

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до магістерського проекту
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка

на тему **Удосконалення процесу метрологічного забезпечення контролю
концентрації водню на АЕС.**

Виконав: студент групи МВТ-22дм

_____ Головня Станіслав Сергійович
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Мелконова І.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Руднєв Є.С.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Мазнєв Є.О.
(прізвище та ініціали)

Київ 2023

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет _____ інженерії _____
Кафедра _____ електричної інженерії _____
Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____
(бакалавр, спеціаліст, магістр)
Галузь знань _____ 15 Автоматизація та приладобудування _____
(шифр і назва)
Спеціальність _____ 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
«Електрична інженерія»
_____ Руднєв Є.С.
“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

_____ Головня Станіслав Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)** Удосконалення процесу метрологічного забезпечення контролю концентрації водню на АЕС.

Керівник проекту (роботи) _____ Мелконова Інна Вікторівна, к.т.н., доц. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “23” жовтня 2023 року № 564/15.23-С

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 8.12.2023 р. _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідні дані визначені в переліку питань, що підлягають розробці в магістерській роботі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) основні цілі й завдання метрологічного забезпечення ВП ЗАЕС, особливості виміру концентрації водню на аес, метрологічне забезпечення системи контролю концентрації водню.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) Плакати, що пояснюють суть магістерської роботи, в кількості 6 шт.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділи 1-3</i>	<i>доц. Мелконова І.В.</i>		

7. Дата видачі завдання ____ 5 вересня 2023 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1.	<i>ОСНОВНІ ЦІЛІ Й ЗАВДАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВП ЗАЕС</i>	<i>10.09. 2023</i>	
2.	<i>АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.</i>	<i>15.09. 2023</i>	
3.	<i>ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВОДНЮ НА АЕС</i>	<i>30.09. 2023</i>	
4.	<i>МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВОДНЮ</i>	<i>12.10. 2023</i>	
6.	<i>ЗІСТАВЛЕННЯ І АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РОЗРАХУНКОВИХ ВЕЛИЧИН.</i>	<i>20.11. 2023</i>	
7.	<i>ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ.</i>	<i>25.11. 2023</i>	
8.	<i>ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ</i>	<i>08.12. 2023</i>	
9.	<i>ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ</i>	<i>15.12. 2023</i>	

Студент _____ *Головня Станіслав Сергійович*

Керівник проекту (роботи) _____ *Мелконова І.В.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота: на тему: «Удосконалення процесу метрологічного забезпечення контролю концентрації водню на АЕС»: 74 стор., 15 рис., 2 табл. та 18 джерел.

ВИМІР, ДАВАЧ, ПОХИБКИ, ГАЗОАНАЛІЗАТОР, ВОДЕНЬ, СИГНАЛІЗАТОР.

Мета кваліфікаційної роботи – метрологічне забезпечення системи контролю концентрації водню.

Експлуатовані енергоблоки АЕС відповідають сучасним міжнародним вимогам ядерної й радіаційної безпеки. У них реалізовані наступні рішення:

- три самостійних системи безпеки, що виконують свої функції в будь-яких аварійних ситуаціях;
- система локалізації радіоактивного теплоносія в герметичних приміщеннях й у спеціальній шахті локалізації;
- будинку, спорудження й основне встаткування виконані з урахуванням сейсмічності регіону.

Для попередження аварій й обмеження їхніх наслідків на АЕС передбачені системи безпеки. По характері виконуваних функцій системи безпеки розділяють на: захисні, що локалізують, знеструмлюючі й керуючі.

У даній дипломній роботі розглядається одна із систем, локалізуючої безпеки - система контролю концентрації водню (СКВ) у захисній оболонці ядерного реактора. СКВ призначена для постійного й одночасного контролю й реєстрації локальних концентрацій водню в приміщеннях зони локалізації аварії під час нормальної експлуатації, а також після аварії із втратою теплоносія, включаючи максимальну проектну аварію.

ABSTRACT

Qualifying master's work: on the topic: "Improving the process of metrological assurance of monitoring the concentration of hydrogen at NPP": 74 p., 15 fig., 2 tab. and 18 sources.

MEASUREMENT, GAUGE, ERRORS, GAS ANALYZER, HYDROGEN, SIGNALLING DEVICE

The purpose of qualifying work is the metrological support of the hydrogen concentration monitoring system.

Operated power units of nuclear power plants meet modern international requirements for nuclear and radiation safety. They implemented the following solutions:

- three independent security systems, perform their functions in any emergency situations;
- the system of localization of the radioactive coolant in sealed rooms and in a special mine localization;
- buildings, structures and main equipment are made taking into account the seismicity of the region.

Safety systems are provided to prevent accidents and limit their consequences at NPPs. By the nature of the functions performed, the security systems are divided into: protective, localized, flame arrester and controllers.

In this thesis work discusses one of the systems localizing safety - a system for monitoring the concentration of hydrogen (SCR) in the containment of a nuclear reactor. The SCR is designed for continuous and simultaneous monitoring and recording of local hydrogen concentrations in the premises of the accident containment zone during normal operation, as well as after an accident with loss of coolant, including the maximum design basis accident.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Основні цілі й завдання метрологічного забезпечення ВП ЗАЕС.....	7
1.1 Основні цілі, завдання й функції метрологічної служби ВП ЗАЕС.....	7
1.2 Організаційна структура метрологічної служби ВП ЗАЕС.....	9
Розділ 2 Особливості виміру концентрації водню на АЕС.....	15
2.1 Короткий опис основного встаткування реакторного відділення.....	15
2.2 Джерела утворення водню в першому контурі.....	23
2.3 Загальний огляд методів і засобів виміру водню.....	27
2.4 Опис системи контролю концентрації водню в захисній оболонці ядерного реактора.....	
Розділ 3 Метрологічне забезпечення системи контролю концентрації водню.....	35
3.1 Аналіз вхідних параметрів і розташування первинних давачів.....	35
3.2 Вибір методів і засобів виміру концентрації водню.....	37
3.3 Принцип формування ВК і розробка структурних схем ВК СКВ.....	42
3.4 Методика калібрування ВК СКВ.....	45
3.5 Програма та методика метрологічної атестації ВК СКВ.....	53
3.6 Розрахунок тривалості міжкалібровачного інтервалу ВК концентрації водню.....	63
3.7 Розрахунок похибки ВК концентрації водню.....	67
Висновок.....	72
Список використаних джерел.....	73

ВСТУП

Україна є індустріально-аграрною країною. Промисловість і сільське господарство повинні бути забезпечені електроенергією. Атомна енергетика за досить короткий строк свого існування зарекомендувала себе як один з найбільш перспективних напрямків розвитку енергетики.

Вагомою перевагою атомної енергетики є те, що вона при нормальній експлуатації не викидає в атмосферу оксидів сірки й азоту, що приводять до кислотних дощів, а також різні гази, що викликають парниковий ефект. Тобто атомна електростанція є найбільш оптимальним джерелом одержання електроенергії із завданням найменших збитків екології Землі. Крім того, до переваг АЕС необхідно віднести й низьку собівартість вироблюваної електроенергії, а також можливість розміщення АЕС у місцях концентрації споживачів.

Разом з тим розвиток ядерної енергетики висунуло серйозну проблему запобігання аварій на атомних електростанціях, тому що технічні системи великої складності й великої потужності, до яких і ставляться об'єкти ядерної енергетики, створюють певний ступінь ризику аварій, небезпечних для людини й навколишнього середовища.

Отже, *актуальність теми* є безперечною, адже безпека системи контролю концентрації водню вимагає підвищення точності реєстрації локальних концентрацій водню в приміщеннях зони локалізації аварії під час нормальної експлуатації.

Об'єкт дослідження – є система контролю концентрації водню в захисній оболонці ядерного реактора - призначена для постійного і одночасного контролю і реєстрації локальних концентрацій водню в приміщеннях зони локалізації аварії під час нормальної експлуатації, а також після аварії з втратою теплоносія.

Предмет дослідження – система контролю концентрації водню (СКВ).

Мета та задачі роботи – метрологічне забезпечення системи контролю концентрації водню.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних задач: аналіз нормативних документів, наукової літератури, а також система контролю концентрації водню.

Для вирішення поставлених задач в роботі були використані наступні *методи дослідження*: теоретичні дослідження, складання таблиць і характеристик, облік концентрації водню в приміщеннях зони; обробка результатів досліджень проводилися з використанням математичної статистики та чисельного аналізу та візуалізації.

Новизна: в роботі проведено аналіз метрологічного забезпечення на ВП ЗАЕС, розглянуті його основні цілі, завдання й функції; розроблено організаційну структурну схему метрологічної служби ВП ЗАЕС; визначено причини утворення водню в першому контурі й відповідно до цього визначене оптимальне розташування первинних давачив виміру водню.

Вибір даної теми магістерської роботи полягає в дослідженні проблеми концентрацій водню в приміщеннях, та підвищення точності вимірів цієї концентрації.

1 ОСНОВНІ ЦІЛІ Й ЗАВДАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВП ЗАЕС

1.1 Основні цілі, завдання й функції метрологічної служби ВП ЗАЕС

Метрологічне забезпечення (МЗ) експлуатації АЕС передбачається технічним завданням на розробку АЕС, є складовою частиною проекту АЕС і здійснюється на етапах будівництва, експлуатації, а також виводу з експлуатації АЕС. Обсяг контролю основних технологічних параметрів, місця установки ЗВТ, способи контролю, точність вимірів визначаються технічною документацією, розроблювальної відповідно до проектного (конструкторської) документації.

Функції МЗ виробництва в Відокремленому Підрозділі Запорізької Атомної Електричної Станції виконує метрологічна служба ВП ЗАЕС, що є складовою частиною метрологічної служби України. Відповідальність за стан МЗ й дотримання метрологічних норм і правил в ВП ЗАЕС несе технічний директор - головний інженер. Державний нагляд за діяльністю метрологічної служби ВП ЗАЕС здійснює Держпотребстандарт України і його органи (державні наукові метрологічні центри, територіальні органи).

Метрологічна служба ВП ЗАЕС складається з:

- служби головного метролога (СГМ);
- підрозділів ВП ЗАЕС, що здійснюють роботи з МЗ виробництва в сфері своєї діяльності.

Метою діяльності СГМ є забезпечення єдності вимірів, створення й впровадження системи керування МЗ виробництва для досягнення гарантій виконання законодавчих, нормативних, організаційних, технічних, методичних документів в області метрології [].

Завдання метрологічної служби ВП ЗАЕС:

- а) планування й реалізація комплексу заходів щодо вдосконалювання МЗ ВП ЗАЕС;
- б) координація робіт, виконуваних підрозділами метрологічної служби ВП ЗАЕС;

в) метрологічний контроль:

- 1) метрологічна атестація ЗВТ і вимірювальних інформаційних систем (ВІС);
 - 2) калібрування ЗВТ й ВІС відповідно до області акредитації;
 - 3) перевірка ЗВТ й ВІС відповідно до області акредитації;
 - 4) організація робіт з акредитації вимірювальних, перевірочних і каліброваних лабораторій;
 - 5) організація атестації методик виконання вимірів;
 - 6) метрологічна експертиза технічної документації, розроблювальної в ВП ЗАЕС.
- г) організація й проведення метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірів;
- д) організація робіт з акредитації вимірювальних каліброваних і перевірочних лабораторій;
- е) розробка й впровадження нормативної й технічної документації в сфері метрології.

Основні функції метрологічної служби ВП ЗАЕС:

- а) забезпечення проектних норм точності вимірів технологічних параметрів;
- б) координація й методичне керівництво роботами по МЗ;
- в) аналіз стану вимірів;
- г) метрологічний контроль;
- д) МЗ еталонної бази;
- е) МЗ ЗВТ, устаткування:
 - 1) установлення раціональної номенклатури ЗВТ й оптимальних норм точності вимірів;
 - 2) забезпечення правил експлуатації ЗВТ;
 - 3) атестація іспитового встаткування;
 - 4) розробка, виготовлення, МА й впровадження не стандартизованих ЗВТ;
 - 5) організація метрологічного обліку ЗВТ й ВІС;

- б) метрологічний облік стандартних зразків состава й властивостей речовин і матеріалів;
- 7) розробка графіків періодичної перевірки ЗВТ;
- 8) розробка графіків періодичного калібрування лабораторних ЗВТ;
- 9) розробка графіків періодичного калібрування технологічних ЗВТ;
- ж) метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірів;
- з) розробка методик виконання вимірів (МВВ);
- и) ремонт і технічне обслуговування робочих еталонів, лабораторних ЗВТ;
- к) підготовка персоналу ВП ЗАЕС в області метрології;
- л) взаємодія з органами державної метрологічної служби, метрологічними службами інших підприємств.

СГМ у своїй діяльності керується законами України, постановами уряду, що керують документами Мінтопенерго, Державного комітету ядерного регулювання України, Держпотребстандарту України, наказами й вказівками керівництва ВП ЗАЕС.

1.2 Організаційна структура метрологічної служби ВП ЗАЕС

1.2.1 Загальні положення

Структуру й штатний розклад СГМ затверджує генеральний директор ВП ЗАЕС відповідно до нормативу чисельності персоналу, затвердженим НАЕК “Енергоатом”, з урахуванням обсягів робіт й особливостей діяльності підрозділу [].

СГМ комплектується фахівцями із всіх видів вимірів. Кожен співробітник повинен мати відповідне утворення, професійну підготовку, технічні знання й досвід, необхідні для виконання своїх обов'язків.

Очолює метрологічну службу ВП ЗАЕС головний метролог. Головний метролог здійснює керівництво її діяльністю з питань МЗ через головний підрозділ метрологічної служби - службу головного метролога. Головний метролог підлеглий

технічному директорові - головному інженерові ВП ЗАЕС і керується в роботі своєю посадовою інструкцією [].

Призначає на посаду головного метролога й звільняє від неї Генеральний директор ВП ЗАЕС наказом по підприємству за узгодженням з головним метрологом НАЕК “Енергоатом”.

У СГМ входять наступні структурні одиниці:

а) лабораторія метрологічного забезпечення (ЛМЗ);

б) лабораторія технологічних вимірів (ЛТВ), куди входять:

1) група температурних, теплофізичних і фізико-хімічних вимірів;

2) група виміру витрати, тиску, рівня;

3) група вимірювальних інформаційних систем;

в) лабораторія електрорадіовимірів (ЛЕРВ), у яку входять:

1) група радіотехнічних вимірів;

2) група електротехнічних вимірів;

г) лабораторія по обслуговуванню засобів вимірювальної техніки (ЛОЗВТ) у яку входять:

1) група по обслуговуванню ЗВТ РО, СББ-1,2;

2) група по обслуговуванню ЗВТ ТЕ, ЛБК, ОВК;

д) група підготовки виробництва.

1.2.2 Функції ЛМЗ

На лабораторію метрологічного забезпечення покладені наступні функції:

- координація й методичне керівництво підрозділами ВП ЗАЕС в області МЗ виробництва;

- виконання й обробка результатів аналізу стану МЗ всіх видів вимірів відповідно до номенклатури ЗВТ, ВІС, іспитового встаткування, застосовуваних в ВП ЗАЕС;

- поточне, перспективне планування заходів щодо вдосконалювання МЗ ВП ЗАЕС, забезпеченню єдності вимірів;

- організація й проведення метрологічного нагляду, контроль виконання актів і приписань за результатами нагляду;

- виконання заходів щодо впровадження державних і галузевих стандартів;

- розробка й впровадження стандартів підприємства;

- розробка ТД (методичних вказівок по калібруванню, програм МА, переліків ЗВТ, що підлягають перевірці й калібруванню й інше);

- проведення метрологічної експертизи конструкторської, технологічної документації;

- організація розробки й облік графіків перевірки й калібрування ЗВТ;

- організація й проведення МА впроваджуваних, модернізованих ЗВТ, ВІС;

- участь у підготовці й проведенні МА не стандартизованих ЗВТ, в атестації ВО;

- надання методичної допомоги й участь в атестації МВВ;

- організація й особиста участь в акредитації вимірювальних каліброваних лабораторій;

- комплектування робочого фонду СГМ, його поповнення необхідними НД;

- облік, реєстрація, систематизація НД СГМ;

- комплектування робочих місць лабораторій СГМ необхідної НД;

- розробка заходів щодо вдосконалювання автоматизованого обліку ЗВТ, графіків перевірки й калібрування;

- участь у розслідуванні причин відмов, аварій, пов'язаних зі станом ЗВТ, розробка заходів щодо попередження відмов, аварій;

- узгодження планів робіт підрозділів метрологічної служби ВП ЗАЕС;

- збір, аналіз, систематизація науково-технічної інформації про сучасні досягнення в області метрології, вимірів, вимірювальної техніки;

- розробка програм навчання, перепідготовки, підвищення кваліфікації по основах метрології для персоналу підрозділів ВП ЗАЕС, що виконує окремі функції по МЗ;

організація ремонту закріплених приміщень, устаткування й меблів, що належать лабораторії.

1.2.3 Функції ЛТВ

Основні функції лабораторії технологічних вимірів:

- розробка графіків періодичної перевірки, калібрування ЗВТ й ВІС по закріплених видах вимірів;
- ведення метрологічного обліку (формування бази даних) ЗВТ й ВІС, експлуатованих в ВП ЗАЕС;
- перевірка, калібрування ЗВТ й ВІС акустичних величин, параметрів потоку, витрати, рівня, обсягу речовин, тиску, вакууму, температури, оптико фізичного, фізико-хімічного состава й властивостей речовин ;
- розробка програм МА, організація й виконання робіт з МА ЗВТ й ВІС, не минулих державних випробувань;
- розрахунок пристроїв;
- метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірів;
- МЕ технічної документації, заявок і договорів на поставку ЗВТ;
- участь у впровадженні стандартів підприємства й інших НД;
- аналіз забезпеченості еталонами для організації перевірки й калібрування ЗВТ по закріплених видах вимірів;
- коректування міжколібровачних інтервалів ЗВТ;
- розробка локальних перевірочних схем по закріплених видах вимірів;
- збір і відновлення інформації про заводи-виготовлювачів ЗВТ, що входять у компетенцію лабораторії;
- організація ремонту, техобслуговування, відновлення або заміни встаткування;
- розробка заявок на матеріали, ЗВТ й устаткування для потреб лабораторії;
- навчання й підвищення кваліфікації персоналу лабораторії й підрозділів ВП ЗАЕС;
- вхідний контроль знову, що надійшли ЗВТ, і ВІС.

1.2.4 Функції ЛЕРВ

Основними функціями лабораторії електрорадіовимірів є:

- розробка місячних, річних і перспективних планів робіт лабораторії;
- розробка графіків перевірки й калібрування ЗВТ по закріплених видах вимірів;
- калібрування й перевірка ЗВТ по закріплених видах вимірів;
- метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірів;
- метрологічний облік ЗВТ по закріплених видах вимірів;
- проведення техобслуговування еталонів і ЗВТ, що належать ЛЕРВ, згідно з розробленими графіками;
- участь у впровадженні стандартів підприємства й інших НД;
- розробка програм МА, організація й проведення МА не стандартизованих ЗВТ, участь в атестації іспитового встаткування⁴
- МЕ технічної документації, заявок і договорів на поставку ЗВТ;
- збір і відновлення інформації про заводи-виготовлювачів ЗВТ, що входять у компетенцію лабораторії;
- навчання й підвищення кваліфікації персоналу лабораторії й підрозділів ВП ЗАЕС;
- вхідний контроль знову, що надійшли ЗВТ, по закріплених видах вимірів.

1.2.5 Функції ЛОЗВТ

- ремонт робочих і вихідних еталонів, а також лабораторних ЗВТ;
- розробка графіків і виконання техобслуговування еталонів і ЗВТ;
- збір й аналіз статистичних даних по відмовах ЗВТ;
- збір і відновлення інформації про заводи-виготовлювачів ЗВТ, що виконують ремонт ЗВТ;
- розробка заявок на матеріали, запасні частини, що комплектують й устаткування для потреб лабораторії;
- ремонт закріплених приміщень, устаткування й меблів, що належать лабораторії;
- вхідний контроль знову, що надійшли ЗВТ.

1.2.6 Функції ГПВ

Група підготовки виробництва виконує наступні функції:

- розробка графіка перегляду ПД СГМ, контроль за його виконанням;
- організація й проведення нормоконтролю виробничої документації СГМ;
- розрахунки трудовитрат на проведення калібрування, ремонту ЗВТ, окремих робіт з мері необхідності;
- доставка ЗВТ у перевірку й ремонт у сторонні організації.

2 ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВОДНЮ НА АЕС

2.1 Короткий опис основного встаткування реакторного відділення

2.1.1 Технологічна схема енергоблоку

Технологічна схема енергоблоку ВВЕР-1000 представлена на рис. 2.1.

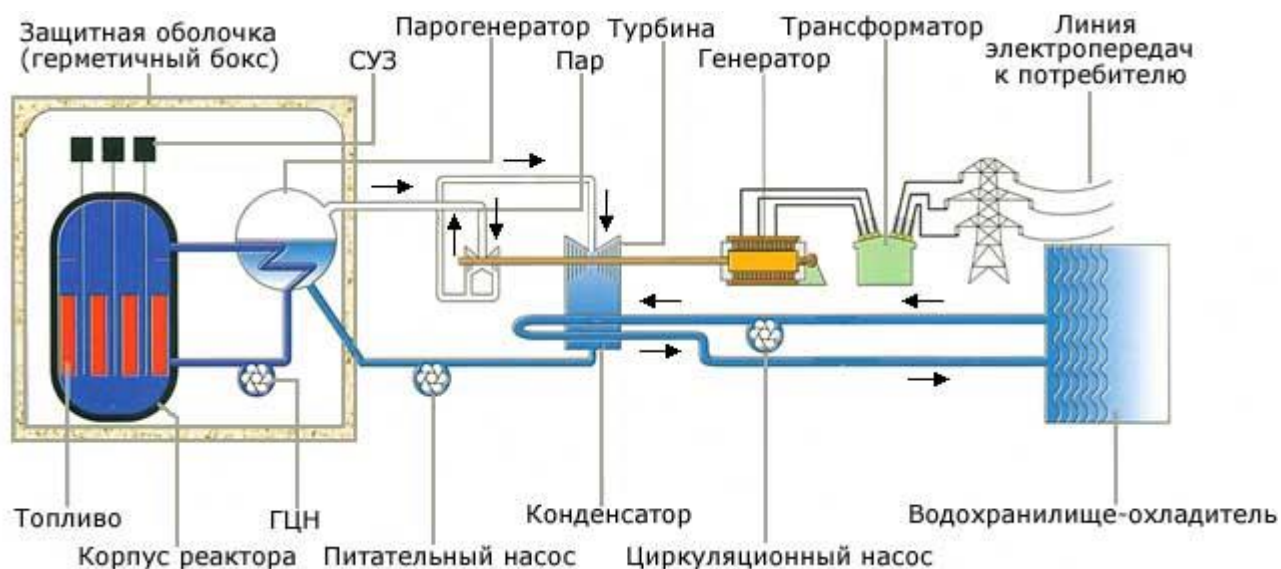


Рисунок 2.1 - Технологічна схема енергоблоку ВВЕР-1000

Технологічна схема енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 має два контури.

Перший контур - радіоактивний. Він містить у собі реактор типу ВВЕР і циркуляційні петлі охолодження. Кожна петля містить головний циркуляційний насос (ГЦН), парогенератор і дві головні запірні засувки (ГЗЗ). До однієї із циркуляційних петель першого контуру приєднаний компенсатор тиску, за допомогою якого в контурі підтримується заданий тиск води, що є в реакторі одночасно й теплоносієм і сповільнювачем нейтронів. На енергоблоці з реактором ВВЕР-1000 - 4 циркуляційні петлі.

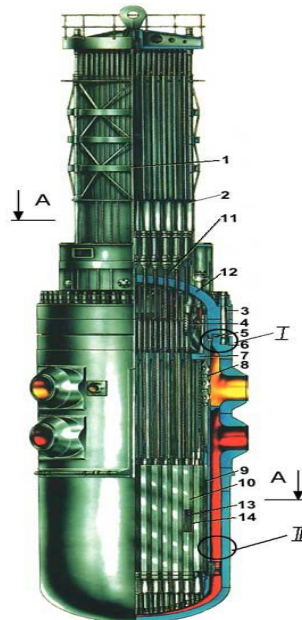
Другий контур - нерадіоактивний. Він містить у собі парогенератори, паропроводи, парові турбіни, сепаратори-пароперегрівники, живильні насоси й трубопроводи, деаератори й регенеративні підігрівники. Парогенератор є загальним устаткуванням для першого й другого контурів. У ньому теплова енергія, вироблена

в реакторі, від першого контуру через теплообмінні трубки передається другому контуру. Насичена пара, вироблювана в парогенераторі, по паропроводу надходить на турбіну, що приводить в обертання генератор, що виробляє електричний струм.

У системі охолодження конденсаторів турбін на АЕС використовуються баштові градирні й водоймище-охолоджувач [].

2.1.2 Реакторна установка

Реактор ВВЕР-1000 є реактором корпусного типу з водою під тиском, що виконує функцію теплоносія й сповільнювача й наведений на рисунку 2.2.



1-верхній блок; 2-привод СУЗ(системи керування й захисту); 3-шпилька; 4-труба для завантаження зразків-свідків; 5-ущільнення; 6-корпус реактора; 7-блок захисних труб; 8-шахта; 9-вигородка активної зони; 10-паливні зборки; 11-теплоізоляція реактора; 12-кришка реактора; 13-регулюючі стрижні; 14-паливні стрижні; 15-фіксуючі шпонки.

Рисунок 2.2 - Реактор ВВЕР-1000

Корпус реактора являє собою вертикальний циліндричний посуд високого тиску із кришкою, що має рознімання з ущільненням і патрубками для входу й виходу теплоносія. У середині корпуса закріплюється шахта, що є опорою для активної зони

й частини усередині корпусних пристроїв, яка служить для організації внутрішніх потоків теплоносія.

Активна зона реакторів зібрана із шестигранних тепловиділяючих зборок (ТВЗ), що містять тепловиділяючі елементи (ТВЕЛ) стрижневого типу із сердечником з діоксида урану у вигляді таблеток, що перебувають в оболонці із цирконієвого сплаву. У тепловиділяючих зборках ТВЕЛІ розміщені по трикутним ґратам й укладені в чохол із цирконієвого сплаву. У свою чергу, ТВЗ також зібрані в трикутні ґрати із кроком 241 мм (ВВЕР-1000). Нижні циліндричні частини ТВЗ входять в отвори опорної плити, верхні в дистанціонує притискну. Зверху на активну зону встановлюється блок захисних труб, дистанціонує касети в плані й що запобігає вібрації. На фланець корпуса встановлюється верхній блок із приводами СУЗ, що забезпечує ущільнення головного рознімання. Регулювання реактора здійснюється переміщуваними регулювальними органами, і як правило, рідким поглиначем.

Теплоносій надходить у реактор через вхідні патрубки корпуса, проходить униз по кільцевому зазорі між шахтою й корпусом, потім через отвори в опорній конструкції шахти піднімається нагору по тепловиділяючих зборках. Нагрітий теплоносій виходить із головок ТВЗ у меж трубний простір блоку захисних труб і через перфоровану обичайку блоку й шахти приділяється вихідними патрубками з реактора.

Як ядерне паливо використовується спечений діоксид урану з початковим збагаченням ураном-235 у стаціонарному режимі в діапазоні від 2.4 до 4.4 % (мас).

Реактор ВВЕР має важливу властивість саморегулювання: при підвищенні температури теплоносія або потужності реактора відбувається мимовільне зниження інтенсивності ланцюгової реакції в активній зоні, і в кінцевої підсумку зниження потужності реактора.

Технічний контроль параметрів стану встаткування й трубопроводів, керування й захисту встаткування від ушкоджень при порушенні в роботі першого контуру, а також інших контурів і систем установки здійснюється системою контролю, керування й захисту.

Енергія розподілу ядерного палива в активній зоні реактора тепловою потужністю 3000 МВт приділяється теплоносієм з температурою 322 °С. Витрата води через реактор 15800 кг/х, а робочий тиск у першому контурі 16 МПа. У парогенераторі теплоносієй віддає тепло робітникові тілу й за допомогою ГЦН повертається в реактор [].

2.1.3 Система керування й контролю

Регулювання потужності реакторів й аварійний захист (припинення ланцюгової реакції) поглиначами з карбїду бора (ВВЕР-1000).

На енергоблоці з реактором ВВЕР-1000 регулювання виробляється кластерними пучками, тобто стрижні з поглиначем у кількості 12 штук вводяться безпосередньо в тепловиділяючі зборки.

Керування енергоблоками АЕС передбачає централізований контроль і дистанційне керування основними технологічними процесами, автоматичне регулювання, здійснюване за принципом автономних регуляторів, місцевий контроль і керування допоміжними системами.

Контроль за параметрами першого й другого контурів реакторних установок здійснюється із блокових щитів керування, на яких зосереджені прилади, що вимірюють температуру води на виході з тепловиділяючих зборок, температуру води першого контуру, температуру живильної води другого контуру, тиск води першого контуру, тиск насиченої пари в другому контурі, витрата води в першому контурі, витрата води й пари в другому контурі, щільність нейтронного потоку при підйомі потужності й у процесі роботи реактора, електричні параметри генераторів і т.д. Контроль і керування енергоблоком з реактором ВВЕР-1000 здійснюються за допомогою обчислювальної системи "Комплекс-Уран В" й автоматизованої системи АСУТ-500 [].

2.1.4 Система локалізуючий безпеки

Для виконання функцій безпеки, тобто для попередження аварій й обмеження їхніх наслідків на АЕС застосовуються системи безпеки, одна з яких система локалізуючий безпеки.

Система локалізуючої безпеки призначена для запобігання або обмеження поширення радіоактивних речовин, що виділяються при аваріях, усередині АЕС і виходу їх у навколишнє середовище.

Найбільш ефективним засобом локалізації є захисна оболонка (ЗО). Характерною рисою АЕС із ВВЕР є спосіб зниження тиску усередині ЗО за допомогою розпилення в пароповітряному середовищі охолодної води спринклерної системи. При функціонуванні спринклерної системи спочатку вода забирається зі спеціального бака, а потім із ЗО, що нагромадив конденсат. Поряд з функцією зниження тиску спринклерна система забезпечує виведення радіоактивних продуктів з атмосфери ЗО.

При проектуванні ЗО необхідно враховувати утворення водню в результаті радіолізу води, хімічної корозії матеріалів і при втраті теплоносія першого контуру внаслідок екзотермічної реакції цирконієвих оболонок твелов з паром. Передбачається контроль за концентрацією водню в ЗО. Для зменшення його концентрації можуть бути використані допалювачі водню [].

2.2 Джерела утворення водню в першому контурі

Використання ядерного палива як джерело виробітку електроенергії виражається в наявності радіоактивності. Чим менше домішок у теплоносії, тим нижче його радіоактивність. Газова радіоактивність визначається радіоактивністю газоподібних продуктів розподілу, продуктів радіолізу води й газів, що утворюються в теплоносії в результаті ядерних реакцій. Зниження продуктів радіолізу води досягається шляхом придушення радіолізу води за рахунок дозування аміаку або водню.

Призначення теплоносія (вода під тиском) - відводити тепло, що виділилося в активній зоні реактора в результаті розподілу ядерного палива. Для надійної роботи тепловиділяючих елементів реактора теплоносієм повинен мати високий ступінь чистоти. Тому контур теплоносія на АЕС завжди є замкнутим. До цього зобов'язує також наявність радіоактивності в теплоносії. Робочим тілом для АЕС є водяна пара. Вимоги до чистоти робочого тіла також високі. Тому контур робочого тіла є замкнутим. Але, не дивлячись на замкнутість контурів, все-таки є протічки й втрати теплоносія й робочого тіла. Протічки можуть виникати в нещільностях у насосах й арматурах. У пароводяному тракті турбоустановки втрати робочого тіла можуть відбуватися через ущільнення турбіни.

Теплоносієм, проходячи через реактор, підігрівається, не змінюючи свого агрегатного стану. Вода практично нестислива, тому будь-яка зміна температури пов'язане зі зміною її питомого обсягу, і, отже, зі зміною тиску. Система компенсації тиску підтримує тиск у контурі постійним при будь-якій зміні температури теплоносія. За допомогою цієї системи створюється первісний тиск у першому контурі при пуску. У випадку різкого збільшення температури, а, отже, і обсягу теплоносія (наприклад, при одночасному відключенні декількох ГЦН) передбачене безпосереднє скидання води з гарячої петлі в паровий простір компенсатора тиску (КТ). Якщо з якої-небудь причини тиск у КТ перевищить граничне значення, спрацюють запобіжні клапани на лінії скидання пари в барботер. Пара в барботері конденсується за рахунок нагрівання води, що перебуває в ньому, а радіоактивні гази, розведені азотом для запобігання утворення гримучої суміші із продуктів радіолізу води (водню й кисню), віддаляються в систему дезактивації газоподібних радіоактивних відходів. При перевищенні граничного тиску в барботері пар через підливний клапан скидається в систему локалізації аварії (в оболонку реактора).

Особливістю роботи АЕС із ВВЕР є застосування в першому контурі борного регулювання для придушення повільних ефектів реактивності, коли в теплоносія вводиться борна кислота, концентрація якої в процесі роботи реактора змінюється. Введення бороною кислоти приводить до зниження величини рН. Зменшення

значення рН веде до збільшення корозії більшості конструкційних матеріалів. Для підвищення значення рН у першому контурі дозують луг (KOH або LiOH).

При проходженні води через активну зону реактора частина її під дією випромінювання розкладається на водень, кисень і перекис водню, тобто відбувається радіоліз води. Крім того, при обміні води першого контуру й у компенсаторі тиску, у паровому обсязі КТ може утворюватися гримуча суміш, при певній концентрації водню й кисню відбувається вибух. З парового обсягу КТ періодично відбувається скидання частини парогазової суміші в барботер, де радіоактивні гази над рівнем води розбавляються азотом з наступною його дезактивацією. Контур циркуляції теплоносія замкнеть, відбувається часткова реакція рекомбінації водню й кисню й швидкість радіолізу знижується. Для прискорення цієї реакції (придушення радіолізу) у воду реактора дозують водень або аміак (який під дією випромінювання утворить водень). Водень вступає в реакцію з киснем і зменшує його зміст у воді реактора [].

Джерела утворення водню в зоні локальної аварії:

а) у режимах нормальної експлуатації:

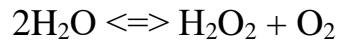
- 1) радіоліз води в басейні витримки;
- 2) наявність неорганізованих протічок першого контуру;

б) в аварійних ситуаціях, пов'язаних із втратою теплоносія:

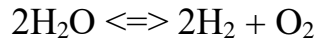
- 1) теплоносій першого контуру, у якому водень присутній для придушення радіолітичного кисню;
- 2) радіоліз води й пари;
- 3) пароциркони́ва реакція;
- 4) реакція нержавіючої сталі з паром;
- 5) реакція двоокису урану з паром;
- 6) реакція взаємодії хімічних добавок до спринклерної води з алюмінієвими оболонками теплоізоляції трубопроводів й устаткування.

Радіоліз води - це процес розкладання води під дією іонізуючого випромінювання. Внаслідок специфічних умов реакторної установки (високих температур, додаткових хімічних добавок у теплоносій першого контуру) процес

радіолізу може змінюватися. Якщо для радіолізу чистої води при низькій температурі реакція має вигляд:



те для першого контуру реакторів з водою під тиском:



Крім водню H_2 , кисню O_2 і перекису водню H_2O_2 , при радіолізі води можуть утворюватися також H , OH , HO_2 й інше. Звичайно на практиці радіоліз водного теплоносія не викликає помітних змін його фізико-хімічних властивостей. Однак варто мати на увазі можливість вторинних несприятливих явищ у результаті радіолізу:

- негативний вплив деяких продуктів розкладання води на корозійну стійкість конструкційних матеріалів;
- можливість утворення вибухонебезпечної суміші кисню й водню;
- негативний вплив газоподібних продуктів розкладання на умови теплопередачі й на реактивність реактора.

Боротися із цими несприятливими факторами можна, уводячи в теплоносія водень, що при концентрації більше 30 н. мл/кг практично повністю придушує процеси радіолізу води. Для підтримки необхідної концентрації водню, що забезпечує придушення процесів радіолізу в контур, як правило, вводять аміак, у результаті розкладання якого по реакції $2\text{NH}_3 \rightleftharpoons 3\text{H}_2 + \text{N}_2$ створюється необхідна концентрація водню у водному теплоносії.

Процес радіолізу залежить від багатьох факторів і протікає в кілька стадій. Проміжними продуктами є різноманітні частки, у тому числі досить активні радикали H^+ , OH^- , H^0 , OH^0 , $\bar{e}_{\text{гидр}}$, HO_2^0 . В остаточному підсумку утворюються найбільш стабільні речовини (продукти) H_2 , H_2O_2 , O_2 .

З підвищенням температури вихід продуктів радіолізу зменшується, цей вплив більшою мірою проявляється у відбудовному середовищі. Розчинність індивідуальних газів у сумішах практично не залежать друг від друга.

2.3 Загальний огляд методів і засобів виміру водню

Контроль чистоти й наявності водню обчислюються газоаналізаторами.

На АЕС газоаналізатори застосовуються в системах, що забезпечують безпечне функціонування технологічних процесів: вимір концентрації водню в системі охолодження турбогенераторів, у приміщенні бака організованих протічок, у газових сдувках, у деаераторі продувки-підживлення, перед електронагрівниками, у генераторі й інших системах.

Засоби виміру (прилади) для кількісного аналізу газів називаються газоаналізаторами.

2.3.1 Класифікація газоаналізаторів

За принципом застосовуваних методів газоаналізатори діляться на хімічні й фізичні.

Хімічний аналіз являє собою комплекс експериментальних і логічних операцій по визначенню хімічного складу речовини. Кожен аналіз складається з ряду послідовних дій: готування реактивів, підготовка апаратур, калібрування, обробка проби, вимір кінцевого ефекту реакції.

У фізичних газоаналізаторах при визначенні аналізованого компонента використовуються його фізичні властивості: теплопровідність, магнітні, оптичні й інші властивості, тобто такі, які відрізняють обумовлений компонент від інших компонентів газового середовища.

Фізичні газоаналізатори діляться на:

- термокондуктометричні (теплові);
- магнітні;
- хроматографічні;
- електричні;
- оптико-акустичні.

Оптичний аналіз заснований на залежності оптичних властивостей **рідини** від концентрації контрольованого компонента.

Фотоколориметричний метод є частиною оптичного. Заснован він на вибірному поглинанні світла аналізованим розчином, пофарбованим контрольованим компонентом.

У ряді випадків при необхідності швидкої індикації домішок в аналізованих середовищах з невисокою точністю використовують методи візуального колориметрировання. При цьому інтенсивність фарбування аналізованого середовища порівнюють із інтенсивністю фарбування відповідної шкали стандартів. Практичне застосування одержали два різновиди цього методу: колориметричне титрування й метод стандартної шкали [].

2.3.2 Теплові газоаналізатори

Принцип роботи полягає в тому, що вимір концентрації газу провадиться шляхом виміру теплових властивостей газової суміші, що залежать від концентрації обумовленого компонента. Найчастіше визначаються теплопровідність суміші й теплота, що виділяється при термічних реакціях. На основі цих методів будуються автоматичні прилади, за допомогою яких проводять безперервний аналіз сумішей.

Принцип роботи газоаналізатора на основі теплопровідності полягає в тому, що з ростом температури теплопровідність газів змінюється в різному ступені у різних газів. Якщо в контрольованій суміші присутня додатково контрольований газ, теплопровідність якого теж змінюється, його гранично видаляють. Для виміру теплопровідності використовують спрямований струмом провідник, поміщений у камеру, заповнену аналізованою сумішшю.

2.3.3 Оптичні газоаналізатори

Принцип їхньої роботи заснований на залежності оптичних властивостей газової суміші від концентрації обумовленого компонента: показників переломлення, спектрального поглинання, спектральної щільності та ін.

Кожен газ має свій певний спектр поглинання. Для застосування даного методу необхідно, щоб спектр поглинання аналізованого компонента істотно відрізнявся від спектрів поглинання компонентів цієї суміші.

2.3.4 Хроматографічні газоаналізатори (хроматографи)

Хроматографи призначені для кількісного аналізу багатокomпонентних газових сумішей, а також для аналізу властивостей рідин і твердих тел.

Застосовуються в різних галузях промисловості (хімічної, газової, нафтохімічної, енергетичної та інших). В енергетиці їх використовують для періодичного аналізу продуктів горіння різних видів палива, визначення концентрації шкідливих домішок (CO_2 , CH_4 та інших) у повітрі виробничих приміщень. Метод виміру заснований на вибірній сорбції якого-небудь компонента, що входить до складу речовини.

2.3.5 Об'ємні газоаналізатори

Принцип їхньої роботи полягає в тому, що про зміст обумовленого компонента судять по зміні обсягу газової суміші в результаті наступних дій: вибірного поглинання, сорбцією їх відповідними хімічними реактивами, окислювання або спалювання обумовленого компонента. Для вибірково видалення або виділення обумовлених компонентів використовують хімічні реакції, тому прилади часто називають об'ємними хімічними газоаналізаторами. Вони по своєму призначенню розділяються на газоаналізатори скороченого й повного (обсягу) аналізу газу.

Недоліки даних газоаналізаторів: громіздкість приладів; складність створення автоматичних приладів; низька точність.

2.3.6 Промислові газоаналізатори виміру концентрації водню

Газоаналізатори серії ТП5501 (надалі газоаналізатори) є промисловими стаціонарними автоматичними і самописними газоаналізаторами та призначені для безперервного виміру об'ємного змісту газів і реєстрації результату виміру. Залежно від виду газу, газоаналізатори випускаються різних модифікацій.

Так, для виміру об'ємного змісту CO₂ (вуглекислі газу) випускаються газоаналізатори модифікації ТП2220, азоту (N₂) - модифікації й ТП4102, метану (CH₄) у суміші з повітрям - модифікації ТП2301.

Для визначення об'ємного змісту H₂ (водні) у бінарній і багатокомпонентній газовій сумішах на станції застосовуються з 1 по 3 блок газоаналізатори суміші АГ0012, з 4 по 6 блок газоаналізатори серії ТП1120 і ТП1116.

2.3.6.1 Пристрій і принцип роботи приймача газоаналізаторів АГ0012 для виміру водню

Принцип дії газоаналізатора заснований на використанні залежності теплопровідності аналізованої газової суміші від змісту в ній вимірюваного компонента, оскільки теплопровідність останнього значно відрізняється від теплопровідності інших компонентів.

Зміни теплопровідності аналізованої газової суміші, викликані зміною змісту вимірюваного компонента, приводять до змін тепловіддачі з поверхні чутливого елемента й в остаточному підсумку - його опору, що й служить мірою змісту вимірюваного компонента. Цей принцип реалізується в давачі по теплопровідності.

Вихідний сигнал давача по теплопровідності істотно залежить від змін температури навколишнього середовища, і в меншій мері, від зміни тиску аналізованої газової суміші, що вносить у результат вимірів значну похибку.

У газоаналізаторі контроль зміни температури навколишнього середовища здійснюється платиновим терморезистором, включеним у вимірювальну схему, а контроль зміни тиску газової суміші - давачем абсолютного тиску. Конструктивно давач температури входить до складу давача по теплопровідності.

Робота газоаналізатора заснована на автоматичній обчислювальній схемі (на базі мікропроцесора), що здійснює обробку сигналів давача по теплопровідності й давача тиску, порівняння вступник інформації із градирувальними характеристиками, що зберігаються в пам'яті, давачів і розрахунок об'ємної частки вимірюваного компонента з урахуванням змін температури навколишнього середовища й тиску газової суміші. Видача результатів здійснюється на цифровий

дисплей. Одночасно формується вимірювальна інформація у вигляді стандартного вихідного сигналу постійного струму й сигнальна інформація у вигляді перемикачів реле при досягненні в суміші концентрації вимірюваного компонента заданих значень [].

2.4 Опис системи контролю концентрації водню в захисній оболонці ядерного реактора

2.4.1 Короткий опис, призначення СКВ

Система контролю концентрації водню (СКВ) виробництва фірми SIEMENS призначена для постійного та одночасного контролю й реєстрації локальних концентрацій водню в приміщеннях зони локалізації аварії (ЗЛА) під час нормальної експлуатації, а також після аварії із втратою теплоносія, включаючи максимальну проектну аварію (МПА).

Вимір температури кожним з датчиків становить повну картину розподілу температури в ЗЛА. Нерівномірний розподіл температури, що може сприяти стратифікації (розшаруванню) водню, можна виявити на ранньому етапі й використати для підготовки заходів щодо усунення водню.

СКВ відноситься до системи, локалізуючої безпеки й відповідає третьому класу безпеки.

У нормальному режимі роботи блоку концентрація об'ємної частки водню в ЗЛА не перевищує 0,3 %, що на порядок нижче значень концентрацій, що представляють небезпеку.

При аваріях, пов'язаних з розривом першого контуру (включаючи МПА), у ЗЛА утвориться в значних кількостях водень, що при досягненні певної концентрації може запалюватися або вибухати. Нижня межа горіння водню в об'ємних частках становить 4,1 %, верхній - 78 %, для детонації 18 % й 58 % відповідно.

При МПА виділяється близько 250 кг водню, при швидкості виділення від 10^{-5} до 10^{-3} кг/с. Тому що вільний обсяг у ЗЛА становить 54150 м^3 , то при такій кількості виділюваного водню може відбутися перевищення нижньої межі горіння водню.

При такій швидкості нагромадження водню в ЗЛА його рівномірний розподіл по герметичних приміщеннях досягне на 19 добу з моменту початку МПА.

Основне завдання СКВ - надання операторові достовірної інформації про значення концентрації й розподіл водню в приміщеннях ЗЛА і її зміні в часі для того, щоб якщо буде потреба, перш ніж концентрація водню досягнуть небезпечних значень, були вжиті превентивні заходи, і контролювалася їхня ефективність.

СКВ є однією із систем, що забезпечують водневу вибухобезпеку у ЗЛА, і останнім захисним бар'єром на шляху поширення радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Метою заходів щодо забезпечення водневої вибухобезпеки є запобігання створення умов, при яких можливе запалення або вибух змісту водню газового середовища в ЗЛА, у випадку виникнення МПА або за проектною аварії.

Вибух змісту водню небезпечно можливістю руйнування будівельних конструкцій гермооболочці (ГО) внаслідок збільшення тиску в ЗЛА до 1,2 МПа, що перевищує розрахунковий тиск - 0,5 МПа.

СКВ складається з наступних компонентів:

- давачі типу KWU WS85, у кількості 14 штук;
- кабелі з розніманнями типу WSAK;
- процесор сигналів (шафа GS001);
- установка збору та обробки даних (шафа GS002).

2.4.2 Водневий давач WS85. Принцип дії

Давач складається з вимірювальної камери із двома чутливими елементами для виміру концентрації водню та термоперетворювач опору типу Pt 100, поміщений у корпус із нержавіючої сталі, що захищає електричні з'єднання від механічних ушкоджень.

Корпус давача постачений штепсельним розніманням для підключення кабелю. Чутливі елементи перебувають у циліндрі, виготовленому зі спеченого металу, з порами для проходження аналізованого навколишнього середовища. Давач постачений адаптером для подачі контрольного газу при його калібруванні.

Принцип дії давачив заснований на реакції окислювання водню на чутливому елементі давача (нитки розжарення), покритому платиновим каталізатором. Підлягаючому контролю газ через корпус зі спеченого металу надходить у вимірювальну камеру датчика й вступає в контакт із чутливими елементами (нитками розжарення). Один із чутливих елементів має каталітичне покриття із платини. На цьому чутливому елементі здійснюється каталітичне окислювання водню з виділенням тепла. Інший чутливий елемент, без каталітичного покриття, призначений для компенсації впливу температури навколишнього середовища. Обидва чутливі елементи є частиною вимірювального моста опорів, що перебуває під дією постійного електричного струму підвищення температури на чутливому елементі з каталізатором, внаслідок окислювання водню, викликає зміна електричного струму, що проходить через опори моста, що пропорційно зміні концентрації водню.

