

УДК 621.165

М. М. НЕЧУЙВІТЕР, канд. техн. наук, с.н.с.; доц. УПА, Харків;
І. Г. ШЕЛЕПОВ, канд. техн. наук; проф. УПА, Харків

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЖИВИЛЬНИХ НАСОСІВ ДЕАЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ПАРОТУРБІННИХ БЛОКІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В статті розглядаються питання підвищення ефективності експлуатації живильних насосів деаераційних установок паротурбінних блоків теплових електростанцій шляхом визначення та управління динамічним кавітаційним запасом живильного нагнітача при роботі деаератора на ковзному тиску. На основі аналізу існуючих досліджень перехідних режимів роботи живильного деаераційного вузла на ковзному тиску гріючої пари виявлені технічні можливості підвищення надійності роботи останнього, зокрема, живильного насосу.

Ключові слова: паротурбінна установка, деаератор, живильний насос, ковзний тиск, динамічний запас на кавітацію, надійність, економічність енергетичного блоку.

Вступ

Оптимізація режимних параметрів елементів теплових схем паротурбінних установок, у тому числі живильних деаераційних вузлів – деаератор – живильний насос, дозволяє запропонувати енергетично заощаджувані режими їх експлуатації – це робота деаератора на ковзному тиску. Забезпечення надійності, економічності експлуатації живильних деаераційних вузлів в режимах змінних навантажень енергетичного блоку є одним із напрямів досліджень актуальної проблеми сучасної енергетики України.

Аналіз основних досягнень та літератури

В роботах [1–4] досліджені режими роботи, проведені оптимізація режимних, термодинамічних, конструктивних параметрів і розрахунково-експериментальні дослідження квазістаціонарних (з повільною зміною основних параметрів) режимів експлуатації живильних деаераційних установок (ЖДУ) на змінних навантаженнях енергоблоку. Розглянена робота ЖДУ на ковзному тиску в деаераторі, проведені розрахункові дослідження з визначення допустимої швидкості зміни тиску в деаераторі, з вибору оптимального місця включення деаератора в тепловій схемі паротурбінної установки, з попередження вскипання робочого тіла – живильної води у всмоктуючому трубопроводі живильного насосу, з визначення оптимального тиску в деаераторі.

Проведені дослідження перехідних процесів в ЖДУ дозволили на підставі їх математичної моделі динаміки зміни параметрів, а також розрахункових динамічних характеристик при скиданні електричного навантаження турбогенератора запропонувати технічні рішення по забезпеченню економічності та надійності експлуатації існуючих ЖДУ, а також нових проєктованих ЖДУ. Це: – спосіб регулювання режиму роботи деаератора шляхом подачі регулюючої пари в бак-акумулятор в режимах набору навантаження енергоблоку [5], що підвищує економічність енергоблоку; живильно-деаераційна установка, котра дозволяє попередити зрив насосу при зниженні тиску в деаераторі подачею охолодженого конденсату у всмоктуючий трубопровід живильного насосу [6], що підвищує надійність роботи енергоблоку, та надає можливість в нових проєктних розробках знизити висоту установки деаератора; пристрій для захисту від зриву живильного

© М. М. Нечуйвітер, І. Г. Шелепов, 2015

насосу подачею охолодженого конденсату зі сторони всмоктування живильного насосу [7], що сприяє підвищенню стійкості роботи живильного насосу в бездеаераторних схемах паротурбінних установок.

В монографії [8] узагальнені теоретико-практичні дослідження та оптимізація змінних, перехідних режимів роботи елементів теплових схем турбоустановок. Продовженням одного з напрямів цих досліджень є забезпечення стійкості експлуатації живильних установок деаераторних схем регенерації в змінних та перехідних режимах їх роботи.

Мета дослідження, постановка задачі

Метою даної статті є підвищення ефективності експлуатації живильних насосів деаераційних установок паротурбінних блоків теплових електростанцій шляхом визначення та управління запасом на кавітацію живильного насосу при роботі деаератора на ковзному тиску.

Задачі дослідження – виявлення критерію стійкості роботи живильного насосу при роботі деаератора на ковзному тиску, що забезпечує безпечну роботу ЖДУ.

Матеріали дослідження

Розрахункові дослідження з виявлення критерію стійкості роботи живильного насосу при роботі деаератора на ковзному тиску полягають у визначенні зміни динамічного запасу на кавітацію живильного насосу при різко змінних режимах навантажень енергоблоку та забезпеченні безкавітаційних режимів експлуатації живильного насосу.

