

Сангінова О. В.,
Медведєв Р. Б.,
Мердєх С. Л.

РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ВОДНО- ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ДРУГОГО КОНТУРУ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Проведено аналіз причин виникнення аварійних ситуацій на АЕС. Розглянуто принципи ліквідації аварійних ситуацій. Наведено узагальнений алгоритм діагностування стану водно-хімічного режиму (ВХР) другого контуру енергоблоку АЕС. Розроблено логічні моделі, що призначені для визначення причин порушень норм ведення ВХР. Розроблено стратегії керування для формування відповідних керуючих впливів задля уникнення аварійних режимів експлуатації АЕС.

Ключові слова: діагностування стану водно-хімічного режиму, логічні моделі, ліквідація аварійних ситуацій.

1. Вступ

Водно-хімічний режим (ВХР) другого контуру має забезпечувати мінімальну кількість відкладень на теплопередаючій поверхні; запобігати корозійним і корозійно-ерозійним пошкодженням устаткування та трубопроводів парового, конденсатного і живильного трактів; мінімальний об'єм відходів, що містять шкідливі для навколишнього середовища хімічні домішки [1].

Якість ведення ВХР другого контуру можна оцінювати за одним із наступних показників: швидкістю корозії конструкційних матеріалів, кількістю відкладень на внутрішніх поверхнях обладнання, обсягами рідких відходів, які містять речовини, шкідливі для навколишнього середовища.

Мінімізація показників за вказаними критеріями досягається шляхом дотримання встановлених нормами показників, важливих з точки зору ВХР (водневий показник рН, питома електрична провідність, концентрація морфоліну, гідразину, аміаку, тощо). Проте підтримка значень показників ВХР у регламентованих межах не виключає повністю протікання корозійних процесів та утворення відкладень домішок.

Отже, актуальною залишається проблема забезпечення та підтримки таких фізико-хімічних властивостей теплоносіїв, які запобігали б корозійним пошкодженням конструкційних матеріалів обладнання та утворенню відкладень на його поверхнях. Для забезпечення оптимального керування ВХР необхідно розробити таку стратегію керування, яка дозволить мінімізувати швидкість корозії устаткування другого контуру та кількість відкладень на поверхнях технологічного обладнання, що на сьогодні залишається надзвичайно актуальною задачею.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Відповідно до міжнародної класифікації МАГАТЕ [2, 3], всім подіям, що призвели до аварійних ситуацій, режимів та аварій на АЕС, присвоюють відповідний бал за наступною шкалою:

- аномалія 1 бал;

- аварійна ситуація 2 бали;
- серйозна аварійна ситуація 3 бали;
- аварія, обмежена енергоблоком 4 бали;
- аварія із зовнішнім ризиком 5 балів;
- тяжка аварія 6 балів;
- найбільш тяжка аварія 7 балів.

Події, які отримали від 1 до 3 балів, відносять до інцидентів, а від 4 до 7 — до аварій; події, що не мають наслідків з точки зору безпеки (загальної, радіаційної чи ядерної), отримують 0 балів.

За складністю інциденти та аварії поділяють на [4]:

- прості — викликані однією причиною;
- складні — виникли під дією одночасного впливу декількох незалежних причин;
- каскадні аварії виникають у випадку, коли аварійний режим в одному елементі системи спричинив виникнення порушення нормального режиму в іншому елементі, внаслідок взаємного впливу робочих процесів.

За частотою виникнення порушення поділяють на:

- ймовірні — трапляються від 1 до 1/40 разів на рік на 1 реактор;
- рідкі — виникають від 1/40 до 10^{-4} разів на рік на 1 реактор;
- малоімовірні — від 10^{-4} до 10^{-7} порушень на рік на 1 реактор.

Причини виникнення аварійних ситуацій, що виникають внаслідок порушень ВХР другого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 [5], пов'язані з:

- помилками персоналу;
- зовнішніми факторами;
- технічною відмовою обладнання.

