

УДК 621.311.25

В. В. Богачук;**О. М. Головченко, к. т. н., доц.;****В. В. Студинський, студ.**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДІГРІВНИКІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЗАДАЧАХ ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ

Для розв'язання задач динаміки гідравлічних процесів в групі підігрівників живильної води теплових електричних станцій створено математичну модель. Проведено розрахунки часу аварійного заповнення корпусів підігрівників живильною водою у випадках розривів труб поверхонь теплообміну.

Актуальність

Група регенеративних підігрівників живильної води високого тиску (ПВТ) теплових електричних станцій (ТЕС) складається з трьох підігрівників, в яких вода послідовно підігрівається парою з трьох відборів турбіни зі зростаючими тисками. Рівень конденсату гріючої пари в корпусі ПВТ регулюється автоматичним пристроєм, що підтримує нормальний рівень у корпусі підігрівника, зливаючи надлишок конденсату в дренажну систему.

Конденсат гріючої пари останнього ПВТ через регулятор рівня каскадно скидається в попередній підігрівник, змішується з його конденсатом і через регулятор рівня надходить в перший підігрівник або в конденсатор, а суміш конденсатів всіх трьох ПВТ через перший регулятор рівня надходить в підігрівник низького тиску. При підвищенні рівня конденсат закриває частину труб, що знижує поверхню теплообміну. Також великий запас води в корпусі підігрівника може викликати її скипання і аварійний викид пароводяної суміші в парову турбіну у випадку, коли при різкому зниженні навантаження турбіни недостатньо швидко закриються зворотні клапани на паропроводі відбору. Зниження рівня конденсату в підігрівниках неприпустимо, оскільки при оголенні дренажних патрубків в них може з'явитися пара («проскок» пари).

Регулятори рівнів підтримують задані рівні. При підвищенні рівня в будь-якому підігрівнику вище заданого захистом спочатку відключається вся група ПВТ, а потім і весь енергоблок. ПВТ ТЕС працюють при тисках до 40 МПа і температурах пари до 500 °С. Поверхню теплообміну ПВТ складають близько тисячі спіральних труб, які зварними швами приєднані до вхідних та вихідних колекторів живильної води [1]. Складні умови експлуатації ПВТ підвищують вимоги до системи їх автоматизації та захисту. Ці вимоги задовольняються на етапах виготовлення та експлуатації пристроїв системи. В даний час на ПВТ здебільшого встановлені регулятори, які вичерпали свій ресурс. Зміни в режимах експлуатації енергоблоків, наприклад, збільшення часу роботи на часткових навантаженнях, призводять до помилок експлуатаційників ПВТ. Тому є доцільними дослідження ПВТ з використанням результатів для модернізації та експлуатації ПВТ.

Постановка задачі

Мета досліджень полягає в розробці математичної моделі ПВТ для розв'язання задач як модернізації системи автоматизації та захисту ПВТ, так і задач розробки комп'ютерного тренажера експлуатаційного персоналу ТЕС.

Обґрунтування результатів дослідження

Розрахункова схема групи ПВТ складена з трьох ємностей, трьох регуляторів рівнів та засувки на вході пари до останнього ПВТ, рис. 1. В математичній моделі групи ПВТ, створеній за методикою [2], гідравлічні процеси описані системою з трьох лінійних диференціальних рівнянь. Для розв'язання цієї системи використаний метод Кутта–Мерсона з регульованим кроком [3].

Складемо рівняння установки, якщо вхідними є площі перерізів клапанів X_1, X_2, X_3, X_4 , а за вихідні величини приймаємо рівні в підігрівниках $Z_1(t), Z_2(t), Z_3(t)$.