Напряга з вимірювальної діагоналі моста надходить на газовий сигналізатор FS16K, де підсилюється й обробляється для визначення концентрації водню й сигналізації. З газового сигналізатора FS16K подається аналоговий сигнал від 4 до 20 мА на установку збору й обробки даних і дискретний сигнал для спрацьовування сигналізації на БЩУ.

Давачі разом з газовими сигналізаторами FS16K утворюють 14 окремих каналів безперервного контролю концентрації водню, об'єднаних у загальний модуль.

Термоперетворювач опору Pt 100 являє собою платиновий термометр опору, що встановлений у давачу. При зміні температури навколишнього повітря змінюється опір термоперетворювача опору Pt 100. Термоперетворювач опору Pt 100 підключений до вимірювального перетворювача температури по чотирьохпровідній схемі. Вихідний аналоговий сигнал (4-20) мА вимірювального перетворювача Pt 100 надходить послідовно на реєстратор й аналого-цифровий перетворювач.

2.4.3 Розташування давачив

Розташування давачив у приміщеннях ЗЛІА наведено в таблиці 2.1

Усередині гермозони розміщені тільки водневі датчики, без якого-небудь електронного встаткування. Для здійснення контролю концентрації водню на АЕС давачи потрібно розташовувати в тій області, де можливі максимальні концентрації водню.

Таблиця 2.1 - Розташування давачив

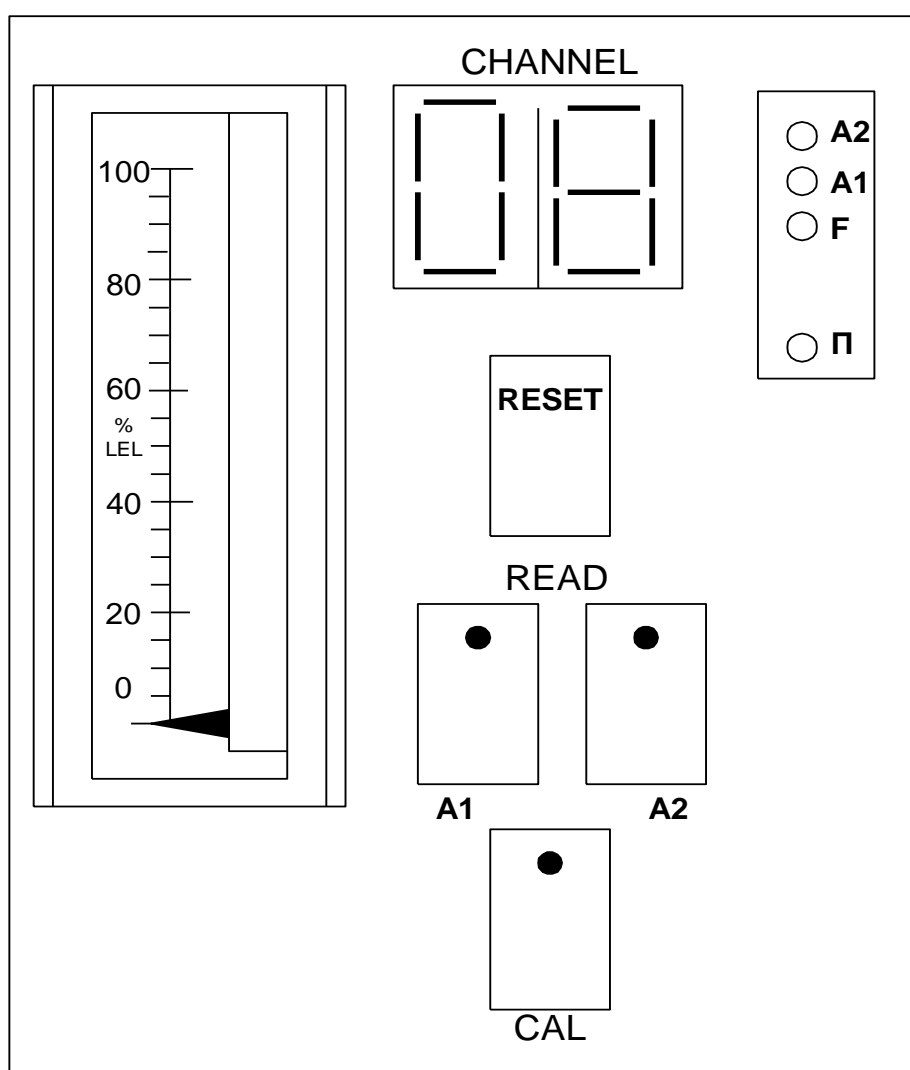
Позиція	Приміщення	Оцінка, м	Розміщення	Параметр
TQ20P17B1	AK329/2	6,6	приміщення датчиків СТОСІВ	тиск
TQ30P17B1	AK329/3			
XR10A001	ГА306/1	13,2	приміщення вентильних камер	концентрація водню
XR10A002	ГА306/2			
XR10A003	ГА306/3			
XR10T001	ГА306/1			температура
XR10T002	ГА306/2			
XR10T003	ГА306/3			
XR10A004	ГА503			
XR10T004	ГА503	25,7	барботаажний бак	концентрація водню
XR10A005	ГА506/1	32,4	1-й парогенератор	концентрація водню
XR10A006			4-й парогенератор	
XR10A007	ГА506/2		3-й парогенератор	
XR10A008			2-й парогенератор	
XR10T005	ГА506/1		1-й парогенератор	температура
XR10T006			4-й парогенератор	
XR10T007	ГА506/2		3-й парогенератор	
XR10T008			2-й парогенератор	
XR10A009	ГА701	36,6	нижня частина приміщення над пропускним перекриттям	концентрація водню
XR10A010				температура
XR10T009				
XR10T010				
XR10A011		46,0	середня частина приміщення на стіні під полярним краном	концентрація водню
XR10A012				температура
XR10T011				
XR10T012				
XR10A013		64,0	під куполом	концентрація водню
XR10A014				температура
XR10T013				
XR10T014				

На підставі певного розрахунку було з'ясовано, що для здійснення контролю концентрації водню буде досить чотирнадцяти водневих давачив.

2.4.4 Процесор сигналів. Загальні відомості

Процесор сигналів виготовлений у вигляді шафи GS001, що закривається дверима з тильної й лицьової сторін. Лицьові двері виконані із прозорого органічного скла. З тильної сторони розташовані клемні ряди для підключення датчиків й установки збору й обробки даних, а також два автомати живлення змінного струму для захисту вхідних і вихідних електричних ланцюгів.

На рисунку 2.3 представлена лицьова панель вимірювального блоку газового сигналізатора FS16K.



A1 - попереджувальна сигналізація; A2 - аварійна сигналізація; F - сигналізація несправності; П - індикатор живлення; RESET - перезапуск; CAL - калібрування.

Рисунок 2.3 - Лицьова панель вимірювального блоку газового сигналізатора

FS16K

З лицьової сторони шафи встановлені:

- іспитові клеми для тестування СКВ;
- газовий сигналізатор FS16K;
- блок живлення;
- вимірювальні перетворювачі температури Pt 100 - 14 штук;
- підсилювачі, що погодять, для давачив тиску - 2 штуки.

Уставки спрацьовування сигналізації:

- попереджувальна "A1" - 2,0 % H₂;
- аварійна "A2" – 4,0 % H₂.

На газовий сигналізатор FS16K надходить напруга з вимірювальної діагоналі моста, далі воно підсилюється й обробляється для визначення концентрації водню й сигналізації.

2.4.5 Установка збору й обробки даних. Загальні відомості

Установка збору й обробки даних виготовлена у вигляді шафи GS002. Тильна сторона закривається дверима, у якій розташовані клемні ряди для підключення живильної мережі змінного струму й аналогових сигналів (4-20) мА від процесора сигналів, два автомати живлення змінного струму для захисту вхідних і вихідних електричних ланцюгів й 32-канальний цифровий перетворювач із фільтром.

З лицьової сторони встановлені:

- промисловий персональний комп'ютер;
- монітор;
- клавіатура;
- 32-канальний цифровий реєстратор MULTIREG C1732;
- джерело безперебійного живлення.

На установку збору й обробки даних з газового сигналізатора подається аналоговий сигнал від 4 до 20 мА й дискретний сигнал для спрацьовування сигналізації на БЦУ.

Установка збору й обробки даних служить для візуалізації концентрації водню в гермооболонці.

Візуалізація даних виробляється у вигляді потрібної діаграми Шапіро-Морфетте, зображуваної на екрані. Видача виробляється або для всіх 14 точок виміру в одній діаграмі, або тільки для певної крапки. Крім того, сигнали одного датчика можна зобразити у вигляді тимчасової діаграми.

Зняття сигналу провадиться кожні 30 хвилин. Записуються дані останніх 50 днів. Під час реєстрації на діаграмній стрічці фіксуються всі зміни в стані приладу. Вимірювальні криві можуть представлятися в сімох кольорах.

2.4.6 Основні характеристики СКВ

Основні технічні характеристики СКВ:

1) кількість вимірювальних каналів:

- 14 каналів концентрації водню;
- 14 каналів температури;
- 2 канали тиску;

2) діапазони вимірів:

- концентрація водню від 0 до 10%;
- температура від 0 до 160 °С;
- тиск від -1 до 5 кгс/см²;

3) максимальне припустимий тиск не більш 0,6 МПа;

4) максимальна припустима температура, не більше 160 °С;

5) радіаційна стійкість до 250 кГр;

6) електроживлення:

- напруга від 115 до 250 В;
- частота мережі від 47 до 51 Гц;
- потужність 1600 Вт;

7) діапазон вихідного аналогового сигналу від 4 до 20 мА;

8) температура навколишнього середовища для шаф GS001 й GS002
від 0 до 50 °С;

- 9) струм через давач концентрації 250 мА;
10) струм через давач температури 340 мкА.

Межі абсолютної похибки, ϵ :

а) концентрації водню

1) у діапазоні від 0 до 4% $\pm 0,25\%$;

2) у діапазоні від 4 до 10% $\pm 0,5\%$;

б) температури $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВОДНЮ

3.1 Аналіз вхідних параметрів і розташування первинних давачив

Джерелами утворення водню в зоні локальної аварії є:

а) у режимах нормальної експлуатації:

- 1) радіоліз води в басейні витримки;
- 2) наявність неорганізованих протечок першого контуру;

б) в аварійних ситуаціях, пов'язаних із втратою теплоносія:

- 1) теплоносій першого контуру, у якому водень присутній для подавлення радіолітичного кисню;
- 2) радіоліз води й пару;
- 3) пароцирконіва реакція;
- 4) реакція нержавіючої сталі з паром;
- 5) реакція двоокису урану з паром;
- б) реакція взаємодії хімічних добавок до спринклерної води з алюмінієвими оболонками теплоізоляції трубопроводів й устаткування.

Для здійснення контролю концентрації водню на АЕС давачі потрібно розташовувати в тій області, де можливі максимальні концентрації водню. На підставі певного розрахунку було з'ясовано, що для здійснення контролю концентрації водню буде досить чотирнадцяти водневих давачів. Розташування давачів у приміщеннях ЗЛА наведені на рис 3.1.

У нормальному режимі роботи блоку концентрація об'ємної частки водню в ЗЛА не перевищує 0,3 %. Нижня межа горіння водню в об'ємних частках становить 4,1 %, верхній - 78 %, для детонації 18 % й 58 % відповідно. Система СКВ забезпечує вимір концентрації об'ємних часток водню в діапазоні від 0 до 10 %. Абсолютна похибка ВК об'ємної концентрації водню становить не більше об'ємних часток $\pm 0,25$ %.

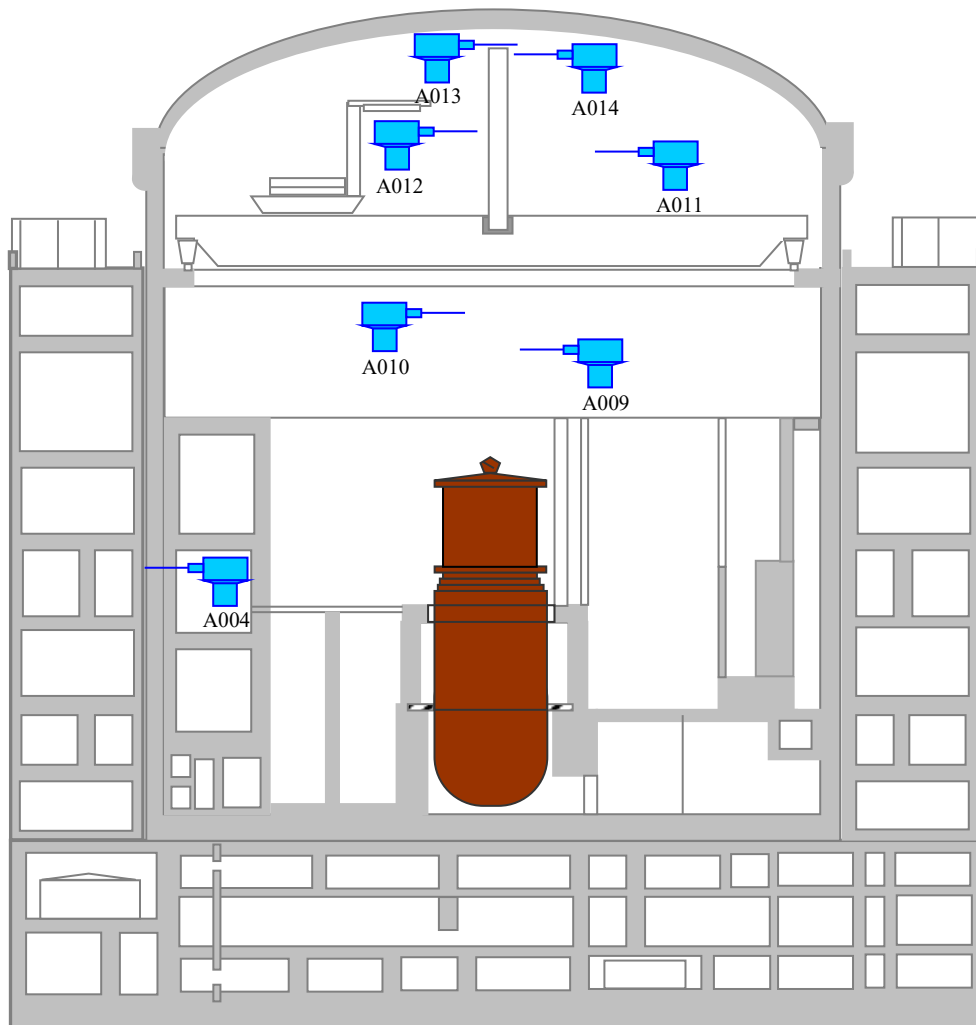


Рисунок 3.1 - Розташування давачив у приміщеннях ЗЛА

Розрахунковий тиск у ЗЛА становить 0,5 МПа (5 кгс/см²). Система СКВ забезпечує вимір тиску в діапазоні від мінус 1 до 5 кгс/см². Абсолютна похибка ВК абсолютного тиску становить не більше $\pm 0,06$ кгс/см².

Діапазон вимірюваних параметрів, а також межі похибок представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Діапазони вимірюваних параметрів

Найменування параметра	Діапазон вимірів	Межа допустимої похибки
Концентрація водню	від 0 до 4 % об'ємних часток	$\pm 0,25\%$
Температура	від 0 до 160 °С	$\pm 3,0$ °С
Абсолютний тиск	від мінус 1 до 5 кгс/см ²	$\pm 0,06$ кгс/см ²

Припустимі й робочі значення зазначені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Припустимі й робочі значення

Найменування параметра	Припустимі значення	Робочі значення
Концентрація водню	Не більше 4,1 % про. часток	0,3 % про. часток
Температура	Не більше 160 °С	Від 30 до 50 °С
Абсолютний тиск	Не більше 0,6 МПа (6 кгс/см ²)	Мінус 0,01 кгс/см ² (невелике розрідження)

3.2 Вибір методів і засобів виміру концентрації водню

3.2.1 Загальні відомості

Вибір засобів вимірів складається з наступних етапів:

- збір вихідних даних;
- визначення первісної сукупності засобів вимірів;
- розрахунок необхідної точності вимірів;
- вибір конкретного засобу вимірів з первісної сукупності.

Збір вихідних даних необхідний для чіткої постановки вимірювального завдання, тобто для виявлення состава характеристик й умов проведення вимірів.

Вихідні дані включають:

- состав вимірюваних і контрольованих параметрів, діапазони зміни їхніх значень і частот;
- значення допусків на відхилення контрольованих параметрів і припустимі значення сумарної похибки вимірів параметрів (δ_H , $\Delta_{тр}$);
- припустимі значення умовних ймовірностей помилкової й невиявленої відмов α_{01} и β_{01} для кожного контрольованого параметра й значення довірчих ймовірностей P_3 для вимірюваних параметрів;
- припустима тривалість виміру параметрів.

Поряд із цим визначаються особливості підключення засобів вимірів до об'єкта, припустима тривалість вимірів, можливі обмеження вага габаритних, вартісних і надійнісних характеристик засобів вимірів.

При аналізі умов, у яких будуть проводитися виміри або вимірювальний контроль, визначаються:

- рівні механічних навантажень (вібрацій, ударів, лінійних прискорень);
- кліматичні умови (температура, вологість, атмосферний тиск);
- наявність або відсутність активно руйнуючого середовища, у якій будуть експлуатуватися засоби вимірів або їхні елементи (агресивні гази й рідини, висока температура, висока напруга й так далі);
- наявність електричних і магнітних перешкод (полів).

Перераховані вихідні дані дозволяють виявити сукупність засобів вимірів, з якої й буде зроблений вибір приладу, необхідного для виміру або вимірювального контролю конкретного параметра. При цьому обрані засоби вимірів повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати необхідний рівень безвідмовності, необхідним технічним ресурсом і гарантійним терміном служби;
- забезпечувати простоту, зручність і безпеку застосування, технічного обслуговування й ремонту;
- мати мінімальні габарити, масу й вартість;
- мати необхідну швидкодію;
- стійкість засобів вимірів до зовнішніх факторів, що впливають, повинна бути такою, щоб забезпечувалася їхня нормальна робота в умовах виміру (вимірювального контролю) параметрів.

Після вибору первісної сукупності засобів вимірів необхідно розраховувати необхідні значення точності виміри. Методики розрахунку для вимірюваних і контрольованих параметрів різні.

3.2.2 Вибір засобів для виміру параметра

Вибір приладу для вимірів параметрів пристроїв базується на наступних вихідних даних: состав, діапазони значень ($x_n \dots x_a$) і частот вимірюваних параметрів, припустимі значення сумарної похибки вимірів ($\Delta_{\text{тр}}$).

При вимірах параметра вимога до точності звичайно формулюється в такий спосіб: межа сумарної похибки вимірів параметра обраним засобом не повинен перевищувати припустимого значення похибки вимірів, тобто:

$$\Delta_{\phi} \leq \Delta_{\text{тр}} \quad (3.1)$$

де Δ_{ϕ} — межа сумарної похибки вимірів параметра за допомогою обраного засобу вимірів;

$\Delta_{\text{тр}}$ — припустиме значення похибки результату вимірів параметра.

Сумарна похибка вимірів є функцією трьох складових:

$$\delta = f(\delta_m, \delta_n, \delta_{\text{и}}) \quad (3.2)$$

де δ_m — методична похибка виміру;

δ_n — суб'єктивна похибка, обумовлена обмеженими психофізіологічними можливостями оператора;

$\delta_{\text{и}}$ — похибка приладу (засобу виміру).

Завдання вибору засобів вимірів вирішується в припущенні, що

$$\delta_m + \delta_n \leq \delta_{\text{и}} \quad (3.3)$$

3.2.3 Вибір ЗВТ по точності для виміру концентрації водню

Як засіб виміру концентрації водню був обраний водневий датчик типу WS85. Діапазон виміру концентрації водню становить від 0 до 10 %, межа допускає похибку, що, дорівнює $\pm 0,25$ %.

3.2.3.1 Розрахунок значення, допустимої сумарної похибки результату вимірів

$$\Delta_{\Sigma_{\text{доп}}} = \delta_{\text{и}} \cdot R = 4 \cdot 0,3 = 1,2 (\%), \quad (3.4)$$

де $\delta_{\text{и}}$ — межа допустимої похибки вимірів водню, дорівнює 4 %;

R - допускає співвідношення, між похибкою виміру й допускаємим відхиленням вимірюваного параметра. Тому що відсутня повна інформація для необхідних розрахунків, можна застосувати спрощений варіант. У цьому випадку значення R визначають залежно від того, на скільки важлива точність вимірів при

визначенні параметра. Це значення вибирають із ряду 0,5; 0,4; 0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1. Оптимальним є значення $R=0,3$. Це обґрунтовано критерієм незначних похибок.

3.2.3.2 Визначення необхідного значення класу точності

$$K_{\text{п.тр.}} = \frac{\Delta_{\Sigma_{\text{доп}}}}{C_K} = \frac{1,2}{10} = 0,12\%, \quad (3.5)$$

де C_K – кінцеве значення діапазону виміру концентрації водню, дорівнює 10 %.

3.2.3.3 Розрахунок похибки обраного ЗВТ

Фактична сумарна похибка обраного ЗВТ при вимірі концентрації водню обчислюється по формулі:

$$\Delta_{\Sigma_{\phi}} = \sqrt{\Delta_0^2}, \quad (3.6)$$

$$\Delta_0 = \frac{K_{\text{п}} \cdot C_K}{100} = \frac{0,25 \cdot 10}{100} = 0,025, \quad (3.7)$$

$$\Delta_{\Sigma_{\phi}} = \sqrt{0,025^2} = 0,025, \quad (3.8)$$

У цьому випадку умова $\Delta_{\Sigma_{\phi}} < \Delta_{\Sigma_{\text{доп}}}$ виконується. Отже, ЗВТ для виміру концентрації водню в захисній оболонці ядерного реактора обрано правильно.

3.2.4 Вибір ЗВТ по точності для виміру температури

Як засіб виміру температури був обраний датчик типу WS85. Діапазон виміру температури становить від 0 до 160 °С, допустима похибка дорівнює $\pm 3,0$ °С (що становить 0,15 %).

3.2.4.1 Розрахунок значення, допустимої сумарної похибки результату вимірів

$$\Delta_{\Sigma_{\text{дло}}} = \delta_{\text{и}} \cdot R = 1,5 \cdot 0,3 = 0,45 \quad (\%), \quad (3.9)$$

де $\delta_{\text{и}}$ – допустима похибка виміру температури, дорівнює 1,5 %;

R - допускає співвідношення, між похибкою виміру й допускаємим відхиленням, вимірюваного параметра. Тому що відсутня повна інформація для необхідних розрахунків, можна застосувати спрощений варіант. У цьому випадку значення R визначають залежно від того, наскільки важлива точність вимірів при визначенні параметра. Це значення вибирають із ряду 0,5; 0,4; 0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1. Оптимальним є значення R=0,3. Це обґрунтовано критерієм незначних похибок.

3.2.4.2 Визначення необхідного значення класу точності

$$K_{п.гр.} = \frac{\Delta_{\Sigma доп}}{T_K} \cdot 100\% = \frac{0,45}{160} \cdot 100\% = 0,28\%, \quad (3.10)$$

де T_K – кінцеве значення діапазону виміру температури.

3.2.4.3 Розрахунок похибки обраного ЗВТ

Фактична сумарна похибка обраного ЗВТ при вимірі концентрації водню обчислюється по формулі:

$$\Delta_{\Sigma\phi} = \sqrt{\Delta_0^2}, \quad (3.11)$$

$$\Delta_0 = \frac{K_{п.} \cdot T_K}{100} = \frac{0,15 \cdot 160}{100} = 0,24, \quad (3.12)$$

$$\Delta_{\Sigma\phi} = \sqrt{0,24^2} = 0,24, \quad (3.13)$$

У цьому випадку умова $\Delta_{\Sigma\phi} < \Delta_{\Sigma доп}$ виконується. Отже, ЗВТ для виміру температури в захисній оболонці ядерного реактора обрано правильно.

3.2.5 Вибір ЗВТ по точності для виміру тиску

Діапазон виміру тиску становить від -1 до 5 кгс/см², допустима похибка дорівнює $\pm 0,06$ кгс/см².

3.2.5.1 Розрахунок значення, допустимої сумарної похибки результату вимірів

$$\Delta_{\Sigma_{\text{вдо}}} = \delta_{и} \cdot R = 1 \cdot 0,3 = 0,3 (\%), \quad (3.14)$$

де δ_i – допустима похибка виміру тиску, дорівнює 1 %;

R - допускає співвідношення між похибкою виміру й допускаємим відхиленням вимірюваного параметра. Тому що відсутня повна інформація для необхідних розрахунків, можна застосувати спрощений варіант. У цьому випадку значення R визначають залежно від того, наскільки важлива точність вимірів при визначенні параметра. Це значення вибирають із ряду 0,5; 0,4; 0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1. Оптимальним є значення $R=0,3$. Це обґрунтовано критерієм незначних похибок.

3.2.5.2 Визначення необхідного значення класу точності

$$K_{п.тр.} = \frac{\Delta_{\Sigma доп}}{P_K} = \frac{0,3}{5} = 0,06\%, \quad (3.15)$$

де P_K – кінцеве значення діапазону виміру тиску.

3.2.5.3 Розрахунок похибки обраного ЗВТ

Фактична сумарна похибка обраного ЗВТ при виміру тиску обчислюється по формулі:

$$\Delta_{\Sigma\phi} = \sqrt{\Delta_0^2}, \quad (3.16)$$

$$\Delta_0 = \frac{K_{п.тр.} \cdot P_K}{100} = \frac{0,06 \cdot 5}{100} = 0,003 \quad (3.17)$$

$$\Delta_{\Sigma\phi} = \sqrt{0,003^2} = 0,003 \quad (3.18)$$

У цьому випадку умова $\Delta_{\Sigma\phi} < \Delta_{\Sigma доп}$ виконується. Отже, ЗВТ для виміру тиску обрано правильно.

3.3 Принцип формування ВК і розробка структурних схем ВК СКВ

3.3.1 Загальні відомості

Основною структурною одиницею вимірювального комплексу в метрологічному відношенні є вимірювальний канал (ВК). ВК - це засіб вимірів,

призначений для виміру, перетворення й подання в необхідному виді безперервного сигналу, однозначно визначальний параметр технологічного процесу.

Вимірювальні канали підрозділяються на прямі й непрямі. Для останніх характерно те, що результат виміру виходить за допомогою пристрою обробки інформації, що у цьому випадку є не споживачем, а джерелом вимірювальної інформації.

Вимірювальний канал формується автоматично або напівавтоматично за допомогою комутаторів або перемикачів на час виконання функціонального завдання.

ВК містить у собі три основних елементи:

- первинний вимірювальний перетворювач (ПВП);
- електричний тракт;
- робоче місце оператора-технолога.

ПВП формує на виході сигнал вимірювальної інформації, значення одного з параметрів сигналу якого перебуває у взаємо-однозначній відповідності з величиною вимірюваного параметра.

Особливості ПВП:

- функція перетворення ПВП може мати дуже складний вид, вона не зобов'язана бути прямою пропорційною залежністю;
- як вхідний сигнал ПВП служить сама вимірювана фізична величина;
- на виході ПВП має місце як правило електричний сигнал вимірювальної інформації, один з параметрів якого повинен перебувати в строгій і заздалегідь відомому функціональному зв'язку з вимірюваною фізичною величиною.

За ПВП треба нормуючий вимірювальний перетворювач(НВП). НВП призначений для перетворення вхідного сигналу в уніфікований сигнал.

Вимір будь-якого параметра за допомогою ВК може бути здійснено декількома способами. Однієї з головних передумов для вибору методу метрологічного забезпечення ВК є наявність або відсутність агрегування при його компонуванні з окремих блоків.

Агрегатований блок - це блок, випускаємий по самостійним технічним умовам. Його характеристики не входять за ті, які записані в паспорті.

3.3.2 Структурна схема ВК СКВ

3.3.2.1 ВК об'ємної концентрації водню й температури складається з декількох блоків, представлених на рисунку 3.2.



Д - давач WS 85; ПС - процесор сигналів FS 16 К;
РП - реєструючий пристрій.

Рисунок 3.2 - Узагальнена структурна схема ВК об'ємної концентрації водню й температури

Давач складається з вимірювальної камери із двома чутливими елементами для виміру концентрації водню й термоперетворювача опору типу Pt 100.

Давачі разом з газовими сигналізаторами FS16K утворюють 14 окремих каналів безперервного контролю концентрації водню. Принцип дії давачів заснований на реакції окислювання водню на покритому каталізатором чутливому елементі давача (нитки розжарення).

Обоє чутливих елемента є частиною вимірювального моста опорів. Напряга з вимірювальної діагоналі моста надходить на газовий сигналізатор FS16K, де підсилюється й обробляється для визначення концентрації водню й сигналізації.

З газового сигналізатора FS16K подається аналоговий сигнал від 4 до 20 мА на установку збору й обробки даних і дискретний сигнал для спрацьовування сигналізації на БЦУ.

ВК тиску представлений на рисунку 3.3

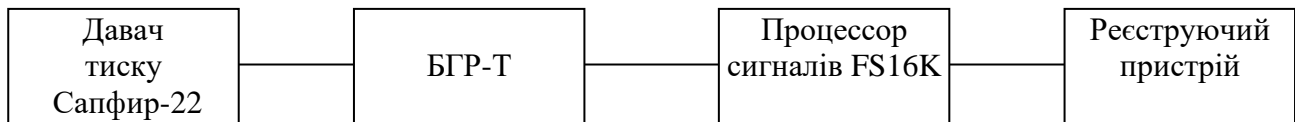


Рисунок 3.3 - Структурна схема ВК тиску

Перетворювач тиску типу "Сапфір-22" забезпечує безперервне перетворення значення вимірюваного параметра в уніфікований струмовий сигнал. Перетворювач складається з вимірювального блоку й електронного блоку. Вимірюваний параметр подається в камеру вимірювального блоку й лінійно перетворюється в деформацію чутливого елемента й зміна електричного опору тензорезисторів, розміщених у вимірювальному блоці.

3.4 Методика калібрування ВК СКВ

3.4.1 Операції калібрування

При виконанні первинного, періодичного або позачергового калібрування повинні бути виконані наступні операції:

- зовнішній огляд;
- визначення абсолютної похибки ВК об'ємної концентрації водню;
- визначення абсолютної похибки спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню;
- визначення абсолютної похибки ВК абсолютного тиску;
- оформлення результатів калібрування.

3.4.2 Засобу калібрування

Для калібрування системи повинні бути застосовані наступні робочі еталони (РЕ) і ЗВТ:

- перевірочні газові суміші (ПГС), приготовлені в балонах за ДСТ 949-73; межа основної похибки, допускає об'ємних часток $\pm 0,03\%$;

- ротаметр РМ-0,16 ГУЗ, верхня межа вимірів 0,250 м³/г;
- термометр лабораторний ТЛ-4, діапазон вимірів від 0 до 50 °З, ціна розподілу 0,1 °С;
- психрометр аспираційний МВ-4М, діапазон вимірів відносної вологості повітря при температурі від 5 до 40 °С від 10 % до 100 %, межа основної похибки допускає, ± 4 %;
- барометр-анероид БАММ-1, діапазон вимірів від 80 до 106 кПа, межа основної похибки допускає, ± 200 Па;
- експлозиметр ЭТХ-1, діапазон вимірів об'ємних часток концентрації водню від 0 до 2,0 %, межа основної похибки допускає об'ємних часток ± 0,2 %;
- секундомір механічний СОП ін 2а-3, діапазон вимірів від 0 до 1800 с, ціна розподілу 0,2 с;
- прилад комбінований цифровий Щ301-1, верхня межа діапазону вимірів напруги 1 В, клас точності 0,05/0,02; верхня межа діапазону вимірів струму 100 мА, клас точності 0,15/0,04;
- магазин опору вимірювальний Р33, діапазон опору постійному струму від 0,1 до 99999,9 Ом, клас точності 0,2/6*10⁻⁶;
- прилад для перевірки каналів тиску ППКД-5, діапазон вимірів від 0 до 5 мА; межі основної приведенної похибки допускає, ± 0,1 %, при значенні струму 5 мА.

В місце зазначених допускається застосування інших РЕ й ЗВТ, за винятком ПГС, з аналогічними або кращими метрологічними й технічними характеристиками.

РЕ й ЗВТ повинні бути справні, відкалібровані (повірені) і мати оцінку про калібрування (перевірці) у встановленому порядку.

3.4.3 Вимоги до кваліфікації поверителів

До робіт по калібруванню допускаються працівники, атестовані в якості поверителів у порядку, установленому Держстандартом, що пройшли перевірку знань в обсязі посадової інструкції й методичних вказівок, що вивчили, і експлуатаційну документацію на систему, РЕ й допоміжні засоби калібрування.

3.4.4 Вимоги безпеки

До робіт по калібруванню допускаються працівники, що вивчили методичні вказівки й пройшли цільовий інструктаж, які мають групу по електробезпечності не нижче III і допущені до самостійної роботи.

Роботи з калібрування варто проводити на зупиненому енергоблоці по наряді, у якому в графі " Особливі умови " указують наявність дозиметричного наряду.

Роботи виконують у приміщенні БЩУ, у гермо зоні й у контрольованій зоні оббудовування РО бригадою не менш п'яти чоловік.

Відповідальність за правильне й безпечне виконання робіт з калібрування покладає на виконавця робіт по поряд.

ЗВТ, що входять у комплект системи, працюють від мережі змінного струму й повинні бути надійно заземлені.

При виникненні аварійної ситуації на енергоблоці роботи з калібрування припиняють, персонал виводять у безпечне місце. Виконавцеві робіт необхідно повідомити керівникові робіт і здати свій екземпляр наряду допускающому.

3.4.5 Умови калібрування

При проведенні калібрування системи слід дотримуватися наступних умов:

- температура навколишнього повітря $(20 \pm 10) \text{ } ^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря від 30 % до 80 %;
- атмосферний тиск від 84 до 106 кПа;
- напруга живильної мережі $(220 \pm 22) \text{ В}$;
- частота живильної мережі $(50 \pm 1) \text{ Гц}$.

3.4.6 Підготовка до калібрування

Перед проведенням калібрування необхідно виконати наступні підготовчі роботи:

- установити ЗВТ, що дозволяють у процесі проведення калібрування контролювати зміну умов калібрування;

- записати до протоколу калібрування значення параметрів навколишнього середовища;

- для каналів виміру об'ємної концентрації водню балони із ПГС витримують при температурі приміщення, де встановлені давачі, не менш восьми годин;

- збирають схему калібрування конкретного ВК;

- для всіх ВК встановлюють зв'язок від місць розташування робочих еталонів до місць розташування засобів подання інформації, виконують всі спеціальні заходи щодо техніки безпеки.

3.4.7 Проведення калібрування

3.4.7.1 Зовнішній огляд

При зовнішньому огляді візуально перевіряють:

- комплектність калібруємих ВК відповідно до технічного опису на систему;

- надійність заземлення використовуваних ЗВТ;

- відсутність видимих дефектів й ушкоджень, що впливають на працездатність системи.

3.4.7.2 Визначення абсолютної похибки ВК об'ємної концентрації водню

Абсолютну похибку визначають методом порівняння з мірою.

Структурна схема підключення робочих еталонів для калібрування ВК концентрації водню представлена на рисунку 3.3.

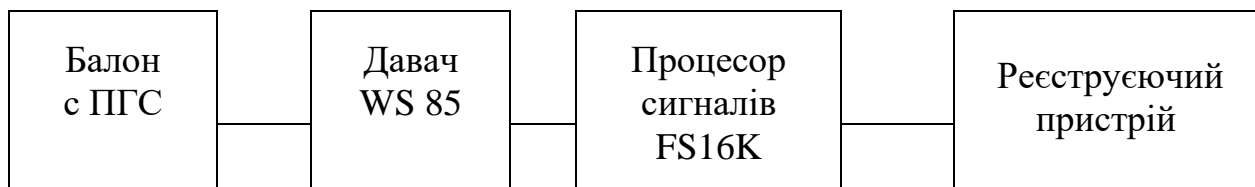


Рисунок 3.3 - Структурна схема калібрування ВК концентрації водню

Для визначення значення абсолютної похибки:

- перевіряють відсутність водню в навколишнім середовищі давача експлозиметром ЕТХ-1;

- до імпульсної лінії, з'єднаної з датчиком WS 85, підключають балон із ПГС;

- за допомогою вентилів точного регулювання встановлюють значення витрати ПГС, рівне $(0,15 \pm 0,01) \text{ м}^3/\text{Г}$;

- через п'ять хвилин після початку подачі ПГС записують результат вимірів (A), зафіксований на діаграмній стрічці реєструємим пристроєм до протоколу;

- відключають балони із ПГС і через 15 хвилин записують результат вимірів (A₀), зафіксований на діаграмній стрічці реєструємим пристроєм;

- вимір повторюють три рази з кожним ПГС.

Значення абсолютної погрішності ИК об'ємної концентрації водню Δ_i у відсотках об'ємної частки визначають по формулі:

- при підключеному балоні із ПГС

$$\Delta_i = A_i - A_d, \quad (3.19)$$

де A_i – показання реєструючого пристрою, при і-тій подачі ПГС, у відсотках;

A_d – дійсне значення змісту водню в ПГС (за паспортним даними ПГС), у відсотках;

- при відключеному балоні із ПГС

$$\Delta_i = A_{0i}, \quad (3.20)$$

де A_{0i} - показання реєструючого пристрою, після і-го відключення балона із ПГС, у відсотках.

З ряду отриманих значень для кожної калібруємої точки діапазону вимірів вибирають максимальне по абсолютній величині значення абсолютної похибки ВК.

Абсолютна похибка ВК об'ємної концентрації водню повинна бути не більше об'ємних часток $\pm 0,25 \%$.

3.4.7.3 Визначення абсолютної похибки спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню

Похибку спрацьовування сигналізації визначають на двох контрольних рівнях концентрації водню:

- об'ємних часток 2,0 %;
- об'ємних часток 4,0 %.

За свідченням про випробування системи вихідний сигнал датчика водню WS 85 при об'ємній концентрації водню 2,0 % становить 9,3 мА, при 4,0 % - 12,7 мА.

Для визначення значення абсолютної похибки спрацьовування сигналізації:

- приєднують прилад Щ301-1 у режимі виміру постійного ока до виходу REC процесора сигналів FSK 16 К відповідно до схеми;

- до виходів NS й 01 процесора сигналів FSK 16 К підключають магазин опорів P33;

- перемикають декади P33 до моменту включення світлової й звукової сигналізації;

- показання амперметра $A_{и}$ записують у протокол;

- виміру повторюють три рази для кожного контрольного рівня.

Значення абсолютної похибки спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню $\Delta_{1(2)}$ у міліамперах визначають по формулі:

$$\Delta_{1(2)} = A_{и} - A_{1(2)}, \quad (3.21)$$

де $A_{и}$ – обмірюване значення вихідного сигналу давача при спрацьовуванні сигналізації, мА;

$A_{1(2)}$ – розрахункові значення вихідного сигналу давача для першого й другого контрольного рівня відповідно, мА.

Абсолютна похибка спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню повинна бути не більше $\pm 0,2$ мА.

3.4.7.4 Визначення абсолютної похибки ВК температури

Для визначення значення абсолютної погрішності:

- у місці розташування датчика WS 85 розміщують термометр ТЛ-4;

- через 10 хвилин показання термометра (t_d) і показання реєструючого пристрою ($t_{и}$) записують до протоколу;

- виміру повторюють три рази.

Значення абсолютної похибки ВК температури Δ_{ti} , °С, розраховують по формулі:

$$\Delta_{ti} = t_{ii} - t_{di}, \quad (3.22)$$

де t_{di} – значення температури, обмірюване термометром ТЛ-4, °С;

t_{ii} – результат вимірів температури, записаний на діаграмній стрічці реєструючого пристрою, С.

З ряду отриманих значень вибирають максимальне по абсолютній величині значення абсолютної похибки ВК.

Абсолютна похибка ВК температури повинна бути не більше $\pm 3,0$ °С.

3.4.7.5 Визначення абсолютної похибки ВК абсолютного тиску

Для визначення значення абсолютної похибки:

- подають на вхід електричного тракту ВК від ППКД-5 фіксоване значення струмового сигналу, що відповідає повіряємій точці, діапазону вимірів відповідно до таблиці 3.3;

- показання пристрою, що реєструє, заносять до протоколу калібрування;
- вимір повторюють три рази.

Таблиця 3.3

Номінальне значення абсолютного тиску, кгс/см ²	Значення постійного струму, що відповідає номінальному значенню абсолютного тиску, мА
-0,7	0,25
0,0	0,83
0,2	1,00
1,4	2,00
2,6	3,00
3,8	4,00
4,7	4,75

Структурна схема підключення робочих еталонів для калібрування ВК абсолютного тиску представлена на рисунку 3.4.

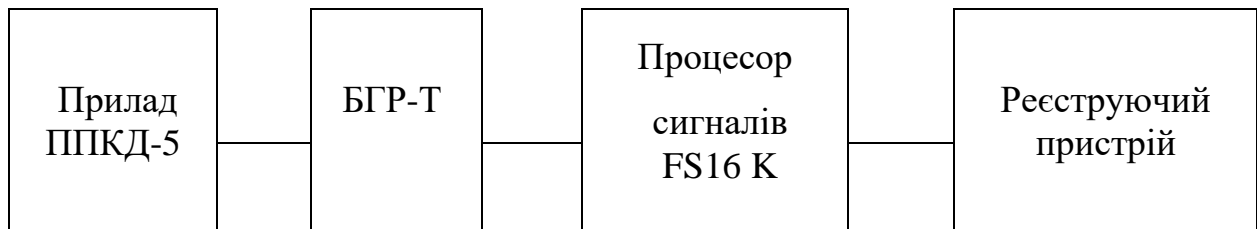


Рисунок 3.4 - Структурна схема калібрування ВК абсолютного тиску

Значення абсолютної похибки ВК абсолютного тиску Δ_p , кгс/см², розраховують по формулі:

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_{\text{ЭТ}}^2}, \quad (3.23)$$

де Δ_d – межа допустимої похибки, давача "Сапфір-22", кгс/см²;

$\Delta_{\text{ЭТ}}$ – абсолютна похибка електричного тракту, що включає похибку лінії зв'язку й процесора сигналів FS16 К, вибирається максимальної по діапазоні вимірів, кгс/см²:

$$\Delta_{\text{ЭТ}ij} = X_{ij} - X_{dj}, \quad (3.24)$$

де X_{ij} – результат і-го виміру абсолютного тиску в j-тій перевірці точці, кгс/см²;

X_{dj} – розрахункове значення абсолютного тиску в j-тій перевірці точці, кгс/см².

Абсолютна похибка ВК абсолютного тиску повинна бути не більше $\pm 0,06$ кгс/см².

3.4.8 Оформлення результатів калібрування

Позитивні результати калібрування ВК системи оформляють свідченням про калібрування системи виміру концентрації водню.

При негативних результатах калібрування ВК або ЗВТ, що входять до складу калібруемого ВК, підрозділу, що експлуатує систему, видають повідомлення про

їхню непридатність до застосування із вказівкою причин. Після усунення виявлених дефектів ЗВТ або ВК повинні бути повторно пред'явлені на калібрування.

3.5 Програма та методика метрологічної атестації ВК СКВ

Ціль метрологічної атестації (МА) - дослідження вимірювальних каналів (ВК) системи для визначення їхніх метрологічних характеристик (МХ) у робочих умовах експлуатації системи й видача документа із вказівкою отриманих даних.

Завданнями МА є:

- установлення відповідності МХ ЗВТ, що входять у комплект системи, вимогам ТУУ 19355964.001-98 (ТУ);
- установлення номенклатури МХ ВК, підлягаючих контролю (калібруванню);
- практичне випробування методики перевірки (калібрування);
- установлення придатності ЗВТ, що входять у систему, до експлуатації.

3.5.1 Вимірювальні канали. Загальні вимоги

3.5.1.1 Перелік ВК, що підлягають МА:

а) канали виміру об'ємної концентрації водню й температури повітря:

- 1) у приміщеннях вентиляційної камери, трубопроводів й арматур вентиляторів системи TL05, оцінка 13,200 м (ГА 306/1-3);
- 2) у приміщенні барботажного бака, оцінка 25,700 м (ГА 503);
- 3) у приміщеннях парогенераторів, оцінка 32,400 (ГА 506/1,2);
- 4) в апаратній залі, оцінка 39,600 м (ГА 701);
- 5) в апаратній залі, оцінка 46,200 м (ГА 701);
- 6) під куполом, оцінка 64,000 м (ГА 701);

б) канали виміру тиску повітря:

- 1) у приміщеннях вентиляційної камери, трубопроводів й арматур вентиляторів системи TL05 (ГА 306/2,3).

3.5.1.2 Структурні схеми формування ИК

На рисунку 3.5, 3.6 приведені структурні схеми ВК об'ємної концентрації водню й температури та тиску.



Рисунок 3.5 - Структурна схема ВК об'ємної концентрації водню й температури



Рисунок 3.6 - Структурна схема ВК тиску

3.5.1.3 Підготовчі роботи

При підготовці до експериментальних досліджень ВК виконують наступні підготовчі роботи:

- перевіряють ЗВТ, що входять у комплект системи, відповідно до вимог нормативних документів, що поширюються на них;
- установлюють ЗВТ, що дозволяють у процесі проведення досліджень контролювати зміну факторів, що впливають;
- підготовляють ВК до досліджень;
- для каналів виміру об'ємної концентрації водню балони з перевірочними газовими сумішами (ПГС) витримують при температурі приміщення, де встановлені давачи, не менш 8 годин;
- для каналів виміру тиску відключають давачи від імпульсних ліній, що з'єднують їх з об'єктом виміру;
- для всіх ВК випробують телефонний зв'язок від місць розташування робочих еталонів (РЕ) до місць розташування засобів подання інформації, виконують всі спеціальні заходи щодо техніки безпеки.

3.5.2 Робочі еталони й допоміжні засоби

При проведенні МА повинні бути застосовані наступні РЕ й ЗВТ:

- перевірочні газові суміші, приготовлені в балонах по ГОСТ 949-73 [];
- магазин опору вимірювальний Р33, діапазон опору постійному струму від 0,1 до 99999,9 Ом, клас точності $0,2/6 \cdot 10^{-6}$;
- ротаметр РМ-0,16 ГУЗ, верхня межа вимірів 0,160 м³/ч;
- термометр лабораторний ТЛ-4, діапазон вимірів від 0 до 50 °С, ціна розподілу 0,1 °С;
- психрометр аспираційний МВ-4М, діапазон вимірів відносної вологості повітря при температурі від 5 до 40 °С від 10% до 100%, межі основної похибки, допускає, $\pm 4\%$;
- барометр-анероид БАММ-1, діапазон вимірів від 80 до 106 кпа, межі основної похибки, що допускає, $\pm 200\text{Па}$;
- прилад комбінований цифровий Щ301-1, верхня межа діапазону вимірів напруги 1 В, клас точності 0,05/0,02, верхня межа діапазону виміру струму 100 Ма, клас точності 0,15/0,04;

- експлозиметр ЭТХ-1, діапазон вимірів від 0% до 50% нижньої концентраційної межі поширення полум'я, межі основної погрішності, що допускає, $\pm 5\%$;

- термометр контактний переносний ТПК-3, діапазон вимірів від 0 до 200 °С, ціна розподілу 0,1 °С;

- прилад для перевірки каналів тиску ППКД-5, діапазон вимірів від 0 до 5 Ма, межа наведеної основної похибки, $\pm 0,1\%$, при значенні, струму 5 МА.

Допускається застосування інших РЕ й ЗВТ з аналогічними або кращими МХ.

3.5.3 Міри безпеки

До робіт по МА допускаються працівники, що вивчили експлуатаційну документацію на систему й минулий цільовий інструктаж, що мають групу по електробезпечності не нижче третьої.

Роботи з МА системи варто проводити на зупиненому енергоблоці по поряд.

Роботи виконують у приміщенні БЩУ, у гермо зоні й у контрольованій зоні оббудовування РО бригадою не менш п'яти чоловік.

3.5.4 Технічна документація

На МА системи повинна бути представлена наступна документація:

- технічні умови на систему;
- технічний опис системи;
- паспорти й технічні описи на ЗВТ, що входять у комплект системи;
- свідчення про повірку (калібруванню) ЗВТ;
- ПМА системи;
- проектні схеми підключення ЗВТ до встаткування системи;
- протокол попередніх випробувань перевірки технічних і визначення метрологічних характеристик.

Вимоги по розгляду технічної документації:

- оцінка експлуатаційної документації з погляду зручності її використання, повноти й правильності її викладу;

- перевірка відповідності зазначених у технічній документації МХ ЗВТ і системи вимогам нормативної документації;
- перевірка повноти, правильності, способу вираження МХ, нормованих у технічній документації;
- перевірка повноти й правильності обраних методів і засобів атестації.

3.5.5 Експериментальні дослідження ВК системи

ВК системи, що підлягають МА, розділяють на однотипні групи у відповідності зі структурними схемами, видом вимірів:

- ВК об'ємної концентрації водню (14 штук);
- ВК температури (14 штук);
- ВК тиску (2 штуки).

Число досліджуваних точок:

- у діапазоні вимірів об'ємної концентрації водню від 0% до 10% - сім (об'ємні частки 0 %; 1,0 %; 2,0 %; 4,0 %; 5,0 %; 7,5 %; 10,0 %)
- у діапазоні вимірів тиску від мінус 1 до плюс 5 кгс/см² - відповідно до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Номінальне значення абсолютного тиску, кгс/см ²	-0,7	0,0	0,2	1,4	2,6	3,8	4,7
Значення постійного струму, що відповідає номінальному значенню абсолютного тиску, мА	0,25	0,83	1,00	2,0	3,0	4,0	4,75

При експериментальному дослідженні ВК системи кількість спостережень для кожної досліджуваної точок приймають:

- для ВК об'ємної концентрації водню й тиску не менш 20;
- для ВК температури не менш трьох.

При проведенні МА визначенню й оцінці підлягають наступні МХ:

- абсолютна похибка ВК об'ємної концентрації водню;
- абсолютна похибка спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню;
- абсолютна похибка ВК температури;
- абсолютна похибка ВК тиску.

3.5.6 Методика проведення МА

3.5.6.1 Зовнішній огляд

При зовнішньому огляді візуально перевіряють:

- комплектність досліджуваних ВК відповідно до технічного опису на систему;
- виконання екранівки кабелів зовнішнього монтажу;
- надійність заземлення використовуваних ЗВТ.

3.5.6.2 Експериментальні дослідження ВК об'ємної концентрації водню

а) При експериментальних дослідженнях ВК об'ємної концентрації водню в діапазоні вимірів об'ємної концентрації від 0 до 4 %:

1) перевіряють відсутність водню в навколишній середовищі давача експлозіметром;

2) приєднують прилад Щ301-1 у режимі виміру постійного струму до виходу REC процесора сигналів FS16K відповідно до схеми;

3) до імпульсної лінії, з'єднаної з датчиком, підключають балон із ПГС;

4) за допомогою вентилів точного регулювання встановлюють значення витрати ПГС, рівне $(0,15 \pm 0,01) \text{ м}^3/\text{ч}$;

5) через п'ять хвилин після початку подачі ПГС вимірюють і записують значення постійного струму на виходах REC (ac) і TP (TP_c) до протоколу, записують результат вимірів (Ac), зафіксований на діаграмній стрічці пристрою, що реєструє;

б) відключають балони із ПГС і через 15 хвилин записують значення постійного струму на виході REC (a_0) і результат вимірів (A_0), зафіксований на діаграмній стрічці реєструючого пристрою;

7) виміру повторюють.

б) При експериментальних дослідженнях ВК об'ємної концентрації водню в діапазоні від 4 до 10 %:

1) приєднують прилад Щ301-1 у режимі виміру постійного струму до виходу REC процесора сигналів FS16K відповідно до схеми;

2) інший прилад Щ301-1 у режимі виміру напруги постійного струму приєднують до виходу TP процесора сигналів FS16K;

3) використовуючи регулювання CZ й FZ на панелі FS16K, встановлюють показання на виході REC ($4,0 \pm 0,1$) мА й реєструють показання на виході TP (значення не посиленого сигналу датчика TP_0 при об'ємній концентрації водню 0%);

4) використовуючи обмірювані значення a_c , a_0 , TP_c при експериментальних дослідженнях ВК об'ємної концентрації водню в діапазоні від 0 до 4% обчислюють значення коефіцієнта підсилення датчика, V , мА/мВ, по формулі:

$$V = \frac{a_c - a_0}{TP_c - TP_0}, \quad (3.25)$$

де a_c – значення постійного струму на виході REC при подачі ПГС (об'ємних часток 2,0%), мА;

a_0 – значення постійного струму на виході REC при відсутності водню в навколишнім середовищі давача, мА;

TP_c – значення напруги постійного струму на виході TP при подачі ПГС (об'ємних часток 2,0%), мВ;

5) результат обчислень заносять до протоколу;

б) розраховують значення не посиленого сигналу датчика TP_v , для значень об'ємної концентрації водню 4,0; 5,0; 7,5; 10,0%, мВ, по формулі:

$$TP_v = \frac{a_v - a_0}{V} + TP_0, \quad (3.26)$$

де a_v – розрахункове значення вихідного сигналу ВК при об'ємній концентрації водню рівної відповідно 4,0; 5,0; 7,5; 10,0%, мА;

7) підключають магазин опору Р33 до виходів NS й 01 (гнізда 5 й 6 клемного ряду процесора сигналів FS16K) досліджуваного давача й перемикаючи декади Р33 домагаються такого розбалансу вимірювального моста давача, щоб на виході ТР установилося розраховане значення не посиленого сигналу для об'ємної концентрації 4,0%;

8) результат вимірів, записаний на діаграмній стрічці реєструючого пристрою, A_v заносять до протоколу;

9) проводять виміру A_v для значень об'ємної концентрації водню 5,0; 7,5; 10,0 %;

10) виміру повторюють.

в) При експериментальних дослідженнях для визначення абсолютної похибки спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню:

1) приєднують прилад Щ301-1 у режимі виміру постійного струму до виходу REC процесора сигналів FS16K;

2) до виходів NS й 01 процесора сигналів FS16K підключають магазин опорів Р33;

3) перемикають декади Р33 до моменту включення світлової й звукової сигналізації першого (об'ємна частка 2,0%) і другого (об'ємна частка 4,0%) контрольних рівнів;

4) показання амперметра A_n записують до протоколу;

5) виміру повторюють.

3.5.6.3 Експериментальне дослідження ВК температури

При експериментальному дослідженні ВК температури:

- у місці розташування датчика WS 85 розміщують чутливий елемент термометра ТПК-3;

- через 20 с показання із цифрового табло термометра (t_d) і пристрою, що реєструє (t_n) записують до протоколу;

- виміру повторюють.

3.5.6.4 Експериментальне дослідження ВК тиску

При експериментальному дослідженні ВК тиску:

- до лінії зв'язку для підключення датвача "Сапфір-22" досліджуваного ВК приєднують прилад ППКД-5;

- подають на вхід електричного тракту ВК від ППКД-5 фіксоване значення струмового сигналу, що відповідає перевірчій точці діапазону вимірів, показання реєструючого пристрою заносять до протоколу досліджень;

- виміру повторюють.

3.5.7 Обробка результатів експериментальних досліджень

3.5.7.1 Розрахунок абсолютної похибки ВК об'ємної концентрації водню

1) Перетворюють наведені у свідченні про випробування значення сигналів на виході датчика a_0 , a_2 , і a_5 , мВ, по формулі:

$$a'_i = \frac{a_i}{B}, \quad (3.27)$$

де a_i – значення вихідного сигналу датвача при концентрації водню об'ємних часток 0; 2,0; 5,0% відповідно, мА;

B – коефіцієнт, рівний 50 мА/мА.

2) Розраховані значення записують до протоколу МА.

3) Розрахункове значення вихідного сигналу датвача a'_p , мА, при подачі ПГС визначають по формулі:

$$a'_p = a'_2 + \frac{a'_5 - a'_0}{5\%} \cdot (c - 2\%), \quad (3.28)$$

де c – дійсне значення змісту водню в ПГС (за паспортним даними ПГС), про частки, %;

4) абсолютну допустиму похибку, ВК об'ємної концентрації водню Δ_d , мА, розраховують по формулі:

$$\Delta_d = \frac{a'_5 - a'_0}{5\%} \cdot 0,25\% , \quad (3.29)$$

5) Розраховані значення записують до протоколу.

6) Обробку отриманих результатів спостережень проводять згідно РДЗ4.11.206-94.

7) Визначають середнє арифметичне значення результатів спостережень вихідного сигналу давача $a_0, a_c, A_0, A_c, A_v, A_n$.

8) Обчислюють оцінку середньоквадратичного відхилення (СКВ) систематичної складової похибки системи, оцінку СКВ випадкової складової похибки системи, визначають границі інтервалу, у якому з довірчою ймовірністю $P = 0,95$ перебуває похибка системи (при числі спостережень $n = 20$ приймають коефіцієнт Ст'юдента $t = 2,086$).

Відповідно до вимог ТУ, абсолютна похибка ВК об'ємної концентрації водню повинна бути об'ємних часток не більше $\pm 0,25\%$ у діапазоні вимірів від 0 до 4 % і не більше $\pm 0,50\%$ у діапазоні вимірів від 4 до 10%.

Абсолютна похибка спрацьовування сигналізації ВК об'ємної концентрації водню повинна бути не більше $\pm 0,2$ мА.

3.5.7.2 Розрахунок абсолютної похибки ВК температури

Абсолютну похибка ВК температури $\Delta_t, ^\circ\text{C}$, розраховують по формулі:

$$\Delta_t = t_d - t_n , \quad (3.30)$$

де t_d – значення температури, обмірюване термометром ТПК-3, $^\circ\text{C}$;

t_n – середнє арифметичне результатів вимірів температури, записане на діаграмою стрічці реєструючого приладу, $^\circ\text{C}$.

Згідно з вимогам ТУ, абсолютна похибка ВК температури повинна бути не більше $\pm 3,0$ $^\circ\text{C}$.

3.5.7.3 Розрахунок абсолютної похибку ВК тиску

Абсолютну похибку ВК тиску $\Delta_p, \text{кгс/см}^2$, розраховують по формулі:

$$\Delta_p = k \sqrt{D_d^2 + D_Z^2 + D_L^2} , \quad (3.31)$$

де D_D^2 - дисперсія розподілу випадкових похибок використовуваного давача "Сапфір - 22", $D_D^2 = (\pm \Delta_D/2)^2$,

Δ_D – межа допустимої похибки давача "Сапфір-22", кгс/см²;

D_Z^2 – дисперсія розподілу випадкових похибок використовуваного ППКД-5, кгс/см², $D_Z^2 = (\pm \Delta_Z/2)^2$,

Δ_Z – межа допустимої похибки ППКД-5, кгс/см²;

D_L^2 – дисперсія розподілу випадкових похибок електричного тракту, що включає похибку ліній зв'язку й процесора сигналів, вибирається максимальна до діапазону вимірів. Визначається експериментально в процесі МА згідно РДЗ4.11.206-94.

Згідно "Норм точності АТЕП" основна приведена похибка ВК тиску повинна бути не більше $\pm 1,0$ % (абсолютна похибка ВК тиску повинна бути не більше $\pm 0,06$ кгс/см²).

3.5.8 Оформлення результатів МА

При позитивних результатах МА оформляють свідчення.

При негативних результатах МА оформляють протокол або повідомлення про непридатність системи до експлуатації з відповідним обґрунтуванням.

3.6 Розрахунок тривалості міжкалібровачного інтервалу ВК концентрації водню

Величина міжкалібровачного інтервалу перебуває за критерієм безвідмовної роботи з метрологічних відмов або критерію швидкості зміни похибки ВК системи.

1 Критерій безвідмовної роботи з метрологічних відмов рекомендується використати у двох випадках:

- при первісній оцінці міжкалібровачного інтервалу, коли були зроблені експериментальні експлуатація системи;
- по даним більше тривалої експлуатації системи.

У першому випадку рекомендується користуватися формулою:

$$t = \frac{[1 - P_{н.з.}(t)] \cdot \theta}{1 - P_{н.}(\theta)}, \quad (3.32)$$

де t – межкалібровачний інтервал

$P_{н.}(\theta)$ - імовірність безвідмовної роботи з метрологічних відмов за час θ ;

$P_{н.з.}(t)$ - задана ймовірність безвідмовної роботи з метрологічних відмов за межкалібровачний інтервал, обирає з ряду 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 0,98; 0,99.

Статистичною оцінкою величини $P_{н.}(\theta)$ за час θ є частка ВК системи, не забракованих за період досвідченої експлуатації.

У другому випадку можна також користуватися попередньою формулою, визначивши $P_{н.}(\theta)$ і θ за межкалібровачний інтервал, або наближеною формулою:

$$t \approx 1,2 P_{н.з.}(t) \cdot T_{н.}, \quad (3.33)$$

де $T_{н.}$ – середній наробіток до схованої метрологічної відмови, при цьому приймається, що схована метрологічна відмова відбулася в середині межкалібровачного інтервалу, наприкінці якого він виявлений.

Після проведення метрологічної атестації для визначення межкалібровачного інтервалу рекомендується використати критерій швидкості зміни похибки.

При використанні критерію швидкості зміни похибки $V_{\Delta}(t_{0,1})_i$ за час, рівне $M[t_{0,1}]_i$, i -ю оцінку межкалібровачного інтервалу ВК визначаємо по формулі:

$$T_i = k_1 \cdot \frac{1}{k_2} \cdot \frac{\Delta_0 - \tilde{\Delta}_{ф.н.}}{V_{\Delta}(t_{0,1})}, \quad (3.34)$$

де k_1 – коефіцієнт інтенсивності роботи ВК, при безперервному циклі, який дорівнює 24 години для атестації системи, дорівнює одиниці;

k_2 – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації ВК, при відсутності підвищених вібрацій і температур для атестуємої системи дорівнює одиниці;

$\tilde{\Delta}_{ф.н.}$ – межа допустимої похибки за свідченням про метрологічну атестацію;

Δ_0 – похибка виміру, що відповідає встановленій нормі точності ВК, зазначена в НД на систему.

Швидкість зміни похибки визначається по формулі:

$$V_{\Delta}(t_{0,1})_i = \frac{0,1\tilde{\Delta}_{\Phi.H}}{M[t_{0,1}]_i}, \quad (3.35)$$

де $M[t_{0,1}]_i$ – математичне очікування часу $t_{(0,1)i}$ наробітки ВК, протягом якого відбулася зміна похибки на 0,1 .

Для оцінки зміни похибки за певний інтервал часу $M[t_{0,1}]_i$ попередньо необхідно знайти інтервали часу t_i , через які варто робити контроль. Тривалість тимчасових інтервалів конкретних ВК $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$, обчислюється по формулі:

$$t_i = \frac{1}{\lambda_H} \ln \frac{1}{P(t_i)} = \frac{1}{\lambda_H} \ln \frac{1}{1 - \Delta P \times i}, \quad (3.36)$$

де $P(t_i)$ – імовірність безвідмовної роботи з метрологічних відмов за інтервал $[0, t_i]$;

i - порядковий номер інтервалу;

λ_H – інтенсивність метрологічних відмов;

ΔP – зміна ймовірності безвідмовної роботи з метрологічних відмов за інтервал часу $[t_k, t_{k+1}]$.

Інтенсивність метрологічних відмов обчислюється по формулі:

$$\lambda_H = \frac{L}{N \cdot \tau} = \frac{3}{14 \cdot 10} = 0,021, \quad (3.37)$$

де N – загальна кількість ВК представницької вибірки;

L – кількість ВК, межа допустимої похибки яка перевищує Δ_0 за період $0 - \tau$;

τ - середня тривалість експлуатації ІВ.

Значення перерахованих величин перебувають у журналі досвідченої експлуатації системи.

Зміна ймовірності безвідмовної роботи з метрологічних відмов обчислюється по формулі:

$$\Delta P = P(t_k) - P(t_{k+1}) = P(t^1 - \Delta t) - P(t^1 + \Delta t) = e^{-\lambda_H(t^1 - \Delta t)} - e^{-\lambda_H(t^1 + \Delta t)} \quad (3.38)$$

Вимір повинен вироблятися із заданою ймовірністю $R_H. з.(t) = 0,95$, тому ΔP варто розглядати в інтервалі $[1; R_H. з.(t)]$. При визначенні ΔP необхідно задатися похибкою часу настання метрологічної відмови Δt . З огляду на експоненціальність

функції $P(t)$, доцільно визначити збільшення аргументу Δt і функції ΔP на середині інтервалу $[1; P_{н.з.}(t)]$, тобто в точці $P(t^1)$:

$$P(t^1) = P(0) - \frac{P(0) - P_{н.з.}(t)}{2} = 0,97 - \frac{0,97 - 0,95}{2} = 0,98 \quad (3.39)$$

За значенням $P(t^1)$ і $\lambda_{н}$ перебуває значення часу t , що відповідає даній точці:

$$t^1 = \frac{1}{\lambda_{н}} \ln \frac{1}{P(t^1)} = \frac{1}{0,021} \ln \frac{1}{0,98} = 0,962 \quad (3.40)$$

Інтервал часу $[t_k, t_{k+1}]$ визначаються за значеннями Δt й $\lambda_{н}$: $t_k - \Delta t$;

$$t_{k+1} = t^1 + \Delta t.$$

За значеннями $\lambda_{н}$ й ΔP обчислюється тривалість інтервалів t_i . Для кожного t_i визначається:

а) різниця між найбільшими значеннями ВК похибки $\tilde{\Delta}_{\Phi_i}$ в момент часу t_i й межею допустимої похибки $\tilde{\Delta}_{\Phi,н}$:

$$\Delta_i = 2,4 - 2,3 = 0,10, \quad (3.41)$$

де $\tilde{\Delta}_{\Phi_i}$ – абсолютна похибка, обумовлена за ГОСТ 16263-70 [].

б) час наробітку ВК, протягом якого Δ_i змінилася на 0,1

$$t_{(0,1)i} = \frac{0,1 \tilde{\Delta}_{\Phi,н} \times t_i}{\Delta_i}, \quad (3.42)$$

$$t_{(0,1)1} = \frac{0,1 \cdot 2,3 \cdot 0,95}{0,10} = 2,185; \quad (3.43)$$

$$t_{(0,1)2} = \frac{0,1 \cdot 2,3 \cdot 0,962}{0,10} = 2,213; \quad (3.44)$$

$$t_{(0,1)3} = \frac{0,1 \cdot 2,3 \cdot 0,974}{0,10} = 2,240; \quad (3.45)$$

$$t_{(0,1)4} = \frac{0,1 \cdot 2,3 \cdot 0,986}{0,10} = 2,268; \quad (3.46)$$

$$t_{(0,1)5} = \frac{0,1 \cdot 2,3 \cdot 0,998}{0,10} = 2,295. \quad (3.47)$$

в) математичне очікування $M[t_{0,1}]_i$, отримане по витіканню t_i ;

$$M[t_{0,1}]_i = \frac{\sum_{\ell=1}^i t_{(0,1)\ell}}{i} = \frac{2,185 + 2,213 + 2,240 + 2,268 + 2,295}{5} = 2,240, \quad (3.48)$$

де i – кількість тимчасових інтервалів t_i ($i = 1, n$).

$$V_{\Delta}(t_{0,1})_i = \frac{0,1\tilde{\Delta}_{\Phi,н}}{M[t_{0,1}]_i} = \frac{0,1 \cdot 2,3}{2,240} = 0,103; \quad (3.49)$$

$$T_i = k_1 \cdot \frac{1}{k_2} \cdot \frac{\Delta_0 - \tilde{\Delta}_{\Phi,н}}{V_{\Delta}(t_{0,1})} = \frac{3,5 - 2,3}{0,103} = 11,7. \quad (3.50)$$

Отже, міжкалібровачний інтервал приблизно становить 12 місяців.

3.7 Розрахунок похибки ВК концентрації водню

3.7.1 Похибка ВК. Загальні відомості

Однієї з головних передумов для вибору методів метрологічного забезпечення ВК є наявність або відсутність агрегування при його компонуванні з окремих блоків.

Якщо ВК складений з агрегативованих блоків, що випускають по самостійних технічних умовах (ТУ), то кращо використати розрахунковий метод визначення похибки ВК. Причому попередньо повинні бути експериментально визначені індивідуальні похибки окремих блоків. Індивідуальні похибки блоків служать вихідними даними для розрахунку.

Кількість компонентів, на які розділяються ВК, визначається або числом блоків, що мають самостійні ТУ, або розходженням в умовах експлуатації, окремих блоків.

Ряд взаємозалежних блоків ВК, які мають самостійні ТУ й працюють в однакових умовах, експлуатації, розглядаються як складений компонент - ланка вимірювального каналу.

Похибки ланок можуть визначатися як розрахунковим шляхом, на основі заданих похибок блоків, так й експериментально - методом наскрізної оцінки. Якщо

всі блоки ВК призначені для експлуатації в однакових умовах, визначення похибки ВК не відрізняється від стандартних процедур визначення похибок засобів вимірів.

Найбільше часто похибка вимірювального комплексу оцінюється у вигляді єдиної для всього комплексу узагальненої числової характеристики. Звичайно ця характеристика дає максимально можливе значення похибки, що може бути при одержанні будь-якого вихідного сигналу. Такий спосіб подання похибки визнаний некоректним.

Вимірювальний комплекс призначений для виміру не одного, а декількох параметрів. Для оцінки похибки виміру цих параметрів необхідне знання похибки вимірювального комплексу щодо кожного із цих параметрів окремо.

Таким чином, варто говорити не про значення похибки вимірювального комплексу в цілому, а про значення похибки вимірювального комплексу відносно, кожної вихідної величини.

Похибка вимірювального комплексу в загальному випадку обумовлена:

- відмінністю реальних градуіровочних характеристик (функцій перетворення) ланок, ВК від номінальних, що є наслідком технологічного розкиду параметрів блоків, що виникає при їхньому виготовленні; нестабільністю параметрів блоків у часі; дією факторів, що впливають із оточуючого середовища, таких як температура, вологість, атмосферний тиск, коливання частоти й напруги живлення; паразитною не лінійністю блоку, що по ТУУ вважається лінійним;

- непогодженістю опорів ланок в ВК, загасанням сигналів у лініях зв'язку й перешкодами в цих каналах, тобто похибка передачі;

- відмінністю від номінальних значень неінформативних параметрів вхідних сигналів.

3.7.2 Розрахунок похибки ВК концентрації водню

Вихідними даними для визначення похибки ВК є значення похибок складових елементів ВК.

ВК концентрації водню представлений на рисунку 3.7.

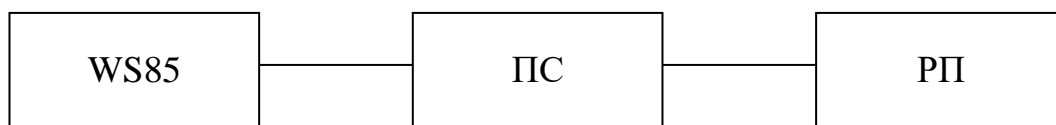


Рисунок 3.7 - ВК концентрації водню

Похибка ВК визначається по формулі:

$$\delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\delta_{\text{ПВП}}^2 + \delta_{\text{ПС}}^2 + \delta_{\text{РП}}^2 + \delta_{\text{ЛЗ}}^2} \quad (3.51)$$

де $\delta_{\text{ПВП}}^2$ – основна наведена похибка первинного вимірювального перетворювача;

$\delta_{\text{ПС}}^2$ – основна наведена похибка процесора сигналів, рівна відповідно до інструкції по експлуатації 0,25 %;

$\delta_{\text{РП}}^2$ – основна наведена похибка реєструючого пристрою, дорівнює 0, 1 %;

$\delta_{\text{ЛЗ}}^2$ – похибка ліній зв'язку, рівна 0,1 %.

$$\delta_{\text{ПВП}} = \frac{\Delta_{\text{ПВП}}}{Q_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (3.52)$$

де $\Delta_{\text{ПВП}}$ – граничне значення похибки первинного датчика;

$Q_{\text{ном}}$ – номінальне значення шкали діапазону вимірів повіряемого ВК;

$$\delta_{\text{ПВП}} = \frac{0,25}{10} \cdot 100\% = 2,5\% \quad (3.53)$$

Таким чином, похибка ВК концентрації водню становить:

$$\delta_{\text{ИК}} = \sqrt{2,5^2 + 0,25^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 2,52\% \quad (3.54)$$

Відповідно до документації, норми точності на ВК водню становлять 4%. Таким чином, розрахована вище похибка ВК об'ємної концентрації водню не перевищує заданих норм точності.

3.7.3 Розрахунок похибки ВК температури

ВК температури представлений на рисунку 3.8.

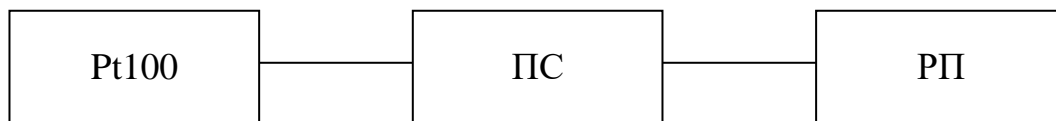


Рисунок 3.8 - ВК температури

Похибка ВК визначається по формулі:

$$\delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\delta_{\text{ПВП}}^2 + \delta_{\text{ПС}}^2 + \delta_{\text{РП}}^2 + \delta_{\text{ЛЗ}}^2} \quad (3.55)$$

де $\delta_{\text{ПВП}}^2$ – основна наведена похибка первинного вимірювального перетворювача;

$\delta_{\text{ПС}}^2$ – основна наведена похибка процесора сигналів, рівна відповідно до інструкції по експлуатації 0,25 %;

$\delta_{\text{РП}}^2$ – основна наведена похибка реєструючого пристрою, дорівнює 0,1 %;

$\delta_{\text{ЛЗ}}^2$ – похибка ліній зв'язку, рівна 0,1 %.

$$\delta_{\text{ПВП}} = \frac{\Delta_{\text{ПВП}}}{Q_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (3.56)$$

де $\Delta_{\text{ПВП}}$ – граничне значення похибки первинного давача;

$Q_{\text{ном}}$ – номінальне значення шкали діапазону вимірів повіряемого ВК, дорівнює 160 °С;

$$\delta_{\text{ПВП}} = \frac{3,0}{160} \cdot 100\% = 1,8\% \quad (3.57)$$

Таким чином, похибка ВК температури становить:

$$\delta_{\text{ИК}} = \sqrt{1,8^2 + 0,25^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 1,82\% \quad (3.58)$$

Відповідно до документації, норми точності на ВК температури становлять 2%. Таким чином, розрахована вище похибка ВК температури не перевищує заданих норм точності.

ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломного проекту:

- проведено аналіз метрологічного забезпечення на ВП ЗАЕС, розглянуті його основні цілі, завдання й функції;
- розроблено організаційну структурну схему метрологічної служби ВП ЗАЕС;
- визначено причини утворення водню в першому контурі й відповідно до цього визначене оптимальне розташування первинних давачів виміру водню;
- зроблено вибір засобів виміру водню, а саме системи контролю концентрації водню фірми SIEMENS;
- розроблено структурну схему СКВ;
- розроблено програму метрологічної атестації СКВ;
- зроблено розрахунок тривалості міжкалибровачного інтервалу СКВ;
- виконано розрахунок економічного ефекту від впровадження нового ЗВТ;
- розглянуто основні вимоги по забезпеченню охорони праці й техніки безпеки при проведенні метрологічних робіт;
- розглянуто питання цивільної оборони.

У процесі виконання дипломної роботи встановлений, що обрана система контролю концентрації водню має більше високі технічні й метрологічні характеристики, а саме більше високу точність, простоту в експлуатації, більшу надійність, менші габарити й безпеку при експлуатації, ремонті й заміні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бичківський Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник / Р. Бичківський, П. Столярчук, П. Гамула; За ред. Р. Бичківського. – Львів; К. : Вид-во Національного ун-у «Львівська політехніка», 2004. – 559 с.
2. Володарський Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 244 с.
3. Игнаткин В. У. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия / В. У. Игнаткин и др. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 208с.
4. Игнаткин В. У. Оценка, контроль и прогнозирование метрологической надежности средств измерений / Игнаткин В. У. и др. – М : Изд-во стандартов, 1991. – 190с.
5. Метрологія у галузі зв'язку. Книга 1. Загальні електрорадіовимірювання: Посібник / [Коломієць Л. В., Воробієнко П. П., Козаченко М. Т. та ін.] – Одеса : ТОВ «ВМВ», 2009. –480 с.
6. Метрологічне забезпечення контролю якості продукції Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку / [Коломієць Л. В., Воробієнко П. П., Козаченко М. Т. та ін.] – Одеса : ТОВ «ВМВ», 2009. –376 с.
7. Радкевич Я. М. Метрологія, стандартизація і сертифікація: учеб. для вузов / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М. : Высш. шк., 2004. – 767 с.
8. Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація: Підручник для вищих навчальних закладів / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак; Мін-во освіти і науки України, Державний агроєкологічний ун-т. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 262 с.
9. Томашевський О. В. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних навч. посіб. / О. В. Томашевський, В. П. Рисіков. ЗНТУ, 2015. – 175 с.
10. Троцан А. Н. Прикладная метрология: учеб. пособ. / А. Н. Троцан, Н. В. Фиошин; Донецк : ДонНТУ, 2006.–240с.
11. Туз Ю. М. Автоматизация проектирования устройств измерительной техники: учеб. пособ. / Ю. М. Туз [и др.] ; общ. ред. Ю. М. Туз. – Киев : Выща шк., 1988. – 288 с.

- 12.Ігнаткін В. У. Моделювання процесів метрологічного обслуговування засобів вимірювання / Вісник двигунобудування, 2014, №1, с.161–167.
- 13.Ігнаткін В. У. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки / В. У. Ігнаткін, Л. М. Віткін // Вимірювальна техніка та метрологія, № 69, 2008 р. – с.158–165.
- 14.Ігнаткін В. У. Моделі процесів метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки / [Ігнаткін В. У., Литвиненко В. А., Олійник Л. В. та ін.; Радіоелектроніка, інформатика, управління., 2014(30), с. 21–27.
- 15.Томашевський О. В., Погосов В. В. Про критерії ефективності управління якістю інтегрованих мікросхем на етапі виробництва/ Радіоелектроніка, інформатика, управління. № 1, 2009, с. 35–38.
- 16.Туз Ю. М. Метод та система вимірювання просторовочасових характеристик лінійних фазованих антенних решіток п'єзоелектричних перетворювачів / Ю. М. Туз, О. П. Красковський, О. О. Мосолаб // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2012. – №1(28). – С.148–153
- 17.Туз Ю. М. Аналіз похибок системи вимірювання просторово-часових характеристик лінійних фазованих антенних решіток п'єзоелектричних перетворювачів / Ю. М. Туз, О. П. Красковський, О. О. Мосолаб // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Київ. – 2012. – №06(82). – С.62–66.
- 18.Электронный учебник STATSOFT [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://StatSoft.ru>
- 19.Якість продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.refine.org.ua/pageid-5382-1.html>