

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра Автоматизованого управління
технічними процесами

Кваліфікаційна робота (проект)

керівник Білошанський

на тему Аналіз автоматизації пелі і релієвої
урагнізації в умовах ПРАТ "Енергетик"
система автоматизованого регулювання
вторинним селом нагрівання

Виконав: студент 4 курсу, групи АВІТ-4-02
спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
спеціалізації _____

освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані
технології Волга К.О.

Керівник доцент, к.т.н. Баршкетова О.І.

Рецензент д-р фіз.-мат. наук, проф. С.В. Мисюра - Запоріжжя
Крат О.І.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Автоматизованого управління температурними процесами
Рівень вищої освіти магістратура (інженерія)
Спеціальність 151 Автоматизація та керування технологічними процесами
Спеціалізація _____
Освітня програма Автоматизація та керування технологічними процесами

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри [Підпис]
« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Володимиру Кирилу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проект) Проект автоматизації керування температурою в умовах ПРАТ "Зерноград" Світлана
автоматизованого регулювання складовими секції керування
керівник роботи Володимир Олександрович Кирило
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «17» 01 2022 року № 30-с

2 Строк подання студентом роботи 13.06.2022

3 Вихідні дані до роботи аналіз літературних джерел, дані з місця керування (практика), дані з об'єкту дослідження

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) розробити технічне завдання світлової автоматизованого регулювання складовими секції керування

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

функціональна схема автоматизації
схема структурних блоків

6. Консультації розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Антонісевич Ірина	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
2	Проєктний адміністратор	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
3	Формування технічного завдання	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
4	Методичні рекомендації	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
5	Проєктування плану	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
6	Корректировка технической документации	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
7	Корректировка сметы проекта	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання 25.04.2022р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
	Рівень особливостей технічного завдання	01.05.2022	
	Корректировка технической документации	08.05.2022	
	Проєктування сметы адм.улі	15.05.2022	
	Корректировка сметы проекта	03.06.2022	
	Корректировка технической документации	10.06.2022	
	Корректировка ТЕР проекта	07.06.2022	
	Корректировка сметы ТБ	12.06.2022	
	Корректировка сметы адм.улі та сметы	22.06.2022	

Студент *[Signature]* Волга Н.О.
(ПІСЬМЕ) (ІНІЦІАЛИ ТА ПРОЗІЩО)

Керівник роботи (проект) *[Signature]* Іван Бариленко О.І.
(ПІСЬМЕ) (ІНІЦІАЛИ ТА ПРОЗІЩО)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[Signature]* Ірина Шевченко Т.А.
(ПІСЬМЕ) (ІНІЦІАЛИ ТА ПРОЗІЩО)

РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку кваліфікаційної роботи бакалавра з теми: «Проект автоматизації печі прямої графітизації в умовах ПрАТ «Укрграфіт» Система автоматичного регулювання охолодження секцій перетворення», – яка включає 104 сторінки машинописного тексту, 9 рисунків, 17 таблиць та 21 посилання.

Метою даної роботи є розробка нової системи автоматизованого регулювання охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму випрямляючого агрегату печей прямої графітизації в умовах підприємства ПрАТ «Укрграфіт».

У загальних відомостях представлено: опис конструкції та принципу роботи пересувного випрямляючого агрегату. Описано систему охолодження його секцій перетворювачів та шин постійного струму. Виконано аналіз поточного рівня автоматизації охолодження. Проведено аналіз недоліків даної системи та встановлено завдання для проектування нової САУ.

У спеціальній частині розроблено модель нової системи автоматизованого регулювання охолодження. Виконано підбір технічних засобів автоматизації. Розроблено принципи управління системами охолодження. Представлено етапи створення технічної документації.

В економічній частині досліджено економічний ефект від впровадження нової системи автоматизованого регулювання охолодження. Зокрема прораховано витрати на впровадження, можливий прибуток та час окупності даної системи.

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів на ділянці випрямляючого агрегату.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ОХОЛОДЖЕННЯ, ПРЯМА ГРАФІТИЗАЦІЯ, ВИПРЯМЛЯЮЧИЙ АГРЕГАТ, ЩАФА УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЕР, ПРОЕКТ, РЕГУЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1 Технологічний агрегат та алгоритм його роботи.....	9
1.2 Технологічний процес як об'єкт автоматизації	15
1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації	21
1.4 Схема матеріальних та інформаційних потоків.....	24
1.5 Стан аналогічних об'єктів на інших виробництвах	28
1.6 Недоліки існуючої системи автоматизації	30
2 ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	32
2.1 Загальні вимоги до кінцевої САУ.....	32
2.2 Вимоги до завдань що вирішує проектована САУ	33
2.3 Вимоги до технічних засобів автоматизації.....	36
3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	39
3.1 Підбір та обґрунтування структури системи автоматизації	39
3.2 Визначення принципів керування	43
3.3 Розробка моделі системи управління.....	45
3.4 Вибір та обґрунтування технічних рішень	51
4 ПРОЕКТУВАННЯ ШАФИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	63
4.1 Загальна інформація.....	63
4.2 Верхній рівень автоматизації.....	64
4.3 Нижній рівень автоматизації	68
5 РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	83
5.1 Схема інформаційних та матеріальних потоків.....	83
5.2 Функціональна схема автоматизації	84
5.3 Принципова електрична схема	85
5.4 Принципова електрична схема живлення.....	85
5.5 Схема зовнішніх підключень	86

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	87
6.1 Поточна економічна ефективність	87
6.2 Розрахунок витрат на створення САУ охолодження	88
6.3 Експлуатаційні витрати	90
6.4 Економічні втрати від простою при впровадженні	93
6.5 Загальний економічний ефект від спроектованої САУ	93
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	94
7.1 Основі фактори небезпеки	94
7.2 Заходи з поліпшення умов праці	96
7.3 Умови праці	97
7.4 Електробезпека	99
7.5 Пожежна безпека	100
7.6 Індивідуальний захист	101
ВИСНОВКИ	102
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	103

ВСТУП

Графітація – головний етап виробництва графітової продукції. На цьому етапі, вуглецеві вироби, які піддаються графітуванню – отримують принципово нові фізичні та хімічні властивості. Зокрема: наднизький питомий електричний опір; високу придатність до механічної обробки; високу стійкість до руйнування в умовах високої температури та хімічно-активного середовища. Такі показники графітової продукції – забезпечили стійкий високий попит на електроди з даного матеріалу, що застосовують у різних галузях електрометалургійної промисловості.

Графітація – це процес зміни структурної будови вуглецевих сполучень з потаємним формуванням кристалічної форми графіту. Цей процес самостійно протікає лише за температур більше 3000°C, та повної відсутності окиснювачів. Для досягнення та підтримки таких умов, ще у минулому столітті почали використовувати спеціальні печі графітування. Для усунення окиснюючої дії повітря – внутрішній простір печі заповнювали спеціальними пересипками, а для досягнення потрібних температур – тижнями спалювали різні види вуглеводневих енергоносіїв. Такий метод графітування був досить дорогим та неякісним через високу тривалість та нерівномірність прогрівання виробів. Крім того, така методика графітування – не дозволяла графітувати вироби великого об'єму.

Ще на початку ХХ століття, був винайдений метод так званого «прямого» графітування. Суть даної методики полягала у нагріванні виробів за рахунок власного питомого опору, що перетворював би електричний струм у теплову енергію. Проте, промислове застосування даної технології потребувало використання потужних джерел постійного струму та пристроїв, що забезпечували б високу стабільність електричного з'єднання виробів з джерелом живлення у печах графітації. Останнє – вирішувалось шляхом використання окремих установок, що затискали вироби між двома

електродами у середині печей. Проте питання з джерелом постійного струму вдалось вирішити лише з появою потужних напівпровідникових елементів.

З 70-х років ХХ століття, для формування живлення печей прямого графітування стали застосовувати промислові випрямляючі агрегати. Особливістю таких агрегатів стала можливість формування постійного струму надвисоких потужності. Хоча ціною такої потужності була: складність конструкції та висока вартість обладнання; складність керування електричними показниками вихідного струму; необхідність охолодження активних частин агрегатів.

З появою мікропроцесорних засобів автоматизації стало можливим більш чітко контролювання режиму роботи випрямляючих агрегатів, тим самим з'явилась можливість повного контролю за протіканням технологічного процесу прямої графітації. Подальше зростання вимог до потужності живлення печей прямої графітації – привело до необхідності нарощування потужності випрямляючих агрегатів, і як наслідок – створення більш ефективних рішень для їх охолодження.

Сучасні випрямляючі агрегати здатні досягати потужності у десятки мегават. Їх охолодження, стало одним з основних завдань забезпечення ефективності та стабільності роботи цих установок. Відведення великої кількості тепла стало окремим допоміжним технологічним процесом у рамках роботи випрямляючих агрегатів та забезпечення проведення процесу графітації в цілому. Цей процес потребує впровадження окремих рішень по його автоматизованому керуванню та супроводженню.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний агрегат та алгоритм його роботи

На підприємстві ПрАТ «УКРАЇНСЬКИЙ ГРАФІТ», для формування та керування живлення одинадцяти печей прямої графітації використовують пересувний випрямляючий агрегат (далі – «випрямляючий агрегат»).

Комплекс технічних засобів випрямляючого агрегату включає до свого складу безпосередньо саму установку, а також обладнання введення, фільтрації і стабілізації електричного живлення, розташованого за межами випрямляючого агрегату.

Зовнішнє обладнання – забезпечує прийом електричного живлення від промислової мережі, напругою 10 кВ, та виконує комплекс заходів, спрямованих на підготовку робочого живлення агрегату з подальшим підведенням до повітряної трифазної лінії живлення. Також зовнішнє обладнання виконує організацію електричного живлення власних потреб установки. Далі, обладнання розташоване за межами випрямляючого агрегату – згадуватись не буде.

Випрямляючий агрегат – комплексна електротехнічна установка, що здійснює формування та керування живленням камери печі графітування у рамках технологічного процесу прямої графітації. Даний агрегат здатний приймати робоче електричне живлення від повітряної мережі змінного трифазного електричного струму, напругою 10 кВ. На виході випрямляючого агрегату формується двополюсний постійний струм живлення печі графітації з можливістю плавного регулювання вихідної напруги у межах 0-150 В, при регульованому значенні сили постійного струму до 180 кА. На рисунках 1.1 та 1.2 – зображено тривимірну модель зовнішнього вигляду пересувного випрямляючого агрегату.

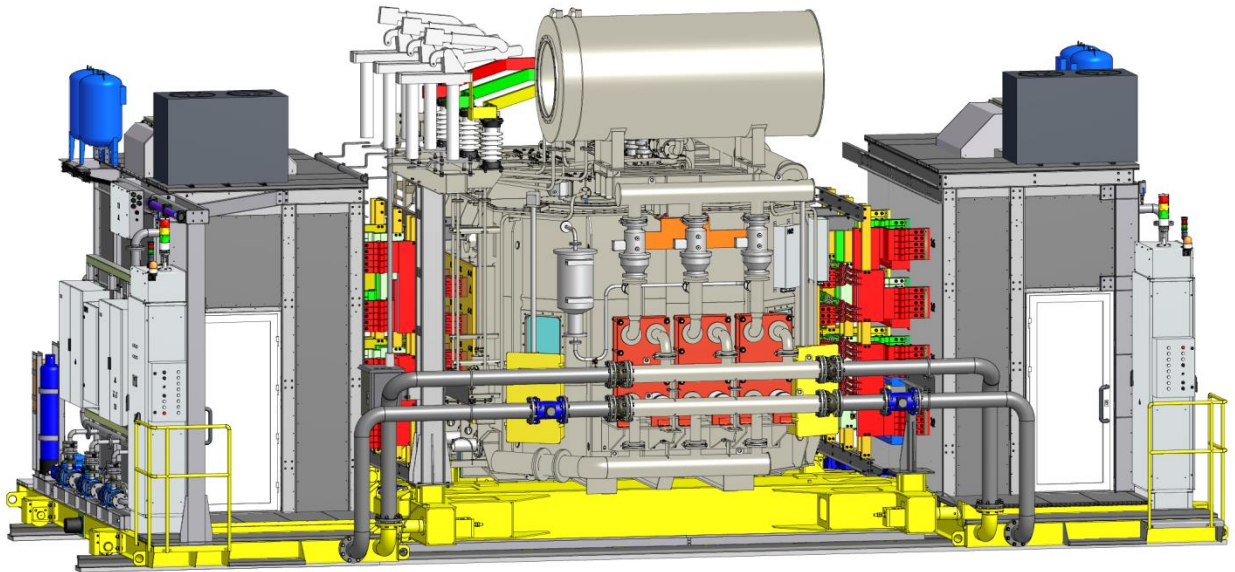


Рисунок 1.1 – Задній вигляд тривимірної моделі випрямляючого агрегату

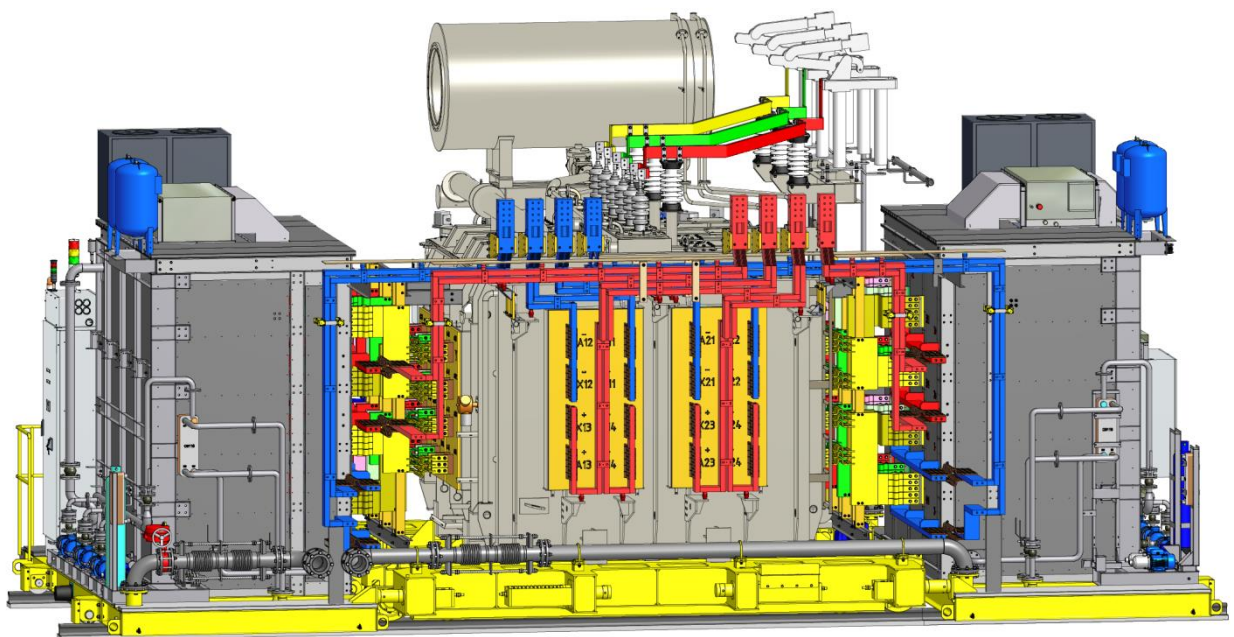


Рисунок 1.2 – Передній вигляд тривимірної моделі випрямляючого агрегату

З конструктивної точки зору, випрямляючий агрегат являє собою самохідну платформу з причіпними візками, на якій розташовується основне технологічне обладнання. З передньої сторони, до агрегату, за допомогою жорсткого зчеплення – приєднується пересувний візок стискання колон (на рисунку 1.2 – не показаний). На самохідній платформі випрямляючого агрегату розташовується перетворюючий трансформатор з пантографічними

струмознімачами та системою охолодження трансформатора, а також збірні шини постійного струму. З бічних сторін, до самохідної платформи – приєднуються причіпні візки, на яких розташовуються контейнери з секціями перетворювачів, системами охолодження тиристорних перетворювачів та збірних шин постійного струму, а також обладнання автоматизованого контролю та управління роботою випрямляючого агрегату.

Поєднання вхідних вентилів перетворюючого трансформатора та пантографічних струмознімачів – виконується за допомогою трьох вхідних шин змінного струму, розташованих над трансформатором. Вхідне живлення секцій перетворювачів знімається через групи по дванадцять проміжних шин, розташованих з бічних сторін корпусу трансформатора. Проміжні шини змінного струму утворюють три групи, відповідно до вхідних фаз. Кожна група нараховує дві пари шинних провідників, що приєднуються до входів секцій перетворювачів.

Вихідний постійний струм виводиться на збірні шини постійного струму, що утворені вісьмома парними шинними провідниками. До виходу з кожної секції перетворювачів – приєднується дві збірні шини постійного струму різної полярності. Останні чотири збірні шини йдуть на зрівняльні реактори перетворюючого трансформатора. Виходи збірних шин постійного струму об'єднані у дві групи по чотири шини, позитивного та негативного потенціалів. Виходи збірних шин постійного струму жорстко з'єднуються з струмознімачами пересувного візка стискання колон.

Підведення робочого живлення до випрямляючого агрегату виконується шляхом приєднання пантографічних струмознімачів, до повітряної трифазної лінії живлення змінного струму. Робоче живлення установки відбувається лише в періоди проведення кампаній графітування. Під час очікування початку кампанії, руху, або знаходження у зоні паркування – пантографи опущені. Забезпечення живлення власних потреб агрегату виконується від зовнішньої трифазної електромережі пересувного візка стискання колон, напругою 380 В і забезпечується постійно, незалежно

від положення та стану роботи агрегату, за винятком проведення ремонтних робіт.

Водозабезпечення та водовідведення виконується лише у момент проведення кампанії графітування. Подача та відведення технічної води виконується через гідравлічну систему пересувного візка стискання колон, до якої, за допомогою гнучких з'єднань, приєднується гідравлічна система випрямляючого агрегату.

Під час роботи випрямляючого агрегату, робоче електричне живлення знімається з повітряної електромережі за допомогою пантографічних струмознімачів. Далі, по вхідним шинам змінного струму, робочій енергоносій передається до вхідних вентелів перетворюючого трансформатора. На вході трансформатора, система автоматизованого управління агрегату проводить контроль якості вхідного живлення, і у разі дотримання усіх вимог – подає змінний електричний струм до активної зони і трансформатора.

Активна зона перетворюючого трансформатора являє собою два набори з первинних та вторинних обмоток, розміщених на магнітопроводах. Перший набір первинних обмоток з'єднаний між собою по схемі «зірка», другий – по схемі «трикутник». Кожен комплект включає до свого складу три первинні обмотки трансформатора та дванадцять вторинних обмоток. Активна зона трансформатора оснащена двома пристроями ступінчастого перемикачання напруги навантаження, що забезпечують ступінчасте регулювання вихідної напруги трансформатора у діапазоні $123/\sqrt{3}$ - $246/\sqrt{3}$ В. В активній зоні, за допомогою явища електромагнітної індукції, електричний струм переходить від первинних обмоток з великою кількістю витків – до вторинних обмоток, що через меншу кількість витків, формують на виході змінний електричний струм тієї-ж потужності, але з меншим значенням напруги. Далі, енергоносій подається на виходи трансформатора, звідки, по проміжним шинам змінного струму, передається до секцій перетворювачів.

Активна зона перетворюючого трансформатора заповнюється трансформаторним маслом, що служить для охолодження розміщених у ній струмоведучих частин. Під час тривалої роботи трансформатора, через не ідеальні показники електричного опору первинних та вторинних обмоток – в їх об'ємі утворюється та накопичується певна кількість теплової енергії, що відводиться за допомогою трансформаторного масла. Проте для підтримки оптимальної температури та запобігання утворення небажаних умов роботи – використовується система охолодження трансформаторного масла, яка забезпечує процедуру теплообміну між трансформаторним маслом та зовнішньою проточною водою.

Після пониження значення напруги робочого живлення, енергоносій подається на секції перетворювачів. Секція тиристорних перетворювачів – являє собою металеву конструкцію, на якій розміщуються групи тиристорів разом зі своїми потужними запобіжниками, а також обладнанням їх контролю, керування та захисту. Кожна з двох секцій перетворювачів має ідентичний набір технічних засобів та дзеркально-однакову будову. Різниця між ними полягає у різному порядку підключення тиристорів. Кожна секція включає до свого складу дві групи випрямлення, що складаються з шести випрямляючих плечей. Кожне плече утворено чотирьома паралельно з'єднаними ланцюгами «тиристор-запобіжник». При цьому, для достатнього забезпечення роботи секції перетворювачів – задіюються лише 3 паралельні ланцюги з кожного плеча.

Тиристорні елементи відносяться до напівпровідникових пристроїв, та, без подачі керуючих імпульсів – перешкоджати проходженню електричного струму. При подачі керуючого сигналу, тиристор здатний «відкриватись» тим самим пропускаючи певну кількість струму, що залежить від кута відкриття тиристора, який регулюється керуючим впливом. Під час проходження секцій перетворювачів, змінний трифазний струм – об'єднується у лінійний постійний струм, причому під дією керуючого впливу, від системи управління випрямляючого агрегату – різні групи плеч

випрямлення, задіюється у різний проміжок часу. Таким чином забезпечується постійний рівень напруги вихідного струму, і усувається можливість утворення зворотного протікання електроенергії. Так, на виходах секції тиристорних перетворювачів формується постійний електричний струм з позитивним, чи негативним потенціалом, який залежить від групи випрямлення. Кожна секція має чотири вихідні контакти: два з позитивним потенціалом постійного струму, та два – з негативним. При цьому, кожна секція – дозволяє виконувати плавний контроль вихідної напруги постійного струму у діапазоні 0-150 В, з можливістю досягнення сумарної сили струму до 90 кА. Сумарна потужність сили вихідного струму з двох секцій тиристорних перетворювачів може досягати 180 кА.

Після випрямлення, робочий енергоносій подається на збірні шини постійного струму, де проводиться контроль вихідної потужності випрямляючого агрегату та виконується подача живлення на вхідні електроди пересувного візка.

Під час роботи секції перетворювачів, певна кількість електроенергії, що проходить крізь блоки випрямлення – відходить у теплову енергію. Ця енергія, при накопиченні – призводить до досить суттєвого розігрівання напівпровідникових та струмоведучих елементів. Для відведення зайвої теплової енергії від частин секції перетворювачів та збірних вихідних шин постійного струму – використовується система активного рідинно-водного охолодження. Дана система виконує відбір та передачу тепла до теплообмінників, звідки далі, вона забирається зовнішньою протічною водою та виводиться за межі установки.

Паралельно вихідних шин секцій перетворювачів, до електричного ланцюга печі графітування приєднуються зрівняльні реактори перетворюючого трансформатора. Ці пристрої виконують компенсацію розбалансування роботи двох наборів обмоток трансформатора, тим самим вирівнюючи навантаження на трансформатор.

1.2 Технологічний процес як об'єкт автоматизації

Основним об'єктом дослідження та подальшої автоматизації виступають системи багатоконтурного рідинно-водного охолодження секцій тиристорних перетворювачів та вихідних шин постійного струму. Випрямляючий агрегат оснащений двома такими системами, кожна з яких – забезпечує відведення теплової енергії від однієї секції перетворювачів та чотирьох з восьми вихідних шин постійного струму. Ці системи охолодження: мають дзеркально-ідентичну будову, складаються з однакових елементних частин, мають однаковий принцип роботи та керуються однаковими методами. На рисунку 1.3 зображена гідравлічна схема системи охолодження секції перетворювачів та чотирьох шин постійного струму, без урахування їх гідравлічних систем..

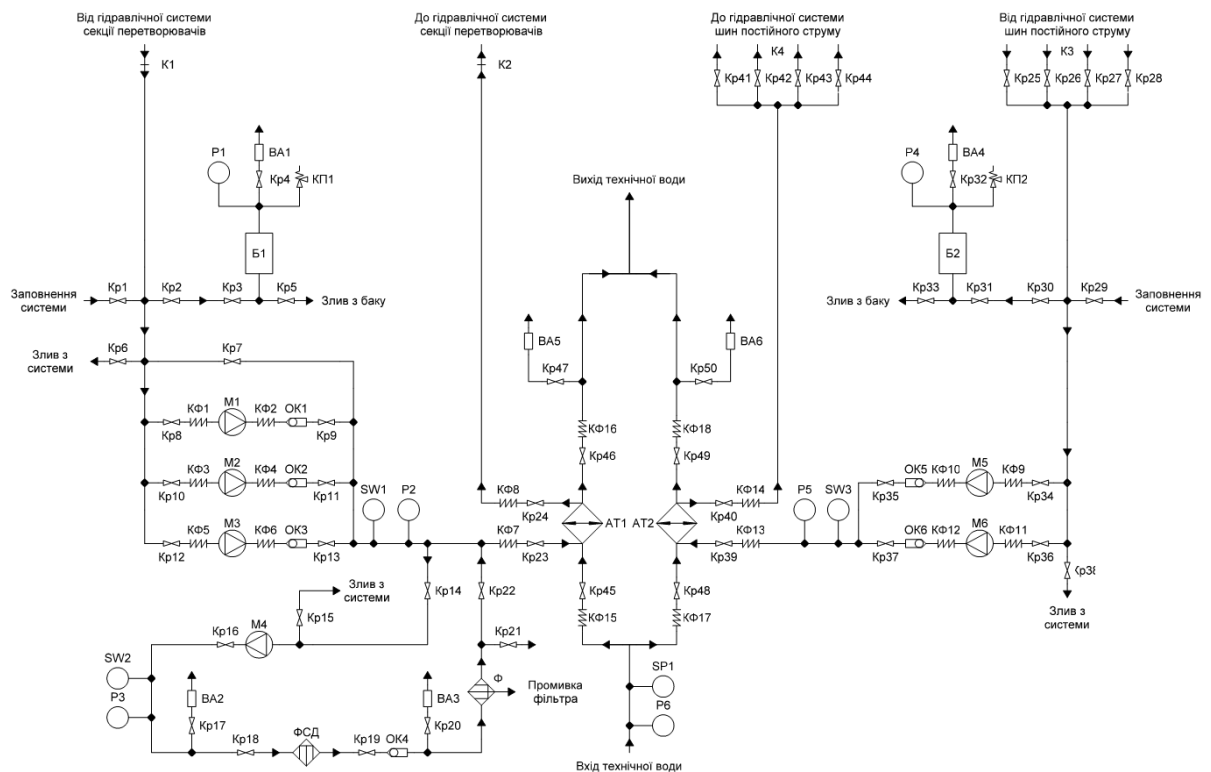


Рисунок 1.3 – Гідравлічна схема системи охолодження секції перетворювачів та шин постійного струму.

В рамках однієї системи охолодження, діє чотири контури циркуляції. Два зовнішніх прохідних контури циркуляції технічної води, що забезпечують виведення теплової енергії від теплообмінників системи охолодження до зовнішньої гідравлічної системи агрегату. Та два замкнених внутрішніх контури циркуляції, які забезпечують передачу тепла від розігрітих струмопровідних частин до теплообмінників системи охолодження.

Внутрішній контур охолодження секції перетворювачів являє собою замкнену систему циркуляції рідкого теплоносія, у якості якого використовується суміш де-іонізованої дистильованої води з гліколем. Для забезпечення стабільного охолодження секції перетворювачів, потужності насосів розраховані на забезпечена мінімальної витрати теплоносія на рівні 38 м³/год при значенні тиску у 5 бар. Даний контур охолодження утворено поєднанням гідравлічної системи секції перетворювачів з внутрішнім контуром теплообмінника АТ1 системи охолодження.

Після початку роботи системи охолодження, холодний теплоносій, через колектор К2 – подається до гідравлічної системи секції тиристорних перетворювачів. Ця система являє собою розгалужену сіть гнучких трубних з'єднань, які поєднують індивідуальні охолоджувачі тиристорів та загальні охолоджувачі шин струму з колекторами К2 та К1. Гідравлічна схема секції перетворювачів виконана таким чином, щоб забезпечити мінімальне розходження витрати теплоносія та температурі у кожному з 18 паралельно з'єднаних гілок. Під час проходження крізь трубчаті канали, в середині індивідуальних охолоджувачів та шин струму – теплоносій відбирає частину теплової енергії струмопровідних частин, тим самим спричиняючи їх охолодження. Далі, гарячий теплоносій, через вихідний колектор К1, надходить до ланцюга охолодження секції перетворювачів, де за допомогою насосів М1-М3 – підводиться до теплообмінника АТ1. У середині теплообмінника відбувається теплообмін між теплоносіями внутрішнього та зовнішнього контурів.. Охолоджений теплоносій, через колектор К2,

повертається до гідравлічної системи секції перетворювачів. На рисунку 1.4 зображено умовну схему циркуляції теплоносія у контурі охолодження секції перетворювачів без урахування допоміжних відгалужень.

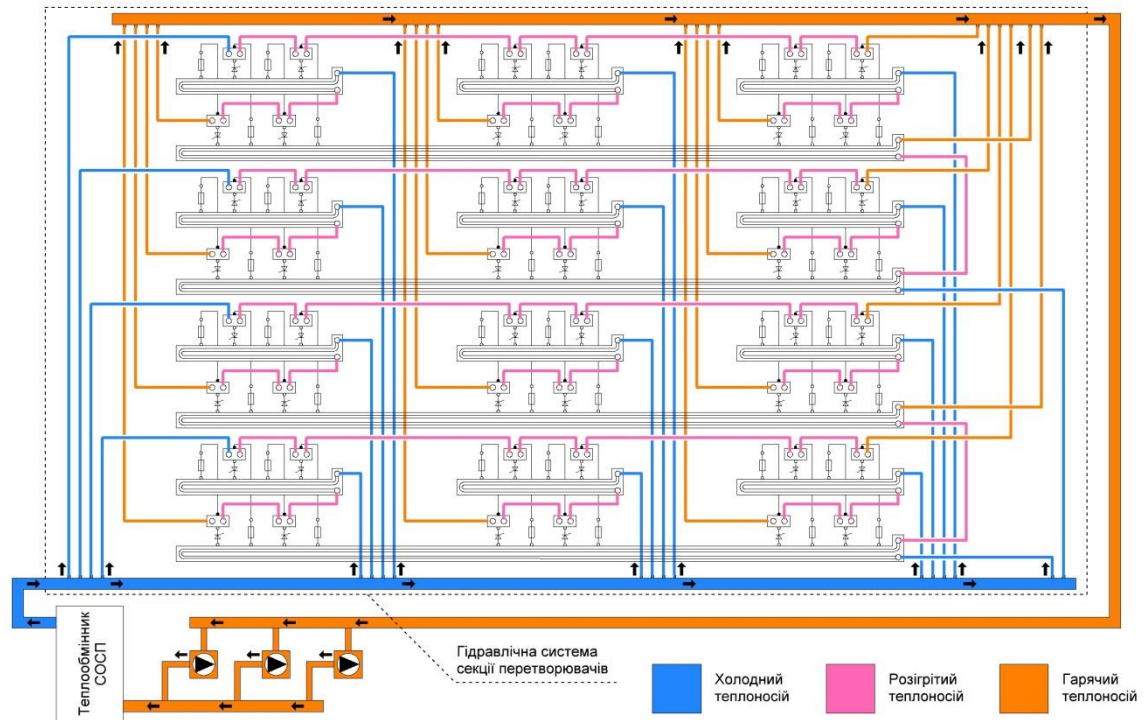


Рисунок 1.4 – Схема циркуляції теплоносія у контурі охолодження секції перетворювачів

Через рівні проміжки часу, на певний термін вмикається насос М4, що всмоктує частину теплоносія до відгалуження з іонообмінним фільтром ФКУ, та фільтром осаду Ф. Це необхідно для зменшення рівня іонізації теплоносія та видалення твердих домішок, Даний процес виконується незалежно від роботи системи охолодження і не впливає на технологічний процес охолодження. Відгалуження з фільтрами розташовано паралельно трубопроводу що поєднує вихід основних насосів з теплообмінником АТ1. Тому, після фільтрації – теплоносій подається до теплообмінника.

У разі підвищення тиску у контурі охолодження секції перетворювачів – передбачений бак розширення Б1, що служить для компенсації розширення

теплоносія під впливом температури. У разі нештатного підвищення тиску, після бака розширення передбачений запобіжний клапан КП1, що при необхідності випускає зайву частину повітря.

Внутрішній контур охолодження шин постійного струму являє собою замкнену систему циркуляції рідкого теплоносія, у якості якого використовується дистильована вода. Для забезпечення стабільного охолодження шин постійного струму, потужності насосів розраховані на забезпечена мінімальної витрати теплоносія на рівні 1,8 м³/год при значенні тиску 2,7 бар. Даний контур охолодження утворено поєднанням гідравлічної системи чотирьох збірних шин постійного струму з внутрішнім контуром теплообмінника АТ2 системи охолодження.

Після початку роботи системи охолодження, холодний теплоносій, через колектор К4 – подається до гідравлічної системи шин постійного струму. Ця система являє собою сукупність трубчатих каналів, розміщених у середині збірних шин, що з'єднані між собою гнучкими трубними з'єднаннями та приєднані до колекторів К4 і К3. Під час проходження крізь трубчаті канали в середині шин струму – теплоносій відбирає частину теплової енергії струмопровідних частин, тим самим спричиняючи їх охолодження. Далі, гарячий теплоносій, через вихідний колектор К3, надходить до ланцюга охолодження шин постійного струму, де за допомогою насосів М5 та М6 – підводиться до теплообмінника АТ2. У середині теплообмінника відбувається теплообмін між теплоносіями внутрішнього та зовнішнього контурів.. Охолоджений теплоносій, через колектор К4, повертається до гідравлічної систему шин постійного струму.

Як згадувалось раніше, одна система охолодження забезпечує відведення тепла від чотирьох з восьми збірних вихідних шин постійного струму. Таким чином, на рисунку 1.5 зображено умовну схему циркуляції теплоносія у контурах охолодження шин постійного струму обох систем охолодження випрямляючого агрегату, без урахування допоміжних відгалужень.

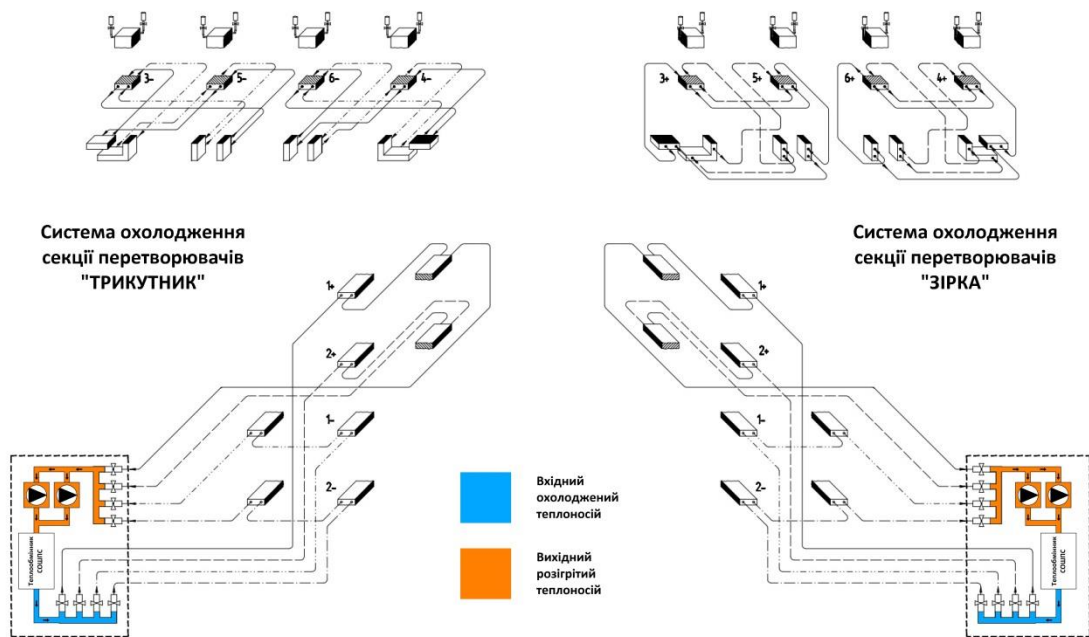


Рисунок 1.5 – Схема циркуляції теплоносія у середині контурів охолодження шин постійного струму

Зовнішні контури охолодження – являють собою дві прохідні ділянки трубопроводів зі спільним початком та кінцем, що проходять крізь зовнішні контури теплообмінників АТ1 і АТ2. Ці контури охолодження забезпечує постійне відведення накопиченої теплової енергії від теплообмінників. У ролі теплоносія використовується холодна технічна вода, що отримується від системи водозабезпечення підприємства через загальної гідравлічної системи випрямляючого агрегату, і після відпрацювання – повертається туди-ж. Протікання технічної води відбувається за рахунок її власного тиску на рівні 4 атмосфер, що створюється завдяки роботі насосних установок системи водозабезпечення підприємства.

Під час роботи системи охолодження, холодна технічна вода, під власним тиском – надходить до контурів охолодження від зовнішньої гідравлічної системи. Теплоносій подається до теплообмінника АТ1 або АТ2, у середині яких – накопичена тепла енергія передається теплоносію. Далі, розігрітий теплоносій виводиться з зовнішніх контурів циркуляції системи

охолодження у зовнішню гідравлічну систему, звідки повертається у систему водозабезпечення підприємства для охолодження та повторного використання. На рисунку 1.6 схематично зображено умовну циркуляцію теплоносія у вторинному контурі системи охолодження.

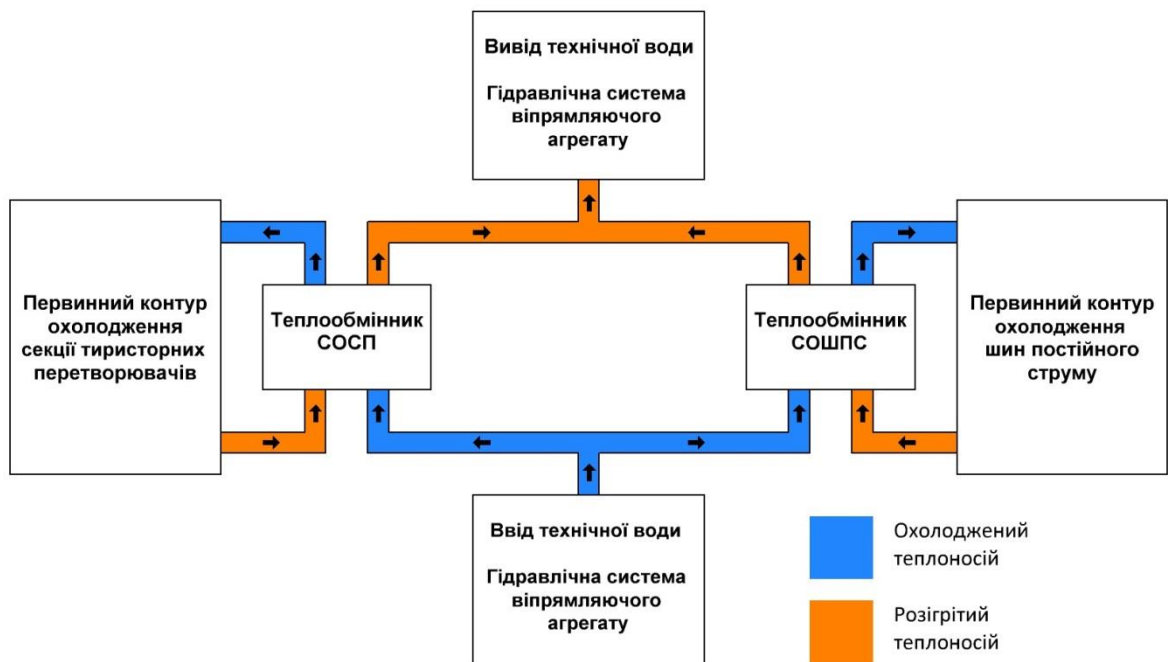


Рисунок 1.6 – Схема циркуляції теплоносія у середині вторинного контуру системи охолодження

Входи та виходи М1-М3 та М5-М6, а також теплообмінники АТ1 та АТ2 – оснащені кавітаційними фільтрами, що зменшують їх кавітаційний вплив на потоки теплоносіїв. Після кожного з шести насосів встановлено зворотній клапан ОК1-ОК6, які запобігають зворотному протіканню теплоносія крізь ці насоси. У різних частинах системи охолодження присутні автоматичні пристрої видалення повітря ВА1-ВА6, що видаляють повітряні бульбашки, які утворюються при заповненні гідравлічної системи. Ручні шарові крани Кр1-Кр50 слугують для швидкого відсікання певної ділянки чи пристрою для їх обслуговування.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації

Керування роботою систем охолодження секцій перетворювачів та збірних шин постійного струму покладено на систему автоматизованого управління випрямляючим агрегатом. Крім того, обладнання, пов'язане з забезпеченням процесу охолодження – розміщується в різних місцях випрямляючого агрегату.

Для контролю температури струмопровідних частин секцій перетворювачів та шин постійного струму використовуються термоелектричні перетворювачі «АБАМ.656111.004». Дані первинні перетворювачі є розробкою фірми «СТРУМТЕХ» (м.Запоріжжя) і забезпечують перетворення значення температури діапазону 0-150 °С у електричний струм напругою 0-5 В. Кожна з двох секцій перетворювачів включає до свого складу 24 термоелектричні перетворювачі, по 2 на кожне з 12 плеч випрямлення. Крім того, на кожну секцію перетворювачів виділено по 4 перетворювачі для контролю температури чотирьох вихідних шин постійного струму, приєднаних зовні.

Контроль потоку теплоносія на виході з гідравлічної системи кожної секції перетворювачів відбувається за допомогою реле потоку: «ДР-П-34-15». Реле калібровано на збурення у вигляді витрати рідини об'ємом 38 м³/год з подальшою комутацією сигналу напругою 24 В. Ці реле використовуються і для контролю потоку теплоносіїв у гідравлічній системі охолодження, SP1-SP3 – на рисунку 1.3. Реле SW1 – встановлено на виході після насосів М1-М3 і налаштовано на витрату 38 м³/год. Реле SW2 встановлено на виході після насоса М4 і налаштовано на витрату 1.8 м³/год. Реле SW3 встановлено на виході після насосів М5 та М6 і налаштовано на витрату 5 м³/год. Контроль тиску технічної води на вході зовнішніх контурів охолодження виконується за допомогою реле тиску «КРІ 35» виробництва фірми «Danfoss», SP1 – на рисунку 1.3. Реле налаштовано на збурення у вигляді тиску рідини 4 бара, при цьому комутується сигнал напругою 24 В.

Для візуального контролю тиску у гідравлічній системі охолодження використовуються показуючі манометри «ДМ 05-МП-ЗУ 100 0.1 мПа». Даний прилад дозволяє візуально оцінити тиск у мережі в межах 0-1 мПа з точністю 1.5%. Кожна система охолодження включає до свого складу 6 таких приладів, Р1-Р6 – на рисунку 1.3. Манометри встановлено: після баків розширення; після насосів; на вході технічної води.

Усі зібрані дані, у вигляді аналогових та дискретних сигналів, надходять до контролера S7-300, розподіленої системи автоматизованого управління випрямляючим агрегатом, через його модулі аналогового та дискретного вводу. Частина сигналів, що відноситься до секції перетворювачів «зірка», її шин постійного струму, та системи охолодження – вводиться до контролера через головну шафу місцевого управління «ШУ-М». Сигнали, що відноситься до секції перетворювачів «трикутник», її шин постійного струму, та системи охолодження – вводиться до контролера через підрядну шафу місцевого управління «ШУ-S».

На основі отриманих температурних показників контролер перевіряє стан тиристорів та шин постійного струму під час кампанії графітування. При досягненні температури 60 °С – система генерує попереджуючий сигнал з подальшою світловою та звуковою сигналізацією. При досягненні температури 90 °С – контролер виконує аварійну зупинку кампанії графітації.

Основне обладнання комутації та автоматики систем охолодження – розміщується у шафах комутації та автоматики системи охолодження «ШКАСО». Кожна система охолодження оснащена власною шафою комутації та автоматики. Кожна шафа ШКАСО включає до свого складу:

- пускачі, що комутують живлення насосів М1-М6;
- релейну схему пуску основних насосів;
- релейну схему періодичного пуску насосу фільтрів.
- релейну схему сигналізації роботи насосів;
- обладнання комутації навантаження;
- елементи місцевого управління та сигналізації роботи насосів.

Перед початком кампанії графітування, система автоматизованого управління випрямляючим агрегатом надає сигнал початку роботи систем охолодження, рівнем 24 В, до шаф ШКАСО. Далі, на основі інформації отриманої від реле потоку та тиску, у різних ділянках систем охолодження, виконується контроль за циркуляцією теплоносіїв та наявністю достатньої подачі технічної води. У разі отримання усіх сигналів – система управління агрегатом дає дозвіл на подальшу підготовку та початок кампанії графітування.

Якщо під час роботи зникає хоча-б один з дискретних сигналів підтвердження роботи насосів, потоку чи подачі – виконується автоматична зупинка проведення кампанії графітування.

Кожна система охолодження комплектована п'ятьма насосами виробництва фірми «CNP», М1-М3 та М5-М6 – на рисунку 1.3. Для забезпечення циркуляції теплоносія у контурах охолодження секції перетворювачів – використовуються горизонтальні багатоступінчасті доцентрові насоси «CHL 20-40 LSWSR», розраховані на створення витрати 14 м³/год при значенні тиску 5 бар. Для забезпечення циркуляції теплоносія у контурах охолодження шин постійного струму – використовуються горизонтальні багатоступінчасті доцентрові насоси «CHL 2-50 LSWSR», розраховані на створення витрати 2,5 м³/год при значенні тиску 3 бара.

Відгалуження з фільтрами було спроектовано та змонтовано пізніше, тому там використовується горизонтальний багатоступінчастий доцентровий насос «1NM06N05M5HWQ1E», виробництва фірми «LOWARA», М4 – на рисунку 1.3.

Запуск насосів відбувається за допомогою магнітних пускачів, що керуються системами релейної автоматики шаф ШКАСО.

Кожна шафа комутації та автоматики містить релейну схему періодичного пуску додаткового насоса що, незалежно від проведення графітування – раз на добу вмикає насос М4 для проведення фільтрації внутрішнього теплоносія.

Елементи ручного управління, на кожній шафі ШКАСО, дають можливість примусового запуску кожного окремого насосу. Ця можливість використовується при обслуговуванні гідравлічних систем і передбачає переведення конкретної системи охолодження у ручний режим роботи. В свою чергу, проведення кампанії графітування можливо лише при переведенні кожної з двох шаф комутації та автоматики у автоматичний режим роботи.

Уся інформація стосовно роботи систем охолодження секцій тиристорних перетворювачів та шин постійного струму, за допомогою системи автоматизованого управління випрямляючого агрегату – дублюється у систему дистанційного управління випрямляючим агрегатом та на пульт дистанційного управління, розміщений у приміщенні оператора графітування.

1.4 Схема матеріальних та інформаційних потоків

Як вже багаторазово згадувалось, випрямляючий агрегат включає до свого складу дві окремі системи охолодження. Кожна з них має два внутрішні та два зовнішні контури циркуляції. Внутрішні контури охолодження є замкненими. Зовнішні контури охолодження поєднані з загальною гідравлічною системою випрямляючого агрегату і є прохідними.

Контур охолодження секції тиристорних перетворювачів утворений поєднанням гідравлічної системи секції перетворювачів та внутрішнім контуром теплообмінника АТ1 системи охолодження. Цей контур заповнюється сумішшю де-іонізованої дистильованої води з гліколем і включає до свого складу відгалуження з фільтрами. Кожна система охолодження відводить тепло від однієї з двох окремих секцій.

Контур охолодження шин постійного струму утворений поєднанням гідравлічної системи чотирьох вихідних шин струму та внутрішнім контуром теплообмінника АТ2 системи охолодження. Цей контур заповнюється

дистильованою водою і є замкненим. Кожна система охолодження відводить тепло від чотирьох з восьми спільних шин.

Зовнішні контури охолодження, як зі сторони введення, так і зі сторони виведення – приєднані до гідравлічної системи випрямляючого агрегату. Ці контури є прохідними і проходять крізь зовнішні кола теплообмінників АТ1 та АТ2 системи охолодження. Крізь зовнішні контури охолодження пропускається технічна вода під власним тиском.

Гідравлічні системи секцій перетворювачів розміщені безпосередньо у самих контейнерах секцій і виконують відбір тепла від активних струмопровідних частин секцій. Гідравлічні системи вихідних шин струму представлені вісьмома окремими гідравлічними ланцюгами, по чотири на кожну систему охолодження і проходять у середині восьми окремих вихідних шин постійного струму.

Контроль температури струмопровідних частин двох секцій перетворювачів та восьми шин постійного струму виконується за допомогою термоелектричних перетворювачів. На кожну секцію припадає 24 термоелектричні перетворювачі, на кожну шину струму – 1 термоелектричний перетворювач. Ці прилади дають інформацію про температуру у 56 точках, по 28 аналогових сигналів на одну систему охолодження (сигнали Т1.1-1.28 та Т2.1-2.28).

Контроль циркуляції внутрішніх теплоносіїв та подачі технічної води відбувається завдяки реле потоку та реле тиску, встановлених у різних місцях кожної з двох систем охолодження (сигнали SW1.4 та SW2.4). На виході кожної гідравлічної системи секції перетворювачів встановлено одне реле потоку. У внутрішніх колах теплообмінників АТ1 встановлено по два реле потоку: одне реле після основ (сигнали SW1.1 та SW2.1), одне – після додаткового насоса у відгалуженні з фільтрами (сигнали SW1.2 та SW2.2). У внутрішніх контурах теплообмінників АТ2 присутні по одному реле потоку, після основних насосів (сигнали SW1.3 та SW2.3). На спільних входах зовнішніх контурів систем охолодження встановлено по одному реле тиску

(сигнали SP1.1 та SP2.1). Усього – 10 дискретних сигналів, по 5 сигналів на кожен систему охолодження.

Усі зібрані сигнали надходять до системи управління випрямляючим агрегатом, обладнання якої розділено на головну та підрядну шафи. До головної шафи управління надходять сигнали від системи охолодження секції «зірка», до підрядної – від системи охолодження секції «трикутник». Керуючий вплив, що генерується системою управління випрямляючим агрегатом для кожної окремої системи охолодження – надходить, у вигляді дискретних сигналів, до відповідних шаф комутації та автоматики, що закріплені за цими системами охолодження.

У цих шафах формується один звітний дискретний сигнал про стан роботи усіх основних насосів, який потім вертається до системи управління випрямляючим агрегатом. Крім того, від кожної шафи комутації та автоматики систем охолодження повертається один дискретний сигнал режиму роботи насосів. Усього – 2 вихідних та 4 вхідних сигнали, відповідно по одному вхідному та два вхідних сигнали на кожен систему охолодження.

У кожній шафі ШКАСО формується керуючий вплив у вигляді електричного живлення для шести циркуляційних насосів підпорядкованої системи охолодження (сигнали M1.1-1.6 та M2.1-2.6).

Система місцевого управління випрямляючим агрегатом, за допомогою каналу бездротового зв'язку – дублює усю інформацію про стан та роботу систем охолодження до системи дистанційного управління випрямляючим агрегатом, яка розташована у шафі дистанційного управління за межами установки. Звідки вся інформація дублюється на пульт дистанційного управління випрямляючим агрегатом.

На рисунку 1.7 зображено схему матеріальних та інформаційних потоків двох діючих систем охолодження секцій тиристорних перетворювачів та восьми вихідних шин постійного струму, їх шаф комутації та автоматики, а також частини шаф місцевого управління системи автоматизованого управління випрямляючим агрегатом.

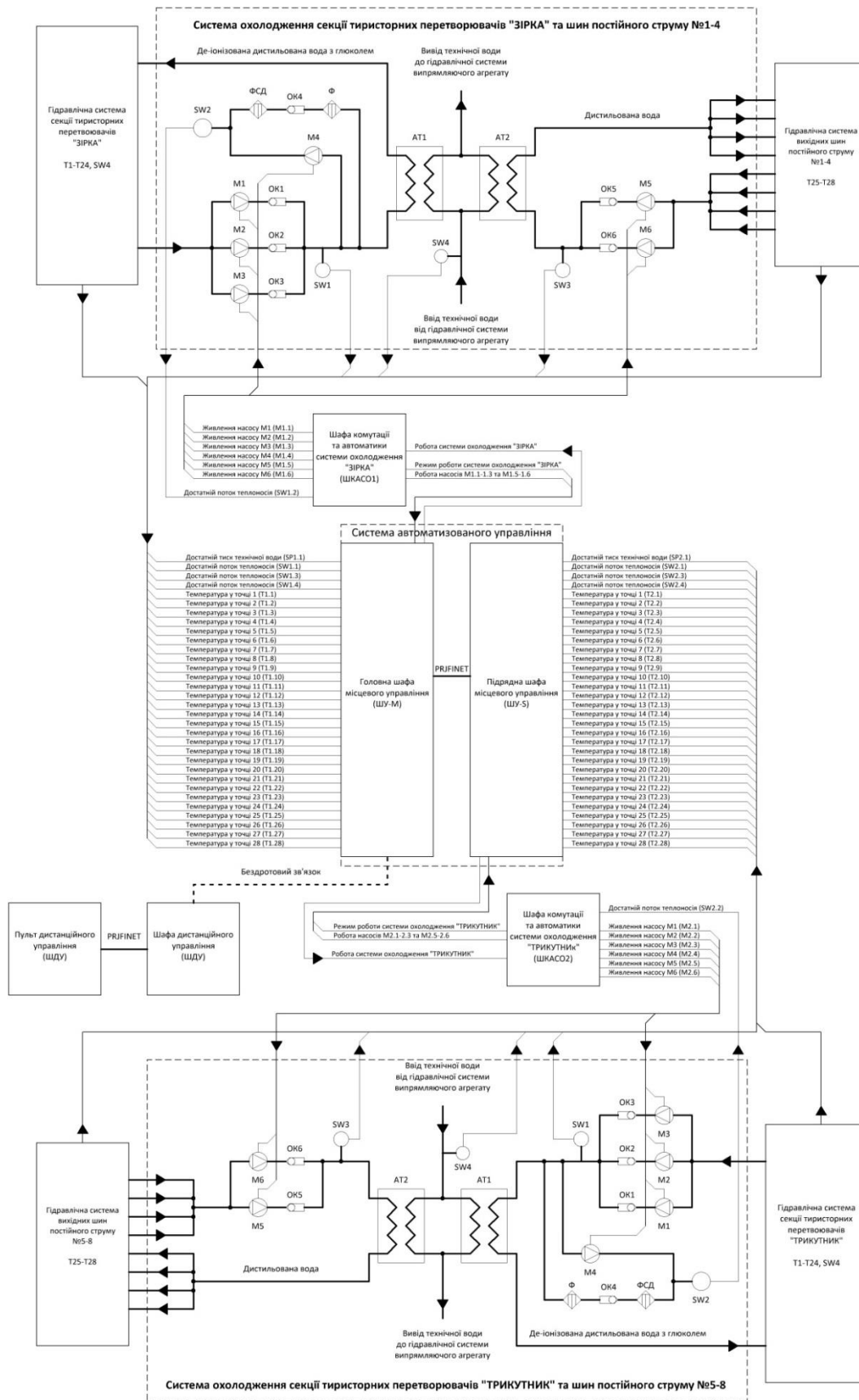


Рисунок 1.7 – Діюча схема матеріальних та інформаційних потоків

1.5 Стан аналогічних об'єктів на інших виробництвах

Пересувний випрямляючий агрегат, що використовується на підприємстві ПрАТ «УКРГРАФЫТ» – є унікальним промисловим об'єктом, як на території України так і за її межами. Унікальність даної установки, полягає у її високій потужності та самохідному конструктивному виконанні. Випрямляючі агрегати стаціонарного розміщення, значно меншої потужності та схожої будови використовують для живлення дугових печей, гальванічних ванн, алюмінієвих електролізерів та потреб дослідницьких установ.

Випуском подібних випрямляючих агрегатів займається підприємство АТ «Нидек АСИ ВЭИ» (Россія). Їхні випрямляючі агрегати розраховані на максимальний вихідний постійний струм силою 40-120 кА.

З конструкційної точки зору, випрямляючі агрегати даного виробника, теж складаються з потужного понижаючого трансформатора та двох секцій тиристорних перетворювачів, рис. 1.8. Проте для даних агрегатів передбачається лише стаціонарне встановлення на об'єктах виробництва, а досить велика частина обладнання розміщується в окремих приміщеннях.



Рисунок 1.8 – Випрямляючий агрегат ВА-65000/300-УХЛ42

Охолодження секцій тиристорів даного випрямляючого агрегату, складається з двох контурів рідинно-водного охолодження, проте охолодження вихідних шин струму не проводиться. У первинному контурі циркулює де-іонізована дистильована води. У нормальному режимі, циркуляція забезпечується одним основним насосом, проте паралельно до нього встановлено резервну насосну установку, що дозволяє уникнути аварійної зупинки у разі несправності основного насосу. Вторинний контур охолодження розрахований на подачу технічної води з низькою температурою. Нагнітання технічної води передбачається виконувати зовнішніми гідравлічними системами. Для запобігання утворення конденсату на стінках контуру охолодження у середині контейнерів – передбачається встановлення додаткової регулювальної арматури у вторинному контурі, що забезпечує керування інтенсивністю охолодження теплообмінників.

Система контролю охолодження випрямляючого агрегату «ВА65000/300-УХЛ42» – передбачає використання кількох регуляторів, об'єднаних у каскадну систему управління. Кожен регулятор займається контролем одного з ключових параметрів системи охолодження і має дві уставки сигналізації: попереджувальну та аварійну. Результатом роботи усіх регуляторів є керуючий вплив на арматуру вторинного контуру.

Керування процесом охолодження відбувається на основі:

- інформації про температуру внутрішнього та зовнішнього теплоносіїв у різних ділянках системи охолодження;
- інформації про тиск теплоносіїв у різних місцях системи охолодження;
- інформації про іонізацію внутрішнього теплоносія.

Конструкція даного випрямляючого агрегату також передбачає наявність окремого приміщення для розміщення обладнання керування. Зокрема: виконавче гідравлічне обладнання та елементи трубної арматури з теплообмінником розміщуються у окремій шафі. Також окрема шафа передбачена для усіх елементів комутації та автоматизації.

1.6 Недоліки існуючої системи автоматизації

Протягом тривалого часу експлуатації випрямляючого агрегату було виявлено і частково усунена досить велику кількість недоліків, зокрема і у роботі систем охолодження. Більшість цих недоліків пов'язана з особливостями умов експлуатації агрегату, проте є і суттєва кількість не доопрацювань, що впливають на терміни обслуговування та пошуку несправності.

Зафіксовано кілька випадків, пов'язаних з виходом з ладу насосних установок чи їх магнітних пускачів. Зазвичай, виходить з ладу лише один насос. Проте це призводить до падіння витрати теплоносія і унеможливорює подальшу експлуатацію агрегату. Крім того, помічено швидке зношування механічних та електричних частин насосів від різкого запуску та роботи на максимальній потужності. Окремо, помічено наявність суттєвого гідравлічного удару при запуску насосних агрегатів, що з часом стало досить суттєво впливати на гідравлічні з'єднання.

Помічена необхідність у де-іонізації теплоносія, що була пізніше реалізована. Зараз процес де-іонізації відбувається періодично і іноді є непотрібним, а іноді – недостатнім. Проте, на теперішній час, реалізація контролю рівня іонізації теплоносія – відсутня.

Відсутній детальний контроль за станом теплоносіїв у різних колах систем охолодження. Зокрема, відсутня можливість спостереження за показами: температури, тиску, потоку та іонізації як внутрішніх теплоносіїв, так і проточної технічної води. Іноді, відсутність такого контролю ставала причиною виникнення «плаваючих» неполадок та їх тривалого пошуку.

Відсутня можливість контролю температури повітря у середині секцій перетворювачів. Частина тепла, що виділяється на струмопровідних частинах – передається у повітря, тим самим спричиняючи його нагрівання. У літній період, повітря у середині контейнерів перетворювачів досить суттєво розігрівається, тим самим зменшуючи ефективність охолодження. Для

попередження таких випадків, на кожній секції встановлено кондиціонери, проте їх вмикання виконується операторами власноруч, з огляду на ручні виміри температури у цеху.

Відсутня сигналізація протікання теплоносіїв у середині секцій. Були випадки псування обладнання від накопичення вологи на підлозі секцій та її подальшого випаровування і конденсації на струмопровідних частинах. Крім того, відсутність контролю протікання – збільшує час пошуку втрат теплоносія і є небезпечною для безпечної роботи установки.

Відсутня можливість само-діагностування та інформування про утворення нештатних ситуацій, а також подій, що можуть впливати на режими циркуляції теплоносіїв. Причому система автоматизованого управління не в змозі адекватно реагувати на деякі ситуації, що іноді призводило до передчасного спрацювання захисних алгоритмів агрегату.

Відсутність можливості автоматичного діагностування – суттєво підвищувало термін пошуку певних неполадок та іноді приводила до запізненої реакції на аварійні ситуації.

Досить велика кількість неполадок пов'язана з релейними системами у шафах комутації та автоматики систем охолодження. Причому, через складність цих систем – велика кількість часу втрачалась на пошук пошкоджених елементів.

Основною причиною низького рівня автоматизації систем охолодження є висока перевантаженість обладнання системи автоматизованого управління випрямляючим агрегатом. Тому, при проектуванні агрегату реалізовувались лише необхідні технічні та технологічні рішення.

2 ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Загальні вимоги до кінцевої САУ

Проектована система автоматизованого охолодження секцій тиристорних перетворювачів та шин постійного струму – повинна, у загальному порядку, забезпечувати наступні функції:

- збір інформації про стан різних технологічних параметрів процесу охолодження та стан роботи виконавчого обладнання;
- роботу виконавчого обладнання;
- аналіз отриманої інформації та корегування роботи системи охолодження;
- контроль за можливістю утворення надзвичайних ситуацій;
- інформування головної системи випрямляючого агрегату про стан роботи системи охолодження.

Пересувний випрямляючий агрегат повинен мати дві, незалежні одна від одної, системи автоматизованого керування охолодженням, що мають підпорядковуватись основній системі управління.

Кожна проектована САУ повинна базуватись на сучасних мікропроцесорних засобах автоматизації. Усі компоненти кожної з САУ повинні бути ідентичними та взаємозамінними. Усі компоненти повинні мати можливість їх заміни на аналогічні прилади та пристрої від інших виробників. Заміна цих частин повинна виконуватись з мінімальними затратами робочого часу. Кожна проектована система повинна передбачати додаткові вхідні та вихідні канали для підключення дискретних та аналогових сигналів у кількості +15...20% від задіяної кількості. Все обладнання контролю та автоматизації технологічного процесу повинно мати промислове виконання та відповідні паспортні чи сертифікаційні документи..

Усе обладнання, що фізично не пов'язано з технологічним процесом – повинно розміщуватись у герметичних шафах промислового виконання з

класом пиле-вологозахисту не менш ніж IP54. Усе обладнання повинно розміщуватись та кріпитись таким чином, щоб забезпечувати можливість його обслуговування або демонтажу без зняття інших елементів конструкцій та обладнання.

2.2 Вимоги до завдань що вирішує проектована САУ

Кожна окрема проектована система автоматизації повинна забезпечувати збір наступної інформації:

- температури першого та останнього тиристорного елемента у рамках одного плеча випрямлення (24 точки виміру);
- температури шин постійного струму (4 точки виміру);
- температури та вологості повітря у середині контейнерів секцій перетворювачів (2 точки виміру);
- стану протікання теплоносія у гідравлічній системі секції перетворювачів (1 точка виміру);
- наявності протоку теплоносія за межі гідравлічної системи у середині контейнерів секцій перетворювачів (4 точки виміру);
- температури на вході та виході з внутрішніх контурів системи охолодження (4 точки виміру);
- тиску теплоносія після основних насосів, на вході та виході у внутрішніх контурах системи охолодження (6 точки виміру);
- наявності тиску на виході кожного окремого насоса (6 точок виміру);
- рівню іонізації теплоносія у внутрішньому контурі охолодження секції перетворювачів (1 точка виміру);
- стан протікання теплоносіїв у внутрішніх колах системи охолодження (2 точки виміру);
- температури технічної води на вході та після теплообмінників у зовнішніх колах охолодження (3 точки виміру);

- рівень тиску на вводі технічної води (1 точка виміру);
- стан протікання теплоносія після теплообмінників у зовнішніх контурах охолодження (2 точки виміру).

На основі температур повітря у середині контейнерів – повинно прийматись рішення про вмикання систем примусового кондиціонування повітря у секціях.

Головна система управління випрямляючим агрегатом повинна отримувати та обробляти інформацію про події, наведені у таблиці 2.1. Ця інформація повинна отримуватись у вигляді сигналів від первинних перетворювачів.

Таблиця 2.1 – Події, що фіксуються та опрацьовуються головною САУ

Подія	Причина	Тип реакції
Підвищена температура струмопровідних частин секції перетворювачів	Досягнення температури 60°C у одній з точок виміру	Попередження, сигналізація
Критична температура струмопровідних частин секції перетворювачів	Досягнення температури 90°C у одній з точок виміру	Аварія - зупинка активної роботи агрегату, сигналізація
Підвищена температура струмопровідних частин шин постійного струму	Досягнення температури 60°C у одній з точок виміру	Попередження, сигналізація
Критична температура струмопровідних частин шин постійного струму	Досягнення температури 90°C у одній з точок виміру	Аварія - зупинка активної роботи агрегату, сигналізація
Порушення протоку теплоносія крізь гідравлічну систему секції перетворювачів	Зменшення рівня витрати теплоносія на виході гідравлічної системи секції перетворювачів менше 37 м³/год	Аварія - зупинка активної роботи агрегату, сигналізація
Наявність протікання теплоносія за межі гідравлічної системи у контейнері секції перетворювачів	Поява води на підлозі контейнера (у певних ділянках)	Аварія - зупинка активної роботи агрегату, сигналізація

Крім того, головна система управління повинна давати команду на запуск систем автоматизованого керування охолодженням, контролювати стан їх готовності та, при необхідності – аварійно зупиняти роботу випрямляючого агрегату при наявності аварій, що зафіксували ці системи. Під час роботи та перед її початком – головна система повинна перевіряти наявність «готовності» обох систем охолодження. Окремо повинен виконуватись контроль роботи систем примусового кондиціонування.

Кожна окрема система автоматизованого управління охолодженням повинна відслідковувати та реагувати на нештатні ситуації. Результатом цього повинна стати відповідна інформація про стан роботи конкретної

системи охолодження, що надається головній системі управління. Усі ці події, та реакція на них – приведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Події що фіксуються кожною САУ охолодження

Подія	Причина	Тип реакції
1	2	3
Температура теплоносія контуру охолодження секції перетворювачів вище норми	Температура теплоносія у внутрішньому виході теплообмінника АТ1 більше 30 °С	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Температура теплоносія контуру охолодження шин постійного струму вище норми	Температура теплоносія у внутрішньому виході теплообмінника АТ2 більше 30 °С	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Температура повітря у контейнері секцій перетворювачів вище норми	Температура повітря в одній з точок виміру у середині контейнера більше 40 °С.	Попередження, передача інформації головної САУ
Температура технічної води вище норми	Температура технічної води на вході зовнішніх контурів охолодження більше 30 °С.	Попередження, корегування роботи системи охолодження, передача інформації головної САУ
Порушення протоку у контурі охолодження секції перетворювачів	Зменшенні рівня витрати теплоносія менше 38 м ³ /год	Попередження, корекція роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Порушення протоку у контурі охолодження шин постійного струму	Зменшенні рівня витрати теплоносія менше 5 м ³ /год	Попередження, корекція роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Порушення протікання технічної води крізь теплообмінник АТ1	Витрата теплоносія на зовнішньому виході теплообмінника АТ1 менше 10 м ³ /год	Попередження, можливе корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Порушення протікання технічної води крізь теплообмінник АТ2	Витрата теплоносія на зовнішньому виході теплообмінника АТ2 менше 5 м ³ /год	Попередження, можливе корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Тиск технічної води нижче норми	Тиск на вході технічної води нижче 4 бар	Попередження, інформування основної САУ
Тиск у контурі охолодження секції перетворювачів нижче норми	Тиск у магістральних ділянках контуру охолодження секції перетворювачів нижче 5 бар	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Тиск у контурі охолодження шин постійного струму нижче норми	Тиск у магістральних ділянках контуру охолодження шин постійного струму нижче 2,5 бар	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Засмічення гідравлічної системи секції перетворювачів	Різниця тиску між входом та виходом гідравлічної системи секції перетворювачів більше 25%	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Засмічення гідравлічної системи шин постійного струму	Різниця тиску між входом та виходом гідравлічної системи шин постійного струму більше 25%	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування головної САУ
Засмічення теплообмінника АТ1	Перепад тиску на вході та виході внутрішнього контуру теплообмінника АТ1 більше 10%	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Засмічення теплообмінника АТ2	Перепад тиску на вході та виході внутрішнього контуру теплообмінника АТ2 більше 10%	Попередження, корегування роботи системи охолодження, інформування основної САУ
Необхідна дозаправка контуру секції перетворювачів або шин постійного струму	Тиск після насосів на 10% нижче номінального	Попередження, інформування головної САУ
Несправність насоса	Відмова мінімум одного насоса	Попередження, інформування основної САУ
Несправність датчика	Несправність мінімум одного датчика	Попередження, інформування основної САУ
Несправність системи іонообміну	Стабільний чи зростаючий рівень іонізації при увімкненому насосі проміжку з фільтрами	Попередження, інформування основної САУ

Кожна система автоматизованого управління охолодженням повинна проводити моніторинг усіх можливих подій та стану роботи як під час запуску так і під час роботи. Причому підтвердженням справності – повинен

являться комплексний сигнал готовності. Відсутність сигналу готовності перед запуском кампанії графітування повинно унеможливлувати роботу усього активного обладнання випрямляючого агрегату. Також потрібно передбачати виникнення аварійних ситуацій, при яких безпечна робота обладнання – неможлива, або неможливе гарантування якісного охолодження усіх струмопровідних частин.

Окремо слід відмітити необхідність резервування основних насосів та їх періодичну роботу. Під час активної роботи агрегату, у кожному внутрішньому контурі повинен залишатись мінімум один резервний насос (не застосовується до проміжку фільтрації теплоносія). Причому усі основні насоси повинні повністю покривати потреби циркуляції. Робота кожного насосу повинна контролюватись на основі різних факторів, наприклад тиску його подачі та електричного живлення.

Вихід з ладу більш ніж одного насосу у контурі – вважається неприпустимим і повинен призводити до аварійної зупинки агрегату. Наявність витoku теплоносіїв чи проточної води – є причиною аварійного відключення агрегату. Надвисокий рівень іонізації – аварійна ситуація, відключення агрегату. Досягнення критичної температури у мінімум одній точці виміру – негайне відключення агрегату. Повинен передбачатись аварійний режим роботи системи охолодження при відмові контролера, причому повинно забезпечуватись мінімальне функціонування системи охолодження з інформуванням загальної системи управління випрямляючим агрегатом.

2.3 Вимоги до технічних засобів автоматизації

Все обладнання, що використовуватиметься у проєктованій системі автоматизованого охолодження – повинно відповідати певним вимогам до їх встановлення та використання.

Відтак, обладнання, що встановлюватиметься на трубопроводах системи охолодження – повинно бути розрахованим на внутрішній тиск рівний, чи більший за 6 бар. При цьому, дане обладнання повинно витримувати температуру внутрішнього середовища у межах $+0...80$ °С, за умови, що середовище є неагресивним.

Кожен окремий насосний агрегат, що працюватиме у контурі охолодження секцій перетворювачів – повинен забезпечувати об'ємну витрату рідини у межах $19,5-20,5$ м³/год при тиску 5,5 бар. Для насосних агрегатів контуру охолодження шин постійного струму, ці показники повинні складати – $5-7$ м³/год при тиску 2,7 бара. Пуск та зупинка усіх насосних агрегатів повинен виконуватись з використанням пристроїв, що забезпечують плавну подачу та зняття живлення цих агрегатів. Дані пристрої повинні розраховуватись на більшу потужність, ніж їх об'єкти живлення. Ці вимоги не відносяться до насосу, що обслуговує проміжок фільтрації теплоносія.

Стан роботи усіх насосних агрегатів пропонується перевіряти по факту надходження їх живлення, та появи тиску на їх виходах. Контроль стану вихідного тиску на виході насосу повинен виконуватись за допомогою реле тиску. Дані релейні пристрої повинні мати можливість комутації зовнішнього електричного сигналу напругою 24 В.

Пристрої вимірювання температури повітря, що встановлюватимуться у контейнерах секції перетворювачів, повинні вимірювати вологість та температуру у діапазоні мінімум $-10...+60$ °С. Передача показів повинна виконуватись струмовим сигналом типу $4...20$ мА.

Вимірювання температур струмопровідних частин потрібно виконувати вже встановленими термоелектричними перетворювачами. Це пояснюється їх унікальною конструкцією та можливістю виконання усіх їхніх технологічних завдань.

Вимірювання температури теплоносіїв повинно виконуватись термоелектричними перетворювачами опору. Діапазон вимірювання приладу повинен складати мінімум $+0...80$ °С.

Вимірювання тиску теплоносіїв повинно виконуватись перетворювачами тиску, що здатні передавати інформацію про вимірювану величину у вигляді струму силою 4...20 мА. Усі перетворювачі тиску повинні бути розрахованими на вимірювання тиску у діапазоні 0-10 бар.

Контроль рівня іонізації повинен виконуватись спеціалізованими приладами. Чутливий елемент таких приладів повинен бути розрахований на фіксування зміни іонізації у межах 1-1000 мкСм/см.