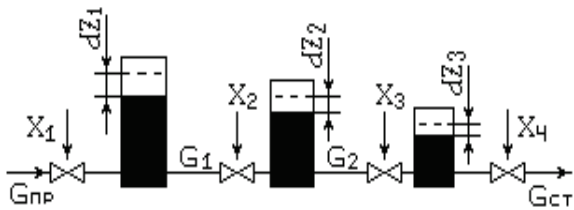


Рис. 1. Схема групи ПВТ

Рівняння матеріального балансу ємностей підігрівників з поперечними перерізами F_1, F_2, F_3 мають такий вигляд :

$$Z_1(t) = \frac{G_{пр}(t) - G_1(t)}{F_1}; \quad Z_2(t) = \frac{G_1(t) - G_2(t)}{F_2};$$

$$Z_3(t) = \frac{G_2(t) - G_3(t)}{F_3}.$$

Витрати рідини по тракту

$$G_{пр} = (P_{пр}^0 - Z_1)^{1/2} X_1; \quad G_1 = (Z_1 - Z_2)^{1/2} X_2;$$

$$G_2 = (Z_2 - Z_3)^{1/2} X_3; \quad G_{ст} = 2(Z_3)^{1/2} X_4.$$

де $G_{пр}, G_{ст}$ — витрати рідини на вході і виході, $P_{пр}^0$ — тиск рідини на вході. Тут розглядається режим із скиданням рідини в конденсатор з тиском, близьким до нуля.

Система нелінійних рівнянь

$$Z_1'(t) = (P_{пр}^0 - Z_1(t))^{1/2} X_1(t) - (Z_1(t) - Z_2(t))^{1/2} X_2(t);$$

$$Z_2'(t) = (Z_1(t) - Z_2(t))^{1/2} X_2(t) - (Z_2(t) - Z_3(t))^{1/2} X_3(t);$$

$$Z_3'(t) = (Z_2(t) - Z_3(t))^{1/2} X_3(t) - 2(Z_3(t))^{1/2} X_4(t).$$

Система лінеаризованих рівнянь з коефіцієнтами:

$$Z_1'(t) = 0,483 Z_1(t) + 0,283 Z_2(t) + 1 X_1(t) - 1,414 X_2(t);$$

$$Z_2'(t) = 0,283 Z_1(t) + 0,566 Z_2(t) + 0,283 Z_3(t) + 1,414 X_2(t) - 1,414 X_3(t);$$

$$Z_3'(t) = 0,283 Z_2(t) + 0,424 Z_3(t) + 1,414 X_3(t) - 2,828 X_4(t);$$

$$Y(t) = Z_3(t).$$

За допомогою математичної моделі виконані розрахунки часу аварійного заповнення корпусів ПВТ конденсатом і живильною водою через декілька розірваних трубок ПВТ9 при повністю відкритих клапанах регуляторів РУ9, РУ8, РУ7. Результати розрахунків наведені в таблиці.

Зростання рівнів в підігрівниках при розривах трубок з живильною водою в ПВТ9

$T_{хв}$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,5
$Z_{1,м}$	0,172	0,39	0,66	0,997	1,43	2,01	1,75	3,74	5,1	6,85	9,3	10
$Z_{2,м}$	0,001	0,047	0,125	0,263	0,49	0,86	1,4	2,23	3,47	5,27	7,93	8,76
$Z_{3,м}$	0,00004	0,0035	0,014	0,04	0,092	0,19	0,37	0,65	1,12	1,85	2,99	3,36

Як видно з таблиці, дев'ятий підігрівник повністю заповнюється через 4,5 хвилини.

Система лінійних рівнянь перетворена в рівняння третього порядку

$$Y'''(t) + 1,18 Y''(t) + 1,63 Y'(t) + 0,48 Y(t) = 0,16 X_1(t) - 0,4 X_2'(t) - 0,268 X_2(t) -$$

$$- 1,43 X_3''(t) - 0,95 X_3'(t) - 0,27 X_3(t) - 1,4 X_4''(t) + 1,06 X_4'(t) + 0,83 X_4(t).$$

В області зображень це рівняння має такий вигляд:

$$Y(p) = W_1(p) X_1(p) + W_2(p) X_2(p) + W_3(p) X_3(p) + W_4(p) X_4(p),$$

де $W_1(p), W_2(p), W_3(p)$ та $W_4(p)$ — передатні функції об'єкта каналами дії площ перерізів клапанів $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$ та $X_4(t)$ відповідно:

$$W_1(p) = \frac{0,16}{p^3 + 1,18p^2 + 1,63p + 0,48}; \quad W_2(p) = \frac{-(0,4p + 0,268)}{p^3 + 1,18p^2 + 1,63p + 0,48};$$

$$W_3(p) = \frac{-(1,43p^2 + 0,95p + 0,27)}{p^3 + 1,18p^2 + 1,63p + 0,48}; \quad W_4(p) = \frac{-(1,4p^2 - 1,06p - 0,83)}{p^3 + 1,18p^2 + 1,63p + 0,48}.$$

За результатами розрахунків виконана ідентифікація спрощеної математичної моделі групи ПВТ в комп'ютерному тренажері. Тренажер імітує операції пуску та зупинки ПВТ, операції перевірки роботи системи сигналізації, захисту, регулювання. На рис. 2 зображена мнемосхема ПВТ, подібна до схеми ПВТ на моніторі машиніста енергоблоку. Регулятори рівнів на схемі мають номери 0821, 0822, 0831.