Під порушеннями ВХР розуміють відхилення нормованих показників якості робочого середовища другого контуру від допустимих значень, що не усунене протягом встановленого часу і невжиття заходів щодо переходу на відповідні рівні дій, а також відхилення діагностичних показників [5].

Найпоширенішими причинами аварійних ситуацій є помилки персоналу, які становлять від 60 до 80 % всіх подій. Погіршує аварійні ситуації та сприяє їх переходу в аварійні режими як помилкові дії персоналу,

так і ухилення від прийняття рішень. Поведінка людини під час порушень нормальних режимів експлуатації є джерелом невизначеності, причому протягом певного періоду часу від початку настання події ймовірність помилкових дій досить велика і становить від 0,2 до 0,3 одиниць [6].

До зовнішніх факторів, що спричиняють відхилення нормованих та діагностичних показників від встановлених значень, відносять наступні [7]:

- присоси охолоджуючої води через нещільності конденсаторів турбіни, конденсаторів турбоживильних насосів та ін.;
- присоси мережної води через нещільності бойлерів тепломережі;
- присоси повітря через нещільності вакуумної частини конденсатного тракту;
- живильна вода після хімводоочистки;
- конденсат дренажних баків;
- продукти деградації іонообмінних матеріалів;
- регенераційні розчини і відмивочної води іонообмінних установок при порушенні технології регенерації;
- домішки в реагентах, що застосовуються для корекції ВХР;
- продукти корозії конструкційних матеріалів обладнання та трубопроводів 2 контуру;
- протікання турбінного масла через нещільність мастильної системи.

Порушення ВХР призводять до корозійно-ерозійного зносу обладнання, трубопроводів та арматури. Ступінь корозійно-ерозійного зносу збільшується при зниженні рН робочого середовища, накопиченні вуглекислоти, появі кисню в технологічному тракті, концентруванні органічних кислот, джерелом яких може бути додаткова вода після хімводоочищення (ХВО), очищена вода після фільтрів спец водоочищення (СВО) СВО-5 та іонообмінні смоли фільтрів блочної знесолюючої установки (БЗУ) при їх деградації. Неякісна консервація обладнання або її відсутність у період виводу блоку з роботи також призводить до накопичення продуктів корозії та утворення виразок на внутрішніх поверхнях [8, 9].

Усі перелічені події підвищують ризик виникнення аварійних режимів на АЕС. Тому особливу увагу слід приділити розробленню алгоритмів діагностування стану ВХР. Комплекс логічних моделей визначення причин порушень норм ведення ВХР та формування керуючих впливів дозволить вчасно усунути загрози виникнення нештатних або аварійних ситуацій під час експлуатації енергоблоку.

3. Об'єкт, мета і задачі дослідження

Об'єктом дослідження є водно-хімічний режим другого контуру АЕС із реакторами типу ВВЕР-1000.

Мета роботи полягає у розробленні основних алгоритмів діагностування стану ВХР другого контуру, що дозволить зменшити помилки прийняття рішень оперативним персоналом, знизити ступінь корозійно-ерозійного ураження конструкційних матеріалів обладнання енергоблоку та, як наслідок, уникнути аварійних режимів роботи електростанції.

Досягнення поставленої мети реалізовано шляхом вирішення наступних задач:

- формалізація задачі оптимального керування ВХР другого контуру АЕС із реактором типу ВВЕР-1000;

- розроблення логічних моделей, призначених для визначення причин порушень норм ведення ВХР;
- розроблення стратегій керування та формування керуючих впливів на основі рішень, отриманих за логічними моделями.

4. Матеріали та методи дослідження причин виникнення аварійних ситуацій та розроблення алгоритмів діагностування стану водно-хімічного режиму другого контуру

4.1. Принципи ліквідації аварійних ситуацій на АЕ. Сформулюємо принципи, якими має керуватися оперативний персонал під час прийняття рішень щодо виходу з аварійних ситуацій та недопущення переходу їх в аварійні режими.

Принцип доступу до інформації: підсистеми моніторингу мають здійснювати огляд та оперативний аналіз інформації щодо роботи обладнання та надавати персоналу дані щодо виявлених порушень.

Принцип розмежування дій між людиною та автоматикою: людина не повинна втручатися в роботу систем автоматичного керування, оскільки в більшості випадків це призводить до погіршення ситуації.

Принцип ідентифікації: своєчасне розпізнавання ситуації, що дозволить спрогнозувати розвиток та оцінити можливі наслідки.

Принцип оптимального керування реалізується шляхом аналізу можливих варіантів дій для виходу з аварійної ситуації та вибору найкращого відповідно до заданого критерію. Разом із запропонованими варіантами доцільно оцінювати їхній вплив на ВХР та обладнання.

Дотримання вказаних принципів дозволяє ефективно здійснювати пошук можливих варіантів дій для виходу з аварійної ситуації, приймати рішення та виконувати дії щодо його реалізації.

4.2. Узагальнений алгоритм діагностування стану ВХР другого контуру. Узагальнений алгоритм діагностування стану ВХР другого контуру для визначення причин порушень норм ведення ВХР та формування керуючих впливів представлений на рис. 1.

Відповідно до запропонованого алгоритму, на першому кроці здійснюється визначення режиму роботи енергоблоку: проведення гідравлічних випробувань парогенератора (ПГ); пуск енергоблоку після зупинки; експлуатація енергоблоку на мінімально-контрольованому рівні потужності; експлуатація енергоблоку на енергетичних рівнях потужності не більше 35 % номінальної потужності; експлуатація енергоблоку на енергетичних рівнях потужності більше 35 % номінальної потужності; період зниження потужності і розхолодження енергоблоку.

Другий крок – первинна обробка вихідної інформації – передбачає контроль достовірності вихідних даних та їх метрологічну корекцію, визначення та аналіз стану технологічного обладнання, цифрову обробку аналогових величин (контроль відповідності дискретної інформації аналогової; зважування аналогових величин за відповідними дискретними параметрами при усередненні), усереднення вхідної інформації на оперативному та звітному (зміна, доба, поточний місяць, місяць, місяць за вахтами) інтервалах. Пропонується виконувати первинну обробку поточної інформації кожні 15 с, тобто усереднювати дані на оперативному 15-хвилинному інтервалі.