Вимірювання об'ємної характеристики протікання теплоносія не потребує постійної реєстрації миттєвих показників. Тому, для аналізу протікання охолоджуючої рідини можна застосовувати релейні пристрої, що реагують на зміну об'єму протікання теплоносія. Проте, такі релейні пристрої повинні базуватись на сучасних методах вимірювання потоку, без застосування чутливих елементів, які базуються на механічному впливі. Також, дані пристрої повинні бути розраховані на комутацію керуючого сигналу у вигляді струму напругою 24 В.

За необхідності, кожен контрольно-вимірювальний прилад повинен відокремлюватись ручною запірною арматурою. Допускається використання уже наявної арматури, або замовлення аналогічної.

Усі контрольно-вимірювальні прилади та виконавчі механізми (за винятком трубої запірної арматури) повинні мати різьбове приєднання типу: G1/2 або G1/4. При цьому, усі необхідні відповідні з'єднувачі повинні приварюватись до трубопроводів. Все використане обладнання повинно бути максимально ідентичним.

Шафа, у якій розміщується обладнання автоматизації, за розмірами не повинна перевищувати 1000x300x1200 мм (ШxГxВ). Повинна мати настінне кріплення та замикатись на ключ.

3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Підбір та обґрунтування структури системи автоматизації

Як згадувалось раніше, випрямляючий агрегат включає до свого складу дві окремі системи охолодження, що отримують команду на запуск та зупинку від системи управління випрямляючим агрегатом. Тому можна вважати, що кожна система охолодження виступає окремою функціональною одиницею. Крім того, з огляду на деталі, описані у п.1.6 та п.2.2 – слід зробити висновок, що підключення усіх необхідних пристроїв та механізмів оновлених систем охолодження до системи управління випрямляючим агрегатом є неможливим. Цей висновок обґрунтований тим, що САУ випрямляючого агрегату вже є досить навантаженою в плані опрацювання вхідної інформації.

Через це, на базі кожної з двох систем охолодження – пропонується створити окрему автоматизовану систему, що буде контролювати процес охолодження. Причому, кожна з цих САУ продовжить отримувати команди на запуск та зупинку від основної системи управління, проте зможе самостійно контролювати та аналізувати хід процесу охолодження. У основної системи управління випрямляючим агрегатом залишається можливість спостереження та реагування на зміну температури струмопровідних частин. Проте, завдяки додатковим датчикам, напряду, або через САУ охолодження – з'явиться можливість отримання більш детальної інформації про стан охолодження.

Реалізація окремих підпорядкованих систем автоматизованого управління охолодженням дозволить відслідковувати, та правильно відпрацьовувати різні нештатні ситуації. Крім того, такий розподіл навантаження дозволить підвищити надійність шляхом впровадження додаткових режимів автономної роботи кожної окремої системи охолодження, а також резервування та часткового дублювання деяких

функцій. На базі розподіленої моделі керування охолодженням – пропонується впровадження чотирьох рівнів автоматизації:

- операторський рівень (SCADA система);
- вищий рівень управління (АСУ випрямляючого агрегату);
- нижчий рівень управління (АСУ систем охолодження);
- польовий рівень (системи охолодження).

Рівень оператора являє собою автоматизоване робоче місце, що дає можливість взаємодіяти з системою управління випрямляючого агрегату через універсальні інструменти SCADA систем. На теперішній час, цей рівень вже є технічно реалізованим. З точки зору проєктованих САУ охолодження, потребується лише реалізація нових каналів отримання інформації та інтерфейсів взаємодії з операторами.

Виконання завдань спостереження за струмопровідними частинами, та прийняття рішень про роботу систем охолодження – пропонується реалізувати на базі вищого рівня автоматизації. На цьому рівні розміщується технічне обладнання та програмне забезпечення системи автоматизованого управління випрямляючим агрегатом. Ця система аналізує стан роботи різних систем та відповідає за загальний режим роботи випрямляючого агрегату. На базі цієї системи вже реалізовано спостереження за температурним станом струмопровідних частин агрегату. Додатково пропонується реалізувати можливості аналізу стану роботи систем охолодження з подальшим прийняттям рішень про подальшу роботу випрямляючого агрегату. Аналіз режиму роботи систем охолодження пропонується робити на основі дискретних сигналів. Ці сигнали повинні отримуватись окремо від кожної системи охолодження і мають позначати конкретні процеси, що в ній відбуваються.

На теперішній час, зв'язок між вищим рівнем управління та рівнем оператора – відбувається через підсистему дистанційного управління випрямляючим агрегатом. Вся інформація передається у вигляді цифрових

сигналів по протоколу «PROFINET». Методи комунікації між цими рівнями змін не потребують.

На польовому рівні розміщується контрольно-вимірювальне та виконавче обладнання систем охолодження. На теперішній час, взаємодія САУ випрямляючого агрегату з цим обладнанням, відбувається через шафи комутації та автоматики кожної окремої системи охолодження. З огляду на нові завдання, п.2.2, що покладаються на системи охолодження – потребується створення проміжного рівня автоматизації.

У якості додаткового, проміжного рівня автоматизації – пропонується створити системи автоматизованого управління системами охолодження. Таким чином, нижчий рівень управління повинен включати до свого складу дві САУ, кожна з яких – обслуговує власну систему охолодження. Впровадження цих систем дозволить: забезпечити

- обробку великої кількості нової інформації про процес охолодження;
- реалізувати нові можливості керування охолодженням;
- формувати та надавати чіткі сигнали про стан роботи систем охолодження головній САУ.

Нижчий рівень управління покликаний замінити керуюче обладнання шаф комутації та автоматики та суттєво розширити їх функціонал.

Обмін інформацією між нижчим та вищим рівнем автоматизації повинен відбуватись двома методами. Уся інформації про стан роботи систем охолодження та керуючий вплив – повинна надаватись у вигляді конкретних дискретних сигналів. Обробка дискретних сигналів займає значно менше часу ніж аналогові чи цифрові данні, то-ж система управління випрямляючим агрегатом буде більш швидше реагувати на усі зміни. Інформація, що несе лише контролюючий вплив (слугує для огляду) і передається до операторського рівня, не обробляючись на вищому рівні автоматизації – може надаватись у цифровому вигляді.

На рисунку 3.1 зображено ієрархічну будову проектованих систем управління охолодженням секцій перетворювачів та шин постійного струму. Слід відмітити, що усі зв'язки, між рівнями, подаються у спрощеному вигляді.

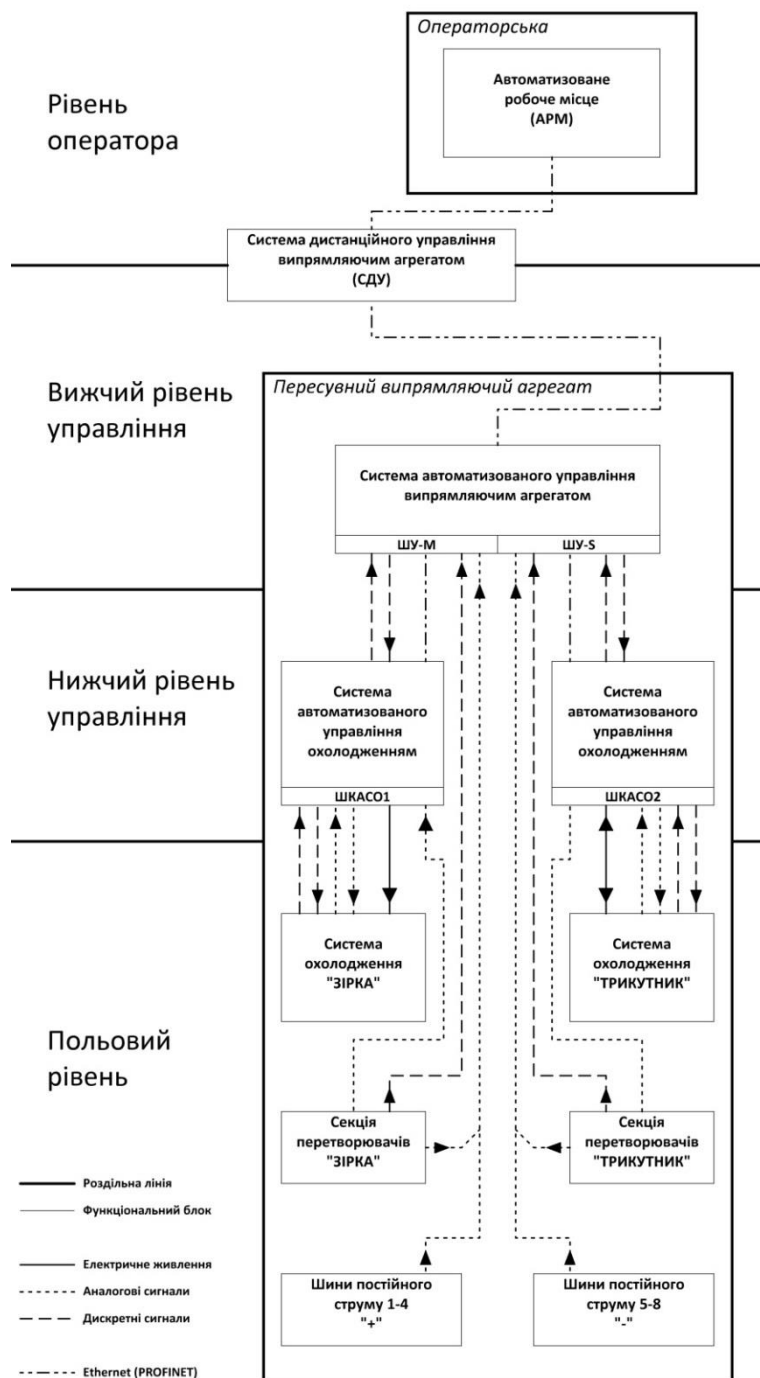


Рисунок 3.1 – Ієрархічна будова рівнів автоматизації системи охолодження

3.2 Визначення принципів керування

Основним завданням кожної системи охолодження виступає відведення тепла від об'єкту охолодження. Тобто, у рамках випрямляючого агрегату, основна ціль систем охолодження – полягає у максимальному пониженні температури струмопровідних частин.

Пониження температури струмопровідних частин можливе при від'ємному теплообміні з більш холодним середовищем. У якості такого середовища виступає технічна вода, що завдяки проточній системі є умовним «постійним споживачем» теплової енергії. З міркувань надійності та безпеки, прямий теплообмін між струмопровідними частинами та технічною водою є неможливий, тому теплообмін виконується через проміжного середовища – використовуються внутрішні теплоносії.

Процес теплообміну є досить інерційним явищем. Це означає, що для передачі певної кількості тепла необхідно витратити певний час. Причому на швидкість та напрямок протікання теплообміну – суттєво впливає різниця температур між середовищами. З урахуванням необхідності використання проміжного середовища – додається ще деякий час на транспортування теплової енергії між гарячими елементами та технічною водою. Причому, теплообмін між теплоносієм та технічною водою – теж займає певний час. Звідси впливає три основних напрямки роботи кожної з двох систем охолодження:

- відбір тепла від струмопровідних частин – зниження їх температури;
- транспортування тепла – переміщення внутрішнього теплоносія між гарячими та холодним теплообмінниками;
- виведення тепла – передача теплової енергії до технічної води, з її подальшим виведенням.

Якщо процес теплообміну відбувається самостійно, то транспортування теплоносії потребує додаткових зусиль.

У внутрішніх колах систем охолодження використовується примусове транспортування теплоносіїв. Причому, для підтримки достатньої швидкості теплообміну – швидкість циркуляції теплоносіїв повинна перевищувати певні межі. Так, для забезпечення достатнього охолодження однієї секції перетворювачів необхідно забезпечити витрату теплоносія у розмірі мінімум 37,2 м³/год. Для контуру шин постійного струму цей показник – 5,2 м³/год.

Під час активної роботи випрямляючого агрегату, у внутрішніх контурах кожної системи охолодження, працюють групи циркуляційних насосів. Ці насоси забезпечують постійну циркуляцію внутрішніх теплоносіїв з достатнім рівнем витрати середовища. Насоси працюють у двох режимах: «увімкнений» та «вимкнений». З точки зору процесу охолодження, даний режим роботи є повністю прийнятним. Проте, враховуючи інформацію з п.1.6, та вимоги до оновлених систем охолодження, п.2.2 – режим роботи насосів потребує доопрацювання.

Оновлені системи охолодження передбачають заміну основного насосного обладнання з виведенням одного насосу в резерв у кожному внутрішньому контурі охолодження. З огляду на рівномірність використання цього обладнання, пропонується парна періодична експлуатація насосів.

Так, для контурів охолодження секцій перетворювачів буде впроваджено попарний режим роботи двох з трьох насосів: М1 та М2, М2 та М3, М3 та М1. Для контуру охолодження шин постійного струму – періодична робота насосів М5 або М6.

На теперішній час, керування швидкістю циркуляції теплоносіїв – непотрібно. Але, з урахуванням вимог до плавності запуску та зупинки насосів, необхідно реалізувати плавний пуск та зупинку насосних агрегатів. Причому це дозволить також і згладити вплив перемикання між насосами (їх парами) на процес циркуляції.

Увімкнення систем кондиціонування кожної окремої секції перетворювачів повинно відбуватись при підвищенні внутрішньої температури у контейнерах більше 30 °С.

Через важливість забезпечення безперервного надійного процесу охолодження, будь-які ситуації, що унеможливають достатній теплообмін – повинні вважатись аварійними і призводити до зупинки випрямляючого агрегату.

Запуск та зупинка насосу ланцюга фільтрації М4 повинен відбуватись окремо від основних насосів і залежить від стану іонізації теплоносія. При отриманні інформації про високий рівень іонізації запускається насос М4. Якщо рівень іонізації теплоносіїв падає до встановленої позначки – насос М4 зупиняється.

Кожна САУ охолодження повинна збирати та обробляти інформацію стосовно протікання власних теплоносіїв і надавати звіти, про стан роботи, у вигляді дискретних сигналів до САУ випрямляючого агрегату.

Система автоматизованого управління випрямляючим агрегатом самостійно контролює температуру струмопровідних частин і у купі з інформацією про роботу систем охолодження – приймає рішення про достатність охолодження агрегату.

Слід відмітити, що робота усіх систем охолодження – є необхідною умовою для початку та подальшої активної роботи випрямляючого агрегату. Проте, необхідно передбачати як ручний так і автоматичний запуск систем охолодження.

3.3 Розробка моделі системи управління

Як згадувалось у пункті 3.1, завдання управління роботою систем охолодження поділено на два рівні: вищий та нижчий рівень автоматизації.

За організацію роботи на вищому рівні автоматизації відповідає САУ випрямляючого агрегату. Одна з її підпрограм отримує інформацію про температуру струмопровідних частин і слідкує за тим, щоб їх температура не перевищувала 60 °С. Крім того, на цьому рівні, повинен проводитись збір дискретних сигналів від датчиків секції перетворювачів та САУ

охолодження, на основі яких – відбувається оцінка справності роботи системи охолодження. Підпрограма САУ випрямляючого агрегату, що відповідає за перевірку працездатності системи охолодження – підпорядковується програмі, яка керує активною роботою випрямляючого агрегату. Крім того, результатом роботи цієї програми – повинен стати сигнал «СО функціонує», що є одним з дозволів на активну роботу випрямляючого агрегату.

Завдання аналізу первинної інформації від датчиків систем охолодження – покладається на їхні САУ. При отриманні дозволу на роботу від вищого рівня автоматизації, кожна САУ охолодження повинна: виконати само-діагностування власних датчиків, увімкнути та перевірити роботу насосів, проаналізувати стан циркуляції теплоносіїв, надати зворотну інформацію про свій стан у вигляді дискретних сигналів. У разі вдалого проходження усіх перевірок, САУ охолодження повинна продовжити штатне керування та спостерігання за роботою виконавчих механізмів. При наявності порушень – САУ охолодження повинна ініціювати зупинку роботи випрямляючого агрегату.

Перед початком кампанії графітування, основна програма САУ випрямляючого агрегату дає дозвіл на запуск системи охолодження у вигляді команди, що передається у підпрограму контролю охолодження. Підпрограма повинна видати дискретні сигнали «увімкнути СО» до кожної з двох САУ систем охолодження і очікувати появи сигналів «СО увімкнена» та «СО функціонує» від кожної окремої САУ охолодження.

Після отримання сигналу на запуск, кожна САУ охолодження повинна почати свою роботу само-діагностування. У першу чергу, при вдалому запуску керуючого обладнання і старту програми САУ охолодження – повинен встановлюватись зворотній дискретний сигнал «СО увімкнена». Далі, повинна виконуватись перевірка працездатності усіх датчиків, у разі виявлення некоректної роботи хоча-б одного датчика – встановлюється сигнал «Відмова датчика» та «Попередження». Далі перевіряється наявність,

режим протоку та показники технічної води у зовнішніх контурах охолодження. У таблиці 3.1 наведено перелік можливих варіантів результатів даного діагностування.

Таблиця 3.1 – Діагностування прохідних кіл охолодження

Подія	Причина				Реакція
	Тиск на вході	Температура на вході	Протікання Після АТ1 (СО)	Протікання після АТ2 (ШПС)	
Тиск води вище норми	Більше норми	-	У нормі	У нормі	Генерація сигналів: «ПОПЕРЕДЖЕННЯ» та «ТИСК ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ ВИЩЕ НОРМИ»
Температура води вище норми	-	Більше норми	-	-	Генерація сигналів: «ПОПЕРЕДЖЕННЯ» та «ТЕМПЕРАТУРА ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ ВИЩЕ НОРМИ»
Засмічення зовнішнього кола теплообмінника секцій перетворювачів	Більше або у нормі	--	Не у нормі	-	Генерація сигналів: «ПОПЕРЕДЖЕННЯ» та «ЗАСМІЧЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО КОЛА ТЕПЛООБМІННИКА СП»
Засмічення зовнішнього кола теплообмінника шин постійного струму	Більше або у нормі	--	-	Не у нормі	Генерація сигналів: «ПОПЕРЕДЖЕННЯ» та «ЗАСМІЧЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО КОЛА ТЕПЛООБМІННИКА ШПС»
Порушення протоку технічної води крізь теплообмінник секції перетворювачів	Менше норми	-	Не у нормі	-	Генерація сигналів: «АВАРІЯ» та «ПОРУШЕННЯ ПРОТІКАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ КОНТУРА СП»
Порушення протоку технічної води крізь теплообмінник шин постійного струму	Менше норми	-	-	Не у нормі	Генерація сигналів: «АВАРІЯ» та «ПОРУШЕННЯ ПРОТІКАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ КОНТУРА ШПС»

У разі, якщо аварій не виявлено, САУ охолодження повинна перейти до перевірки внутрішніх контурів охолодження. Спочатку перевіряється наявність достатньої кількості теплоносіїв у цих контурах. Якщо тиск теплоносіїв у внутрішніх контурах охолодження, при вимкнених насосах – не відповідає встановленим значенням, то САУ охолодження повинна встановити сигнали «Аварія» та «Необхідна дозаправка контуру СП», або «... контуру ШПС».

Далі, виконується запуск основних насосних агрегатів. САУ охолодження подає живлення на циркуляційні насоси, і у разі відсутності достатнього тиску на їхніх виходах – видає сигнали «Попередження» та «Відмова насоса». Якщо, після запуску резервного насоса – на його виході теж відсутній достатній рівень тиску, або одночасно вийшов з ладу більш ніж один насос у групі, то САУ охолодження встановлює сигнал «Аварія».

У випадку успішного запуску насосів, продовжується діагностування стану теплоносіїв. Якщо у контурі охолодження секцій перетворювачів, після

увімкнення насосів, тиск теплоносія нижче норми, то САУ охолодження повинна надати сигнали «Попередження» та «Тиск теплоносія СП нижче норми». Якщо при цьому рівень витрати теплоносія на вході гідравлічної системи – недостатній, то САУ охолодження повинна встановити сигнали «Аварія» та «Порушення протоку теплоносія у контурі СП». Якщо на вході до гідравлічної системи секції перетворювачів спостерігається підвищення тиску, при цьому рівень витрати теплоносія падає нижче норми, то САУ охолодження повинна надати сигнали «Попередження» та «Засмічення контуру СП».

Для контуру секцій перетворювачів – окремо повинен виконуватись контроль іонізації теплоносія. Причому необхідно передбачати три значення рівня іонізації. Якщо рівень іонізації знаходиться у межах допустимого та нормального значень іонізації – перевірка виконана. Якщо рівень іонізації перевищує допустимі значення, САУ охолодження повинна увімкнути насос М4 ланцюга фільтрації. Якщо, після увімкнення насосу М4, тиск на його виході не досяг встановленого, САУ охолодження повинна видавати сигнали «Аварія», «Несправність насосу» та «Несправність системи іонообміну». Якщо, за тривалий час роботи ланцюга фільтрації, рівень іонізації теплоносія не досяг норми, то САУ охолодження повинна видати сигнали «Аварія» та «Несправність системи іонообміну».

Такі-ж перевірки, за винятком контролю іонізації – характерні і для контуру охолодження шин постійного струму.

Якщо усі перевірки виконані, а аварійних ситуацій не виявлено – система автоматизованого управління охолодженням надає сигнал «СО функціонує» і переходить до штатного режиму роботи.

У штатному режимі роботи, САУ охолодження виконують циклічне перемикання між основними насосами у кожному внутрішньому контурі охолодження. Так, після запуску насосів М1 та М2, через певний проміжок часу, насос М1 – зупиняється, а замість нього вмикається насос М3. Причому, момент перемикання повинен бути налаштований на мінімізацію

зміни витрати теплоносія у даному контурі. Далі, через деякий час, ця процедура повторюється; насос М2 – вимикається а насос М1 – вмикається. Такий режим роботи застосовується і для насосів М5 та М6, за винятком того, що одночасно працює лише один насос. Під час запуску кожного нового насосу, виконується перевірка його роботи на основі показів тиску на його виході.

Паралельно керуванню роботою насосів, відбувається постійне спостереження за роботою системи охолодження. Так, постійно виконуються перевірки стану протікання і характеристик технічної води та внутрішніх теплоносіїв. Окремо виконується перевірка температури теплоносіїв у кожному внутрішньому контурі. У разі перевищення допустимої температури на вході до гідравлічної системи секцій перетворювачів, або шин постійного струму – САУ охолодження надає сигнали «Попередження» та «Температура теплоносія СП вище норми» або «... теплоносія ШПС вище норми».

Окремо проводиться збір та передача інформації про температуру повітря у середині секцій перетворювачів. Якщо температура повітря у середині контейнера секцій перетворювачів перевищує допустиму межу, САУ охолодження повинна встановити сигнали «Попередження» та «Температура повітря СП вище норми».

Слід відзначити, що поява булькоті аварійної ситуації – призводить до формування сигналу «Аварійне вимкнення СО» та зупинки виконання програми. Повторний запуск виконується шляхом повторного отримання сигналу на запуск та проходження усіх етапів запуску.

Після початку штатної роботи обох систем охолодження, що підтверджується отриманням сигналів «СО функціонує» від кожної САУ охолодження – підпрограма САУ випрямляючого агрегату починає постійний моніторинг стану охолодження струмопровідних частин та стану роботи систем охолодження.

Так, якщо помічається перевищення температури у допустимому діапазоні, САУ випрямляючого агрегату формує попередження для оператора, а також виконує відповідну індикацію та сигналізацію. Якщо значення температури, у одній з точок виміру, перевищує критичну межу, САУ випрямляючого агрегату повинна зупинити активну роботу установки, при цьому не вимикаючи системи охолодження.

Якщо хоча-б від однієї з двох систем охолодження надходить сигнал «Аварія», або «Аварійне вимкнення системи охолодження», САУ випрямляючого агрегату повинна зупинити активну роботу установки. Те-ж повинно відбуватись якщо зникає хоча-б один сигнал «СО функціонує».

Слід відмітити, що уся інформація стосовно призначення попереджень чи аварій у системах охолодження – повторно оброблюється у підпрограмі САУ випрямляючого агрегату. Додатково, передбачається контроль за наявністю витoku теплоносіїв у контейнерах секцій перетворювачів. Якщо отримано хоча-б один сигнал про виток теплоносія, або рівень витрати теплоносія у секції перетворювачів падає менше норми, САУ випрямляючого агрегату повинна зупинити активну роботу установки та вимкнути проблемні системи охолодження.

Окремо передбачається можливість місцевого запуску кожної окремої САУ охолодження у автономному режимі роботи. Запуск відбувається при ручному формуванні сигналу «Увімкнути СО», причому, ручне вимкнення системи охолодження повинно бути можливим лише при відсутньому сигналі «Увімкнути СО» зі сторони САУ випрямляючого агрегату.

Повинен передбачатись ручний режим роботи для кожного з насосів. Важливо, що при такому режимі роботи, повинен передаватись відповідний сигнал «Ручний режим роботи СО». У такому випадку, САУ випрямляючого агрегату повинна формувати конкретне попередження для кожної окремої САУ охолодження. Окремо повинна передбачатись можливість аварійної місцевої зупинки випрямляючого агрегату.

Уся інформація про роботу системи охолодження, що отримується та аналізується системою автоматизованого управління випрямляючого агрегату – повинна дублюватись до операторської графітування.

3.4 Вибір та обґрунтування технічних рішень

3.4.1 Вимірювання температури струмопровідних частин

Вимірювання температури струмопровідних частин – є досить складним завданням. Зокрема, в умовах пересувного випрямляючого агрегату, виникають наступні перешкоди:

- наявність електромагнітних збурень, що впливають на вимірювальний сигнал від первинного перетворювача;
- неможливість занурення чутливого елемента датчика у середину цільового об'єкта через те, що цільові об'єкти – не мають достатнього внутрішнього простору для занурення датчиків;
- необхідність проведення поверхневих вимірів температури, і як наслідок – високий вплив навколишнього середовища на результати виміру;
- необхідність неруйнівного кріплення датчиків на струмопровідних частинах через заборону пошкодження їх ізолюючих покриттів;
- неможливість прямого контакту з найбільш теплопровідними елементами струмопровідних частин через їх специфічне розміщення та заборону їх електричного контакту з корпусами будь-яких пристроїв.

Для вирішення питання з наявністю електромагнітних збурень – досить гарно підходять термометри, що працюють за принципом термоперетворювачів опору. Їх результуючий сигнал являє собою електричний опір, що є не чутливим до електричних збурень. До-того-ж термоперетворювачі опору, що покривають діапазон меж вимірювання $+0...100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – досить поширені. Проте, через поверхнєве кріплення та теплові втрати у повітря – чутливі елементи повинні мати досить малу площею та

відмінний тепловий контакт з поверхнею. Через недопустимість електричного контакту з струмопровідними частинами – датчики опору повинні контактувати з об'єктом через діелектричну прокладку.

Як згадувалось у п.1.3, на теперішній час, вимірювання температури струмопровідних частин виконується термоелектричними перетворювачами опору АБAM.656111.004 виробництва фірми «СТРУМТЕХ» (м.Запоріжжя). Дані перетворювачі мають особливу конструкцію чутливих елементів, що монтується у точках виміру через спеціальні липкі діелектричні прокладки з високою теплопровідністю і закриваються тепло-ізолюючими накладками. Дані дачики дозволяють вимірювати температуру у діапазоні $+0...125$ °C і перетворювати її у струм напругою $0...5$ В. Сам перетворюючий пристрій датчика розміщується окремо, таким чином вирішується питання його жорсткого кріплення. Передача результуючого сигналу відбувається по спеціальним екранованим кабелям, що вводяться у шафи місцевого управління випрямляючим агрегатом.

Дані термоелектричні перетворювачі – є унікальною розробкою, і були виготовлені по спеціальному проекту при проектуванні випрямляючого агрегату з урахуванням усіх особливостей кріплення та експлуатації. До того-ж, секції перетворювачів та шини постійного струму – вже оснащені необхідною кількістю таких первинних перетворювачів і не потребують додаткових затрат на їх монтаж. Причому, за тривалий період експлуатації, проблем з ними – не виявлено. Окремо слід відмітити вже реалізовану систему контролю температури на основі цих датчиків.

Враховуючи усе вищеописане у даному підпункті – рекомендовано залишити наявні термоелектричні перетворювачі та не змінювати їх розміщення чи підключення.

3.4.2 Фіксування витoku рідини у контейнері секцій перетворювачів

Як згадувалось у п.1.6, іноді помічався виток теплоносія за межі гідравлічної системи секції перетворювачів. Зазвичай цей виток відбувався у

місцях приєднання до магістральних колекторів і супроводжувався накопиченням рідини під їхніми з'єднаннями.

Суттєвий виток теплоносія може впливати на загальну кількість теплоносія, що циркулює у контурі охолодження. До-того-ж, потрапляння рідини на струмопровідні частини або обладнання – може спричинити серйозні аварійні наслідки.

Усі гідравлічні приєднання до колектора, загальних та індивідуальних охолоджувачів – виконані таким чином, щоб при наявності витoku, вся рідина стікала на підлогу. Проте, як свідчить практика, значне накопичення та наступне випаровування вологи, в умовах закритого простору секції перетворювачів – може спричинити утворення конденсату. Це є досить небажаним явищем, особливо в момент активної роботи агрегату. Через це, необхідно передбачити можливість перевірки наявності витoku рідини за межі гідравлічної системи.

Враховуючи особливості конструкції контейнерів секції перетворювачів, найпростішим методом ідентифікації потоку гідравлічної системи секції перетворювачів – контроль наявності вологи на підлозі під приєднаннями до колекторів. Більшість датчиків, що реагують на контакт з рідиною – являють собою два чутливі елементи, приєднані до пристрою вимірювання опору. У разі занурення у електропровідне середовище (у якості якого виступає рідина) відбувається падіння електричного опору між чутливими елементами, що фіксується вимірювальним пристроєм. Зазвичай, датчики протікання рідини мають герметичний корпус і захищені від потрапляння пилу або вологи у середину пристрою.

Для реєстрації протікання води – пропонується використовувати датчики SW007 виробництва фірми «NEPTUN» [1]. Дані датчики призначені для монтажу на горизонтальні поверхні, має рівень пило-вологозахисту IP67 і розрахований на роботу при температурах повітря +5...40 °C. Даний датчик отримує електричне живлення струмом з напругою +12...24 В і має один дискретний вихід типу «відкритий колектор» («PNP») при максимальному

вихідному струмі – 50 мА. Дані датчики мають загально-господарське виконання, проте, для даного випадку – повністю підходять.

3.4.3 Вимірювання температури та вологості у контейнерах СП

Вимірювання характеристик повітря у середині контейнерів секцій перетворювачів – необхідно для оцінки необхідності додаткової примусової вентиляції внутрішнього простору. Перевищення температури повітря може призводити до гіршого охолодження струмопровідних частин, а підвищення вологості – до утворення конденсату.

Як відомо, у замкненому просторі, скупчення гарячого повітря відбувається у верхній частині приміщення. Передбачається, що у жарку пору року, при тривалій роботі випрямляючого агрегату – температура повітря може перевищувати відмітку +45 °С. Вологе повітря – є холоднішим і осідає у нижній частині приміщення. Також, для замкненого приміщення є характерною стійкість рівня вологості, так-як, при відсутності достатньої вентиляції, зайва волога не виводиться.

Враховуючи усі особливості приміщення (контейнерів СП) – необхідно забезпечити дві точки виміру. Перша точка вимірювання повинна розміщуватись у верхній частині контейнера, її основне призначення – реєстрування максимальної температури повітря. Друга – ближче до підлоги, завдання цієї точки виміру полягає у фіксуванні вологості приміщення та можливості утворення конденсату.

Окремо слід відмітити, що для коректного вимірювання температури, необхідно проводити вимірювання на відстані мінімум 30 см від поверхонь. Для фіксування зони максимального розігрівання повітря, кріплення датчиків повинно відбуватись по центру відносно центра каркасу секції перетворювачів.

Враховуючи особливості розміщення та вимоги до вимірювання – пропонується використовувати датчики ПВТ100-Н4.2.И виробництва фірми «ОВЕН» [2]. Дані датчик являє собою первинний перетворювач (зонд) разом

з нормуючим пристроєм (розрахунковий модуль) і дозволяє вимірювати температуру у діапазоні $-40...+80$ °С, та вологість у межах $0...100\%$. Вимірянні данні можуть конвертуватись у аналогові сигнали типу $4...20$ мА або передаватись у вигляді цифрових сигналів через інтерфейс RS-485 по протоколу Modbus RTU при швидкості $1200...57600$ ьит/ск. Датчик має промислове виконання, рівень пиле-вологозахисту IP65 та передбачає настінне кріплення. Датчик розрахований на роботу при температурах $-40...+80$ °С.

3.4.4 Вимірювання температури теплоносія

Вимірювання температури теплоносія на різних ділянках гідравлічних контурів системи охолодження – необхідно для спостереження ефективністю теплообміну між струмопровідними частинами, внутрішніми теплоносіями та технічною водою. Вимірювання температури технічної води на вході та виході гідравлічних систем СП та ШПС дозволяє оцінювати ефективність та достатність відведення тепла від струмопровідних частин. Вимірювання температури технічної води на прохідних зовнішніх контурах охолодження дозволяє контролювати подачу технічної води з достатньо низькою температурою, а також дозволяє оцінювати достатність відведення тепла.

Встановлення датчику контролю температури технічної води слід проводити на вході зовнішніх прохідних контурів, перед їх розгалуженням. Вимірювання температури технічної води після теплообмінників – слід виконувати на ділянках перед вихідним колектором прохідних контурів. Точки входу та виходу з гідравлічних систем СП та ШПС розміщені у різних частинах агрегату відносно одна одної. Проте, точки входу, до цих гідравлічних систем, розміщені поруч з внутрішніми виходами теплообмінників. Через це, встановлення датчику температури на вході гідравлічних систем СП та ШПС можна виконувати після виходів теплообмінників. Встановлення датчиків на виході гідравлічних систем –

слід виконувати на магістральній ділянці трубопроводу, перед відгалуженням з основними насосами.

Передбачається, що всі встановлені перетворювачі температури будуть однакові, і відповідно до вимог п.2.3 – будуть розраховані на вимірювання температури рідини у межах мінімум $+0...80$ °С при тиску внутрішнього середовища мінімум до 6 бар.

Усі первинні перетворювачі температури рідини повинні розміщуватись за межами контейнеру секції перетворювачів. Тому, їх виконання повинно передбачати герметичний корпус. Метод кріплення повинен передбачати можливість швидкої заміни. Глибина занурення повинна перекивати мінімум 50% висоти перерізу трубопроводу діаметром 100 мм. Через зовнішні розміщення перетворювачів температури – вплив електромагнітних збурень від перетворюючого трансформатора на результуючий сигнал вимірювання може бути досить вагомим. Тому, вказані первинні перетворювачі температури повинні працювати по принципу термометрів опору.

З урахування усіх вимог стосовно вимірювання температур теплоносія, а також розміщення вимірювальних пристроїв – пропонується використовувати термоелектричні перетворювачі опору ДТС105Л-50М.В3.100.МГ виробництва фірми «ОВЕН» [2]. Термоперетворювачі опору даної моделі дозволяють вимірювати температуру рідин та газів у діапазоні – $50...+180$ °С, мають клас точності «В» (0,3 °С) та розраховані на підключення до технологічного процесу з тиском середовища – $0,1...6,3$ МПа. Даний первинний перетворювач має різьбове кріплення з метричною різьбою діаметром 20 мм, та довжину монтажної частини – 100 мм. Чутливий елемент датчика – мідний, має статичну характеристику чутливості – «50М» та три-провідне підключенням до вимірювального пристрою. Чутливий елемент захищений гільзою діаметром 8 мм. Головка та кришка термоперетворювача опору виконана з металу і передбачає кабельний ввід з прокладками, що забезпечують клас пиле-вологозахисту IP65. Передбачена можливість

експлуатації датчика при температурі навколишнього середовища у межах - 30...+80 °С.

3.4.5 Вимірювання тиску теплоносіїв

Вимірювання тиску теплоносіїв, у різних ділянках систем охолодження, необхідно для забезпечення контролю можливості протікання теплоносія та його достатньої кількості. Вимірювання тиску на вході технічної води дозволяє оцінювати достатність надходження та можливість протікання води. Вимірювання тиску на вході та виході гідравлічних систем СП та ШПС допомагає оцінювати протікання теплоносія, а вимірювання тиску після основних насосів – дозволить оцінювати ефективність роботи насосних агрегатів. Окремо, орієнтуючись на тиск між насосами та входами у гідравлічні системи – є можливість контролю протікання теплоносія крізь теплообмінники. Оцінка тиску у кожному окремому контурі охолодження дає можливість спостереження за кількістю та необхідністю дозаправки теплоносія.

Вимірювання тиску на вході технічної води слід виконувати перед розгалуженням прохідних контурів. При цьому, наявне реле тиску – можна зняти за непотрібності. Вимірювання тиску у внутрішніх контурах виконуватиметься на вході, виході та після основних насосах. Встановлення перетворювачів тиску повинно виконуватись після перетворювачів температури. Кріплення перетворювачів повинно виконуватись через різьбове приєднання. Датчики тиску повинні забезпечувати вимірювання тиску мінімум до 10 бар, при температурі середовища мінімум у межах +0...80 °С. Слід відмітити, що проведення автоматизованого контролю тиску після баків розширювачів – недоцільно, так як ці покази ніяк не використовуються в постійній роботі системи охолодження. Тому на тих місцях можна залишити вже присутні показуючі манометри.

Враховуючи усі вимоги – пропонується використовувати датчики тиску S-11 виробництва фірми «WIKА» [3]. При замовленні, обирається

перетворювач з діапазоном вимірювання 0...10 бар та вихідним сигналом у вигляді струму 4...20 мА. Обирається датчик з різьбовим приєднанням типу G1/2 та можливістю роботи з середовищем температурою +0...100 °С. Метод підключення обирається як кабельний. Інші характеристики – обираються як стандартні, пропоновані виробником. Комплект кріплень до технологічного процесу замовляється окремо за каталогом виробника [3].

3.4.6 Вимірювання електропровідності теплоносія

Вимірювання електропровідності теплоносія – актуально у внутрішніх контурах охолодження секцій перетворювачів. Як згадувалось у п.1.6, підвищена іонізація теплоносія збільшує шанс протікання електричного струму через рідину і може привести до пошкодження апаратури. Система де-іонізації, спроектована та встановлена після введення випрямляючого агрегату в його штатну експлуатацію – дозволила частково вирішити це питання. Проте, через відсутність контролю за іонізацією теплоносія – її робота не є оптимальною.

Вимірювання електропровідності рідин та розчинів зазвичай виконується кондуктометрами. Принцип дії даних приладів покладений на електрохімічних властивостях рідин, зокрема у зміні концентрації або речовини у між-електродному просторі.

Прилад вимірювання електропровідності рідини, що встановлюватиметься в контур охолодження секції перетворювачів – повинен забезпечувати можливість детектування провідності у межах 0...500 мкСм/см. Встановлення чутливого елемента кондуктометра слід виконувати перед відгалуженням ланцюга фільтрації.

Враховуючи вимоги до вимірювання та загальні вимоги до встановлення, п.2.1 – пропонується використовувати первинний перетворюючий пристрій ACS-Z2T1G разом з вторинним нормуючим пристроєм АСМ-1Е24000 виробництва фірми «КОВOLD» [4]. Даний первинний перетворювач дозволяє вимірювати електричну провідність у

межах 1...1000 мкСм/см², і має вбудований термометр опору типу pt100. Перетворювач розрахований на різьбове приєднання до технологічного процесу типу G1/4. Первинний перетворювач призначений для роботи з середовищем температурою до +135 °С, та тиском до 16 бар. Вторинний прилад має щитове виконання та оснащений дисплеєм для індикації значення. Вторинний прилад оснащений аналоговим виходом типу 4...20 мА.

3.4.7 Контроль протікання теплоносія у гідравлічних системах

Контроль протікання теплоносія – необхідний для своєчасної ідентифікації засмічення або пошкодження різних ділянок гідравлічної системи. В умовах систем охолодження випрямляючого агрегату, доцільно проводити контроль протікання у прохідних та внутрішніх контурах охолодження.

Контроль протікання теплоносія через зовнішні кола теплообмінників, у прохідних контурах систем охолодження – дозволяє відстежувати засмічення теплообмінників та виток технічної води з трубопроводів. Також, контроль протікання слід проводити і після внутрішніх кіл теплообмінників. Це теж дозволяє контролювати засмічення теплообмінників та виток теплоносія, до-того-ж дозволить перевіряти наявність достатнього рівня циркуляції теплоносіїв.

Окремо слід відмітити необхідність контролю протікання теплоносія крізь гідравлічну систему секцій перетворювачів. Причиною цьому є досить висока розгалуженість гідравлічних ланцюгів, та необхідність підтримки достатнього рівня потоку теплоносія через цю ділянку системи охолодження.

Як згадувалось у п.1.3, контроль потоку теплоносія через гідравлічну систему секції перетворювачів та контури охолодження – вже реалізовано. Проте, для реалізації цієї можливості використовуються досить прості реле потоку, що базуються на механічному принципі ідентифікації достатності потоку. Механічні реле потоку спрацьовують від механічного впливу рідини,

що рухається з певною швидкістю крізь відомий переріз трубопроводу. Основним недоліком даного методу ідентифікації потоку є – необхідність періодичного калібрування, або заміни реле через поступову втрату чутливості.

У нашому випадку, основним критерієм протікання теплоносія – виступатиме його достатня об’ємна витрата. Тому, враховуючи принцип роботи механічних реле потоку та необхідність забезпечення більш тривалого періоду експлуатації без калібрування – рекомендовано замінити механічні реле потоку на більш сучасні вимірюючі прилади, що не містять механічно-рухомих частин.

Враховуючи усі вимоги до вимірювання потоку рідини – пропонується використовувати датчики контролю потоку FCS-G1/2A4P-VRX/24VDC виробництва компанії «TURCK» [5]. Даний датчик відноситься до датчиків занурюваного типу. Робота датчиків контролю потоку заснована на термодинамічному принципі. Вимірювальна проба нагрівається на кілька °С вище щодо середовища потоку. При русі рідини вздовж проби, теплота, згенерована в пробі, відводиться від датчика. Результиуюча температура вимірюється та порівнюється із температурою середовища. Стан потоку кожного середовища може бути отримано шляхом оцінки різниці температур. Даний датчик передбачає роботу у середовищі температурою у межах $-20...+80$ °С і тиском до 100 бар. Датчик має релейний вихід з контактами типу НВ та НЗ. Датчики потоку розраховані на різьбове підключення до технологічного процесу типу G1/2.

3.4.8 Виконавчі механізми

Основними виконавчими механізмами у системах охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму являються насосні агрегати, що забезпечують безперервну циркуляцію теплоносія у внутрішніх контурах охолодження.

Як відомо з п.1.6, кожна з двох систем охолодження включає до свого складу 5 основних насосів виробництва фірми «CNP» [6]. Три багатоступінчасті насосні агрегати CHL20-40LSWSR потужністю 4,4 кВт, що створюють потік 14 м³/год при тиску 5 бар та два багатоступінчасті насосні агрегати CHL2-50LSWSR потужністю 0,55 кВт, що створюють потік 2,5 м³/год при тиску 3 бар. Ці насоси дозволяють підтримувати витрату теплоносіїв контурів охолодження СП та ШПС на рівнях 42 та 5 м³/год.

Пізніше, до контуру охолодження секцій перетворювачів було додано ділянку фільтрації, що містить у своєму складі один насос 1NM06N05M5HWQ1E виробництва фірми «LOWARA» [7]. Цей насос є додатковим і не приймає активної участі у основному процесі циркуляції теплоносія.

Відповідно до п.2.2 – необхідно виконати заміну основних насосних агрегатів. Причому, необхідно передбачити наявність постійного резервного насоса при належному забезпеченні рівня витрати теплоносія.

Відтак, для гідравлічного контуру охолодження секцій перетворювачів – пропонується встановлення трьох насосних агрегатів 15NM06N30T5RVQ1E виробництва фірми «LOWARA» [7]. Кожен окремий насос, при потужності 5,5 кВт, забезпечує об'ємну витрату у 22 м³/год при тиску у 5 бар. Таким чином, два такі насоси забезпечують сумарну витрату у 44 м³/год, а третій насос може бути залишений як резерв. Дані насоси мають різьбове приєднання: Rp 2 зі сторони всмоктування та Rp 1 з напірної сторони.

Для гідравлічного контуру охолодження шин постійного струму – пропонується встановлення двох насосних агрегатів 5NM05N07T5RVQ1E виробництва фірми «LOWARA» [7]. Кожен окремий насос, при потужності 0,7 кВт, забезпечує об'ємну витрату у 5,5 м³/год при тиску у 3 бар. Таким чином, один такий насос забезпечує сумарну витрату у 5,5 м³/год, а другий насос може бути залишений як резерв. Дані насоси мають різьбове приєднання: Rp 1 зі сторони всмоктування та Rp 1 з напірної сторони.

3.4.9 Контроль роботи насосів

Контроль роботи насосів повинен виконуватись як мінімум двома методами для забезпечення швидкої та достовірної перевірки його працездатності. Один з варіантів перевірки правильності роботи насосів – передбачає перевірку наявності достатнього тиску на його виході. Справа в тому, що при роботі насосу – відкривається зворотній клапан, який перешкоджає зворотному протіканню рідини. Якщо насос не працює, то і клапан закривається, і як наслідок – достатній тиск від роботи насосів на цей проміжок не подається. Якщо насосний агрегат починає працювати – він виштовхує клапан, тим самим відкриваючи цю ділянку для правильного потоку рідини, а тиск на цій ділянці стає рівним загальному.

Враховуючи те, що для перевірки роботи насосів, реєстрація точного значення тиску непотрібна, пропонується використовувати реле тиску. Реле будуть спрацьовувати при наявності тиску більшого за його уставку. Відповідно до п.2.3, дані реле повинні витримувати тиск теплоносія до 1 МПа та температурі у межах мінімум +0...80 °С, а також повинні мати різьбове приєднання до технологічного процесу.

Встановлення реле необхідно виконувати у проміжках між виходами усіх насосів та їх зворотних клапанів.

Відповідно до завдань та вимог, що передбачаються для релейних приладів вимірювання тиску – пропонується використовувати реле тиску RSM02 виробництва фірми «WIKА» [8]. При замовленні даного реле, відповідно до загальних вимог, обирається різьбовий тип приєднання G1/4 та нормально розімкнутий вид функції перемикачання. Також, при замовленні, для даних реле обирається діапазон налаштувань 0,5-8 бар, при цьому, максимальний тиск середовища складатиме 80 бар. Дані реле тиску мають клас пиле-вологозахисту IP65 та призначені для роботи з середовищем температурою -20...+80 °С.

4 ПРОЕКТУВАННЯ ШАФИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

4.1 Загальна інформація

Як згадувалось раніше, у рамках пересувного випрямляючого агрегату діє дві окремі системи охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму. За новим проектом систем управління охолодженням – передбачається створення двох незалежних САУ охолодження, що будуть підпорядковані САУ випрямляючого агрегату. Причому, завдання по збору інформації та прийняттю рішень стосовно роботи систем охолодження – розподілятимуться між цими трьома системами.

Як було вказано у п.2.1, виділяється чотири рівні автоматизації. Рівень оператора – автоматизоване робоче місце, через яке оператори зможуть отримувати основну інформацію про стан охолодження. Верхній рівень автоматизації – основний рівень контролю та керування охолодженням струмопровідних частин, реалізований на базі САУ випрямляючого агрегату. Нижній рівень автоматизації – рівень обробки інформації та забезпечення функціонування від кожної окремої системи охолодження, реалізований на базі власних САУ охолодження. Польовий рівень – рівень збору інформації та забезпечення керуючого впливу на технологічний процес, організований на базі первинних перетворювачів та виконавчих механізмів системи охолодження.

Рівень оператора вже реалізований на фізичному рівні і являє собою автоматизоване робоче місце, що, через систему дистанційного управління випрямляючим агрегатом – дозволяє керувати роботою САУ агрегату та отримувати усю необхідну інформацію. Як згадувалось у п.2.1, на рівні оператора потребується доопрацювання лише програмної частини проекту. Внесення змін в технічне забезпечення рівня оператора – не потрібно. Слід відмітити, що керування роботою кожної з двох окремих систем

охолодження СП та ШПС передбачає однакові дії стосовно збору та обробки інформації. Тому, у подальшому, приводитиметься інформація для забезпечення керування однією системою охолодження, за винятком наявних уточнень.

4.2 Верхній рівень автоматизації

Верхній рівень автоматизації охолодження являє собою сукупність програмних та технічних рішень. На цьому рівні виконується збір інформації про температурний стан струмопровідних частин, протікання теплоносія у гідравлічних системах секцій перетворювачів та наявність його витоків у контейнерах СП. Також, вищий рівень автоматизації отримує інформацію про стан роботи обох систем охолодження. На основі зібраної інформації, на цьому рівні автоматизації приймається рішення стосовно запуску та подальшої роботи системи охолодження, дозволу на активну роботу випрямляючого агрегату та його аварійної зупинки у разі виникнення нештатних ситуацій. Уся інформація з цього рівня передається до САУ випрямляючого агрегату, звідки, разом з усією інформацією про стан випрямляючого агрегату – передається на загальний рівень оператора.

Інформація про тепловий стан струмопровідних частин та протікання теплоносія у середині гідравлічної системи СП – отримується напряму від датчиків та первинних перетворювачів. Інформація стосовно роботи кожної системи охолодження – надходить від окремих САУ охолодження. Уся інформація стосовно роботи систем охолодження повинна надходити у вигляді дискретних сигналів, що чітко відповідають за конкретний стан або подію. Усі дискретні сигнали повинні мати рівень напруги 24 В, що відповідатиме значенню логічної одиниці.

У таблиці 4.1 приведено перелік та характеристики сигналів, що отримуються верхнім рівнем автоматизації від датчиків та первинних

перетворювачів. У таблиці 4.2 приведено перелік сигналів, що отримуються верхнім рівнем автоматизації від САУ охолодження нижнього рівня.

Таблиця 4.1 – Вхідні сигнали датчиків та первинних перетворювачів

Умовне позначення	Опис сигналу	Джерело сигналу	Тип сигналу	Діапазон реальних значень	Кількість
T1...T24	Температура струмопровідних частин секції перетворювачів у точці №1...24 в середині контейнера секції перетворювачів	Термоелектричний перетворювач опору АБМ.656111.004 «СТРУМТЕХ»	аналоговий 0...5 В	+0...125 °С	24x1 AI
T25...T28	Температура шин постійного струму у точках №25...28 за межами контейнера секції перетворювачів	Термоелектричний перетворювач опору АБМ.656111.004 «СТРУМТЕХ»	аналоговий 0...5 В	+0...125 °С	4x1 AI
D1...D4	Виток теплоносія за межі гідравлічної системи секції перетворювачів у точці №1...4	Датчик витoku рідини SW007 «NEPTUN»	Дискретний 12В, PNP типу	1 – НВ / 0 - НЗ	4x1 DI
D5	Достатній рівень протікання теплоносія на виході вихідного колектора гідравлічної системи секції перетворювачів	Термодинамічний датчик контролю потоку FCS-GL1/2A4P-VRX/24VDC «TURCK»	Дискретний Перекидне реле НВ / НЗ	1 – НВ / 0 - НЗ	1x1 DI

Таблиця 4.2 – Обмін сигналами з нижнім рівнем автоматизації

Умовне позначення	Опис сигналу	Напрямок передачі	Значення рівня логічної «1»	Значення рівня логічного «0»
O1	Увімкнуті СО	OUTPUT	увімкнуті	-
O2	Вимкнуті СО	OUTPUT	вимкнуті	-
O3	Увімкнуті систему кондиціонування СП	OUTPUT	Увімкнуті	-
I1	Ручний режим роботи СО	INPUT	ручний	автоматичний
I2	СО увімкнена	INPUT	СО увімкнена	СО вимкнена
I3	Аварійна зупинка ВА	INPUT	зупинити ВА	-
I4	Аварійна зупинка СО	INPUT	зупинка СО	-
I5	СО функціонує	INPUT	так	ні
I6	Потребується дозаправка	INPUT	так	ні
I7	Несправність датчика	INPUT	так - 1+	ні - 0
I8	Відмова роботи насоса	INPUT	так - 1+	ні - 0
I9	Аварія	INPUT	так - 1+	ні - 0
I10	Попередження	INPUT	так - 1+	ні - 0
I11	Несправність системи іонообміну	INPUT	так	-
I12	Температура повітря у контейнері СП вище норми	INPUT	так	-
I13	Вологість повітря у контейнері СП вище норми	INPUT	так	-
I14	Температура теплоносія охолодження СП вище норми	INPUT	так	-
I15	Температура теплоносія охолодження ШПС вище норми	INPUT	так	-
I16	Тиск теплоносія СП нижче норми	INPUT	так	-
I17	Порушення протоку теплоносія СП	INPUT	так	-
I18	Засмічення гідравлічної системи СП	INPUT	так	-
I19	Тиск теплоносія ШПС нижче норми	INPUT	так	-
I20	Порушення протоку теплоносія ШПС	INPUT	так	-
I21	Засмічення гідравлічної системи ШПС	INPUT	так	-
I22	Тиск технічної води вище норми	INPUT	так	-
I23	Температура технічної води вище норми	INPUT	так	-
I24	Порушення протікання технічної води СП	INPUT	так	-
I25	Порушення протікання технічної води ШПС	INPUT	так	-
I26	Засмічення теплообмінника СП	INPUT	так	-
I27	Засмічення теплообмінника ШПС	INPUT	так	-

Так-як верхній рівень автоматизації частково пов'язаний з САУ випрямляючого агрегату – його технічна реалізація теж пов'язана з нею. Обладнання системи управління роботою агрегату розміщується у двох шафах: головній шафі управління (ШУ-М) та підрядній (ШУ-S). За роботу програмної складової автоматизації випрямляючого агрегату, зокрема і охолодження, відповідає промисловий контролер – S7-300 виробництва фірми «SIEMENS», розміщений у шафі ШУ-М. Збір інформації про роботу системи охолодження а також тепловий стан струмопровідних частин секції перетворювачів «ЗІРКА» та шин постійного струму №1-4 «+» – виконується через вхідні модулі основного контролера. Збір інформації про роботу системи охолодження а також тепловий стан струмопровідних частин секції перетворювачів «ТРИКУТНИК» та шин постійного струму №5-8 «-» – відбувається через модулі контролера системи віддаленого введення ET200SP, розміщеного у шафі ШУ-S.

Введення аналогових сигналів T1...T28 – вже реалізовано і виконується через модулі аналогового введення SM331 (6ES7331-7NF00-0AB0) [9].

. Дані модулі розраховані на підключення 8 вхідних універсальних каналів аналогового введення типів: +/- 0...5 або 0...10 В, +/- 0...4 або 0...20 мА. Модулі розраховані на вибірку з частотою 20 вимір/с та призначені для використання з контролерами S7-300 та станціями віддаленого введення ET200SP.

Усього використовується 8 таких модулів, по 4 на кожен шафу управління. Сумарна кількість каналів аналогового введення, що виділена на збір інформації про тепловий стан струмопровідних частин однієї СП та чотирьох ШПС – 32 канали. З них, використовується 28 каналів, 4 – залишаються резервними. То-ж можна зробити висновок про достатність каналів аналогового введення.

Для отримання дискретних вхідних сигналів від систем охолодження та дискретних датчиків її секціях перетворювачів – необхідно передбачити 64

канали дискретного введення, по 32 на кожну шафу управління. Для цього, пропонується встановлення додаткових модулів дискретного введення – SM321 (6ES7321-1BL00-0AA0) [9]. Усього пропонується встановити два такі модулі, по одному на кожну шафу управління. Дані модулі дозволять підключити 32 канали дискретного вводу сигналів напругою 24 В. Таким чином вдається забезпечити введення усіх 64 вхідних дискретних сигналів, зокрема, підключення вже наявних сигналів. Усі 10 звільнені канали дискретного вводу – залишаються у резерві САУ випрямляючого агрегату.

Вхідні дискретні сигнали від датчиків потоку теплоносія D1...D4 мають рівень напруги логічної одиниці – 12 В. Через це, для їх підключення до модулів дискретного вводу, необхідно використовувати додаткові релейні пристрої. Для підключення цих датчиків пропонується використовувати реле RSL1PRJU компанії «Schneider Electric» [10]. Дані реле відносяться до проміжних реле перекидного типу і мають один нормально-відкритий та один нормально-закритий контакти. Реле розраховані на спрацьовування від керуючого впливу струмом з напругою 12 В. Усього необхідно встановити 8 таких реле, по 4 на кожну шафу управління.

Вивід дискретних сигналів O1 та O2 вже реалізований на базі модуля виводу дискретних сигналів SM322 (6ES7322-1BH01-0AA0) [9]. Дані модулі дозволяють підключити 16 вихідних дискретних каналів напругою 24 В. Дані модулі не розраховані на підключення великого навантаження і не має гальванічного захисту. Тому, керування вихідними сигналами, що виходять за межі шафи управління – реалізовано через реле RSB2A080BDS компанії «Schneider Electric» [11]. Дані реле мають по дві пари контактів типу нормально-відкритий та нормально-закритий і керуються напругою 24 В. У системі автоматизованого управління випрямляючим агрегатом передбачено два модулі SM322 з підключеними реле RSB2A080BDS, які забезпечують 16 каналів потужного дискретного виводу, по 8 на кожну шафу управління. З них, 14 вже зайняті і 2 – резервні. Реалізацію вихідного сигналу O3 пропонується реалізувати через резервні канали дискретного виводу.

Додаткові модулі введення та виведення встановлюватимуться не продовження рейок кріплення контролера або системи віддаленого вводу та приєднуюватимуться до них. За необхідності, живлення вхідних та вихідних ланцюгів сигналів виконуватиметься від системи живлення САУ випрямляючого агрегату. Підключення сигналів T1...T28 – встановлення додаткових клем не потребує і використовує наявні. Для введення вхідних дискретних сигналів слід встановити додаткові клемні групи. Для виводу дискретних сигналів можна використовувати вже наявні клемові групи з підключеними реле.

4.3 Нижній рівень автоматизації

До складу нижнього рівня автоматизації входять дві окремі САУ охолодження, що являють собою комплекси програмно-технічних рішень. Завдання кожної окремої САУ – збирати інформацію про стан роботи кожної окремої системи охолодження та керувати роботою її виконавчих механізмів. Також, кожна САУ охолодження повинна надавати результуючу інформацію про стан роботи підпорядкованої системи охолодження, у вигляді дискретних сигналів, до верхнього рівня автоматизації.

Отримання первинної інформації про стан роботи підпорядкованої системи охолодження відбувається від датчиків та вимірювальних пристроїв, що розміщуються на польовому рівні автоматизації. Фізично, ці датчики розміщені на елементах системи охолодження та у секції перетворювачів. Обмін інформацією з вищим рівнем автоматизації відбувається через дискретні сигнали з конкретним значенням. Так-як кожна САУ охолодження передбачає місцеві можливості по управлінню та індикації, то має місце певна кількість внутрішніх сигналів, що не надаються на інші рівні автоматизації. Керування роботою виконавчих механізмів, що входять до складу польового рівня автоматизації – виконується шляхом керування їх живленням, що формується під керуванням САУ охолодження.

У таблиці 4.3 приведено перелік та характеристики сигналів, що отримуються від польового рівня автоматизації. У таблиці 4.5 приведено перелік та характеристики внутрішніх сигналів однієї окремої САУ охолодження. Перелік сигналів, що використовується для обміну з верхнім рівнем автоматизації – аналогічний тому, що наведений у таблиці 4.2, за винятком протилежного напрямку їх передачі: вхідні сигнали стали вихідними, а вихідні – вхідними. Перелік та характеристики сигналів обміну між САУ охолодження та верхнім рівнем автоматизації, що входить до складу САУ випрямляючого агрегату – приведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.3 – Вхідні сигнали датчиків та первинних перетворювачів

Умовне позначення	Опис сигналу	Джерело сигналу	Тип сигналу	Діапазон реальних значень	Кількість
1	2	3	4	5	6
A1	Температура технічної води на вході прохідних контурів охолодження	Термоелектричний перетворювач опору ДТС105Л-50М.В3.100.МГ «ОВЕН»	Аналоговий типу RTD характеристика сигналу «50М»	-50...+180 °С	7x1 AI
A2	Температура технічної води після теплообмінника СП				
A3	Температура технічної води після теплообмінника ШПС				
A4	Температура теплоносія на виході гідравлічної системи СП				
A5	Температура теплоносія на вході гідравлічної системи СП				
A6	Температура теплоносія на виході гідравлічної системи ШПС				
A7	Температура теплоносія на вході гідравлічної системи ШПС				
A8	Температура повітря у середині контейнера СП точка 1	Первинний перетворювач вологості та температури з вбудованим нормуючим пристроєм ПВТ100-Н4.2.И «ОВЕН»	Аналоговий +4...20 мА	-40...+80 °С	2x2 AI
A9	Вологість повітря у середині контейнера СП точка 1				
A10	Температура повітря у середині контейнера СП точка 2				
A11	Вологість повітря у середині контейнера СП точка 2				
A12	Тиск технічної води на вході прохідних контурів охолодження	Первинний перетворювач тиску з вбудованим нормуючим пристроєм S-11 «WIKА»	Аналоговий +4...20 мА	0...10 бар	7x1 AI
A13	Тиск теплоносія на виході гідравлічної системи СП				
A14	Тиск теплоносія після основних насосів контуру охолодження СП				
A15	Тиск теплоносія на вході гідравлічної системи СП				
A16	Тиск теплоносія на виході гідравлічної системи ШПС				
A17	Тиск теплоносія після основних насосів контуру охолодження ШПС				
A18	Тиск теплоносія на вході гідравлічної системи ШПС				
D1...D6	Наявність тиску на виході насоса М1...М6	Реле тиску RSM02 «WIKА»	Дискретний Перекидне реле НВ / НЗ	1 – НВ / 0 - НЗ	6x1 DI

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
A19	Електропровідність теплоносія контуру охолодження СП	Первинний перетворювач питомого опору рідини ACS-Z2T1G разом з вторинним приладом АСМ-1Е1000 «КОВОЛ»	Аналоговий +4...20 мА	0...1000 мкСм/см ²	1x1 AI
D7	Достатність протікання теплоносія після теплообмінника СП у контурі охолодження тСП	Термодинамічне реле потоку FCS-GL1/2A4P-VRX/24VDC «TURCK»	Дискретний Перекидне реле НВ / НЗ	1 – НВ / 0 - НЗ	4x1 DI
D8	Достатність протікання теплоносія після теплообмінника ШПС у контурі охолодження ШПС				
D9	Достатність протікання технічної води після теплообмінника СП у прохідних контурах охолодження				
D10	Достатність протікання технічної води після теплообмінника ШПС у прохідних контурах охолодження				

Таблиця 4.4 – Внутрішні сигнали САУ охолодження

Умовне позначення	Опис сигналу	Джерело / Ціль	Напрямок передачі	Значення рівня логічної «1»	Значення рівня логічного «0»
DI1	Увімкнуті СО	Кнопка	INPUT	Увімкнуті	-
DI2	Вимкнуті СО	Кнопка	INPUT	-	Вимкнуті
DI3	Аварійна зупинка ВА	Кнопка	INPUT	Зупинити ВА	-
DI4	Ручний режим роботи СО	Дво-позиційний перемикач	INPUT	Ручний	Автоматичний
DI5	Автоматичний режим роботи СО		INPUT	Автоматичний	Ручний
DI6	Увімкнуті насос	Кнопка	INPUT	Увімкнуті	-
DI7	Вимкнуті насос	кнопка	INPUT	-	Вимкнуті
DI8	Насос М1	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI9	Насос М2	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI10	Насос М3	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI11	Насос М4	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI12	Насос М5	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI13	Насос М6	Кнопка	INPUT	Обрано	-
DI14	Живлення 380 В	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI15	Живлення насоса М1	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI16	Живлення насоса М2	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI17	Живлення насоса М3	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI18	Живлення насоса М4	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI19	Живлення насоса М5	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DI20	Живлення насоса М6	Реле	INPUT	Присутнє	Відсутнє
DO1	Живлення основних насосів	Контактор	OUTPUT	Подати	Зняти
DO2	Увімкнуті насос М1	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO3	Увімкнуті насос М2	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO4	Увімкнуті насос М3	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO5	Увімкнуті насос М4	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO6	Увімкнуті насос М5	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO7	Увімкнуті насос М6	Пристрій пуску	OUTPUT	Увімкнуті	Вимкнуті
DO8	Живлення 380 В	Індикатор	OUTPUT	Присутнє	Відсутнє
DO9	СО функціонує	Індикатор	OUTPUT	Так	ні
DO10	Аварія контролера СО	Індикатор	OUTPUT	Аварія	Норма
DO11	Аварія	Індикатор	OUTPUT	Аварія	Норма
DO12	Попередження	Індикатор	OUTPUT	Попередження	норма
DO13	Насос М1 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO14	Насос М2 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO15	Насос М3 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO16	Насос М4 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO17	Насос М5 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO18	Насос М6 працює	Індикатор	OUTPUT	Працює	Не працює
DO19	Ручний режим роботи СО	Індикатор	OUTPUT	Ручний	Автоматичний
DO20	Контролер працює	Реле	OUTPUT	Зміна стану кожні 10 с	

Таблиця 4.5 – Сигнали обміну з верхнім рівнем автоматизації

Умовне позначення	Опис сигналу	Напрямок передачі	Значення рівня логічної «1»	Значення рівня логічного «0»
O1	Увімкнути СО	INPUT	увімкнути	-
O2	Вимкнути СО	INPUT	вимкнути	-
O3	Увімкнути систему кондиціонування СП	INPUT	Увімкнути	-
I1	Ручний режим роботи СО	OUTPUT	ручний	автоматичний
I2	СО увімкнена	OUTPUT	СО увімкнена	СО вимкнена
I3	Аварійна зупинка ВА	OUTPUT	зупинити ВА	-
I4	Аварійна зупинка СО	OUTPUT	зупинка СО	-
I5	СО функціонує	OUTPUT	так	ні
I6	Потребується дозаправка	OUTPUT	так	ні
I7	Несправність датчика	OUTPUT	так - 1+	ні - 0
I8	Відмова роботи насоса	OUTPUT	так - 1+	ні - 0
I9	Аварія	OUTPUT	так - 1+	ні - 0
I10	Попередження	OUTPUT	так - 1+	ні - 0
I11	Несправність системи іонообміну	OUTPUT	так	-
I12	Температура повітря у контейнері СП вище норми	OUTPUT	так	-
I13	Вологість повітря у контейнері СП вище норми	OUTPUT	так	-
I14	Температура теплоносія охолодження СП вище норми	OUTPUT	так	-
I15	Температура теплоносія охолодження ШПС вище норми	OUTPUT	так	-
I16	Тиск теплоносія СП нижче норми	OUTPUT	так	-
I17	Порушення протоку теплоносія СП	OUTPUT	так	-
I18	Засмічення гідравлічної системи СП	OUTPUT	так	-
I19	Тиск теплоносія ШПС нижче норми	OUTPUT	так	-
I20	Порушення протоку теплоносія ШПС	OUTPUT	так	-
I21	Засмічення гідравлічної системи ШПС	OUTPUT	так	-
I22	Тиск технічної води вище норми	OUTPUT	так	-
I23	Температура технічної води вище норми	OUTPUT	так	-
I24	Порушення протікання технічної води СП	OUTPUT	так	-
I25	Порушення протікання технічної води ШПС	OUTPUT	так	-
I26	Засмічення теплообмінника СП	OUTPUT	так	-
I27	Засмічення теплообмінника ШПС	OUTPUT	так	-

Технічні засоби організації роботи системи автоматизованого управління охолодженням розміщуються у шафі контролю та автоматики системи охолодження. Випрямляючий агрегат включає до свого складу дві окремі системи охолодження, кожна з яких має свою САУ і відповідно свою шафу контролю та автоматики у якій розміщуються її технічні засоби автоматизації

4.3.1 Проектне компонування контролера

Однією з загальних вимог до САУ охолодження була необхідність організації автоматизованого управління на базі мікропроцесорних засобів автоматизації. Враховуючи досить велику кількість сигналів та відносно-простий алгоритм роботи – пропонується використання мікропроцесорного

контролера серії S7-1200 виробництва фірми «SIEMENS» [9]. Дані контролери мають модульну компоновку і можуть містити наступні компоненти:

- центральний процесор – головний модуль, що містить у собі програму роботи системи і керує роботою усіх модулів;
- модулі зв'язку – модулі розширення, що дозволяють збільшити кількість цифрових інтерфейсів зв'язку контролера;
- модулі вводу/виводу – модулі розширення кількості та різновиду вхідних та вихідних каналів.

Основними критеріями для вибору центрального процесора виступає тип живлення контролера та тип вихідних сигналів. У нашому випадку, передбачається живлення від окремого блоку живлення струмом напругою 24 В. Також, у нашому випадку необхідний релейний тип вихідних каналів контролера, так-як потрібна комутація досить великих навантажень.

Відповідно до цього, пропонується використання центрального процесора SIMATIC CPU 1215C з модифікацією DC/DC/RLY (6ES7215-1HG40-0XB0) [9]. Ці процесорні модулі живляться від мережі постійного струму напругою 24 В. Даний процесорний модуль містить на собі:

- 14 каналів дискретного вводу;
- 10 каналів дискретного виводу типу реле «нормально відкритий»;
- 2 канали аналогового вводу типу +0...10 В;
- 2 канали аналогового виводу типу +4...20 мА;
- вбудоване джерело живлення напругою 24 В (мала потужність);
- 2 порти Ethernet 10/100 з підтримкою протоколів обміну PROFINET.

Крім того, дані процесорні блоки підтримують встановлення однієї плати розширення, восьми модулів розширення вводу/виводу та три модулі розширення зв'язку.

Враховуючи інформацію у таблицях 4.3, 4.4 та 4.5, робимо висновок, що для забезпечення усіх потреб САУ охолодження – необхідно:

- 7 каналів аналогового введення типу RTD;

- 12 каналів аналогового введення типу 4...20 мА;
- 33 канали дискретного вводу;
- 47 каналів дискретного виводу.

Причому, необхідно забезпечити мінімальний запас по каналам введення/виведення інформації.

З огляду на потреби у додаткових каналах аналогового та дискретного вводу, а також дискретного виводу – потребується використання додаткових модулів введення/виведення інформації.

Для розширення можливостей введення дискретних сигналів – пропонується використовувати модулі SM1221 (6ES7221-1BH32-0XB0) [9]. Дані модулі розширеного вводу дискретних сигналів дозволяють підключити додаткові 16 каналів дискретного вводу.

Для розширення можливостей виведення дискретних сигналів – пропонується використовувати модулі SM1222 (6ES7222-1BH32-0XB0) [9]. Дані модулі розширеного виводу дискретних сигналів дозволяють підключити додаткові 16 каналів дискретного виводу релейного типу з нормально відкритим контактом.

Для розширення можливостей введення аналогових сигналів струму – пропонується використовувати модулі SM1231 (6ES7231-4HF32-0XB0) [9]. Дані модулі розширеного вводу аналогових сигналів дозволяють підключити додаткові 8 каналів аналогового вводу типу 4...20 мА.

Для розширення можливостей введення аналогових сигналів температури – пропонується використовувати модулі SM1231RTD (6ES7231-SPF32-0XB0) [9]. Дані модулі розширеного вводу аналогових сигналів дозволяють підключити додаткові 8 каналів аналогового вводу типу RTD з характеристикою Cu50 (аналог 50M).

Враховуючи усі потреби, необхідно додатково використовувати: два модулі SM1221, три модулі SM1222, два модулі SM1231 та один модуль SM1231RTD. У таблиці 4.6 приведено сумарну інформацію про компонування вхідних та вихідних сигналів контролера.

Таблиця 4.6 – Компонування контролера

Обладнання тип / назва / позиція	Сигнали							
	Наявні				Використані			
	AI	AI RTD	DI	DO	AI	AI RTD	DI	DO
Процесорний модуль SIMATIC CPU 1215C DC/DC/RLY центральний (позиція 0)	2	-	14	10	0	-	13	10
Модуль дискретного вводу SM 1221: DI 16x 24VDC перший справа (позиція +1)	-	-	16	-	-	-	16	-
Модуль дискретного вводу SM 1221: DI 16x 24VDC другий справа (позиція +2)	-	-	16	-	-	-	4	-
Модуль дискретного вводу SM 1222: DQ 16x Relay, NO, 2 A третій справа (позиція +3)	-	-	-	16	-	-	-	10
Модуль дискретного виводу SM 1222: DQ 16x Relay, NO, 2 A четвертий справа (позиція +4)	-	-	-	16	-	-	-	16
Модуль дискретного виводу SM 1222: DQ 16x Relay, NO, 2 A п'ятий справа (позиція +5)	-	-	-	16	-	-	-	11
Модуль аналогового вводу SM 1231: AI 8x13 bit шостий справа (позиція +6)	8	-	-	-	8	-	-	-
Модуль аналогового вводу SM 1231: AI 8x13 bit сьомий справа (позиція +7)	8	-	-	-	4	-	-	-
Модуль аналогового вводу типу RTD SM 1231 RTD: 8x16 bit восьмий справа (позиція +8)	-	8	-	-	-	7	-	-
Усього наявно в системі	18	8	46	58	-	-	-	-
Усього використано	-	-	-	-	12	7	33	47
Усього в резерві	-	-	-	-	4	1	13	11

Таким чином, ми отримуємо скомпонований контролер, що складається з одного центрального процесора та восьми модулів розширеного вводу/виводу. Слід відмітити, що центральний процесор SIMATIC CPU 1215C підтримує лише вісім модулів розширеного вводу/виводу. Тому подальше розширення за допомогою модулів – неможливе.

4.3.2 Додаткове обладнання

Окрім контролера, у шафу ШКАСО монтується також вторинний перетворювач електропровідності АСМ-1Е1000.

Також, відповідно до вимог п.2.2 та п.2.3 необхідно встановити пристрої плавного пуску та зупинки для основних насосів. Пристрої плавного пуску та зупинки призначені для поступового запуску та зупинки електродвигунів. При виборі пристроїв пуску, необхідно враховувати, що потужність насосів М1...М3 складає по 3 кВт, насосів М5 та М6 – по 0,7 кВт.

Для забезпечення плавного пуску та зупинки насосів М1...М3 – пропонується використовувати пристрої Altistart ATS01N212QN виробництва фірми «Schneider Electric» [12]. Дані пристрої плавного пуску розраховані на керування роботою електродвигунів потужністю до 5,5 кВт, що живляться від трифазної мережі з напругою 380...415 В. Ці пристрої також дозволяють налаштувати максимальну потужність старту та часові проміжки пуску та зупинки. Для насосів М5 та М6 – пропонується використовувати пристрої Altistart ATS01N206QN, що розраховані на потужність до 2,2 кВт.

Окремо, для контролю нормального режиму роботи контролера пропонується використовувати сторожовий таймер. Даний пристрій, залежно від конфігурації, повинен відслідковувати періодичну активність контролера і у разі її відсутності виконувати якусь дію, наприклад – комутувати сигнали. У нашому випадку, у ролі активності виступатиме періодична зміна рівня дискретного сигналу з логічної одиниці у логічний нуль.

Пропонується використовувати універсальний таймер H3DK-M1 AC/DC 24-240 виробництва фірми «OMRON» [15]. Даний прилад отримує вхідний сигнал, напругою 24 В і, залежно від налаштування, виконує перемикання контрольованого ланцюга. Даний прилад оснащений одним перекидним реле, що комутує контрольований ланцюг. Даний таймер дозволяє налаштувати термін спрацювання та подію, після якої почнеться відлік часу.

4.3.3 Організація живлення САУ та її обладнання

На теперішній час, електричне живлення шаф комутації та автоматики системи охолодження виконується трифазним змінним струмом напругою 380 В. Джерелом живлення виступає шафа розподілу живлення власних потреб випрямляючого агрегату – «ШРСН». На виході живлення кожної ШКАСО, у шафі ШРСН встановлено трифазний захисний автомат TeSys GV3P50 виробництва фірми «Schneider Electric» [14]. Даний вимикач розрахований на номінальну силу струму 50 А і потужність 22 кВт при

напругі 400...415 В. Передбачається, що обладнання кожної системи охолодження та її шафи ШКАСО буде споживати максимум 22 ВА сумарної потужності по усім фазам.

Для нової САУ охолодження потрібно виконати окремий розрахунок споживання електричного струму усім основним обладнанням, а також привести категорії напруги живлення. У таблиці 4.7 приведено перелік споживачів та характеристики їх споживання.

Таблиця 4.7 – Основні електричні споживачів ШКАСО

Споживач	Тип живлення	Напруга живлення	Кількість однотипних споживачів	Споживана потужність	
				Один споживач	Усі споживачі
Насос: 15HM06N30T5RVQ1E «LOWARA»	Трифазний змінний струм	380 В	3	5,5 кВА	16,5 кВА
Насос: 5HM05N07T5RVQ1E «LOWARA»	Трифазний змінний струм	380 В	2	0,75 кВА	2,25 кВА
Насос: 1HM06N05M5HVQ1E «LOWARA»	Однофазний змінний струм	220 В	1	0,5 кВА	0,5 кВА
Первинний перетворювач вологості та температури: ПВТ100-Н4.2.И «ОВЕН»	Постійний струм	24 В	2	1,5 Вт	3 Вт
Нормуючий прилад: АСМ-1Е10000 «КОВОЛ»	Постійний струм	24 В	1	13 Вт	13 Вт
Термодинамічне реле потоку: FCS-GL1/2A4P-VRX/24VDC «TURCK»	Постійний струм	24 В	4	2 Вт	8 Вт
Процесорний модуль: SIMATIC CPU 1215C DC/DC/RLY	Постійний струм	24 В	1	12 Вт	12 Вт
Модуль дискретного вводу: SM 1221: DI 16x 24VDC	Постійний струм	24 В	2	2,5 Вт	5 Вт
Модуль дискретного виводу: SM 1222: DQ 16x Relay, NO, 2 А	Постійний струм	24 В	3	8,5 Вт	25,5 Вт
Модуль аналогового вводу: SM 1231: AI 8x13 bit	Постійний струм	24 В	2	1,5 Вт	3 Вт
Модуль аналогового вводу типу RTD: SM 1231 RTD: 8x16 bit	Постійний струм	24 В	1	1,5 Вт	1,5 Вт
Додаткові потреби (електричні ланцюги сигналів)	Постійний струм	24 В	1+		50 Вт
	Змінний струм	380 В / 220 В	6		19,25 кВА
Загальне споживання	Постійний струм	24 В	17+		121 Вт

Відповідно до результатів таблиці 4.7, можна стверджувати, що у проєктованій системі автоматизованого охолодження присутнє споживання як змінного так і постійного струму. Живлення змінним струмом використовується для виконавчих механізмів, що є потужними споживачами. Живлення постійним струмом використовується для контрольно-вимірювальних приладів, керуючої апаратури та електричних ланцюгів сигналів. Окремо слід передбачати можливість підключення додаткових приладів з потужністю до 3 кВт через розетку з напругою 220 В.

На вхід проекрованої ШКАСО приходиме трифазний змінний струм, напругою 380 В. Далі, передбачається, що усі три фази використовуватимуться для живлення виконавчих механізмів. Від фази «А» – виконуватиметься живлення внутрішнього освітлення та розетки 220 В шафи ШКАСО. Від фази «В» – виконуватиметься живлення насосу М4, що споживає однофазний струм напругою 220 В.

Виконання живлення постійним струмом, напругою 24 В, виконуватиметься від фази «С» через блок живлення LRS-150-24 виробництва компанії «Mean Well» [17]. Даний блок живлення забезпечує перетворення однофазного змінного струму з напругою 220 В у постійний струм з рівнем напруги 24 В. Максимальна потужність підключених споживачів блоку живлення – 156 Вт, що з запасом перекриває потреби шафи ШКАСО.

4.3.4 Комуруюче, командне, сигнальне та захисне обладнання

Кожна шафа контролю та автоматики системи охолодження повинна також оснащуватись наступним обладнанням:

- обладнанням комутації, що комутує живлення та сигнали різних електричних ланцюгів;
- командними пристроями, що дозволяють взаємодіяти з САУ охолодження в ручному та автоматичному режимах роботи;
- сигнальним обладнанням, яке сигналізує про основні етапи та події в роботі системи охолодження;
- захисне обладнання, що захищає основного обладнання від пошкоджень при дії електричного струму під час аварійних режимах роботи.

Віл ввідної клемової групи відходить чотири гілки живлення: живлення основних насосів – фаза «А», «В» та «С»; живлення додаткового насоса – фаза «А» та нульовий провідник «N»; живлення освітлення та внутрішньої розетки ШКАСО – фаза «В» та нульовий провідник «N»;

живлення споживачів низької напруги – фаза «С» та нульовий провідник «N»;

На початку лінії живлення основних насосів встановлюватиметься автоматичний вимикач іС60N С 40А 4Р виробництва фірми «Schneider Electric» [14]. Даний автоматичний вимикач розрахований на комутацію чотири-полюсного живлення з напругою 400 В та розмикається при силі струму – 40 А. Додатково, до цього вимикача встановлюватиметься контакт контролю стану іOF від того-ж виробника [14]. Даний блок контакт механічно з'єднується з важелем вимикача і має у своєму складі перекидний контакт типу нормально-відкритий плюс нормально-закритий. Також, додатково до вимикача необхідно встановити незалежний роз'єднувач для можливості автоматичного вимкнення живлення у разі виникнення аварійних ситуацій. Пропонується встановити незалежний роз'єднувач іMX+OF виробництва фірми «Schneider Electric» [14]. Даний роз'єднувач має вбудований перекидний контакт з положеннями нормально-відкритий та нормально-закритий. До внутрішнього виходу нормально нормально-відкритого контакту приєднано реле, що при спрацювання – переводить перекидний контакт в стартове положення. Роз'єднувач механічно з'єднаний з автоматичним вимикачем, і при його увімкненому положенні – приводиться у стан готовності.

Після автоматичного вимикача ланцюга живлення основних насосів слід встановити групу клем, від яких відводиться основне живлення на контактор насосів та береться проба фазної напруги на предмет їх зникнення або невірною чергування підключення.

Для організації контролю фаз – пропонується встановити реле контролю фаз ЕЛ-11 виробництва компанії «РЕЛСІС» [18]. Дане реле призначене для сигналізації при виявленні зникнення однієї або кількох фаз, а також при їх зворотному чергуванні чи зниженні напруги однієї з фаз. Реле розраховано на струм напругою до 400 В. Реле має два контакти, нормально-відкритий та нормально-закритий, для комутації електричних ланцюгів під

час його спрацювання. Входи реле контролю фаз потрібно захищати від короткого замикання. Для цього, пропонується використовувати плавкі вставки РС-1 на силу струму 1 А разом з клемовим блоком 281-611 виробництва фірми «WAGO» [19].

У якості контактора автоматичної комутації живлення основних насосів – пропонується використовувати електромагнітний контактор ПМЛ-3160ДМ з додатковим блоком контактів виробництва фірми «Etal» [20]. Даний контактор розрахований на комутацію триполюсних ланцюгів напругою 400 В при силі струму 40 А, що дорівнює потужності 18 кВт. Контактор оснащений додатковим блоком контактів типу нормально-відкритий та нормально-закритий. Активація контактора відбувається напругою 220 В. На виході контактора встановлюється клемова група, від якої іде розподіл живлення на кожний окремий основний насос.

Передбачається, що контроль пуску та зупинки кожного основного насосу виконується пристроями плавного пуску/зупинки. Проте, для захисту самих насосів від перевантаження та короткого замикання, а також для реалізації можливості вимкнення кожного окремого насоса – перед кожним пристроєм плавного пуску слід встановлювати автоматичні вимикачі. Причому, кожен окремий вимикач повинен розраховуватись на захист від перевищення максимально-допустимого струму його насоса. Відтак, для захисту насосів М1...М3 рекомендується використовувати автоматичний вимикач GV2-P20 з комбінованим роз'єднувачем виробництва фірми «Schneider Electric» [13]. Дані вимикачі мають два типи роз'єднувачів: електромагнітний та тепловий. Вимикачі розраховані на комутацію триполюсного живлення напругою 380...600 В та потужності 7,5 кВт для напруги 400 В. Для насосів М5 та М6 рекомендується використовувати автоматичний вимикач GV2-P08 з комбінованим роз'єднувачем виробництва фірми «Schneider Electric» [13]. По основним характеристикам та принципом роботи, даний вимикач є аналогічним GV2-P20, за винятком потужності комутуваного струму, що складає 1,1 кВт для напруги 400 В. Усі автоматичні

вимикачі основних насосів повинні оснащуватись додатковими блок-контактами GVAD0110 від того-ж виробника [13]. Дані блок-контакти механічно з'єднуються з вимикачами і забезпечують одночасне перемикання своїх контактів у те положення, що і вимикачі. Дані блок контакти мають у своєму складі нормально-відкритий та нормально-закритий контакт. Блок-контакти використовуватимуться для сигналізації стану вимикачів живлення насосів.

Подача живлення на додатковий насос М4 виконується від фази «А». Для запуску насосу, через його малу потужність на низький вплив на загальну циркуляцію теплоносія – пристрій плавного пуску не використовується через невиправданість. Виконання пуску та зупинки насосу рекомендовано проводити звичайним реле. Для цього, пропонується використовувати реле RG25-1022-28-1024 виробництва фірми «RELPOL» [16]. Дане реле оснащене двома нормально-відкритими контактами для комутації ланцюгів живлення напругою 220 В та силою струму 25 А. Комутаційна напруга керуючого ланцюга – 220 В. Перед реле, по лінії фази встановлюється автоматичний вимикач А9F7410 на струм 4А з додатковим блоком контактів IQF [14]. Автоматичний захищає насос М4 від перевантаження, а додатковий блок-контакт механічно з'єднується з вимикачем та сигналізує про його стан.

Для реалізації можливості пуску насосів у ручному режимі їх роботи – передбачається використання реле R2N-2012-23-1024-WTLD з гніздом GZT2 виробництва фірми «RELPOL» [16]. Дані реле оснащені двома перекидними контактами, що розраховані на комутацію ланцюгів живлення напругою до 220 В та силою струму 12 А. Напруга ланцюга керування реле становить – 220 В. Крім того, такі ж реле використовуються для сигналізації стану живлення 24 В.

Як згадувалось раніше, живлення внутрішнього освітлення та розетки шафи ШКАСО виконується від фази «В». Підключення цих елементів повинно відбуватись паралельно. Для їх захисту встановлюється

автоматичний вимикач A9F74102 виробництва фірми «Schneider Electric» [14], що розрахований на однополюсний струм силою 2А.

Живлення блоку живлення напруги 24 В відбувається від фази «С» та нейтрального провідника «N». Захист та можливість відключення – пропонується забезпечувати автоматичним вимикачем A9F79206 виробництва фірми «Schneider Electric» [14], Даний вимикач призначений для комутації двополюсних ланцюгів живлення напругою до 400 В та силою струму до 6 А.

Для організації можливостей місцевого управління та сигналізації – необхідне встановлення командних пристроїв та світлових індикаторів. Пропонується використовувати командні пристрої та світлові індикатори виробництва компанії «EATON» [21]. Командні пристрої та індикатори даного виробника мають модульну конструкцію і зазвичай складаються з зовнішнього елемента, адаптера кріплення та сигнальних або контактних блоків. У таблиці 4.8 приводиться перелік необхідних командних та сигнальних пристроїв, їх тип, призначення в ШКАСО охолодження та компоновка.

Таблиця 4.8 – Командні та сигнальні пристрої

Призначення в ШКАСО	Зовнішній блок		Адаптер кріплення	Внутрішній елемент			
	маркування	опис	Маркування	маркування	опис	тип	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8
Кнопка: «Увімкнути СО»	M22-D-G	Головка кнопки, зелена, без фіксації, без підсвітки	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
Кнопка: «Вимкнути СО»	M22-D-R	Головка кнопки, червона, без фіксації, без підсвітки	M22-A	M22-K01	Блок-контакт	нормально-закритий	1
Кнопка: «Аварійна зупинка ВА»	M22-PVT	Кнопка аварійної зупинки «грибкова», відміна фіксації поворотом, червоний колір	M22-A	M22-CK11	Блок-контакт	нормально-закритий + нормально-відкритий	2
Перемикач: «Режим роботи СО»	M22-WRK	Головка двопозиційного перемикача, з фіксацією	M22-A	M22-CK11	Блок-контакт	нормально-закритий + нормально-відкритий	2
Індикаторна лампа «380 В»	M22-L-Y	Головка індикаторної лампи, жовта	M22-A	M22-LED-Y	Світлодіодний елемент	Жовтий, 24 В	1
Індикаторна лампа «СО функціонує»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Індикаторна лампа «Насос М1 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Насос М2 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Насос М3 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Насос М4 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Насос М5 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Насос М6 працює»	M22-L-B	Головка індикаторної лампи, синя	M22-A	M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Синій, 24 В	1
Індикаторна лампа «Попередження»	M22-L-Y	Головка індикаторної лампи, жовта	M22-A	M22-LED-Y	Світлодіодний елемент	Жовтий, 24 В	1
Індикаторна лампа «Аварія»	M22-L-R	Головка індикаторної лампи, червона	M22-A	M22-LED-R	Світлодіодний елемент	Червоний, 24 В	1
Індикаторна лампа «Аварія ПЛК»	M22-L-R	Головка індикаторної лампи, червона	M22-A	M22-LED-R	Світлодіодний елемент	Червоний, 24 В	1
Індикаторна лампа «Ручний режим»	M22-L-Y	Головка індикаторної лампи, жовта	M22-A	M22-LED-Y	Світлодіодний елемент	Жовтий, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М1»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М2»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М3»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М4»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М5»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «обрати насос М6»	M22-DL-B	Головка кнопки, синя, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-B	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «Увімкнути насос»	M22-DL-G	Головка кнопки, зелена, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K10	Блок-контакт	нормально-відкритий	1
				M22-LED-G	Світлодіодний елемент	Зелений, 24 В	1
Кнопка: «Вимкнути насос»	M22-DL-R	Головка кнопки, червона, без фіксації, з підсвіткою	M22-A	M22-K01	Блок-контакт	нормально-закритий	1
				M22-LED-R	Світлодіодний елемент	Червоний, 24 В	1

5 РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Схема інформаційних та матеріальних потоків

Першим етапом у створенні конструкторської документації виступає розробка схеми інформаційних та матеріальних потоків проекрованої системи автоматизації. Дана схема необхідна для графічного опису усіх процесів взаємодії між об'єктом автоматизації та різними його системи управління. На даній схемі повинні відображатись наступні елементи:

- об'єкт автоматизації;
- усі рівні автоматизації;
- матеріальні потоки, що надходять та відходять від об'єкта автоматизації, або розподіляються між його частинами;
- інформаційні потоки, що пов'язують різні рівні автоматизації.

У нашому випадку, об'єктом автоматизації виступають системи охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму. Враховуючи ідентичність їх будови і організацію управління та автоматизації – виконання схеми інформаційних та матеріальних потоків слід виконувати для однієї з систем охолодження. З тим розрахунком, що для другої – вказуються назви відмінних структурних елементів, а також, робиться помітка про схожість цих креслень.

Відповідно до інформації з п.3.1, на схемі вказуються: усі складові частини чотирьох рівнів автоматизації охолодження; потоки теплоносія між частинами польового рівня автоматизації; дискретні та аналогові сигнали обміну між вищим, нижчим та польовим рівнями автоматизації; сигнали цифрового зв'язку між вищим та операторським рівнями автоматизації, а також блок системи дистанційного керування, через який виконується цей зв'язок; Повний вигляд розробленої схеми матеріальних та інформаційних потоків зображений на кресленні «ІННІ КРБ 21471.001 СІП».

5.2 Функціональна схема автоматизації

Створення функціональної схеми автоматизації виконується на основі інформації отриманої у розділі 3. Ціль функціональної схеми автоматизації – відображення повного складу технічних засобів автоматизації, що використовуються для збору інформації та здійснення регулюючого впливу на технологічний процес. Функціональна схема автоматизації включати до свого складу наступні елементи:

- фактичну або умовну схему будови об'єкту автоматизації, чи приблизне розміщення його основних структурних елементів та матеріальних потоків;
- технічні засоби автоматизації, що впливають на технологічний процес;
- таблицю з інформацією про шафи автоматизації та розміщене там обладнання, що впливає на технологічний процес;
- інформацію про зв'язки між технологічними засобами автоматизації та шафами управління технологічним процесом.

Враховуючи ідентичність будови і організацію управління та автоматизації систем охолодження – виконання функціональної схеми автоматизації слід виконувати для однієї з систе. З тим розрахунком, що для другої – вказуються назви відмінних структурних елементів, а також, робиться помітка про схожість цих креслень. У нашому випадку, на кресленні відображається структурна будова: системи охолодження, шин постійного струму та секції перетворювачів. У таблиці характеристики шаф управління вказується ШКАСО та ШУ відповідної системи охолодження. Поділ усіх сигналів виконуватиметься відповідно до трьох груп розміщення. Окремо наводиться таблиця з переліком усього технічного обладнання, що організовує збір інформації та створює виконавчий вплив на технологічний процес. Повний вигляд розробленої функціональної схеми автоматизації зображений на кресленні «ІННІ КРБ 21471.001 ФСА».

5.3 Принципова електрична схема

На основі інформації з розділів 3 та 4 – виконується розробка принципово-електричних схем шаф управління та автоматизації технологічним процесом охолодження. На принциповій електричній схемі відображається схема електричних зав'язків між різним обладнанням у шафах управління технологічним процесом. При цьому, враховується лише електрична взаємодія між цим обладнанням, без урахування фізичного розміщення, типів та характеру з'єднання обладнання у шафах управління.

Як і в минулих схемах, виконання принципово-електричних схем виконуватиметься для однієї з систем охолодження.

У нашому випадку, необхідне створення електричних схем для обладнання, що розміщується у середині шафи контролю та автоматики системи охолодження, а також шафи управління випрямляючим агрегатом. Враховуючи ідентичність ШКАСО, для обох систем охолодження виконується одна принципово-електрична схема ШКАСО. Для обладнання організації управління охолодженням, що розміщується у шафах управління випрямляючим агрегатом – виконується дві окремі електричні схеми, що додаються до наявного проекту цих шаф, адже є їх доповненням. Повний вигляд розробленої принципової електричної схеми живлення ШКАСО зображений на кресленні «ІННІ КРБ 21471.001 СЕП». Принципово-електричні схеми на обладнання, що розміщується у шафах управління випрямляючим агрегатом – у даному проекті – не приводяться.

5.4 Принципова електрична схема живлення

Розробка принципово-електричної схеми живлення необхідна для графічного відображення усіх джерел живлення системи автоматизації та її основних споживачів. Дана схема не показує повної електричної будови системи автоматизованого управління. На даній схемі зображаться: джерела

живлення, основні електричні споживачі та основі комутуючі пристрої на ділянках їх живлення. У нижній частині схеми зображається загальна характеристика електроспоживання усіх елементів.

Живлення різних об'єктів випрямляючого агрегату, у тому числі і системи автоматизованого управління охолодженням – виконується від шафи розподілу власних потреб, що отримує та розподіляє живлення по різних ділянках агрегату. Виконання принципово-електричної схеми потребується лише для нових споживачів. Тому, виконання даної схеми для обладнання шаф управління – не потребується через відсутність потреб у зміні їх живлення. Принципово-електрична схема живлення виконується для двох шаф ШКАСО та їх потужних споживачів. Повний вигляд розробленої принципової електричної схеми живлення зображений на кресленні «ІННІ КРБ 21471.001 СЕПЖ».

5.5 Схема зовнішніх підключень

Схема зовнішніх підключень необхідна для відображення усіх електричних зав'язків між окремими структурними блоками системи автоматизації. Дана схема виконується на основі принципово-електричних схем, функціональної схеми автоматизації та інформації з розділів 3 та 4. На даній схемі відображаються усі зовнішні електричні підключення шаф управління та зовнішнього технологічного обладнання.

Повний вигляд розробленої схеми зовнішніх підключень зображений на кресленні «ІННІ КРБ 21471.001 СЗП».

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

6.1 Поточна економічна ефективність

Головними економічними причинами впровадження нової системи автоматизованого регулювання охолодження виступають:

- необхідність зменшення кількості аварійних зупинок агрегату, що можуть призводити до утворення неліквідної продукції у печах графітування через порушення режиму кампанії графітування;
- потреба у реалізації додаткових можливостей роботи у ручному режимі, що необхідна для примусового охолодження при аварійних зупинках агрегату;
- необхідність мінімізації часу простою випрямляючого агрегату при виявленні та ліквідації аварій.

У таблиці 6.1 приведена інформація стосовно роботи випрямляючого агрегату та виконання процесів графітування за період 01.01.2020-31.12.2020.

Таблиця 6.1 – Робота ділянки прямої графітизації у 2020 році

Середня характеристика однієї кампанії графітування						
Тривалість	Кількість Оброблених виробів	Затрати енергії	Фінансові затрати на одну кампанію	Очікуваний прибуток з повністю готових виробів	Фінансові затрати на виробництво до етапу графітування	Вартість матеріалу виробу без обробки
28 годин	20 одиниць	350 МВт	180000 грн.	4360000 грн	270000 грн.	90000 грн.
Усі проведені кампанії графітування						
Кількість Та загальна тривалість	Кількість Оброблених виробів	Затрати енергії	Фінансові затрати на одну кампанію	Очікуваний прибуток з повністю готових виробів	Фінансові затрати на виробництво до етапу графітування	Вартість матеріалу виробу без обробки
171 кампанія 4788 годин	3420 одиниць	59850 МВт	30,78 млн. грн.	745,56 млн. грн	46,17 млн. грн.	15,39 млн. грн.

Відомо, що протягом вказаного періоду було 38 випадків аварійної зупинки агрегату, 26 з котрих – пов'язані з аваріями систем охолодження.

Результатами усіх зупинок була повна втрата продукції, що привело до грошових витрат у розмірі 20,5 млн. грн, 14,4 з яких – втрати від аварійної зупинки через аварії систем охолодження.

Середня сумарна тривалість ліквідації наслідків однієї аварії складала 36 годин, за умови наявності необхідних запчастин. Враховуючи, що середні проміжки між кампаніями становлять 24 години – робимо висновок, що через аварії систем охолодження втрачено можливість проведення приблизно 30 кампаній графітування, що призвело до додаткової втрати прибутку у розмірі 130,8 млн грн. Загальна сума витрачених коштів на закупівлю та ремонт обладнання випрямляючого агрегату, за період з 01.01.2020 по 31.12.2020 року, склала 5,4 млн. грн. Причому 2,1 млн. пішов на заміну пошкодженого обладнання випрямляючого агрегату, що сталося під час аварій систем охолодження.

Сумарні фінансові збитки від аварійної зупинки через аварії систем охолодження, за 2020 рік, склали – 150,6 млн грн, або 1,05 % від загального очікуваного прибутку за даний період часу.

6.2 Розрахунок витрат на створення САУ охолодження

Витрати на створення САУ охолодження (V_1) передбачають фінансові витрати на: проектування технологічного та технічного рішень ($V_{\text{п}}$), закупівлю необхідного обладнання (V_0), а також витрати на монтаж та пусканалагоджувальні роботи ($V_{\text{м}}$), див. формулу 6.1.

$$V_1 = V_{\text{п}} + V_0 + V_{\text{м}} = \text{тис. грн.} \quad (6.1)$$

До витрат на проектування відносяться: витрати на проектування технічного рішення ($V_{\text{пт}}$), витрати на створення програмного забезпечення усіх рівнів автоматизації ($V_{\text{пп}}$) та витрати на розробку експлуатаційної документації ($V_{\text{пе}}$), див формулу 6.2.

$$V_{\Pi} = V_{\text{пт}} + V_{\text{пп}} + V_{\text{пе}} = \text{тис. грн.} \quad (6.2)$$

Якщо вважати, що для проектування, програмування та монтажу системи залучаються різні групи людей, то затрати на дані етапи можна рахувати як оплату праці працівників. У таблиці 6.2 приводиться кількість етапів розробки з їх характеристикою. У таблиці 6.3 приведено аналіз оплати найманої праці, залученої до реалізації проекту.

Таблиця 6.2 – Етапи проектування, програмування та монтажних робіт

Етап	Тривалість у місяцях												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Розробка технічного завдання	■												
Розробка рішення та створення замовної специфікації		■	■										
Подача заявок та очікування надходження обладнання				■	■	■	■						
Розробка програмного забезпечення				■	■	■	■	■					
Корегування програмного забезпечення на реальному обладнанні									■	■	■		
Розробка експлуатаційної документації			■	■	■	■	■						
Збір шаф управління									■				
Внутрішня наладка										■			
Польовий монтаж обладнання												■	■
Пусконаладжувальні роботи												■	■
Введення в експлуатацію												■	■

Таблиця 6.3 – Затрати на реалізацію

Етап	Витрати часу	Кількість задіяних працівників	Місячна плата працівників	Загальні витрати на етап
Проектування рішення	7 місяців	2	25000 грн.	350000 грн.
Розробка програмного забезпечення	7 місяців	2	15000 грн.	210000 грн.
Розробка експлуатаційної документації	5 місяців	4	12000 грн.	240000 грн.
Монтаж та пуско-налагодження	4 місяці	4	15000 грн.	240000 грн.

Загальна вартість обладнання розраховується як сумарна вартість усіх компонентів системи, що перераховані у замовній специфікації і складає – 1,35 млн. грн.

Звідси отримуємо:

$$V_{\pi} = 350 + 210 + 240 = 800 \text{ тис. грн};$$

$$V_1 = 800 + 1350 + 240 = 2390 \text{ тис. грн.}$$

Додатково, повинні закладатись витрати на комплектування запасного набору технічних засобів, для їх швидкої заміни ($V_{зін}$). До таких засобів відноситься обладнання, перераховане у специфікації ЗІП і складає – 450 тис грн.

Таким чином: $V_1 = 2390 + 450 = 2,84$ млн. грн.

6.3 Експлуатаційні витрати

Експлуатація нової спроектованої САУ охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму – передбачає експлуатаційні витрати на функціонування системи (V_2). До експлуатаційних витрат можна віднести: витрати на споживання електроенергії (V_e), витрати на оплату праці найманих працівників ($V_{\text{нп}}$) та обслуговуючого персоналу ($V_{\text{оп}}$), дивись формулу 6.3. Усі показники розраховуватимуться за річний період експлуатації.

$$V_2 = V_e + V_{\text{нп}} + V_{\text{оп}} = \text{тис. грн.} \quad (6.3)$$

Орієнтовні річні витрати електроенергії можна розрахувати як суму вартості спожитої електроенергії під час активної роботи систем охолодження та простою агрегату, дивись формулу 6.4. За приклад графіку експлуатації випрямляючого агрегату – приймаємо інформацію з таблиці 6.1, додаючи розрахований робочий час, що втрачений на ліквідацію аварій.

$$V_e = \left((T_{\text{простою}} \cdot E_{\text{простою}}) + (T_{\text{роботи}} \cdot E_{\text{роботи}}) \right) \cdot VK = \text{тис. грн.} \quad (6.4)$$

де: V_e – витрати на електроспоживання САУ охолодження у тис. гривень;
 VK – вартість 1 кВт електроенергії для підприємства = 0,0015 тис. грн;
 $T_{\text{простою}}$ – час простою випрямляючого агрегату у годинах;
 $E_{\text{простою}}$ – електроспоживання САУ охолодження під час простою у кВт/годин;
 $T_{\text{роботи}}$ – час активної роботи випрямляючого агрегату у годинах;
 $E_{\text{роботи}}$ – електроспоживання САУ охолодження під час активної роботи у кВт/годин.

Показники споживання САУ охолодження – отримуємо як загальне споживання обох САУ з принципової електричної схеми живлення. Споживання у моменти простою агрегату – розраховується як загальне споживання без урахування споживання усіх насосів.

Як наслідок, отримуємо:

$$V_e = \left((3132 \cdot 0,125) + (5628 \cdot 19,375) \right) \cdot 0,0015 = 164,157 \text{ тис. грн.}$$

У нормальному режимі роботи, спроектована САУ охолодження передбачає організацію лише періодичного спостереження за її роботою. Дані функціональні обов'язки пропонується покласти на оператора випрямляючого агрегату. Тому оплата праці найманих працівників становитиме певний відсоток до наявного окладу оператора випрямляючого агрегату, При виявленні аварійних ситуацій, на оператора покладаються певні обов'язки по реагуванню на ці ситуації. Тому, пропонується нараховувати додаткові 10% до окладу оператора випрямляючого агрегату.

На даній ділянці графітування, передбачається залучення чотирьох операторів випрямляючого агрегату з годинною ставкою 85 грн/год. Графік

їх роботи передбачає роботу по змінах, тривалістю 8 годин. Таким чином, витрати на найманих працівників можна розрахувати по формулі 6.5.

$$V_{\text{нп}} = C \cdot 24 \cdot 365 \cdot \% = \text{тис. грн.} \quad (6.5)$$

де: C – годинна ставка = 0,085 тис. гривень;

$\%$ – відсоткова надбавка.

Таким чином отримуємо:

$$V_{\text{нп}} = 0,085 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10\% = 74,46 \text{ тис. грн.}$$

Використання роботи обслуговуючого персоналу та ремонтних бригад передбачається використовувати при виникненні та ліквідації аварійних ситуацій на випрямляючому агрегаті. На обслуговуванні випрямляючого агрегату задіяно групу з 10 спеціалістів, що працюють за звичайним графіком – 40 годин на тиждень. Годинна ставка кожного робітника становить 50 гривень на годину. Пропонується виконувати доплату у розмірі 10% кожному робітнику за додаткові обов'язки по обслуговуванню САУ охолодження. Річний розрахунок представлено у формулі 6.6.

$$V_{\text{оп}} = C \cdot K \cdot 40 \cdot 52 \cdot \% = \text{тис. грн.} \quad (6.6)$$

де C – годинна ставка = 0,05 тис. гривень;

K – кількість працівників групи;

$\%$ – відсоткова надбавка.

Таким чином отримуємо:

$$V_{\text{оп}} = 0,05 \cdot 10 \cdot 40 \cdot 52 \cdot 10\% = 104 \text{ тис. грн.}$$

Підставивши усі отримані результати у формулу 6.3 – отримуємо:

$$B2 = 164,2 + 74,5 + 104 = 342,7 \text{ тис. грн.}$$

6.4 Економічні втрати від простою при впровадженні

Монтаж та налагодження роботи нових САУ охолодження передбачає виведення з експлуатації наявних систем. Через це, експлуатація агрегату стане неможливою. Відповідно до інформації з п.6.1 та п.6.2 – на польові монтажні роботи виділяється 2 місяці. Протягом цього періоду експлуатація випрямляючого агрегату буде неможливою і як наслідок проведення кампаній графітизації теж неможливе. Це призведе до середніх втрат у розмірі – 124,35 млн. грн (B3).

6.5 Загальний економічний ефект від спроектованої САУ

Передбачається, що використання нових систем автоматизованого охолодження дозволить звести кількість аварійних зупинок агрегату мінімум на 70%. Крім того, впровадження нових методів діагностування та управління дозволить суттєво скоротити час простою на обслуговуванні агрегату теж на 70». Тобто передбачається додаткове отримання прибутку у розмірі 105,42 млн. грн.

Загальні витрати складатимуть – 127,19 млн. грн.

При таких умовах, розрахунковий період окупності складе:

4

$$T_{\text{окуп}} = 127,19 / (105,2 - 0,3427) = 1,2 \text{ роки (14 місяців).}$$

Подальше зростання прибутку очікується на рівні +1% річного прибутку.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Основі фактори небезпеки

Ділянка випрямляючого агрегату разом з візком стискання колон заготовок займає половину від загальної цехової площі і частково відділена від ділянки печей графітування. На даній ділянці присутні наступні небезпечні фактори:

- присутність рухомих частин установок та самохідних агрегатів;
- постійно працююче кранове обладнання;
- постійне транспортування вантажів по приміщенню цеху;
- наявність відкритих струмопровідних частин, напругою до та більше 1000 В;
- наявність внутрішніх ліній живлення з напругою 10 кВ;
- висока ймовірність отримання смертельного ураження струму поблизу активно працюючого обладнання;
- постійна наявність струмопровідного графітового пилу у повітрі та на поверхнях;
- присутність великої кількості систем водопостачання поблизу струмопровідних частин.

Також, на ділянці випрямляючого агрегату печей прямої графітизації діють наступні шкідливі фактори:

- високе пилоутворення;
- висока концентрація шкідливих речовин у повітрі;
- підвищена температура повітря у деякі періоди року;
- значний рівень шуму від обладнання;
- значний рівень вібрації від обладнання;
- сильний електромагнітний вплив.

Головним небезпечним чинником виступає висока постійна концентрація дрібнодисперсного графітового пилу. Присутність пилу може

призводити до ураження очей та легеневої системи. Також даний пил може спричиняти алергічну реакцію шкіри. Присутній високий шанс отримання специфічних професійних захворювань.

Висока концентрація хімічних речовин сірководневого походження – може призводити до утворення сірчано-кислотних речовин у повітрі. Потрапляння таких речовин на слизові оболонки, шкіру або інші частини тіла людини – може призводити до появи специфічних кислотних опіків та інших захворювань.

Досить шкідливим виступає шум від працюючого обладнання. Основними джерелами шуму виступають чисельні насосні агрегати та компресорна станція пристрою стискання колон, а також трансформатор та насоси випрямляючого агрегату. Тривале знаходження у зоні впливу джерел шуму призводить до зниження гостроти слуху та зменшення уваги до слабких звукових сигналів.

Крім шуму, гідравлічне обладнання виступає джерелом значних вібраційних навантажень. Тривалий вплив вібрацій з частотою 50...100 Гц може призводити до порушення роботи м'язів та ускладнення координації рухів.

У теплі пори року, через активну роботу печей графітування та теплове виділення від струмопровідних частин – має місце підвищення температури повітря. У деяких місцях ділянки випрямляючого агрегату, температура повітря може перевищувати температуру на вулиці на 6...8 °С. Тривалий вплив підвищеної температури може спричиняти теплові запаморочення. Крім того, через високу забрудненість повітря – досить великий шанс отримати удущення. До-того-ж висока температура зменшує ефективність праці.

Суттєву небезпеку становить електромагнітне випромінення від струмопровідних частин агрегатів та ліній електричного живлення. Тривалий вплив електромагнітного опромінення, високої інтенсивності може призводити до серйозних порушень роботи центральної нервової системи.

Зокрема: порушення пам'яті, втрата концентрації, зниження реакції, втрата сну, і т.ін.

Враховуючи сукупність небезпечних та шкідливих факторів – дану ділянку виробництва слід відносити до особливо небезпечних закритих приміщень.

7.2 Заходи з поліпшення умов праці

Середній рівень шуму на ділянці випрямляючого агрегату складає 65...70 дБ, при нормі у 45 дБ. В якості рішень по боротьбі з шумом на ділянці випрямляючого агрегату пропонуються засоби і методи колективного захисту.

До організаційно методів зниження шуму можна віднести використання раціональних режимів праці та відпочинку робітників. Для зменшення різноманітних впливів – пропонується впровадження 15-ти хвилинних перерв на кожні дві години роботи. Використання таких перерв дозволяє відновити увагу та заохочувати працівника до подальшої праці.

До капітальних методів боротьби з шумом відноситься застосування шумозахисних зон, шумоізоляції кімнат пультових приміщень, відпочинку та господарських приміщень.

Для мінімізації впливу підвищеної температури повітря – пропонується встановлення систем кондиціонування приміщень, у яких знаходиться робочий персонал ділянки. Крім того, усі виходи повинні досить щільно замикатись, для перешкоджання витоку охолодженого повітря. Також, повинно забезпечуватись додаткове надходження свіжого повітря.

Для часткового захисту від пилу та хімічних речовин, що містяться у повітрі передбачається активне використання засобів індивідуального захисту. А саме: маски типу FFP2, окулярів, костюму та рукавиць.

7.3 Умови праці

7.3.1 Мікроклімат

На ділянці випрямляючого агрегату передбачається створення комфортного мікроклімату, який забезпечує нормальні умови роботи персоналу. При підвищеній температурі повітря та інтенсивності теплового випромінювання знижується продуктивність праці. Крім того, несвіжість повітря може призводити до появи сонливості та розосередження уваги.

Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні приміщень згідно з ДСН 3.3.6-042-99 зазначені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C				Відносна вологість (%) на робочих місцях – постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек) на робочих місцях – постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період року	Важка III	19	20	13	12	75	Не більше 0,5
Теплий період року	Важка III	26	28	15	13	75 – при 24°C і нижче	0,6-0,5

Оптимальні показники мікроклімату згідно з ДСН 3.3.6-042-99 зазначені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Оптимальні показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху, м/сек
Холодний період року	Важка III	16-18	60-40	0,3
Теплий період року	Важка III	18-20	60-40	0,4

7.3.2 Вентиляція повітря

Вентиляція слугує для забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря організовано та регулярно замінюючи забруднене повітря на чисте і свіже.

Для забезпечення аерації, яка здійснюється за рахунок теплового та вітрового тисків, приміщення обладнано припливними отворами та аераційним ліхтарем.

Швидкість руху повітря це переміщення повітряних ма, що забезпечує обмін повітря в приміщеннях, який не повинен перевищувати 4-8 кратного об'єму приміщення. Кратність повітрообміну означає, скільки разів протягом години змінюється повітря в приміщенні. При кратності повітрообміну менше 0,5 – людина відчуває духоту в приміщенні.

7.3.3 Освітленість

На ділянці випрямляючого агрегату передбачено сумісне освітлення, тобто комбінацію природного та штучного освітлення. За умовами у робочому приміщенні зорові роботи можна проводити при наявному освітленні рівнем 200+ люксів.

Природне освітлення в приміщенні – бічне. Освітлення забезпечується через віконні отвори в стінах. Коефіцієнт природного освітлення за нормами дорівнює 0,6%.

Фактичне значення коефіцієнта природного освітлення рівне 0,7%. Даний показник повністю задовольняє норму природного освітлення, проте на ділянці випрямляючого агрегату та пристрою стискання колон – передбачено штучне освітлення. Загальне освітлення застосовується для освітлення зони, в якій розміщуються самохідні агрегати та їх маршрут руху. Для загального освітлення використовують світлодіодні ліхтарі потужністю 150 Вт кожен, які забезпечують загальну освітленість 250 лк. Місцеве освітлення застосовується в якості додаткового при виконанні точних робіт. У приміщеннях операторів використовуються стандартні освітлювальні лампи світлодіодного типу з м'яким світлом.

Штучне освітлення приміщень, де постійно перебуває персонал – передбачає три основних режими роботи: робочий, аварійний, евакуаційний.

7.4 Електробезпека

Зона розміщення випрямляючого агрегату знаходиться у зоні з високим вмістом струмопровідного пилу, крім того, такий пил активно накопичується на усіх відкритих поверхнях агрегату. Окремо слід відмітити наявність хімічних сіркових речовин у повітрі, що при певних умовах – перетворюються у кислотні і можуть пошкоджувати ізолюючі поверхні. Також, присутній ризик ураження струмом через відкриті струмопровідні частини.

Через наявність кількох факторів небезпечності – дане приміщення можна віднести до приміщення з підвищеною небезпекою відносно ураження електричним струмом. Підставою для цього є наявність таких факторів:

- електропровідна підлога;
- температура повітря періодично перевищує +35 °С;
- можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій споруд, технологічних агрегатів, які мають з'єднання з землею з одного боку та до металевих корпусів обладнання – з іншого.

Для роботи електроустаткування використовується різна напруга:

- до 24 В постійного струму – живлення датчиків, які встановлено на об'єкті управління і в шафах управління;
- 220 В змінного струму – живлення частини устаткування, яке встановлено у шафах управління;
- 380 В змінного струму – для забезпечення напругою живлення такого обладнання як насосні агрегати та частотні перетворювачі;
- 10000 В змінного струму – для підведення основної напруги до випрямляючого агрегату.

Основними засобами захисту в електроустановках з напругою до 1000В являються: діелектричні рукавички, ізолюючі штанги, ізолюючі і електровимірювальні кліщі, слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги.

7.5 Пожежна безпека

Приміщення оператора на ділянці випрямляючого агрегату можна віднести до приміщення категорії Г з вибухової та пожежної безпеки, так як виробництво пов'язане подачею струму високої потужності. У відповідності з ПУЕ виробниче приміщення належить до пожежонебезпечного, так як струмопровідні частини, при замиканні, можуть займатись та плавитись під дією струму високої сили. Приміщення оператора на ділянці випрямляючого агрегату відноситься до III ступеня вогнестійкості - будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону.

Виробниче приміщення обладнане засобами пожежогасіння, серед яких пожежні щити з необхідним інвентарем, ящики з піском, вогнегасники.

Для попередження пожеж, що виникають від коротких замикань, на лініях і відгалуженнях електричних мереж послідовно встановлюють запобіжники. При проходженні надмірного струму плавкі вставки перегорають і тим самим розривають електричний ланцюг, запобігаючи небезпечному нагріванню дротів.

В разі виникнення пожежі в будівлі цеху передбачено можливість швидкої та безпечної евакуації людей. Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях.

Евакуаційних виходів з приміщення має бути, не менше двох. Ширина шляхів евакуації у проходах повинна бути не менше 1 м, дверей – не менше 0,8 м. Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот і виступи, за винятком порогів в дверних отворах.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу з будівлі. У будинках, як правило, слід передбачати оповіщення про пожежу. На видних місцях приміщень має знаходитись чіткий план евакуації.

7.6 Індивідуальний захист

На роботах із шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням тіла робітників і службовців, відповідно до встановлених норм безкоштовно видаються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). До таких засобів відносяться засоби захисту очей, органів дихання, захисні мазі і спеціальний одяг.

Засоби індивідуального захисту застосовуються для захисту відкритих ділянок шкіри та органів людини від будь-яких шкідливих впливів під час виконання робіт. Вибір засобів індивідуального захисту ґрунтується на відповідності їх захисних властивостей наявним шкідливим факторам.

Відповідно до умов праці на ділянці випрямляючого агрегату печей графітування – необхідне забезпечення працівників наступними засобами індивідуального захисту:

- каска – призначена для захисту голови від механічних ушкоджень, вологи, електричного струму;
- спецодяг з шинельного сукна від загальних промислових забруднень;
- робоче взуття – шкіряні чоботи;
- діелектричні рукавиці;
- респіратор газозахисний.

ВИСНОВКИ

У рамках даної кваліфікаційної роботи бакалавра було виконано розробку нової системи автоматизованого регулювання охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму пересувного випрямляючого агрегату печей прямої графітизації в умовах цеху прямої графітизації підприємства ПрАТ «Укрграфіт».

Було проведено аналіз будови та функціонування пересувного самохідного випрямляючого агрегату графітування. Зокрема було досліджено роботу систем примусового рідинного охолодження струмопровідних частин установки. Після аналізу існуючого рівня автоматизації, та збору інформації на підприємстві – виявлено кілька основних недоліків:

- відсутність детального аналізу роботи систем охолодження;
- відсутність резервування основних виконавчих агрегатів;
- відсутність коректного відпрацювання нештатних ситуацій;
- відсутність регулювання роботи систем охолодження.

Було запропоновано нову систему автоматизованого керування системами охолодження з значним розширенням можливостей діагностування та аналізу роботи систем охолодження. Крім того, було приведено варіант резервування основних агрегатів систем охолодження для підвищення їх надійності. Також було запропоновано новий режим регулювання роботи систем охолодження секцій перетворювачів та шин постійного струму.

Для розробленої САУ було підібрано комплекти технічних засобів автоматизації, розроблено експлуатаційну документацію, пропрацьовано модель роботи програмного забезпечення та взаємодії між рівнями автоматизації. Також було розраховано, що при введенні даної САУ – очікується її окупність через 14 місяців, з подальшим підвищенням прибутку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. NEPTUN системы контроля протечки воды : кат. прод. / ООО «Завод ССТ Теплые Полы». Митіщі, 2020. 42 с.
2. ОВЕН оборудование для автоматизации : кат. прод. / ООО «ОВЕН». Москва, 2021. 487 с.
3. WIKA Технический каталог : кат. прод. / WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG. Клінгенберг-на-майні, 2011. 999 с.
4. KOBOLD Product Summary : кат. прод. / KOBOLD Messring GmbH. Хофхайм-на-Таунусі, 2022. 43 с.
5. TURCK Industrial Automation SENSORS : кат. прод. / Hans Turck GmbH & Co. KG. Мюльхайм-на-Рурі, 2012. 788 с.
6. CHL, CHLF(T) Горизонтальные многоступенчатые насосы : кат. прод. / Nanfang Pump Industry Co., Ltd. Шанхай, 2020. 39 с.
7. НМ..Р - НМ..S - НМ..N Серия e-HMTM горизонтальные многоступенчатые центробежные насосы с резьбовыми патрубками и двигателями IE3 по регламенту (ЕС) № 640/2009 : кат. прод. / ООО «КСИЛЕМ РУС». Москва, 2020. 82 с.
8. Технический каталог WIKA : кат. прод. / WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG. Клінгенберг-на-майні, 2018. 649 с.
9. SIMATIC Products for Totally Integrated Automation : кат. прод. / Siemens AG. Нюрнберг, 2017. 1370 с.
10. Harmony Electromechanical Relays Interface, miniature, and power Electromechanical relays : кат. прод. / Schneider Electric GmbH. Ратінген, 2021. 43 с.
11. Trennen Schalten Schützen Trennen, Schalten, Schützen TeSys Schalten und Überwachen Zelio Versorgen Phaseo : кат. прод. / Schneider Electric GmbH. Ратінген, 2021. 1218 с.

12. Auswahlkatalog 2022 Energieerzeugung und-Verteilung Steuerungs- und Automatisierungstechnik : кат. прод. / Schneider Electric GmbH. Ратінген, 2022. 508 с.
13. Автоматические выключатели для защиты электродвигателей : кат. прод. / Schneider Electric GmbH. Ратінген, 2022. 148 с.
14. Acti9 Эффективность, достойная Вас : кат. прод. / Schneider Electric GmbH. Ратінген, 2021. 518 с.
15. Полупроводниковые таймеры H3DK : кат. прод. / OMRON Corporation Industrial Automation Company. Токио, 2010. 32 с.
16. Каталог 2021 : кат. прод. / RELPOL S.A. Жарі, 2011. 532 с.
17. MeanWell Standard Switching Power Supply Manufacturer : кат. прод. / MEAN WELL Enterprises Co., Ltd. Сіньбай, 2021. 164 с.
18. Реле контроля трёхфазного напряжения ЕЛ-11 : руководство по эксплуатации АЧАБ.647532.012 РЭ / ТОВ «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСіС». Київ, 2018. 12 с.
19. WAGO Rail-Mount Terminal Blocks and Connectors : кат. прод. / WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG. Мінден, 2021. 760 с.
20. ЕТАЛ 2018 каталог : кат. прод. / ВАТ Електромеханічний завод «ЕТАЛ». Александрія, 2018. 44 с.
21. EATON Электротехническая продукция : кат. прод. / Eaton Corporation plc. Дублін, 2018. 262 с.