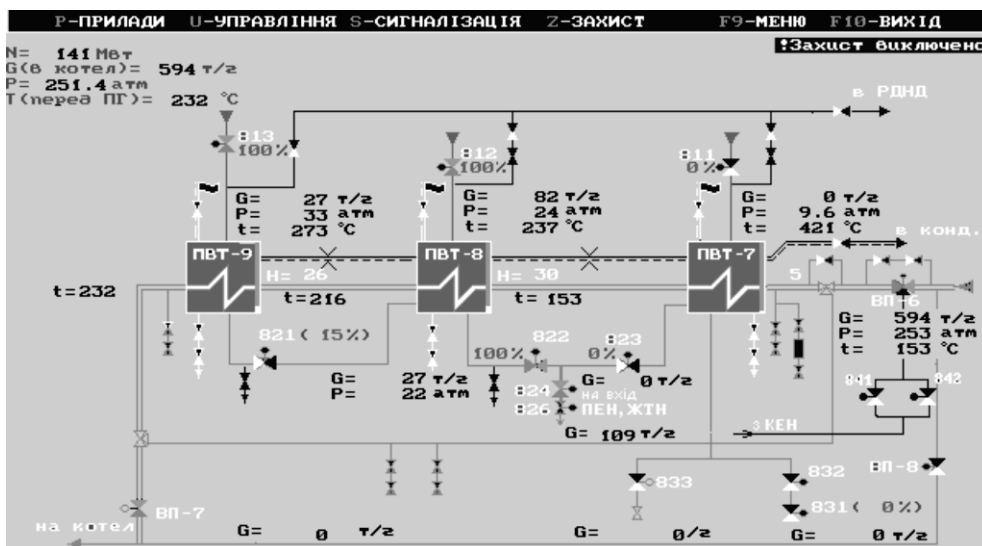


Рис. 2. Мнемосхема групи пвт

Налагодження регуляторів виконується змінними резисторами, що показано на рис. 3.

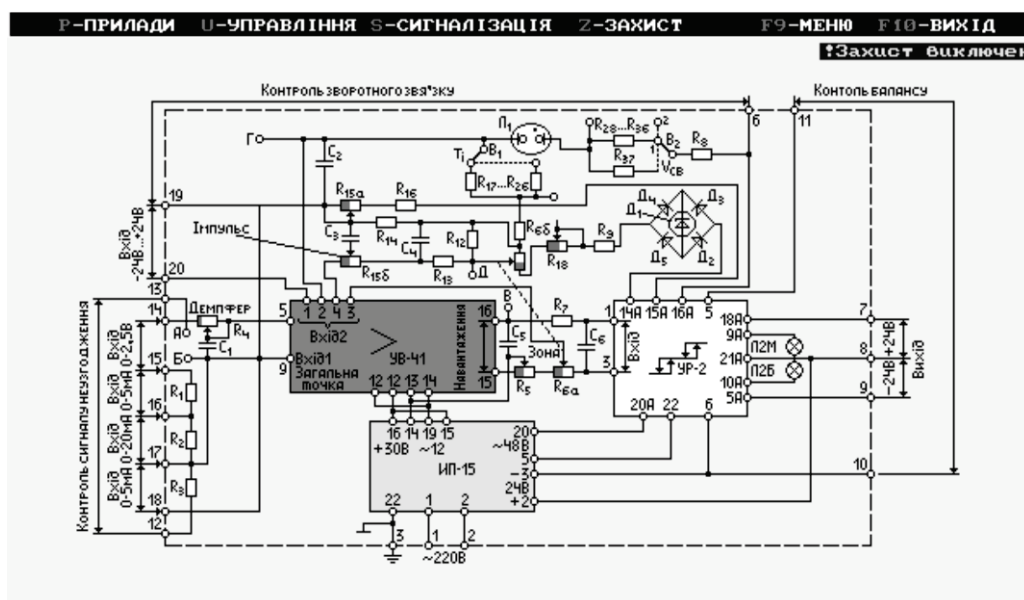


Рис. 3. Мнемосхема регулятора P21-2

На рис. 4 показані винесений задавач рівня та задавач спрацювання захисту по першій та другій межах рівня.