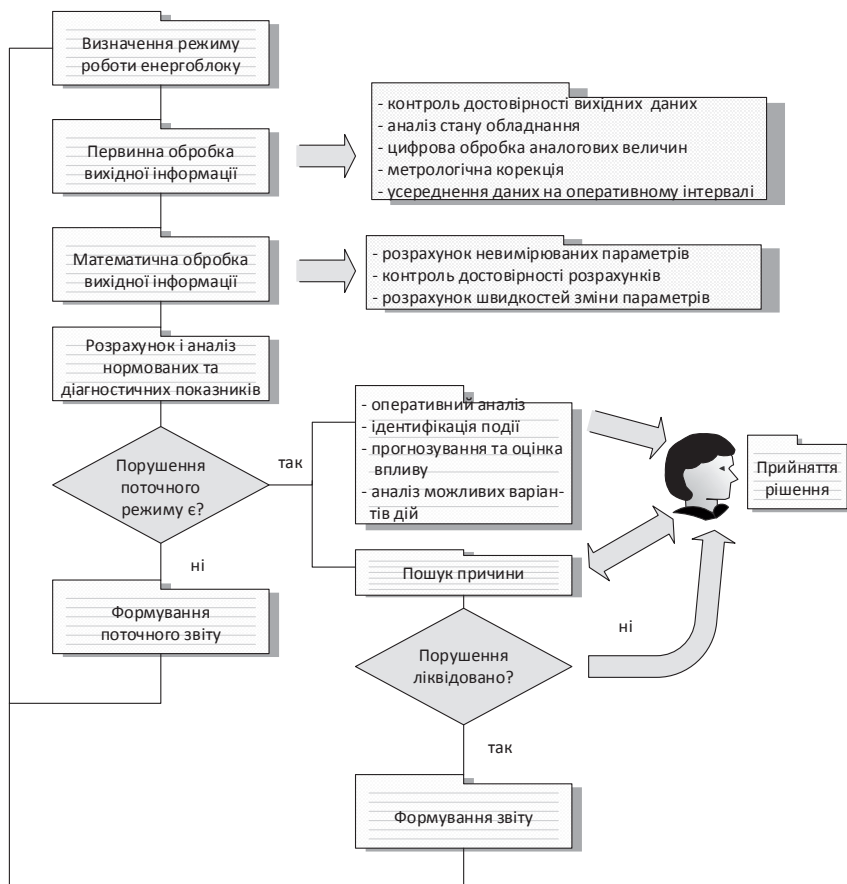


Рис. 1. Алгоритм діагностування стану водно-хімічного режиму другого контуру

Математична обробка вихідної інформації включає розрахунок невимірюваних параметрів та виконання комплексу завдань з коригування витрат та концентрацій, тисків, термодинамічних величин тощо. Розрахунок параметрів виконується на оперативному інтервалі над усередненою вхідною інформацією. Також на цьому кроці виконується контроль достовірності розрахункових величин для найбільш важливих показників з блокуванням результатів недостовірного розрахунку та розрахунок швидкості зміни показань. Якщо швидкість зміни значень параметрів перевищує 5 %, формується відповідне повідомлення для оперативного персоналу.

Наступний крок передбачає розрахунок параметрів ВХР, що визначають протікання технологічного процесу, та аналіз нормованих та діагностичних показників. Якщо фактичні показники на оперативному інтервалі виходять за встановлені межі, розпочинається пошук можливих причин.

Відповідно до сформульованих вище принципів, оператор отримує звіт, який містить дані щодо виявлених порушень з боку ВХР та обладнання, класифікацію виявленого порушення, оцінку можливих наслідків та прогнозний розрахунок розвитку події у випадку бездіяльності. Інформація надається в узагальненому вигляді, що відображає ступінь відхилення стану ВХР від нормативного, і може бути деталізована для кожного з параметрів. Оператору також надаються можливі варіанти дій та оцінка впливу кожного з варіантів на показники ВХР та обладнання.

Пошук причини здійснюється шляхом діалогу із застосуванням логічних моделей. На основі остаточного рішення, яке приймає оператор, формується алгоритм

ліквідації порушення у вигляді послідовності кроків. В межах кроку об'єднуються команди управління запірною арматурою, що видаються одночасно при наявності дозвільних умов і знімаються при надходженні інформації про їх виконання. Після виконання всіх команд крок вважається виконаним, і управління передається наступному кроці. В алгоритмі може бути передбачена можливість запуску наступного кроку після витримки певного часу між кроками. Окрім переліку керуючих впливів, алгоритм містить блок контролю часу виконання команд, блок контролю відповідності положення запірної арматури виконуваному кроку алгоритму, блок сигналізації порушень при виконанні алгоритмів.

Якщо порушення не ліквідовано протягом регламентованого часу, керування передається оперативному персоналу, який приймає рішення щодо переведення установки на наступний рівень дій.

Якщо порушення ліквідовано, формується звіт, який містить інформацію щодо виявленого порушення та перебігу подій під час ліквідації порушення, аналіз та оцінку дій персоналу.

5. Розроблення логічних моделей для визначення причин порушень норм ведення водно-хімічного режиму

Перелік подій, для яких розроблено логічні моделі:

1. Погіршення якості конденсату за конденсатним насосом першої сходинки:
 - 1.1. Збільшення жорсткості та питомої провідності H^+ -катионованої проби вище норми, підвищення концентрації натрію.
 - 1.2. Підвищення вмісту кисню в основному конденсаті > 30 $мкг/дм^3$.
 - 1.3. Збільшення електропровідності без істотного збільшення жорсткості в основному конденсаті.
2. Погіршення якості конденсату після фільтрів змішаної дії (ФЗД) БЗУ – підвищення питомої електропровідності більше 0,3 $мкСм/см$.
3. Погіршення якості конденсату за конденсатним насосом другої сходинки (КЕН-2).
4. Погіршення якості води деаератора – підвищення концентрації кисню більше 10 $мкг/дм^3$.
5. Погіршення якості живильної води – підвищення концентрації забруднень вище норм.
6. Вміст гідрозину в живильній воді нижче норми.
7. Погіршення показників продувочної води/контрольні рівні початку дії щодо нормалізації ВХР 2 контуру по продувочній воді:

$$Na^+ \geq 250 \text{ мкг/дм}^3, \quad Cl^- \geq 80 \text{ мкг/дм}^3,$$

$$SO_4^{2-} \geq 150 \text{ мкг/дм}^3.$$

8. Погіршення якості конденсату гріючої пари бойлерів за питомою електропровідністю до 1 мкСм/см і більше.

Одна із розроблених логічних моделей аналізу стану ВХР другого контуру представлена на рис. 2.

В результаті виникнення події, що пов'язана із підвищенням електропровідності після КЕН-2 вище допустимого, необхідно виміряти концентрації іонів Na^+ та Cl^- після КЕН-2. Якщо хоча б один із показників (електропровідності або концентрації іонів Na^+ та Cl^-) перевищують норму, то оператор отримає наступні рекомендації подальших дій: повідомити результати аналізів начальника зміни турбінного цеху, начальника зміни блоку, провідного інженера управління турбіною; доповісти про подію начальнику зміни хімічного цеху та начальнику зміни блоку і вивести з роботи ФЗД.

Для виведення із роботи ФЗД була розроблена стратегія керування для блокування запірної арматури (вентилів із електроприводом), при підвищенні електропровідності основного конденсату до 0,3 мкСм/см. На рис. 3 наведений проект модуля керування арматурою БЗУ.

Детальний опис алгоритму та структури формування вихідного сигналу розробленої стратегії керування розглянуто в [10].

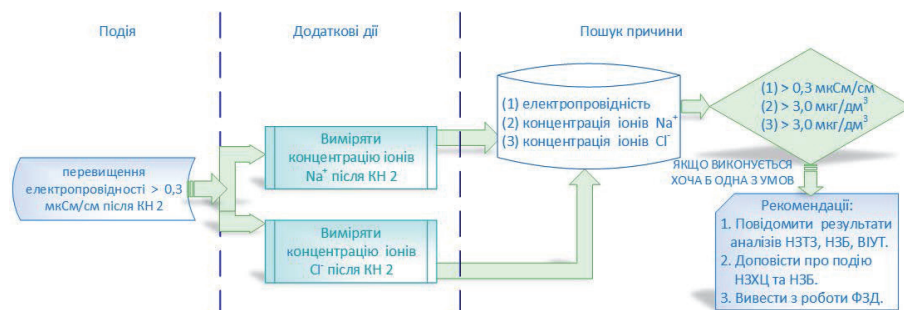


Рис. 2. Перевищення електропровідності після конденсатного насосу другої сходинки

