

Полушкін Є.М.

Одеський національний політехнічний університет

Лисюк Г.П.

Одеський національний політехнічний університет

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ В ДЕАЕРАТОРІ

Деаераційна установка є частиною другого контуру енергоблоку АЕС. Одним з основних регульованих параметрів в деаераторі є тиск в колонці деаератора. Управління деаератором здійснюється за допомогою цифрових ПІ-регуляторів на базі програмно-технічного комплексу АСР турбінного відділення. У статті досліджується автоматична система регулювання тиску в деаераторі.

Ключові слова: АЕС, Деаератор, АСР, ПІ-регулятор, тиск.

Постановка проблеми. Деаераційна установка є одним з основних компонентів системи живильної води. Деаераційна установка призначена для деаерації основного конденсату, який надходить від регенеративних підігрівачів низького тиску (ПНТ), шляхом нагріву його до температури насичення за допомогою пару з нерегульованого відбору турбіни, також деаератор використовується для підігріву живильної води. Принцип деаерації полягає в тому, що з підвищенням температури води при постійному тиску розчинність газів зменшується і при температурі кипіння стає рівною нулю.

Деаераційна установка відноситься до систем важливих для безпеки.

У воді конденсатно-живильного тракту присутні різні газоподібні домішки (кисень, вуглекислота, азот, аміак), які поступають в основному за рахунок присосів повітря в конденсаторі і в перших ПНТ, що працюють при тиску нижче атмосферного. Найбільшу небезпеку представляють кисень і вуглекислота, що є корозійно-агресивними агентами. Присутність у воді домішок викликає ряд фізико-хімічних процесів, перш за все взаємодію їх із конструкційними матеріалами і посилення протікання корозійних процесів із винесенням продуктів корозії у воду. Це знижує економічність, надійність і безпеку роботи АЕС. Тому використання термічної деаерації є обов'язковим в схемі АЕС. Деаератори дозволяють видаляти з води будь-які розчинені в ній гази і не вносять жодних додаткових домішок до води. Деаератор є важливим елементом теплової схеми і окрім функції видалення з води агресивних газів, забезпечує також підігрівши води, виконує функції демпфуючої ємкості і надійної подачі живильної води до живильної установки блоку.

Робота деаератора заснована на принципі термічної деаерації, що полягає в тому, що при температурі рідини, рівній температурі насичення при заданому тиску, розчинність газів в рідині стає рівною нулю.

За термічної деаерації відношення температури води до температури насичення має бути витримане з високою точністю, так як при недогріванні усього на 1°C градус вода може містити кисень в кількостях, перевищуючих допустимі норми.

Необхідний нагрів води до температури насичення при тиску в деаераторі не контролюється, він забезпечується за рахунок розпилювання та змішування деаерованого конденсату з гріючим паром за умови збереження в деаераторі постійного тиску.

У режимі номінальної потужності основний конденсат поступає у верхню частину деаераційних колонок в камеру змішувача. Далі конденсат розподіляється по дірчастих тарілках і водоспрямовуючих листах, проходить через барботажний пристрій і прямує в бак акумулятор.

Гріюча пара заводиться колектором в нижню частину деаераційної колонки. Усередині деаератора паровий колектор перфорований і паровий потік прямує з нижньої частини деаераційної колонки у верхню.

Основний конденсат поступає з верхньої частини деаераційної колонки в нижню. Контактуючи напряму з паровим потоком конденсат нагрівається і досягаючи температури насичення виділяє розчинені у воді гази.

Гази разом із паровим потоком через відвідний колектор як робоче тіло прямують у ежекторні групи турбоустановки і потім видаляються в атмосферу.

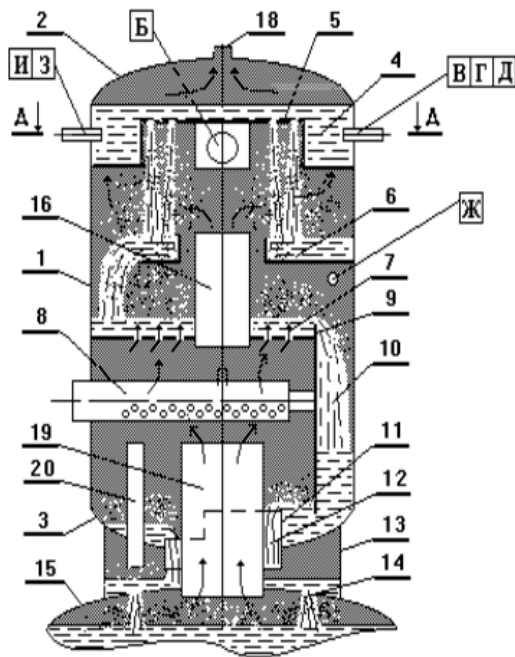


Рис. 1. Деаераційна колонка

Деаераційна колонка (рисунок 1) – струменево-барботажного типу, складається з циліндричного корпусу 1 з привареними до нього верхнім 2 і нижнім 3 днищами, чотирьох водоприймальних камер 4, струменевої тарілки 5, переливної тарілки 6 барботажного листа 7 і перфорованого колектора підведення пари, що гріє 8.

У верхню частину Деаераційної колонки заведені такі «холодні» потоки:

- «Б» – основний конденсат після ПНД, сепаратор СПП, конденсат ТК (Загальним трубопроводом)

- «Г» – хімобезсолена вода з БЗК

У нижню частину Деаераційної колонки підводиться гріючий пар. У колектор гріючого пара деаератору підводиться випар з розширювача продування ПГ.

У верхній частині Деаераційної колонки через штуцер 18 проводиться відведення випару деаератору з видаленням корозійно активних газів в атмосферу, РДМЗ або ПНД-2.

Термічна деаерація води в колоні здійснюється наступним чином.

Основний конденсат та інші «холодні» потоки надходять у водоприймальні камери 4, що утворюють гідро затвори для запобігання потрапляння пара у підвідні трубопроводи, і звідти на перфоровану струйну тарілку 5. Вода через перфорацію тарілки стікає на переливну тарілку 6. З переливної тарілки потік води направляється на початок барботажного листа 7, проходить по ньому і зливається в канал 10. Далі вода через

гідрозатвор, утворений стінкою каналу 10, зливається через кільцевої зазор 12 в перехідній штуцер 13, а потім через отвір 14 потрапляє в бак 15.

Гріючий пар подається по перфорованому колектору 8 під барботажний лист, проходить через отвори барботажного листа і крім нього через пароперепускну трубу 16 і потрапляє в струменевий відсік. Потім потік пара проходить струї води, конденсуючись в них.

Виділені з води гази і несконденсований пар в відсіках пар через канали 17, утворені бортами струменевої тарілки і корпусом колонки, потрапляють у верхню частину колонки, і відводяться у вигляді випару через штуцер 18. У струменевому відсіку здійснюється підігрів води паром до температури, близької до температури насичення, що відповідає тиску в колонці, і часткова дегазація води. На барботажному листі відбувається інтенсивна обробка води паром і її глибока дегазація.

У баку відбувається залишкова деаерація води, а саме: виділяється дисперсний кисень і відбувається розкладання бікарбонатів. Вентиляція парового простору бака відбувається в колонки через патрубков 19. Вентиляція перехідного штуцера 13 відбувається в колонку через сім спеціальних вентиляційних труб 20.

Виділені з води гази і несконденсований пар безперервно відводяться у вигляді випару з верхніх частин деаераційних колонок.

Постановка завдання. Забезпечення без кавітаційної роботи турбо-живильного насоса за рахунок забезпечення якості регулювання параметрів в деаераторі.