Запас на кавітацію із всмоктуючої сторони живильного насосу, тобто гідродинамічний запас на кавітацію при змінних навантаженнях турбоустановки і роботі деаератора на ковзному тиску граючої пари записуються залежністю.

$$\Delta h_r = h + \frac{1}{\gamma} (p_d - \Delta p - p_s), \quad (1)$$

де h – висота стовпа води всмоктуючого трубопроводу живильного насосу;

γ – питома вага живильної води (середовища);

$(p_d - \Delta p)$ – гідродинамічний тиск живильної води (середовища), що переміщається у всмоктуючому трубопроводі при температурі t ;

$p_d, \Delta p$ – відповідно тиск в деаераторі, гідравлічні втрати у всмоктуючому трубопроводі живильного насосу;

p_s – тиск насичення живильної води (середовища) при температурі t .

Тиск насичення живильної води (середовища) при температурі t визначають за залежністю

$$p_s = \left(\frac{t}{100} \right)^4. \quad (2)$$

Дальше, динамічна кавітаційна характеристика живильного насосу, що характеризує мінімальний кавітаційний запас живильного насосу, записується рівнянням

$$\Delta h = 10A \left(\frac{n\sqrt{Q}}{c_{кр}} \right)^{4/3}, \quad (3)$$

де A – коефіцієнт запасу, що приймає значення 1,0–1,6;

$c_{кр}$ – критичний кавітаційний запас швидкохідності;

n – число обертів насосу;

Q – витрата живильної води (середовища).

Дійсна зміна динамічного запасу на кавітацію живильного насосу визначається залежністю

$$\Delta h_d = \Delta h_r - \Delta h = (p - p_s) - \Delta h, \quad (4)$$

де p – тиск живильної води (середовища), котра рухається у всмоктуючому трубопроводі.

З урахуванням перетворень рівняння (4) має наступний вигляд

$$\Delta h_d = p_d - \Delta p + p_{ст} - p_s - 10A \left(\frac{n\sqrt{Q}}{c_{кр}} \right)^{4/3}, \quad (5)$$

де $p_{ст}$ – тиск стовпа води, що міститься у всмоктуючому трубопроводі живильного насосу.

Результати дослідження

В табл. 1 представлені варіантні дослідження зміни динамічного кавітаційного запасу живильного насосу ЖДУ в режимах змінних навантажень енергоблоку для турбоустановки К-300-240.

Таблиця 1.

Варіантні дослідження зміни динамічного кавітаційного запасу живильного насосу ЖДУ в режимах змінних навантажень енергоблоку для турбоустановки К-300-240

№ з/п	Навантаження, $N_{ном}$	Турбоживильний насос ПТ-1150-340-15				Бустерний насос ПД:650-160				$t, ^\circ\text{C}$	$p_d, \text{ата}$	$p, \text{ата}$	$\Delta h_r, \text{ата}$	$\Delta h_d, \text{ата}$
		$n, \text{об/хв}$	$c_{кр}$	$Q_{жн}, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta h, \text{ата}$	$n, \text{об/хв}$	$c_{кр}$	$Q_{бн}, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta h_{бн}, \text{ата}$			$p = p_d - \Delta p + p_{ст}$	$\Delta h_r = p - p_s$	$\Delta h_d = \Delta h_r - \Delta h_{бн}$
1	1,00	5000	3500	16,00	9,30	2980	6500	8,00	1,280	162,5	6,73	8,20	1,50	0,22
2	0,75	3800	3500	12,00	5,33	2980	6500	6,00	1,041	153,0	5,21	6,86	1,65	0,65
3	0,55	2750	3500	8,76	2,83	2980	6500	4,38	0,830	141,2	3,82	5,55	1,73	0,86

Аналіз варіантних розрахункових досліджень дозволяє констатувати наступне:

1) При зниженні номінального $N_{ном}$ навантаження енергетичного блоку дійсна зміна динамічного запасу на кавітацію живильного насосу, що визначається різницею запасу на кавітацію із всмоктуючої сторони живильного насосу та мінімальним кавітаційним запасом живильного насосу, $\Delta h_r - \Delta h$, збільшується. Тут необхідно констатувати, що в динамічних режимах роботи стабільність роботи ЖДУ залежить від швидкостей зміни тиску гріючої пари в деаераторі та тиску робочого середовища у всмоктуючому трубопроводі живильного насосу, а також від зміни різниці тиску пари в деаераторі та тиску насичення пари, $p_d - p_s$, що може привести до кавітаційного зриву живильного насосу.