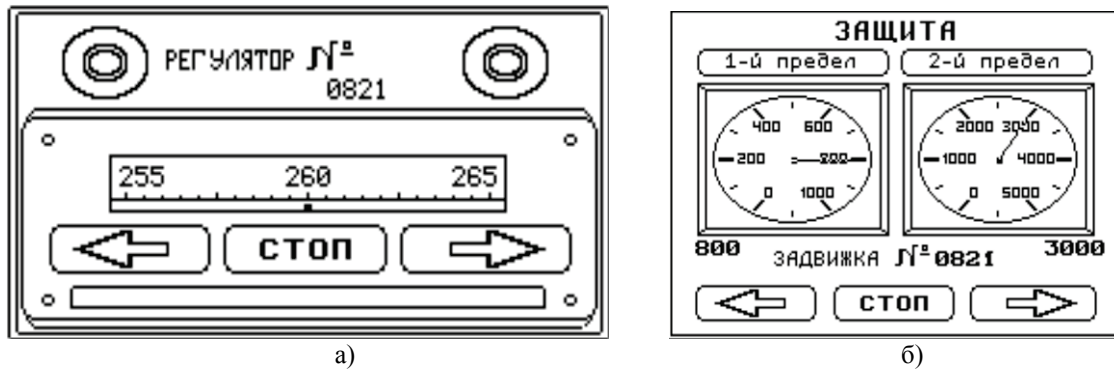


Рис. 4. Задавачі: а) регулятора рівня; б) захисту

Крім нормальних, тренажер імітує аварійний режим роботи ПВТ. Реальний ПВТ7 має недостатній максимальний переріз регулювального клапана, тому на режимах 100...60 % від номінального навантаження схема зливів конденсатів(дренажів) гріючої пари така. Дренаж з П9 каскадом зливається в П8, де змішується з його дренажем. Дренаж з П8 направляється до входу живильного насоса, де змішується з основним конденсатом. Схема дренажів підігрівників П7—П2 каскадна. При навантаженнях, нижчих за 60 % тиск основного конденсату стає більшим за тиск дренажу з П8, через що основний конденсат витісняє дренаж П8, надходить в П8 та переповнює його. Після цього система захисту блока аварійно зупиняє його на другій межі рівня дренажу в ПВТ. Тому зі зниженням навантаження машиніст блока повинен переключити дренаж П8 замість подання на вхід живильного насоса на скид дренажу в П7, а звідти в конденсатор. Машиністи іноді забувають зробити таке переключення, через це блок за рік зупиняється декілька разів. Теж саме відбувається і за комп'ютерним тренажером при зниженні навантаження блока.

Висновки

1. Розроблено математичну модель групи підігрівників високого тиску.
2. Чисельним методом виконано розрахунки часу аварійного заповнення корпусів підігрівників високого тиску водою у випадках розриву труб поверхні теплообміну.
3. Результати моделювання можуть бути використані для модернізації систем автоматизації і захисту підігрівників високого тиску та для ідентифікації їх спрощених математичних моделей в комп'ютерних тренажерах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Марушкин В. М., Иващенко С. С., Вакуленко Б. Ф. Подогреватели высокого давления турбоустановок ТЭС и АЭС. — М.: Энергоатом издат. — 1985. — 136 с.
2. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 296 с.
3. Гринчишин Я. Т. Турбо-Паскаль: Чисельні методи в фізиці та математиці. — Тернопіль, 1993. — 121 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006, 25—28.09.2006 р.)

Надійшла до редакції 23.11.06
Рекомендована до друку 12.12.06

Богачук Володимир Васильович — старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті; **Головченко Олексій Михайлович** — доцент кафедри теплоенергетики; **Студинський Владислав Володимирович** — студент Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет