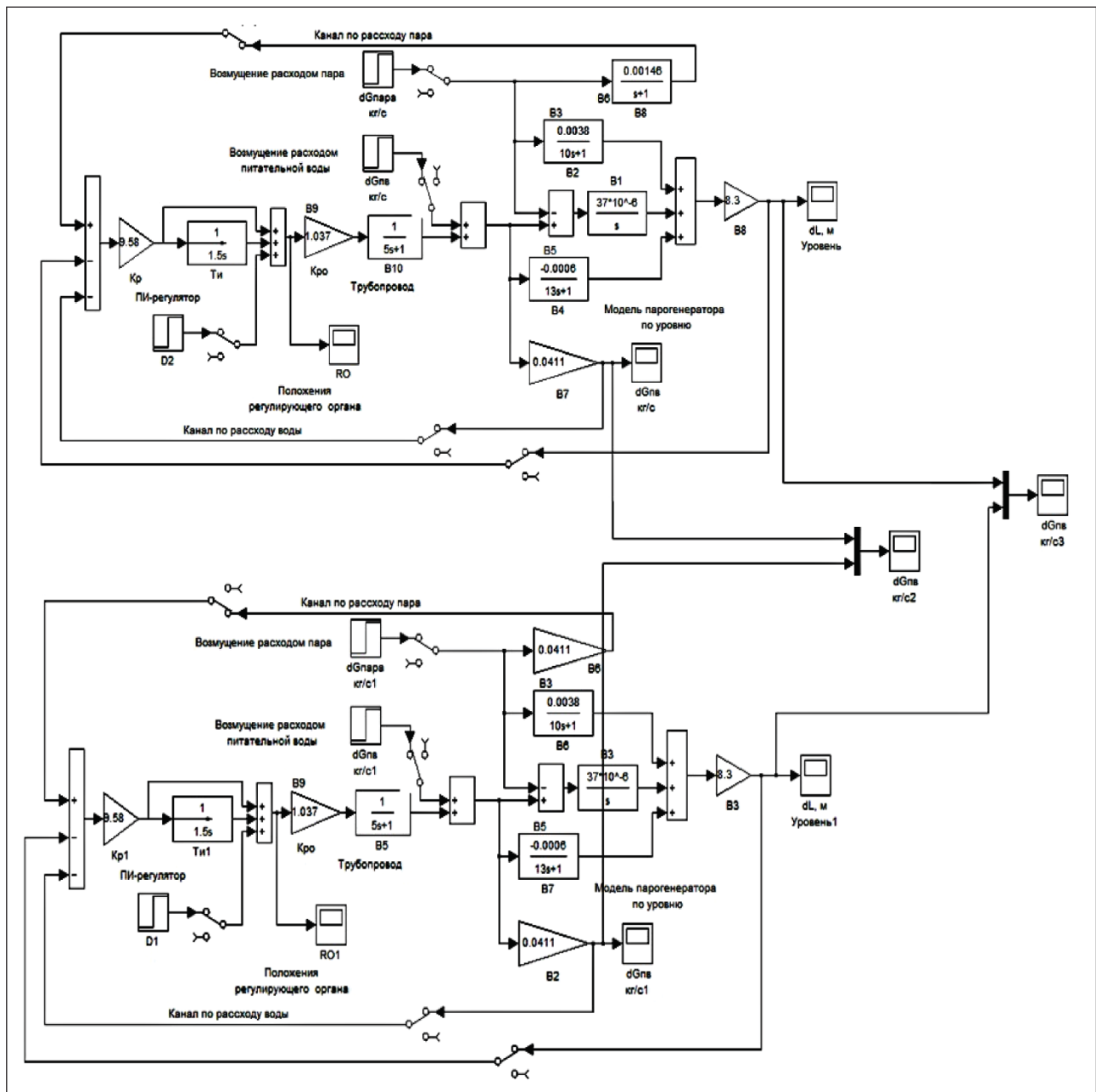


Рис. 3. Структурна схема моделі АСР рівня в парогенераторі для вихідної і реальної структури

На рисунку 3 представлена схема порівняння моделювання двох структур АСР рівня в ПГ. У нижній частині рисунку зображена 3-х імпульсна АСР із сигналами з рівня в ПГ, витратами живильної води і пари. На основі аналізу реальних промислових АСР рівня було вище показано, що замість сигналу з витрати пари можна використати сигнал із різниці температур на вході і виході води першого контуру в ПГ.

Для порівняння структурна схема такої АСР зображена у верхній частині рисунку 3.

На вхід моделі ПГ подається збурення з витрати пари або з витрати живильної води. Відхилення рівня фіксується на показуючому приладі.

Під час моделювання біла досліджена робота АСР рівня при поданні завдання з витрати пари від ПГ рисунок 4. Величина збурення складає 10% від номінального.

Як видно з рисунка 4, динамічні відхилення рівня не перевищує 0,025 м, що задовольняє умови експлуатації. Криві перехідних процесів регулювання по обох варіантах АСР практично збігаються.

На рисунку 5 представлено результати моделювання роботи АСР рівня при 10% збуренні за витратою води. Криві перехідних процесів по обох варіантах АСР мають параметри динамічних

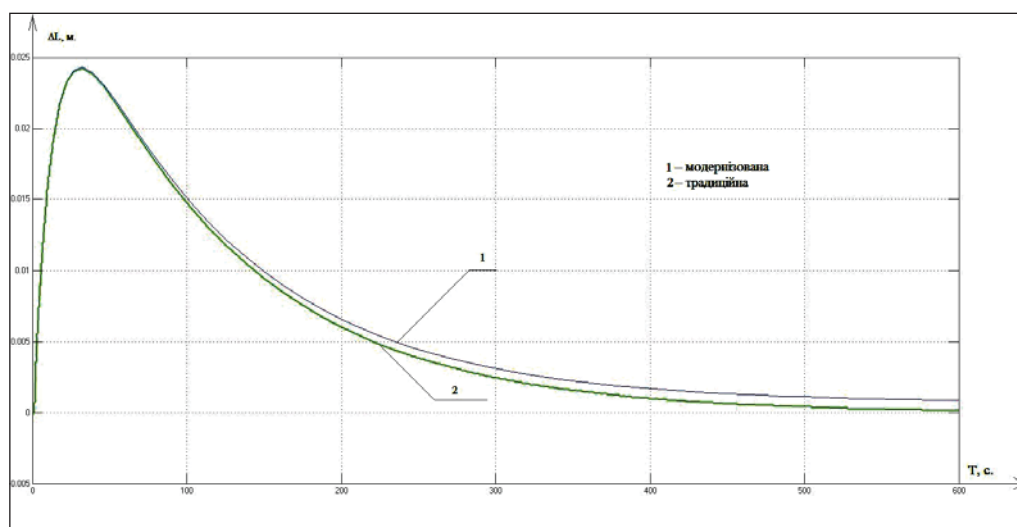


Рис. 4. Перехідний процес рівня при збуренні по каналу пари

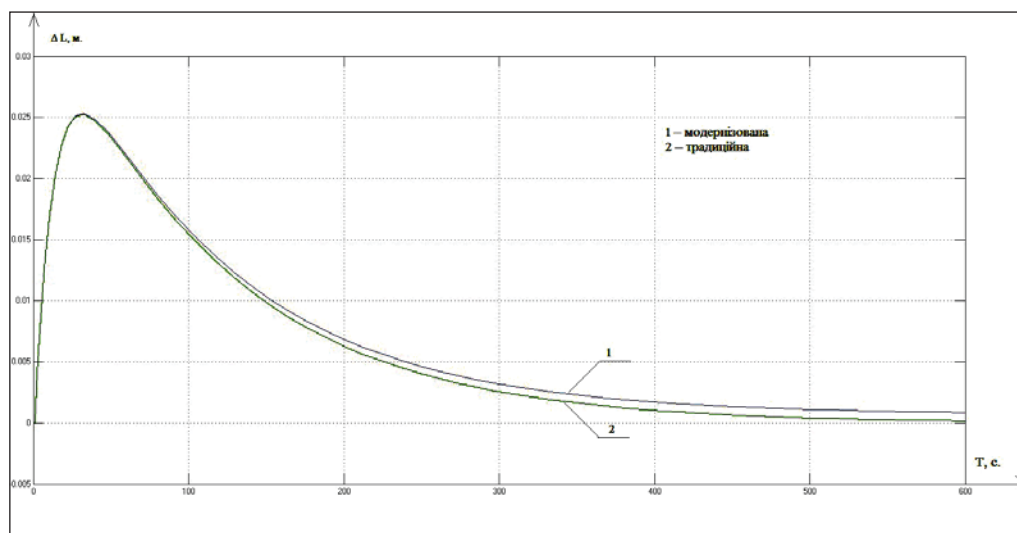


Рис. 5. Перехідний процес рівня під час збурення по каналу живильної води

відхилень до 0,027м, час регулювання 600с, що задовольняє вимоги при експлуатації.

**Висновки.** Таким чином, можна зробити висновок, що для зменшення впливу на параметри пари від

ПГ, інформацію про витрату пари за допомогою звужуючого пристрою (сопла) можна замінити на інформації з різниці температур води першого контуру, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат.

#### Список літератури:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт. 2001. С. 212–231.
2. Сузуки, М. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения / Мотоэ Сузуки; автор. пер. с англ. С.Н. Пельх. Одесса: Астропринт, 2010. С. 211–248.
3. Цисельська Т.А. Удосконалення автоматизованої системи керування потужністю енергоблока АЕС для експлуатації у маневрених режимах добового циклу : Автореферат дис. канд. техн. наук Одеса ОНПУ, 2012. С. 18–24.
4. Maksimov M.V., Beglov K.V., Tsiselskaya T.A. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control. Proceedings of the Odessa polytechnic university. Odessa, 2012. № 1(38). P. 99–106.
5. Maksimov M.V., Pelykh S.N., Maslov O.V., Baskakov V.E. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit. Nuclear Engineering and Design. 2009. Vol. 239, № 12. P. 3021–3026.
6. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций – Москва: Энергоатомиздат 1987. С. 152-164.

### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ПАРА ПРИ ПОМОЩИ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И РАЗНИЦЫ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ ПЕРВОГО КОНТУРА**

*Во время эксплуатации парогенераторов работающих совместно с ядерными реакторами ВВЭР-1000 атомных электростанций, возникает проблема совершенствования технологий и разработка новых методов, которые внедряются на АЭС. Во время ППР всегда производится наладка и поверка измерительных устройств. Таким образом, актуальной становится вопрос совершенствования технологий. Сделано сравнение методов измерения расхода пара на выходе из парогенератора.*

**Ключевые слова:** Парогенератор, ВВЭР-1000, уровень, расход пара, АЭС.

### **COMPARISON OF THE METHOD OF MEASURING THE STEAM FLOW USING A NARROWING DEVICE AND THE DIFFERENCE IN THE WATER TEMPERATURE OF THE PRIMARY CIRCUIT**

*During the operation of steam generators working in conjunction with VVER-1000 nuclear power reactors of nuclear power plants, there arises the problem of improving technologies and developing new methods that are being introduced at nuclear power plants. During the PPR, adjustment and calibration of measuring devices is always performed. Thus, the issue of technology improvement becomes topical. A comparison of the methods of measuring the consumption of steam at the outlet of the steam generator is made.*

**Key words:** steam generator, VVER-1000, level, flow, steam, AES.