2) При підвищенні номінального $N_{ном}$ навантаження енергетичного блоку дійсна зміна динамічного запасу на кавітацію живильного насосу зменшується до визначеного значення рівня запасу насосу, котрий відповідає номінальному навантаженню енергоблоку, $N_{ном}$.

Найбільш небезпечним для стабільної роботи живильного насосу є момент, коли досягається рівність змін кавітаційної характеристики живильного насосу з

всмоктуючої сторони та кавітаційної характеристики насосу. У цьому випадку зміна динамічного кавітаційного запасу живильного насосу дорівнює нулю, що при імпульсних коливаннях тиску приведе до кавітаційного зриву. Надійність роботи живильного насосу у вищезазначених умовах роботи ЖДУ забезпечується умовою перевищення запасу на кавітацію зі всмоктуючої сторони над мінімальним кавітаційним запасом живильного насосу, тобто $\Delta h_T \geq \Delta h$.

Для контролю та управління динамічним кавітаційним запасом живильного нагнітача при роботі деаератора на ковзному тиску пропонується пристрій для вимірювання динамічного запасу на кавітацію живильного насосу [9].

На рисунку 1 зображено пристрій для вимірювання динамічного запасу на кавітацію живильного насосу.

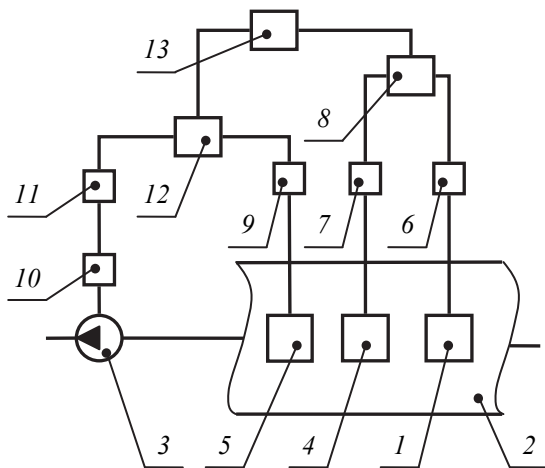


Рис. 1 – Пристрій для вимірювання динамічного запасу на кавітацію живильного насосу:

- 1 – датчик тиску середовища; 2 – входний патрубок; 3 – живильний нагнітач; 4 – датчик тиску насиченої пари середовища; 5 – датчик витрати середовища; 6 – вимірювач тиску середовища; 7 – вимірювач тиску насиченої пари середовища; 8 – суматор величин тисків середовища, насиченої пари середовища;
- 9 – вимірювач витрати середовища; 10 – первинний перетворювач частоти обертів живильного насосу; 11 – вимірювач частоти обертів живильного насосу; 12 – інформаційний перетворювач кавітаційної характеристики; 13 – суматор динамічного кавітаційного запасу живильного насосу

насиченої пари середовища на суматор 13 динамічного кавітаційного запасу, де визначається його значення та формується оперативний сигнал.

Пропонований пристрій для вимірювання динамічного кавітаційного запасу живильного насосу при роботі деаераційноживильної установки на ковзному тиску в режимах змінних навантажень енергоблоку дозволяє попередити зрив живильного насосу енергоблоку, підвищити надійність роботи живильного насосу, шляхом контролю та підтриманням необхідного мінімально-допустимого запасу на кавітацію живильного насосу, за рахунок врахування динамічної зміни запасу на кавітацію зі сторони всмоктування живильної води (середовища) живильним насосом та його кавітаційної характеристики і таким чином, істотно підвищити економічність роботи енергоблоку.

Пристрій для вимірювання динамічного кавітаційного запасу живильного насосу використовується наступним чином.

При роботі живильно-деаераційної установки на ковзному тиску в режимах змінних навантажень енергоблоку інформації від датчика 1 тиску середовища, що встановлений у входному патрубку 2 живильного нагнітача 3, датчика 4 тиску середовища, датчика 5 витрати середовища поступають відповідно на вимірювачі тиску середовища 6, тиску насиченої пари середовища 7, на суматор 8 величин тисків середовища, насиченої пари середовища, та на вимірювач витрати середовища 9, де одночасно з інформацією від первинного перетворювача частоти обертів живильного нагнітача 10, вимірювача 11 частоти обертів живильного нагнітача, поступають на функціональний перетворювач 12 кавітаційної характеристики та разом з інформацією суматора 8 величин тисків середовища,