Для досягнення цілі були вирішені наступні завдання:

При автоматичному регулюванні деаератора виникають дві задачі: стабілізація стану насичення в головці і рівня води в баку. Таким чином, деаератор як об'єкт управління має дві регульовані величини: тиск і рівень. Збурюючими діями на тиск є тиск гріючої пари, витрата і температура конденсату. Збурюючими діями на рівень є витрата пари, конденсату і живильної води. Регулюючим чинником для стабілізації тиску є витрата гріючого пару (рис. 2).

Регулювання тиску в колонці деаератора здійснюється зміною витрати гріючої пари шляхом дії на РК подачі гріючої пари в деаератор.

Сигнал від датчика вимірювання тиску, дифманометра, поступає на регулятор тиску в деаераторі і порівнюється із завданням. Регулятор формує сигнал непогодження і команду виконавчому механізму на зміну витрати гріючої пари.

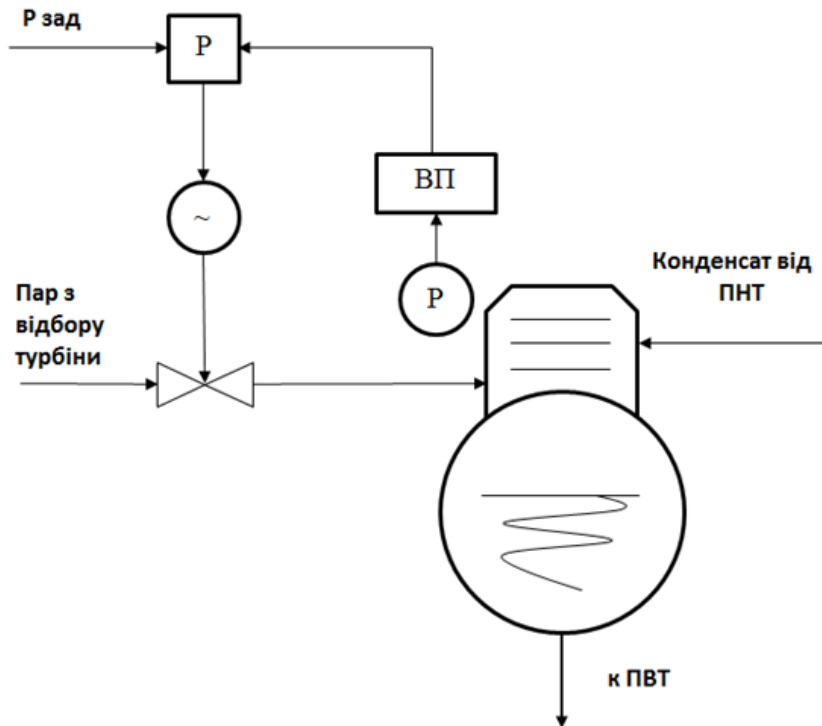


Рис. 2. Принципова схема регулювання тиску в деаераторі

Виклад основного матеріалу. Математична модель системи регулювання.

Параметрична схема технологічного об'єкту управління приведена на рисунку 3.

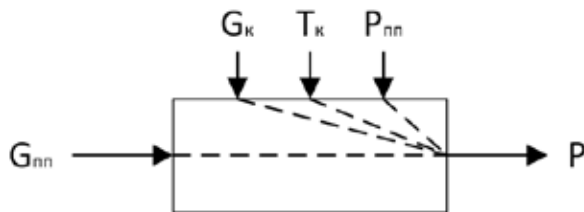


Рис. 3. Параметрична схема ТОУ

До об'єкту управління входять ділянки паропроводу від регулюючого клапана до деаератора і паровий об'єм деаератора.

Збурюючими впливами на тиск пари у голівці деаератора є такі:

- зміна витрати конденсату ΔG_k ;
- зміна температури конденсату ΔT_k ;
- зміна тиску пари $\Delta P_{нп}$ у відборі турбіни перед клапаном.

Регулюючим впливом є зміна витрати пари $\Delta G_{нп}$.

Для виведення рівняння динаміки деаератора по тиску пари запишемо рівняння збереження енергії для парового простору:

$$d[(V_n - V_k) \cdot \rho'' \cdot i''] / dt = M_n \cdot (i_n - i') + Q_u - M_c \cdot i'' - M_k \cdot (i' - i_k),$$

де V_n, V_k – об'єм парового простору і водяних крапель в ньому відповідно ;

M_n, M_k, M_c – масова витрата пари, конденсату і пароводяної суміші;

Q_u – кількість теплоти, що поступає в паровий простір за рахунок самовипаровування конденсату;

i'', i', i_n, i_k – ентальпія сухої насиченої пари, води на лінії насичення, пари і конденсату;

ρ'' – густина насиченої пари.

При цьому акумуляцією теплоти в металі нехтуємо. Оскільки рівень живильної води в баку, як правило, стабілізується автоматичним регулятором, то впливом рівня води на об'єм V_p також нехтуємо.

Запишемо рівняння у відхиленнях:

$$(V_n - V_k) \cdot d(\rho'' \cdot i'') / dt + \rho'' \cdot i'' \cdot (dV_n / dt) = (i_n - i') \cdot \Delta M_n - i'' \cdot \Delta M_c - (i' - i_k) \cdot \Delta M_k + M_n \cdot \Delta i_n + (M_n + M_k) \cdot \Delta i' - M_c \cdot \Delta i'' + M_k \cdot \Delta i_k + Q_u$$

У цьому рівнянні густина і ентальпія насиченої пари визначаються тиском пари P_d в деаераторі. Ентальпія пари визначається тиском в камері відбору турбіни. Ентальпія конденсату $i_k = c \cdot t_k$, де c – питома теплоємність конденсату.

Витрата теплоти за рахунок самовипаровування конденсату змінює свою величину і знак залежно від напрямку зміни тиску dP_d/dt . При під-

вищенні тиску в деаераторі частина закумульованої пари в ньому конденсується, відносячи в одиницю часу з парового простору у водяне кількість теплоти

$$\Delta Q_u = (V_g * \rho' * i' / r) * (di' / dP_\partial) * dP_\partial / dt$$

де r – питома теплота паротворення;

V_g – об'єм перегрітої води.

Отже, можна записати:

$$Q_u = -A * dP_\partial / dt,$$

де $A = (V_n - V_k) * \rho'' * di'' / dP_\partial$ при $dP_\partial / dt > 0$;

$A = (V_g * \rho' * i' / r) * (di' / dP_\partial)$ при $dP_\partial / dt < 0$.

Таким чином, деаератор є нелінійним об'єктом регулювання. Витрата пароводяної суміші в атмосферу залежить від тиску в деаераторі.

З урахуванням того, що в рівноважних режимах $(i' - i_k) * M_k = (i_n - i'') * \bar{M}_n$, одержимо:

$$T * \Delta P' + \Delta P = K_n * \Delta M_n - K_k * \Delta M_k + K_p * \Delta P_n + K_t * \Delta t_k,$$

де $T = T_\partial / Z_\partial$;

$$T_\partial = [(V_n - V_k) * \partial(\rho'' * i'') / \partial P + Ai] * \bar{P} / [(i' - i_k) * M_k];$$

$$Z_\partial = [(M_n + M_k) * di' / dP + \partial(M_c * i'') / \partial P] * \bar{P} / [(i' - i_k) * \bar{M}_k];$$

$$K_n = \bar{P} / Z_\partial * \bar{M}_n;$$

$$K_k = \bar{P} / Z_\partial * \bar{M}_k;$$

$$K_p = (di_{omb} / dP_{omb}) * \bar{P}_{omb} * \bar{M}_n / [(i' - i_k) * \bar{M}_k * Z_\partial];$$

$$K_t = i_k * \bar{P} / [(i' - i_k) * Z_\partial * t_k];$$

де i_{omb} , P_{omb} – ентальпія і тиск пари у відборі турбіни.

Отже, динаміка деаератора по всіх чотирьох каналах описується диференційним рівнянням 1-го порядку.

Оскільки регулюючий клапан встановлюється на паропроводі на деякій відстані від колонки деаератора, то ділянка паропроводу від РК до деаератора є динамічною ланкою з передавальною функцією $W_m(S)$.

$$W_m(S) = \frac{1}{Ts + 1},$$

де $T = T_n * \alpha_n * \bar{D} / P_e$;

$$\alpha_n = 2 * Kl * D.$$

Побудуємо модель автоматичної системи регулювання тиску (рисунок 4).

Передавальна функція РК визначається по витратній характеристиці клапана. Виведемо передавальну функцію клапана по каналу тиску пари.

Витрата пари через РК визначається виразом:

$$D = \alpha_{кл} * S_{кл} * \sqrt{2 * pn(Pn - P\partial)}.$$

Залежність витрати пари від тиску нелінійна. Після лінеаризації одержимо:

$$Kp = \frac{\alpha_{кл} * S_{кл} * \sqrt{pn}}{\sqrt{2 * (Pn - P\partial)}},$$

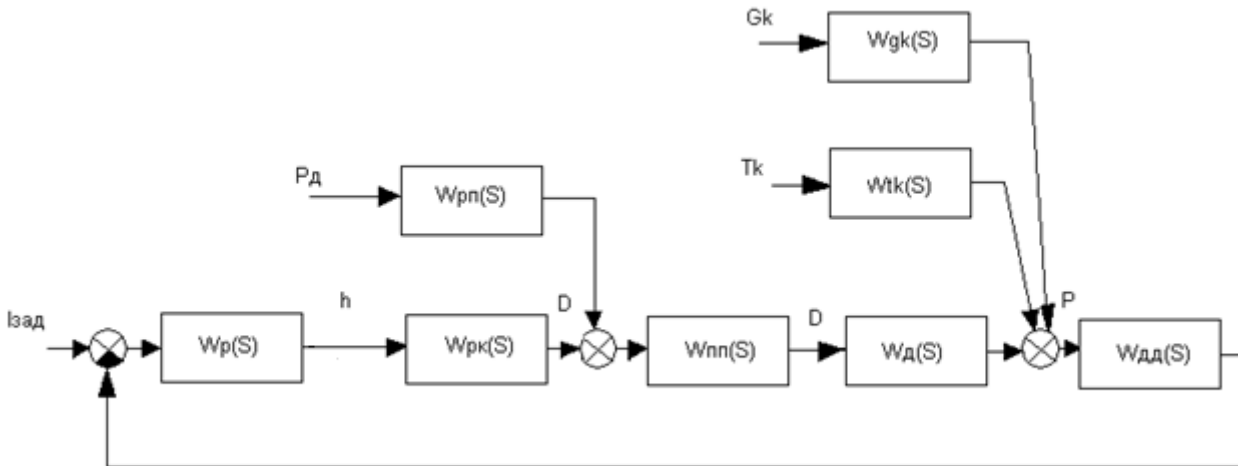


Рис. 4. Структурна схема АСР тиску в деаераторі

- де $W_p(S)$ – передавальна функція регулятора;
- h – переміщення клапану
- $W_{pk}(S)$ – передавальна функція Регулюючого клапану;
- $W_{pn}(S)$ – передавальна функція Регулюючого клапану по тиску пари;
- $W_{pp}(S)$ – передавальна функція паропроводу;
- $W_d(S)$ – передавальна функція деаератора по витраті пари;
- $W_{dd}(S)$ – передавальна функція вимірювального перетворювача;
- $W_{gk}(S)$ – передавальна функція деаератора по витраті конденсату;
- $W_{tk}(S)$ – передавальна функція по температурі конденсату.

Передавальна функція вимірювального перетворювача:

$$W_{BM}(S) = K_{BM} = \frac{\Delta I}{\Delta P_{max}}$$

Побудуємо структурну схему АСР з урахуванням коефіцієнтів в середовищі Matlab Simulink.

