

Озерова Д.С.

Одеський національний політехнічний університет

Пелих С.М.

Одеський національний політехнічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Основним завданням атомних електростанцій є забезпечення безперебійного постачання споживачам електричної і теплової енергії, виробленої з дотриманням вимог правил і норм безпеки в атомній енергетиці. Система регенерації високого тиску впливає на безпеку енергоблоку, оскільки забезпечує подачу пари в реакторне відділення до парогенератора. Порушення в роботі будь-якого допоміжного елемента системи регенерації високого тиску зазвичай призводить до відхилень від режиму нормальної експлуатації обладнання технологічних систем енергоблоку та небезпечних наслідків.

Автоматична система регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску дозволяє за отриманими даними управляти процесами у підігрівачах високого тиску. Це значно збільшує надійність роботи та забезпечує виконання вимог по технічній і екологічній безпеці виробництва енергії.

З розвитком цифрової техніки з'явилася можливість модернізувати устаткування й застосувати нові алгоритми, присвячені регулюванню рівня у підігрівачах високого тиску. Об'єктом дослідження є автоматична система регулювання групи підігрівачів високого тиску (ПВТ-6,7). Предметом дослідження є методи регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Методами дослідження є комп'ютерне моделювання у середовищі SCADA trace mode 6, внаслідок чого було здійснено імітаційне моделювання автоматичної системи регулювання рівня води системи регенерації високого тиску. Масштаб систем автоматизації, які створюються у Trace Mode, дуже широкий. Це середовище (Trace Mode) дозволяє будувати проекти простих, складних і дуже складних систем автоматики, у т. ч. автоматизовані системи керування технологічними процесами й автоматичними системами керування підприємств загалом.

Ключові слова: атомні електростанції, підігрівачі високого тиску, автоматична система регулювання, рівень, імітаційне моделювання, SCADA, FBD-діаграма.

Постановка проблеми. Устаткування атомних електричних станцій повинне працювати у проектному стані, націлене на рішення кінцевої задачі. Якщо цього неможливо досягти, це є комплексною проблемою енергетики.

Подання живильної води в парогенератори до досягнення електричного навантаження на енергоблоці до 850 МВт здійснюється повз підігрівачі високого тиску. При досягненні електричного навантаження на енергоблоці більше 850 МВт в роботу включаються дві групи ПВТ, у яких відбувається підігрівання живильної води парою, яка відбирається із проточної частини ЦВТ, внаслідок чого збільшується економічність енергоблоку за рахунок збільшення термічного коефіцієнта корисної дії замкнутого циклу роботи паросилової установки енергоблоку.

Для того, щоб система працювала без аварійних ситуацій, треба контролювати та регулювати

рівень конденсату у підігрівачах високого тиску (ПВТ). Застосування ПВТ підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) установки.

Якщо атомна електростанція працює з відключеними підігрівачами високого тиску, втрата ККД становить 2,6%. Згідно з регламентом АЕС може працювати з відключеною групою підігрівачів необмежену кількість часу на зниженій потужності [1, с. 41–42].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [2, с. 5–10] описується розробка й апробування автоматичної системи регулювання частоти та потужності, яка є необхідною для енергосистеми України. Такий напрям вважається актуальним і використовується для автоматичної системи регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Вперше було запропоновано математичну модель групи підігрівачів високого тиску, яка складалася з моделювання динамічних

процесів тепло-масообміну і поточних налаштувань ПІ регулятора. Перехідні процеси у підігрівачах рівня конденсату розраховувалися за допомогою рівняння динаміки, в яких не входить модель насоса, що дає можливість підтримувати ККД на проектному рівні [3, с. 118–120].

Постановка завдання. Метою роботи є забезпечення стабільності на проектному рівні ККД електростанції за рахунок стабілізації рівнів води у групі підігрівачів високого тиску впровадженням автоматичної системи регулювання рівня конденсату та розробкою імітаційного моделювання.

Завдання дослідження:

- Аналіз технологічних процесів об'єкта автоматизації.

- На основі розробки математичної моделі автоматичної системи регулювання рівня конденсату у групі підігрівачів високого тиску виконати імітаційне моделювання АСР рівня конденсату у групі ПВТ.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для досягнення поставленої мети треба проаналізувати технологічні характеристики об'єкта автоматизації. Ці характеристики будуть використовуватися для розробки імітаційної моделі АСР рівня води у групі ПВТ.

Регенеративна система високого тиску призначена для підігрівання живильної води турбоустановки К-1000-60/1500-2(М) парою, що частково відпрацювала у проточній частині турбіни. Підігрівання живильної води відбувається в підігрівачах поверхневого типу, які входять до складу системи регенерації високого тиску паротурбінної установки та включені у тракт подачі живильної води на парогенератори після турбоживильного насоса (ТЖН). Це підігрівання заведено називати регенеративним підігріванням живильної води, а підігрівачі, у яких відбувається підігрівання живильної води, заведено називати регенеративними підігрівачами високого тиску.

Система регенерації високого тиску складається із двох груп підігрівачів:

- ПВТ-6А(Б) – RD21(22) W01 – підігрівач поверхневий, типу ПВ-2500-97-18А, призначений для підігрівання живильної води парою від 2-го відбору турбіни;

- ПВТ-7А(Б) – RD11(12) W01 – підігрівач поверхневий, типу ПВ-2500-97-28А, призначений для підігрівання живильної води парою від 1-го відбору турбіни.

Саме такі технологічні процеси, як підігрівання живильної води парою від відбору турбіни й утворення конденсату були використані при

розробці математичної моделі регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Розроблена математична модель може забезпечувати стабільність ККД електростанції на проектному рівні за рахунок стабілізації рівнів конденсату у групі ПВТ.

Для досягнення мети було виконано імітаційне моделювання АСР рівня конденсату у групі підігрівачів високого тиску. Для цього спочатку розробляється функціональна схема автоматизації (ФСА), а після отримання ФСА розробляється людино-машинний інтерфейс оператора технолога в SCADA.

При автоматизації процесу регулювання рівня у ПВТ особливу увагу звертають на їх надійну та безаварійну роботу. Одним із найважливіших параметрів ПВТ є рівень конденсату пари, що гріє. Підтримка цього параметра реалізує основну мету ПВТ – підігрів води для парогенератора. Підвищення рівня КГП у ПВТ може привести до затоплення змійовиків і, як наслідок, влучення вологи в турбіну, що приведе до аварії з ушкодженням лопаток турбіни. Зниження рівня приводить до оголення змійовиків, підвищення в них тиску, а це може привести до розриву. Контроль рівня КГП забезпечує безаварійну роботу усього блоку. Програмне забезпечення є важливою складовою частиною у процесі регулювання, тому що зображує безпосередньо керування. У цьому допомагає програма SCADA Trace mode 6, у якій реалізуються статичні та динамічні параметри регулювання, значення рівня КГП у ПВТ.

SCADA є програмним пакетом для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення й архівації інформації про об'єкт моніторингу або керування. SCADA може бути частиною АСУ ТП.

SCADA-системи забезпечують операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери та для зв'язку з об'єктом використовує драйвери вводу-виводу або OPC/DDE сервери.

Програмний код може бути як написаний мовою програмування (наприклад на C++), так і згенерований у середовищі проектування мовою FBD. Для більш точного спостереження за процесом операторові необхідно спостерігати зміни, які відбуваються в реальному часі, що дозволить зреагувати вчасно у разі непередбаченої обставини й повернути системі регулювання необхідні параметри.

Людино-машинний інтерфейс становлять так, щоб відображати найбільш правдоподібно

зовнішній вигляд об'єкта автоматизації. Екранні форми становлять: загальний вид групи ПВТ і динамічний рух робочого середовища; процес регулювання рівнем КГП у ПВТ. Розроблена мнемосхема представлена на рис. 1, це загальний вид групи ПВТ, а також показані рухи робочого середовища (конденсат, пара, живильна вода).

Процес регулювання зображений на рис. 2 для ПВТ-6 та на рис. 3 для ПВТ-7. Спостерігати за змінами можна на відповідних графіках (трендах) параметрів. Можна задавати значення та спостерігати їхні зміни як у вигляді анімації, так і у вигляді графіків.

На рис. 2 та 3 можна побачити, що параметр рівня становить 2 500 мм. Для забезпечення ефективною та стабільною роботи АЕС значення параметрів рівня не має перевищувати номінальний рівень 2 900 мм. Якщо відбудеться відключення ПВТ внаслідок перевищення номінального рівня, то це призведе до втрати ККД на 2,6%. Тому за відсутності регенеративного підігрівання живильної води дуже значне даремне відведення теплоти в холодному джерелі – конденсаторі турбіни. Частина теплоти мала б бути використана для підігрівання живильної води у спеціальних регенеративних підігрівачах перед подачею її в парогенеруючу установку.

Система регенерації високого тиску чинить істотний вплив на безпеку енергоблоку, оскільки

вона забезпечує подачу пари в реакторне відділення до парогенераторів. Перевищення рівня в ПВТ вище за допустимі межі може бути внаслідок розриву труб, появи свищів у місцях зварювання елементів трубної системи, закриття регулюючої арматури на зливних трубопроводах КГП. Як виконавчий орган захисту від підвищення рівня в ПВД використовують автоматичний пристрій зі швидкодіючим впускним і зворотним клапаном.

Система оснащена захистом від підвищення рівня конденсату в паровому просторі корпусу будь-якого підігрівача до 1-ої межі рівним 344 см і 2-ої межі рівним 544 см. При підвищенні рівня конденсату в корпусі будь-якого ПВД до 304 см подається попереджувальний сигнал на блок щитового управління окремо по кожній групі. При досягненні рівнем уставки 1-ої межі або спрацьовування захисту по 2-ій межі проводиться відключення відповідної групи.

Безпосередня робота програми полягає у створенні імітатора об'єкта на основі математичної моделі ПВД. Є можливість автоматичного налаштування необхідних параметрів для підтримки номінального рівня. На рис. 4 зображено імітатор об'єкта мовою програмування FBD.

У верхній частині малюнка два блоки ОВІ (інерційні ланки першого порядку) з'єднані послідовно й утворюють об'єкт керування другого порядку по каналі передачі впливу, що обурює.

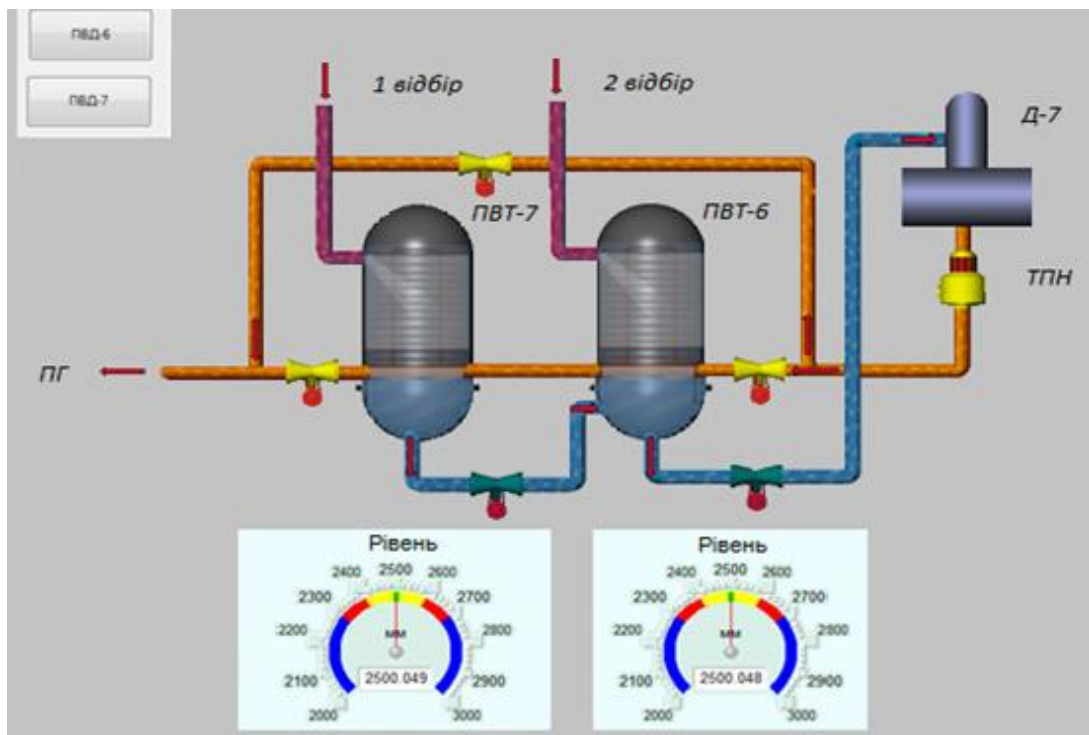


Рис. 1. Мнемосхема технологічної схеми групи ПВД

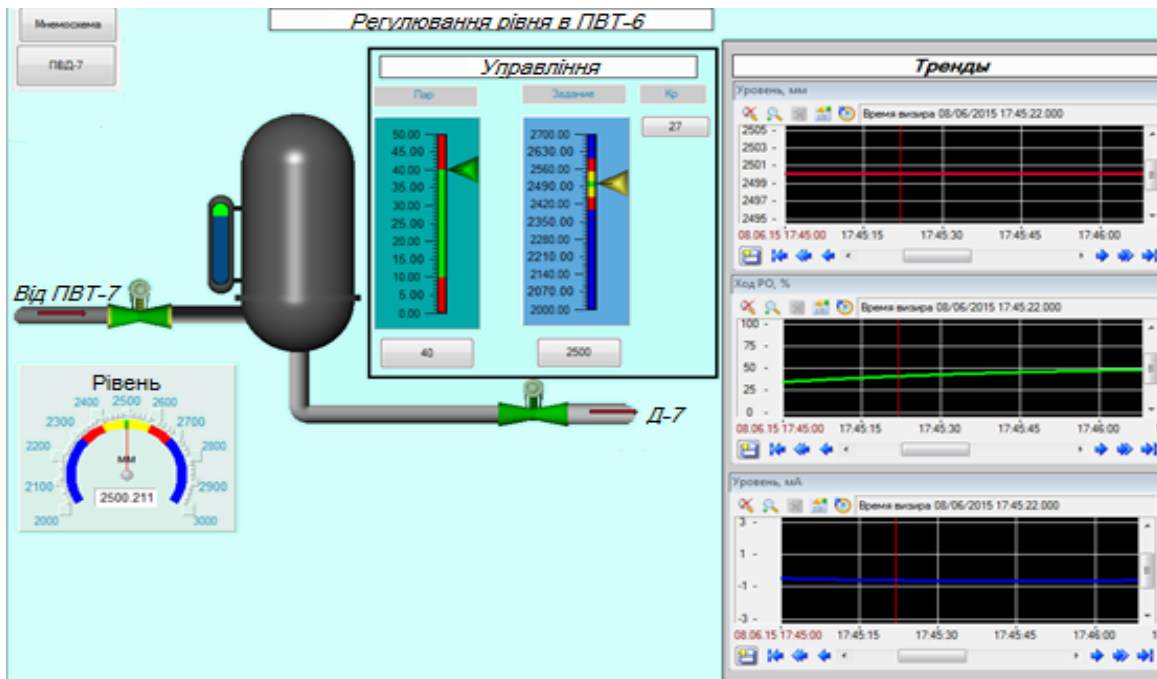


Рис. 2. Мнемосхема регулювання рівня в ПВД-6

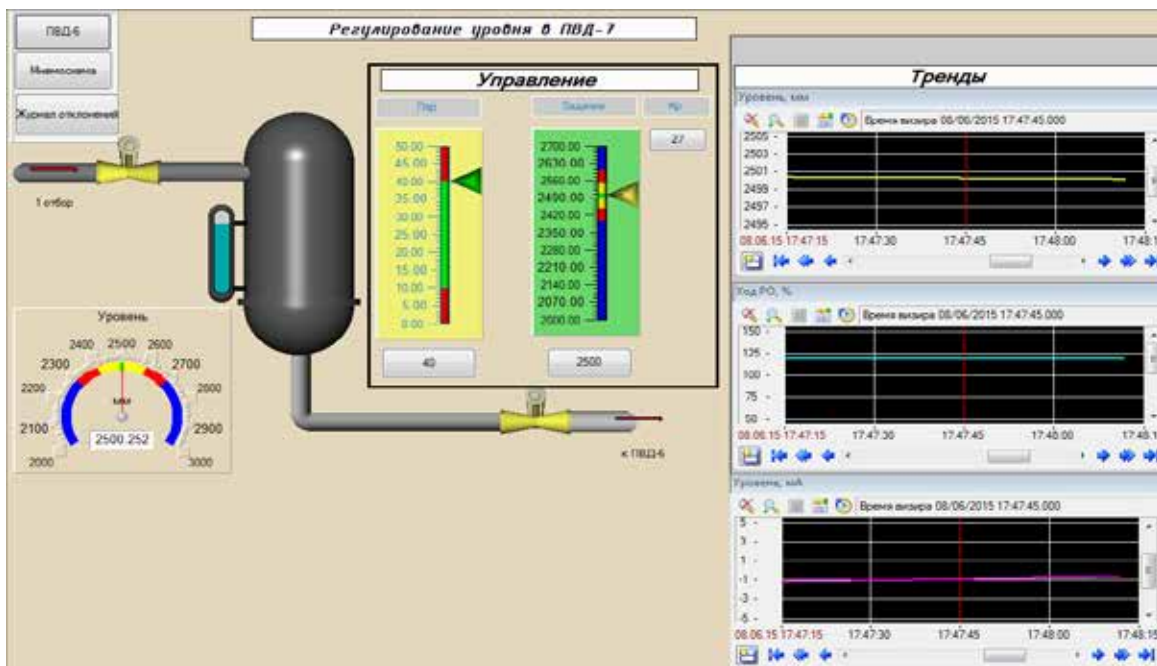


Рис. 3. Мнемосхема регулювання рівня в ПВД-7

Вихідні змінні обох об'єктів підсумуються у блоці X+Y й утворюють сигнал по зміні рівня.

Як видно, блоки можуть мати сигнальні та настроювальні входи. На сигнальні входи подаються сигнали від попередніх за схемою блоків або від повзункових приладів. Вихідні сигнали подаються на наступні за схемою блоки. На настроювальні входи подаються настроювальні константи з панелей налаштування блоків або

екрана. Програмна реалізація розробленої АСР створена на базі FBD-діаграм.

Висновки. Визначено призначення та вплив об'єкта дослідження на безпеку експлуатації енергоблоку Запорізької атомної електростанції. Також описано технічні характеристики підігрівачів високого тиску. Це дозволило провести більш детальний аналіз технологічного об'єкта автоматизації системою регенерації високого тиску, а також із перевагами системи.

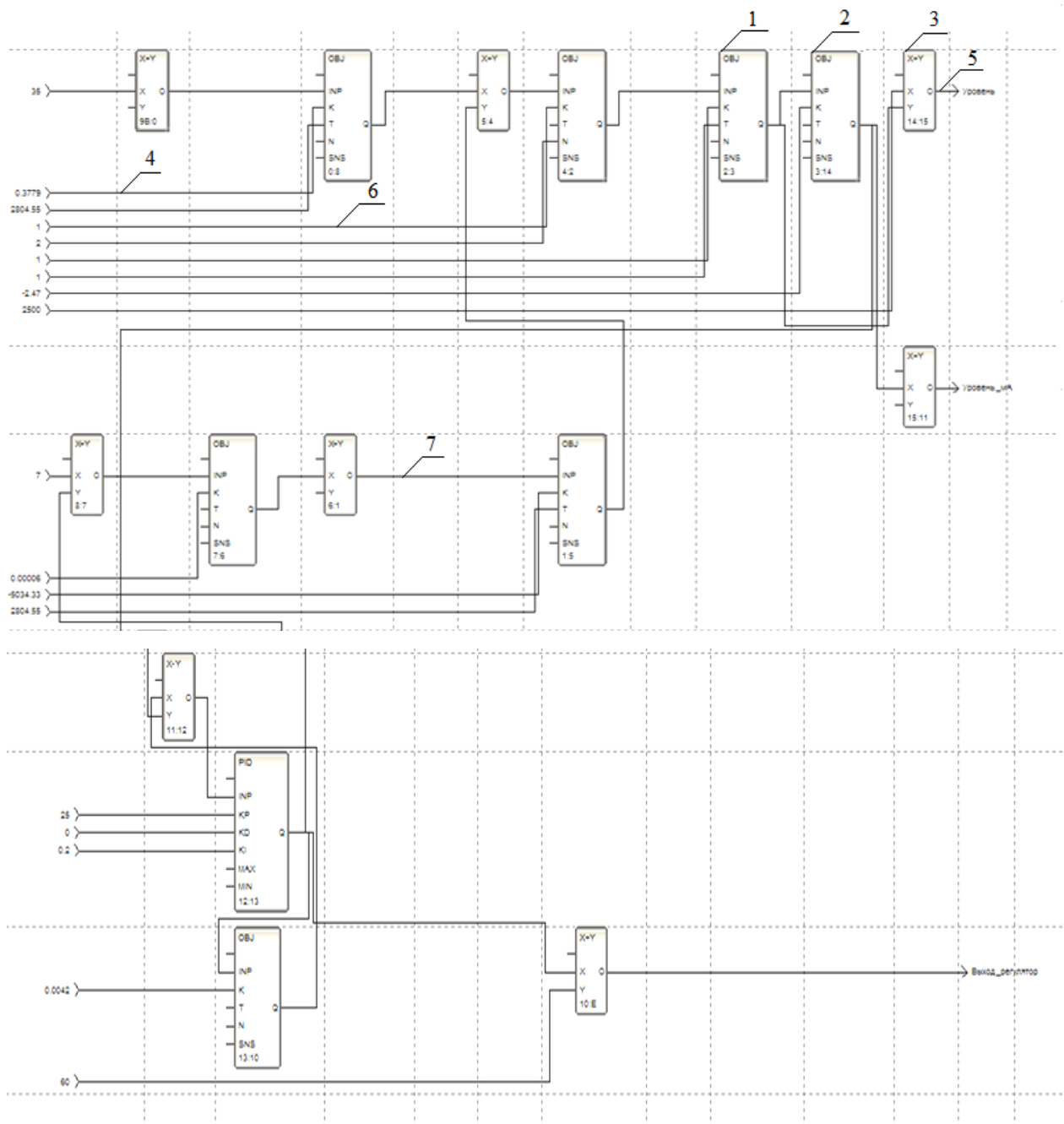


Рис. 4. Імітатор об'єкта мовою програмування FBD: 1, 2 – два блоки OBJ; 3 – блок X+Y; 4 – канал збурення; 5 – сигнал по зміні рівня; 6 – вихідні сигнали; 7 – налаштовувальні входи

За допомогою досліджуваних і розрахункових результатів було розроблено імітаційне моделювання автоматичної системи регулювання рівня конденсату системи регенерації високого тиску. З'ясовано, чим є програма SCADA Trace mode 6 та розроблено людино-машинний інтерфейс оператора технолога у SCADA. Було отримано мнемосхеми технологічної схеми групи ПВТ, а також мнемосхеми регулювання рівня в ПВТ-6 та ПВТ-7. Це дозволило виконати програмну реалізацію розробленої АСР створеної на базі FBD-діаграм.

На отриманих мнемосхемах видно, що отримані параметри не перевищують номінальний рівень ПВТ, який становить 2 900 мм. Підтримка номінального рівня не призведе до відключення ПВТ і втрати ККД на 2,6%. Тому практичною цінністю отриманих результатів є те, що автоматична система регулювання дозволяє управляти процесами у ПВТ, внаслідок чого значно збільшується ефективність і надійність роботи атомної електростанції завдяки стабільності її ККД.

Список літератури:

1. Технологія виробництва електричної енергії на атомній електростанції. Другий контур : навчальний посібник. Энергодар : ЗАЕС, 2003. Ч. 1. С. 41–43.
2. Кулик М.М., Дрьомін І.В. Основи організації автоматичної системи регулювання частоти і потужності на базі споживачів-регуляторів. *Проблеми загальної енергетики*. 2010. Вип. 1 (21). С. 5–10.
3. Озерова Д.С. Автоматична система регулювання рівня води к групі підігрівачів високого тиску. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 6. С. 116–122.
4. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции : учебник. Москва : ИздАТ, 1994. 289 с.
5. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса : Асторпринт, 2001. С. 239–240.

Ozerova D.S., Pelykh S.M. SIMULATION MODELING OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR REGULATING THE WATER LEVEL IN THE GROUP OF HIGH-PRESSURE HEATERS

The main task of nuclear power plants is to ensure uninterrupted supply of electrical and thermal energy to consumers, produced in compliance with the requirements of the rules and safety standards in the nuclear power industry. The high pressure regeneration system affects the safety of the power unit as it supplies steam to the reactor compartment in the steam generator. Malfunctions in the operation of any auxiliary element of the high pressure regeneration system, as a rule, lead to deviations from the normal operation of the equipment of the power unit technological systems.

The water level control system in the group of high-pressure heaters allows, according to the data obtained, to control the processes in the HTP, which significantly increases the reliability of operation and ensures that the requirements for technical and environmental safety of energy production are met. With the development of digital technology, it became possible to modernize equipment and apply new algorithms dedicated to regulating the level in PST.

The object of research is an automatic control system for a group of high pressure heaters (HPH-6.7). The subject of the research is the methods for regulating the water level in the group of high pressure heaters.

The research methods are computer simulation in the SCADA trace mode 6 environment, as a result of which a simulation of an automatic water level control system of a high pressure regeneration system was obtained. The scale of automation systems created in Trace Mode is very wide. This environment allows you to build projects of simple, complex and very complex automation systems, including automated control systems for technological processes and automatic control systems of enterprises in general.

Key words: nuclear power plants, high pressure heaters, automatic control system, level, simulation, SCADA, FBD-diagram.