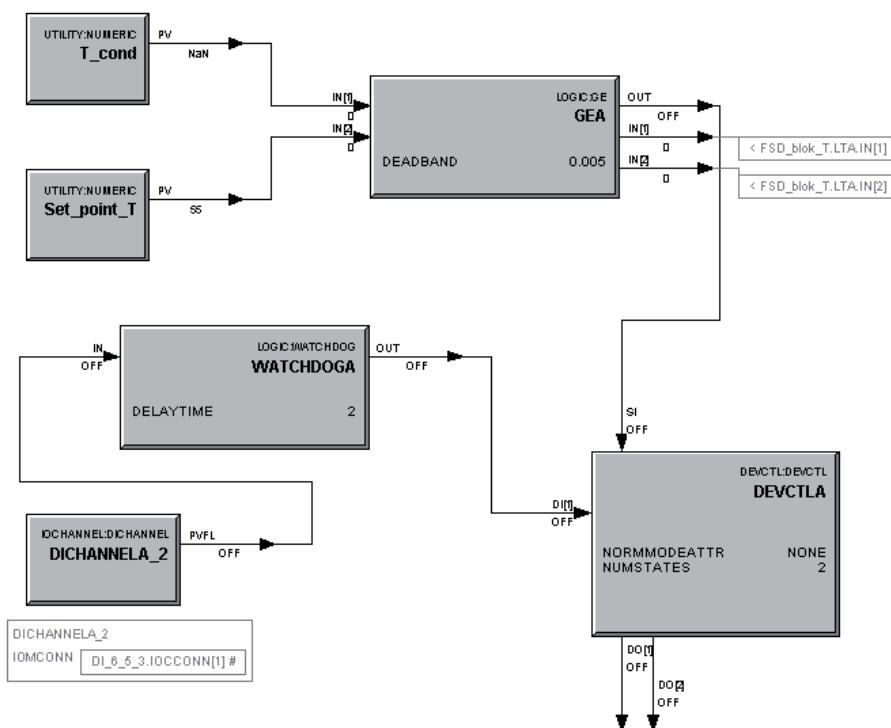


Рис. 3. Структура модуля блокування арматури ФЗД

6. Висновки

У результаті проведених досліджень:

- формалізовано задачу оптимального керування водно-хімічного режиму другого контуру АЕС із реактором типу ВВЕР-1000;
- сформульовано принципи прийняття рішень оперативним персоналом під час виходу з аварійних ситуацій;
- наведено основний алгоритм діагностування стану водно-хімічного режиму другого контуру енергоблоку АЕС;
- розроблено сукупність логічних моделей, призначених для визначення причин порушень норм ведення водно-хімічного режиму;
- розроблено стратегії керування для формування відповідних керуючих впливів задля уникнення аварійних режимів експлуатації АЕС.

Результати проведених досліджень у подальшому будуть використані для розробки системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при управлінні ВХР другого контуру АЕС із ВВЕР-1000.

Література

1. ГНД 95.1.06.02.002-04. Водно-хімічний режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР. Технические требования к качеству рабочей среды. Коррекционная обработка гидразин-гидратом, морфолином, гидроокисью лития [Текст]. — ГОСАТОМ Украины, 2004. — 22 с.
2. Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme [Text] / International Atomic Energy Agency // IAEA Safety Standards Series No. SSG-16. — Vienna: IAEA, 2011. — 188 p.
3. Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency [Text] / International Atomic Energy Agency // Emergency Preparedness and Response Series. — Vienna: IAEA, EPRpublic Communications, 2012. — 116 p.
4. Response and Assistance Network [Text] / International Atomic Energy Agency // Emergency Preparedness and Response Series. — Vienna: IAEA, EPR-RANET, 2013. — 132 p.
5. СО 153-34.37.510. Типовая инструкция по ведению водно-химического режима энергоблоков сверхкритического давления [Электронный ресурс]. — Москва: СПО Союзтехэнерго, 1986. — Режим доступа: <http://pwreng.ru/ntd/so/2632-co-153-3437510>
6. Шутиков, А. В. Пути совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000 [Текст] / А. В. Шутиков, В. Е. Савченко, Ю. М. Виграненко, В. А. Хрусталев // Известия ТПУ. — 2008. — № 2. — С. 39–43.
7. Медведь, Р. Б. Особливості водно-хімічного режиму та математичного моделювання другого контуру АЕС із реактором типу