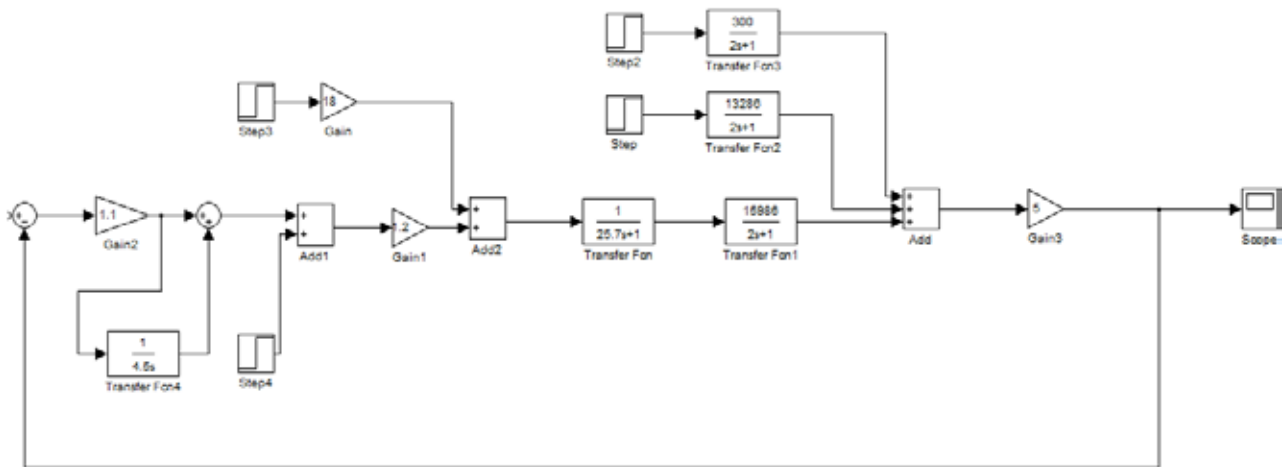


Рис. 5. Структурна схема замкнutoї АСР тиску в деаераторі з ПІ-регулятором

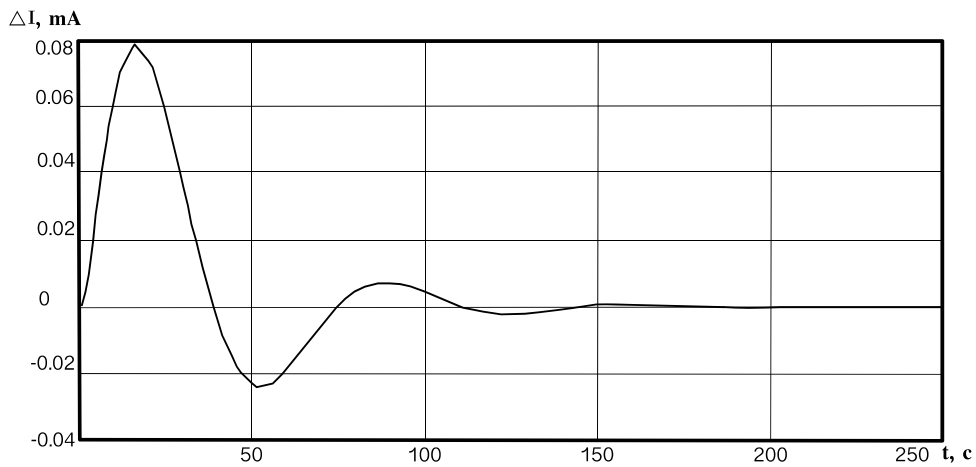


Рис. 6. Графік перехідного процесу регулювання при збуренні по каналу G_p

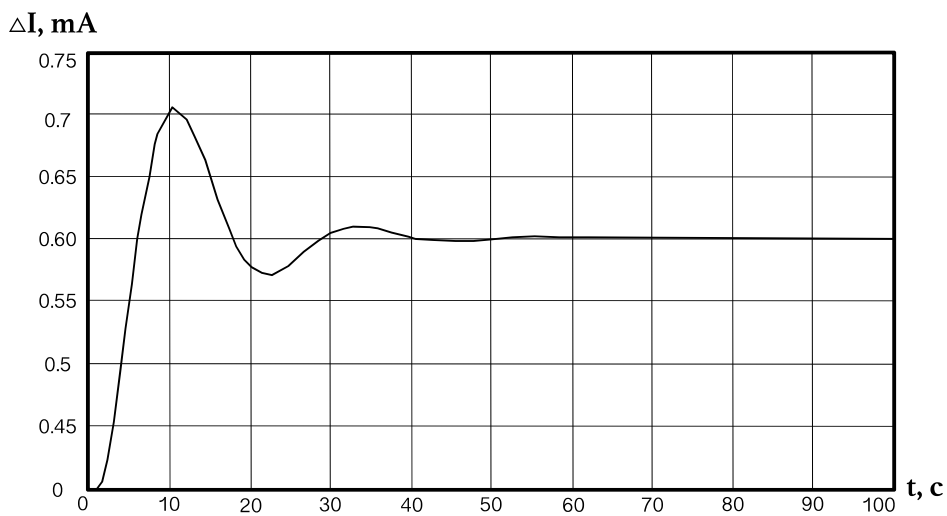


Рис. 7. Графік перехідного процесу регулювання тиску по каналу G_p

Висновки. У роботі було розглянуто технологічний об'єкт регулювання, такий як деаераційна установка, яка є частиною другого контура енергоблоку АЕС. Було розглянуто принцип роботи деаераційної установки та технологічні параметри деаератора які регулюються. Також була розглянута параметрична схема технологічного об'єкту управління.

В результаті роботи була забезпечена без кавітаційна робота турбо-живильного насоса за рахунок забезпечення якості регулювання параметрів в деаераторі, та розроблена автоматизована система регулювання тиску в деаераційній установці в якій управління деаератором здійснюється за допомогою цифрового ПІ-регулятора.

Список літератури:

1. Плетньов Г.П. Автоматизоване управління об'єктами теплових електростанцій. Москва : Енергоіздат, 1981. 159 с.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика*. Вип. 6. 19 с.
3. Максимов М.В. Метод оцінки ефективності алгоритму маневру потужністю енергоблоку з реакторами ВВЕР-1000. *Вісник вишів. Серія: Ядерна енергетика*. 2008. Вип. 4. С. 128–139.
4. Баскаков В.Є. Алгоритм експлуатації енергоблоку з ВВЕР у підтримці добового балансу потужності енергосистеми. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2007. Вип. 2 (28). С. 56–59.
5. Сучасні технології управління: монографія: в 2 т. / за заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса : Купрієнко С.В., 2012. 179 с.
6. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2002. Вип. 2(22). С. 29–56.
7. Волошкіна О.О., Беглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2015. Т. 7. Вип. 4. С. 18–24.
8. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. *Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського»*. Серія: Технічні науки. 2018. Вип. 29 (68). Ч. 1. № 3. С. 134–140.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ДЕАЭРАТОРЕ

Деаэрационная установка является частью второго контура энергоблока АЭС. Одним из основных регулируемых параметров в деаэраторе является давление в колонке деаэратора. Управление деаэратором осуществляется с помощью цифровых ПИ-регуляторов на базе программно-технического комплекса АСР турбинного отделения. В статье исследуется автоматическая система регулирования давления в деаэраторе.

Ключевые слова: АЭС, Деаэратор, АСР, ПИ-регулятор, давление.

THE AUTOMATIC SYSTEM OF ADJUSTING OF PRESSURE IN A DEAERATOR

A deaerating plant is part of the second contour of power unit of nuclear power plant. One of the basics managed parameter in a deaerator is pressure in the column of deaerator. Deaerator management is carried out by digital pi-regulators on the base of software-hardware complex of automated control system of the turbine department. The automated control system of pressure in a deaerator is explored in the article.

Key words: nuclear power plant, deaerator, automated control system, pi-regulator, pressure.