- ВВЕР-1000 [Текст] / Р. Б. Медведев, С. Л. Мердх // Научно-технический журнал «Наукові вісті». — 2013. — № 3. — С. 132–139.
8. Архипенко, А. В. Состояние водно-химических режимов основных и вспомогательных контуров АЭС Украины и основные направления их совершенствования [Текст] / А. В. Архипенко // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС». — М., 2003. — 247 с.
9. Егорова, Т. М. Анализ ведения водно-химического режима основного технологического контура и вспомогательных систем АЭС с РБМК и основные направления совершенствования ВХР [Текст] / Т. М. Егорова, В. Г. Крицкий // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС». — М., 2003. — 247 с.
10. Медведев, Р. Б. Система керування температурним режимом блочної знесолюючої установки АЕС [Текст] / Р. Б. Медведев, С. Л. Мердх // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 4/2(64). — С. 42–46. — Режим доступу: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/16657/>

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВТОРОГО КОНТУРА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Проведен анализ причин возникновения аварийных ситуаций на АЭС. Рассмотрены принципы ликвидации аварийных ситуаций. Приведен обобщенный алгоритм диагностирования состояния водно-химического режима (ВХР) второго контура энергоблока АЭС. Разработаны логические модели, предназначенные для определения причин нарушений норм ведения ВХР. Разработаны стратегии управления для формирования соответствующих управляющих воздействий во избежание аварийных режимов эксплуатации АЭС.

Ключевые слова: диагностирование состояния водно-химического режима, логические модели, ликвидация аварийных ситуаций.

Сангінова Ольга Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: olga.sanginova@gmail.com.
Медведев Ромуальд Броніславович, кандидат технічних наук, професор кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: medvedev@xf.ntu-kpi.kiev.ua.
Мердх Светлана Леонідівна, асистент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: merdukh.svetlana@gmail.com.

Сангінова Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент, докторант, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.
Медведев Ромуальд Брониславович, кандидат технических наук, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.
Мердх Светлана Леонидовна, ассистент, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Sanginova Olga, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: olga.sanginova@gmail.com.
Medvedev Romuald, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: medvedev@xf.kpi.ua.
Merdukh Svetlana, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: merdukh.svetlana@gmail.com

УДК 681.5.03

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37770

**Свістельник С. С.,
Ткачук А. Г.,
Ільницький Т. П.,
Правденко Р. В.**

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ АСТАТИЧНИМ ОБ'ЄКТОМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ

Розглянуто процес проектування систем автоматичного керування та проаналізовано основні його етапи. Охарактеризовано найпоширеніші закони регулювання та регулятори, побудовані на їх основі. Розглянуто процес вибору регулятора та метод розрахунку параметрів його налаштування для керування астатичним об'єктом третього порядку з порядком астатизму, що дорівнює одиниці. Показано, що якісний процес керування забезпечується шляхом використання саме пропорційно-диференціального закону керування.

Ключові слова: система автоматичного керування, регулятор, об'єкт керування, астатизм, передатна функція.

1. Вступ

У створеному людиною світі машин, що швидко розвивається, росте кількість та складність пристроїв, які виконують функції керування. Саме ж керування являє собою сукупність дій на який-небудь процес чи об'єкт, що забезпечує досягнення поставленої мети. Керування машинами, технічними системами та технологічними процесами без безпосередньої участі

людини називається автоматичним. А, як наслідок, система автоматичного керування (САК) — це сукупність керуваного об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв [1]. На відміну від автоматизованої системи керування, ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процеси автоматично, без участі людини (крім етапів пуску та налагодження системи).

Весь процес проектування САК можна поділити на декілька етапів: