

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів
кліматичної камери**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Іванов Роман Вікторович

(прізвище та ініціали)

Керівник: професор кафедри ІВТ

к.т.н, д.т.н., професор

Єфіменко Н.А.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Іванов Роман Вікторович

1. Тема роботи: Інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів кліматичної камери

Керівник роботи: професор, доктор економічних наук, кандидат технічних наук,
професор кафедри ІВТ Єфіменко Н.А.

затверджена наказом по університету від « 22 » квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 10 » червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи: об'єкт розробки – інформаційно-вимірювальна система, параметр вимірювання: температура і вологість в кліматичній камері, діапазон вимірювання температури – $60^{\circ}\text{C} \dots + 190^{\circ}\text{C}$; похибка вимірювання температури $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; діапазон вимірювання вологості 15 ... 98 %; похибка вимірювання вологості $\pm 2,5\%$.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці): аналіз видів кліматичних випробувань, аналіз існуючих технічних рішень, розробка структурної та принципової схем, вибір елементної бази системи, розробка алгоритму роботи, метрологічні розрахунки, оцінка похибок, оцінка надійності, безпеки та охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, електрична принципова схема підключень,
блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
2	Огляд та аналіз кліматичних випробувань	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
3	Огляд та аналіз існуючих технічних рішень	16.03.26 – 15.04.26	Виконано
4	Розробка структурної схеми	16.04.26 – 24.04.26	Виконано
5	Вибір елементної бази системи	25.04.26 – 09.05.26	Виконано
6	Розробка алгоритму роботи системи	10.05.26 – 24.05.26	Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик	25.05.26 – 03.06.26	Виконано
8.	Розрахунок надійності	04.06.26 – 15.06.26	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.26– 17.06.26	Виконано

Студентка

Іванов Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Єфіменко Н.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено інформаційно-вимірювальну систему контролю параметрів кліматичної камери.

Розроблені структурна та електрична принципова схема підключень системи, підібрані датчики з урахуванням їхніх метрологічних характеристик і експлуатаційних властивостей. Розроблено алгоритм роботи системи, який забезпечує збір, обробку, відображення та збереження даних.

Система може бути застосована для контролю параметрів кліматичних камер різного призначення. Розробка вирізняється простотою, доступністю, модульністю та високою точністю, що робить її перспективною для подальшого вдосконалення та модернізації..

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, кліматичні випробування, кліматична камера, програмований логічний контролер.

ABSTRACT

In this qualification work an information-measuring system for controlling the parameters of the climate chamber was developed.

The structural and electrical schematic diagram of the connected system was developed, the sensors were selected taking into account their metrological characteristics and operational properties. An algorithm for the system's operation has been developed, providing collection, processing, display and storage of data.

The system can be used to control the parameters of climate chambers for various purposes. The development is characterized by simplicity, accessibility, modularity and high accuracy, which makes it promising for further improvement and modernization.

Keywords: information and measurement system, climatic tests, climatic chamber, programmable logic controller.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 66 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає дев'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери.

Перший розділ містить основні завдання та вимоги до системи, а саме: умови експлуатації, технічні характеристики, вимоги до надійності.

Другий розділ містить загальний огляд видів випробувань та обладнання для проведення випробувань виробів електронної техніки

Третій розділ містить опис сучасного випробувального обладнання

У четвертому розділі виконано розробку структурної схеми інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери.

П'ятий розділ містить опис обраних вимірювальних і обчислювальних засобів системи. На основі вибраної елементної бази розроблено електричну принципову схему підключень.

Шостий розділ містить огляд розробленого алгоритмічного забезпечення для інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери.

Сьомий розділ містить розрахунок метрологічних характеристик системи.

Восьмий розділ містить розрахунок показників надійності інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери.

Дев'ятий розділ містить аналіз питань безпеки життєдіяльності та охорони праці при роботі з системою.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1.ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування	9
1.2. Умови експлуатації.....	9
1.3. Вимоги до технічних характеристик.....	9
1.4. Вимоги до надійності.....	9
1.5. Вимоги до конструктивного оформлення	9
2. АНАЛІЗ ВИДІВ ВИПРОБУВАНЬ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ	10
2.1.Кліматичні випробування виробів електронної техніки.....	10
2.2.Тестування електронної апаратури на предмет кліматичних навантажень	13
2.3.Різновиди кліматичних камер.....	20
3. ОГЛЯД СУЧАСНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	25
3.1.Кліматичні камери серії TTC та CTC компанії Memmert.....	25
3.2.Термошоківі двозонні камери ESPEC серії TSD	27
3.3.Високоточні кліматичні камери CTS серії CW.....	28
3.4.Промислова кліматична камера REYON серії RTC	29
3.5.Настільні мікрокамери Scienova	30
3.6.Кліматична камера тепло-холод вологість TH-G	31
4. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ	35
4.1. Аналіз існуючої системи і вибір напрямків розробки.....	35
4.2.Розробка структурної схеми системи	42

					<i>МІМТ.480.007.056 – ПЗ</i>		
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів кліматичної камери Пояснювальна записка</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Іванов Р.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Єфіменко Н.А</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Єфіменко Н.А</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Подчаїнський Ю</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
						6	66
					Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-5		

5. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИСТЕМИ	44
5.1.Вимірювальні засоби системи	44
5.2. Обчислювальні засоби системи.....	45
6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ	52
7. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	54
8.ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ	57
9.БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ВСТУП

Розробка інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери дозволить забезпечити безпечну експлуатацію обладнання і протікання процесу кліматичних випробувань виробів електронної техніки.

Відновлення промисловості України ставить багато завдань, які необхідно вирішити негайно. Одним із таких завдань є переосмислення та визначення порядку перевірки і випробувань продукції, що виробляється. При оцінці якості продукції (у тому числі і військового призначення) доцільно оцінювати не тільки функціональні та експлуатаційні характеристики, але і ступінь впливу навколишнього середовища, при якому виріб зберігає заявлені якісні характеристики.

Випробування проводяться на всіх етапах життєвого циклу продукту. Правильна організація випробувань дозволяє уникнути недостовірних результатів і запобігти випуску невідповідної продукції. Найважливішою частиною організації випробувань є грамотна розробка та затвердження методики проведення випробувань, що дозволяє одержувати результати з високою вірогідністю.

Щоб уникнути втрат, пов'язаних із випуском неякісних виробів, контроль якості продукції повинен бути невід'ємним етапом забезпечення якості. При цьому випробування електронної техніки необхідні не тільки при виробництві, але і при розробці та ремонті продукції.

В даній роботі розроблено та досліджено нову інформаційно-вимірювальну систему контролю параметрів кліматичної камери, що дозволяє замінити застарілі плати апаратної логіки надійним обладнанням, що відповідає сучасним вимогам до вимірювальної і іспитової техніки, але в той же час цілком зберігає колишню функціональність і особливості роботи з механізмами керування.

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для контролю параметрів кліматичної камери.

Потрібно розробити структурну схему системи та вибрати елементну базу, розробити електричну принципову схему системи. Розробити алгоритмічне забезпечення та оцінити точність системи вимірювання.

Початок розробки – лютий 2026 р. Кінець розробки – червень 2026 року.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 0 до +45 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.

1.2.4. Хімічно активних речовин немає

1.2.5. Характер роботи неперервний

1.3. Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт розробки – інформаційно-вимірювальна система;

1.3.2. Діапазон вимірювання температури – 60 °С ... + 190 °С;

1.3.3. Похибка вимірювання температури $\pm 0,5$ °С ;

1.3.4. Діапазон вимірювання вологості, % 15 ... 98;

1.3.5. Похибка вимірювання вологості, % 2,5.

1.4. Вимоги до надійності

Система є що відновлюється, не резервується, ремонтпридатною.

Наробіток на відмову складає не менше 35000 годин.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ ВИДІВ ВИПРОБУВАНЬ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Кліматичні випробування виробів електронної техніки

Під дією кліматичних чинників у матеріалах виробів електронної техніки відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які призводять до зміни їхніх характеристик і можуть стати причиною відмов. Практичний досвід свідчить, що найбільш небезпечними є впливи підвищених і знижених температур, високої вологості у поєднанні з підвищеною температурою, а також різкі температурні перепади.

Підвищена температура навколишнього середовища належить до основних кліматичних факторів, які спричиняють нестабільність параметрів, їх поступову деградацію та втрату працездатності виробів електронної техніки.

Нормування двох основних груп впливів — механічних і кліматичних — виконано у ДСТ 16962-71 «Вироби електронної техніки та електротехніки. Механічні й кліматичні впливи. Вимоги та методи випробувань».

У зазначеному стандарті всі фактори впливу поділені на дві категорії: механічні та кліматичні. Для кожної з них визначені відповідні методики проведення випробувань.

Кліматичні випробування проводяться з метою перевірки здатності виробів виконувати свої функції, зберігати встановлені параметри та зовнішній вигляд як під час дії факторів навколишнього середовища, так і після завершення їх впливу. Для забезпечення відтворюваності результатів необхідний повний і однозначний опис усіх етапів проведення випробувань.

У нормативно-технічній документації прийнята така послідовність проведення кліматичних випробувань:

а) попередня витримка виробів, початковий контроль параметрів і зовнішній огляд;

					<i>МІМТ.480.007.056 – ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) розміщення виробів у камері, витримка в заданому режимі, вилучення та відновлення властивостей;

в) завершальний контроль параметрів і повторний зовнішній огляд;

Попередня витримка необхідна для усунення або зменшення впливу попередніх умов зберігання та транспортування. Зазвичай вироби витримують за нормальних кліматичних умов: температура повітря 25 ± 10 °С, відносна вологість 45–75 %, атмосферний тиск $(0,86-1,06) \times 10^5$ Па.

Кліматичні випробування виконують як під час розроблення виробів, так і при освоєнні серійного виробництва, під час відбракування потенційно ненадійної продукції та для періодичного контролю стабільності виробництва. У серійному виробництві такі перевірки зазвичай проводять через кожні 1–3 місяці.

У табл.. 2.1 наведено типи та склад кліматичних випробувань виробів

Таблиця 2.1. Типи та склад кліматичних випробувань виробів

Тип випробування	Етап розробки (ОКР) та освоєння	Відбракування	Періодичні випробування
Теплостійкість	+	+	+
Холодостійкість	+	+	+
Вплив зміни температур	+	+	+
Тривала вологостійкість	+	-	Н
Короткочасна вологостійкість	+	-	+
Знижений атмосферний тиск	+	-	Н

Підвищений атмосферний тиск	+	-	н
Сонячна радіація	+	-	-
Соляний туман	+	-	-
Пил і пісок	+	-	-
Грибостійкість	+	-	-
Іній і роса	+	-	-
Перевірка герметичності	+	+	+
Термоудар		+	

Позначення: "+" – випробування проводяться; "-" – випробування не проводяться; "н" – випробування можуть виконуватися за наявності відповідних вимог НТД.

На практиці також застосовують комбіновані та складені випробування. У комбінованих випробуваннях виріб одночасно піддається дії декількох факторів, тоді як у складених — різні кліматичні впливи діють послідовно у визначеному порядку.

Використання комбінованих і складених випробувань є доцільним у тих випадках, коли неможливо достовірно оцінити результат сумарної дії факторів за даними окремих випробувань.

Прості кліматичні випробування можуть проводитися як на різних вибірках виробів, так і послідовно на одній вибірці. Водночас послідовне проведення окремих випробувань на тих самих зразках не вважається складеним випробуванням, оскільки часовий інтервал між ними не має визначального значення.

Тривалі випробування на вологостійкість, вплив сонячного випромінювання, сольового туману та грибостійкість, як правило, виконують на окремих вибірках виробів. Послідовність проведення кліматичних випробувань визначається їхньою метою та вимогами програми випробувань.

2.2. Тестування електронної апаратури на предмет кліматичних навантажень

Під час практичного використання та довготривалого зберігання електронна апаратура (ЕА) підпадає під безпосередній вплив навколишнього середовища.

2.2.1 Теплові та температурні дії

Серед ключових екологічних чинників, які спричиняють нестабільну роботу та поступову деградацію робочих характеристик ЕА, особливе місце посідають коливання температур. Щоб гарантувати безперебійне функціонування апаратури та її внутрішніх компонентів, критично важливо враховувати їхні термодинамічні показники. Розігрів пристроїв може відбуватися через дію як зовнішніх, так і внутрішніх джерел. За характером прояву цей вплив поділяють на безперервний, циклічний (періодичний) та нерегулярний (аперіодичний).

Інтенсивність зовнішніх теплових навантажень зумовлена специфікою клімату, особливостями розміщення апаратури на конкретному об'єкті, а також відстанню до тепловиділяючих вузлів. Температура довкілля здатна змінюватися у надзвичайно широкому діапазоні (від -70°C до $+68^{\circ}\text{C}$), до того ж верхня планка може додатково зростати внаслідок нагрівання конструкцій сонячним випромінюванням.

					<i>MIMT.480.007.056 – ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість зміни температури та ступінь прогріву ЕА безпосередньо пов'язані з типом і забарвленням захисних покриттів, теплоємністю конструкційних матеріалів, загальною масою виробу тощо. Ці критерії визначають граничний температурний поріг, після досягнення якого поверхня блоків починає віддавати тепло у простір шляхом випромінювання. Вплив внутрішніх джерел тепла зумовлений передусім специфікою схемотехніки та архітектурою конструкції.

Постійного (безперервного) теплового навантаження зазнають ті зразки ЕА, які експлуатуються у стаціонарному режимі. Час, необхідний для виходу апаратури на стабільний тепловий баланс, залежить від функціонального призначення пристрою та обраних конструкторських рішень; цей період зазвичай триває від 30 хвилин до 2,5–3 годин.

Періодичним температурним коливанням запобігають мобільні системи ЕА (портативні пристрої, а також обладнання, що працює в кузовах автотранспорту, на річкових кораблях, залізничних потягах, повітряних суднах тощо). Під час роботи авіаційної техніки температурні перепади здатні сягати 80 °С, а швидкість термодинамічних змін може становити до 50 °С за хвилину.

Аперіодичних (одиничних, нерегулярних) теплових навантажень зазнає радіoeлектроніка, інтегрована в космічні апарати (зокрема, на ракетноносіях під час старту та під час проходження крізь щільні шари атмосфери).

Тривала дія підвищених температур зазвичай призводить до деструкції фізико-хімічних, діелектричних та механічних параметрів матеріалів, з яких виготовлені електрорадіoelementи (ЕРЕ). Це зрештою викликає відхилення вхідних і вихідних показників усієї системи.

Суттєва залежність стабільної роботи РЕА від температурного фактора пояснюється чутливістю електрофізичних властивостей матеріалів до нагрівання. Значну загрозу для обладнання становлять також різкі стрибки температури навколишнього середовища. Це пов'язано з тим, що в єдиній

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

конструкції часто поєднуються матеріали з відмінними коефіцієнтами теплового лінійного розширення (КТЛР).

2.2.2 Дія вологого середовища

Атмосферне повітря завжди містить певну кількість водяної пари, яка формує показник його вологості. Обсяг вологи в повітряному просторі суттєво коливається залежно від географічної зони: від 4% у вологих тропічних регіонах до 1% у помірному кліматі та всього 0,01% у полярних областях у зимовий період. Попри те, що частка води в загальній повітряній масі є незначною, навіть така концентрація газуватої вологи надає повітряній суміші специфічних фізичних властивостей.

Для точного опису вмісту водяної пари в атмосфері застосовують такі критерії: абсолютна вологість a , вологість насичення A , відносна вологість ϕ , парціальний тиск водяної пари P_n та граничний парціальний тиск (тиск насиченої пари) $P_{n.m}$.

Надійність функціонування багатьох вузлів ЕА залежить від рівня зволоження її компонентів. Волога всередині елементів може перебувати в паровій, рідкій або замерзлій (твердій) формах, накопичуючись як на зовнішніх поверхнях, так і проникаючи вглиб структури.

Найбільш руйнівний вплив на параметри деталей чинить саме рідка фаза — вода. Через це специфіка дії вологи на радіoeлектронні пристрої визначається фізичними властивостями води в різних агрегатних станах, а також наявністю та характеристиками розчинених у ній солей та домішок.

Виділяють дві ключові форми взаємодії води з конструкційними матеріалами. За першої форми волога заповнює мікротріщини, технологічні зазори, капіляри або осідає на поверхні, утримуючись на дрібнодисперсних структурах. Це спричиняє погіршення електричних, фізико-хімічних та теплоізоляційних властивостей, а також прискорює деградацію матеріалу.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Друга форма взаємодії полягає в тому, що вода вступає в хімічний зв'язок із компонентами речовини. Це активізує корозійні процеси в металах, викликає гідроліз та руйнує структуру деяких матеріалів, що часто призводить до повної відмови різноманітних ЕРЕ.

Якщо захист від сирості є недостатнім, у багатьох видах конденсаторів із твердим наповнювачем спостерігається стрімке падіння опору ізоляційного шару, зростання електричної ємності й тангенса втрат, а також зниження граничної робочої напруги. У керамічних та герметизованих модифікаціях конденсаторів волога не здатна потрапити всередину, проте її осідання (конденсація) на корпусі знижує поверхневий опір ізоляції. Наявність водяної пари в атмосфері змінює її діелектричну проникність, що тягне за собою коливання ємності у конденсаторах із повітряним проміжком і порушує загальну стабільність ЕА. Втім, саме повітряні конденсатори з широкими зазорами демонструють найкращу стійкість до сирого клімату. На параметри таких конденсаторів може негативно впливати хімічне руйнування (корозія) їхніх металевих пластин.

Волога чинить руйнівну дію на резистори практично всіх відомих типів та конструктивних виконань. Регулярний вплив сирості на тонкоплівкові резистивні елементи викликає розбухання захисного лаку та часткове відшарування провідного шару від діелектричної підкладки. Як наслідок, знижується номінальний опір, виникають поверхневі пробої та погіршується якість контактних з'єднань.

У дрітятих резисторах сирість провокує окиснення та інтенсивне іржавіння мікропроводів, особливо в місцях рухомих контактів. Це призводить до зменшення площі поперечного перерізу провідника, неконтрольованого зростання опору та падіння надійності комутації.

Коли волога впливає на високочастотні індуктивні котушки та дроселі, збільшується їхня власна паразитна ємність, зростають втрати енергії та, відповідно, падає добротність. Найбільш уразливими до дії сирості є

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

котушки, що мають каркаси з гігроскопічної сировини або намотані дротами в шовковому чи бавовняному обплетенні. Вплив вологи здатний знизити добротність подібних компонентів майже на 40%.

У низькочастотних трансформаторах та дроселях вологість не лише збільшує втрати, а й стимулює локальне перегрівання, що погіршує ККД трансформатора та спотворює індуктивність дроселя. Вода, просочуючись крізь мікротріщини в захисному компаунді чи заливці, зменшує ізоляційний опір між витками та шарами, провокуючи електрохімічні реакції в обмотці, що суттєво підвищує ризик виникнення коротких замикань.

Поглинання енергії високочастотних коливань вологим повітрям створює додаткове згасання в індуктивних та ємнісних вузлах, знижуючи загальну ефективність (ККД) та якість коливальних контурів.

Під дією сирості деградують і характеристики напівпровідникових кристалів. Це викликає нестабільність (дрейф) електричних параметрів інтегральних мікросхем, падіння коефіцієнта підсилення у транзисторів, а також зміну напруги пробою в р-п переходах.

Проникнення води та її пари в структури органічного походження викликає деформацію лінійних розмірів, розбухання, падіння міцності на згин, але водночас підвищує стійкість до ударів через зростання в'язкості матеріалу.

Для переважної більшості компонентів ЕА найбільш сприятливим (з погляду безвідмовності) діапазоном відносної вологості є межі від 30% до 60%.

Якщо вологість перевищує 60%, починають стрімко зростати струми витоку крізь діелектрики. У випадках, коли цей показник падає нижче 30%, відбувається глибоке висушування органічної ізоляції по всьому об'єму. При цьому втрачається не лише вільна волога з мікрокапілярів, а й структурно пов'язана вода. Це позбавляє матеріали еластичності та знижує їхню механічну витривалість. За умов тривалого (понад 3 місяці) перебування в

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сухому середовищі органічні ізолятори стають надто крихкими, втрачають гнучкість, а їхня поверхня вкривається мережею мікротріщин.

2.2.3. Структура методики випробувань електронної апаратури на кліматичні впливи

Випробування електронної апаратури на дію кліматичних чинників виконують для підтвердження їхньої здатності належним чином функціонувати, а також зберігати встановлені технічні характеристики й зовнішній стан у межах норм, визначених нормативною документацією, під час впливу різних кліматичних умов.

Методика проведення кліматичних випробувань електронної апаратури передбачає виконання таких основних етапів:

- попереднє витримування виробів, що забезпечує стабілізацію їхніх характеристик, а також проведення початкових вимірювань параметрів і зовнішнього огляду;
- розміщення виробів у випробувальній камері, їх витримування відповідно до встановленого режиму, подальше вилучення з камери та відновлення характеристик після завершення впливу;
- проведення заключного зовнішнього огляду виробів і остаточних вимірювань їхніх параметрів.

Попереднє витримування здійснюють для того, щоб повністю або частково усунути вплив кліматичних умов, яким вироби піддавалися до початку випробувань. У більшості випадків вироби витримують у нормальних кліматичних умовах.

Вимірювання параметрів, на які може суттєво впливати відносна вологість повітря, проводять за таких умов, які забезпечують відсутність конденсації вологи на поверхні виробів. Для цього необхідно підтримувати

					<i>МІМТ.480.007.056 – ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температуру навколишнього середовища при відносній вологості повітря в межах 73–77 %.

Тривалість попередньої витримки визначають часом, необхідним для встановлення теплової рівноваги виробу з навколишнім середовищем. Як правило, цей період не перевищує двох годин. Початкові та завершальні вимірювання параметрів рекомендується виконувати за однакових значень температури й вологості навколишнього повітря.

Спосіб розміщення виробів у випробувальній камері має істотний вплив на достовірність отриманих результатів. Якщо конструкцією або умовами експлуатації передбачено декілька можливих положень виробу, доцільно вибирати те, яке забезпечує найбільш несприятливі умови випробування.

Час витримкування виробів у випробувальному режимі відраховують із моменту встановлення в камері заданої температури. При цьому тривалість витримки повинна бути достатньою для повного прогрівання або охолодження виробу по всьому його об'єму.

Вважається, що виріб, який перебуває у вимкненому стані, досяг температури навколишнього середовища (теплової рівноваги), якщо температура його найхолодніших елементів або інших частин, визначених програмою випробувань, відрізняється від температури середовища не більше ніж на ± 3 °C.

Час, необхідний для прогрівання (охолодження) виробу по всьому його об'єму, визначають ще на етапі підготовчих випробувань із використанням температурних датчиків.

Рекомендується здійснювати контроль температури тих елементів конструкції, які не мають теплоізоляційного захисту. Якщо маса виробу є значною, тривалість досягнення температурної рівноваги визначають залежно від його маси відповідно до наведених рекомендацій.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо конструкція випробувальної камери не дозволяє виконувати вимірювання параметрів без вилучення виробу, допускається здійснювати їх після завершення випробування та виймання виробу з камери. Такий порядок проведення вимірювань повинен бути передбачений програмою випробувань і відповідними технічними умовами.

Після завершення випробування та вилучення виробів із камери виконують їхній заключний зовнішній огляд згідно з вимогами чинної нормативно-технічної документації.

2.3. Різновиди кліматичних камер

Сьогодні існує велика кількість кліматичних камер, призначених для відтворення різноманітних умов навколишнього середовища. Вони здатні моделювати зміни температури, вологості, атмосферного тиску та інших факторів, у тому числі добові цикли. Найчастіше такі установки поділяють на камери тепла, тепла-холоду, тепла-холоду-вологи, тепла-вологи, шокового заморожування, барокамери, камери сонячної радіації, термоударні, термічно-вібраційні, корозійні, сушильні та теплові вакуумні камери.

Залежно від призначення об'єм камер може становити від 40 до 12000 літрів. Великогабаритні моделі переважно є стаціонарними. Температурний діапазон сучасних кліматичних камер може досягати від -100°C до $+300^{\circ}\text{C}$.

Камери температури та вологості

Це найпоширеніший тип кліматичних камер. Вони застосовуються для дослідження матеріалів, конструкцій, обладнання та приладів. Під час вибору враховують температурний діапазон, швидкість зміни температури, габарити робочого простору та інші характеристики.

Такі установки використовують в електронній, радіоелектронній, автомобільній, аерокосмічній, хімічній, медичній та харчовій галузях. Вони дають можливість перевіряти вироби на стійкість до високих і низьких температур, сухого та вологого середовища.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основне призначення цих камер полягає у визначенні якості, надійності та довговічності продукції шляхом імітації реальних умов експлуатації. Під час випробувань зразки піддаються впливу екстремальних температур і вологості, що дозволяє оцінити їхню поведінку протягом багатьох років використання.

Основні характеристики:

- високотемпературний ударний діапазон: +60...+150 °С;
- низькотемпературний ударний діапазон: –55...–10 °С;
- температура камери: від –70 до +200 °С;
- коливання температури: $\pm 0,5$ °С;
- рівномірність температури: ± 2 °С;
- діапазон вологості: 20–98 %;
- стабільність вологості: $\pm 2,5$ –5 %.

Барокамери

Барокамера являє собою установку для створення підвищеного або зниженого тиску навколо випробуваного об'єкта. Для роботи можуть використовуватися балони високого тиску або ручні насоси. Принцип дії полягає у впливі газового чи рідинного середовища на дослідний зразок.

Застосовуються для перевірки матеріалів, електроніки, барометрів, барографів, анероїдів та іншого обладнання.

Основні параметри:

- робочий діапазон тиску: 100–11000 ГПа;
- об'єм камери: понад 20 л.

Тестові камери для скринінгу стресу навколишнього середовища

Такі камери використовують для виявлення прихованих дефектів виробів ще на етапі розроблення. Вони створюють більш жорсткі температурні режими, ніж стандартні кліматичні установки.

Основні характеристики:

- об'єм: 225–3000 л;

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- температура: $-70 \dots +150$ °C;
- стабільність температури: ± 3 °C;
- швидкість нагрівання та охолодження: до 15 °C/хв;
- вологість: 20–98 %.

Камери випробування точки роси

Такі установки призначені для аналізу впливу конденсату на матеріали та електронні компоненти. До конструкції входять кришка з оргскла, терморегульована водяна ванна та спеціальні водяні насоси.

Камери сонячної радіації

Ці камери імітують дію сонячного випромінювання та використовуються для визначення стійкості матеріалів до світла і старіння.

Основні характеристики:

- джерело світла – ксенонові лампи;
- спектральний діапазон: 260–780 нм;
- потужність ламп: 700–5000 Вт;
- температура: $+30 \dots +80$ °C;
- ресурс лампи: 1000–2000 годин.

Камери для випробування сонячних панелей

Призначені для тестування фотоелектричних модулів, інверторів та елементів в умовах зміни температури, вологості та сонячного випромінювання.

Основні характеристики:

- температура: $-70 \dots +150$ °C;
- коливання температури: $\pm 0,5$ °C;
- вологість: 20–98 %;
- завантаження до 10 фотоелектричних модулів.

Теплові вакуумні камери

Використовуються для моделювання умов космічного простору. Дозволяють створювати високий вакуум та контрольовану температуру.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні характеристики:

- температура: $-195 \dots +150$ °C;
- вакуум: 7–10 мбар;
- об'єм: 300–500 м³;
- рівномірність температури: ± 2 °C.

Вакуумні автоклави

Компактні установки для стерилізації медичних інструментів та матеріалів.

Основні характеристики:

- об'єм: 18–40 л;
- потужність: 2–2,5 кВт;
- температура: до 140 °C;
- тиск: 2–2,2 бар.

Термічні ударні камери

Призначені для швидкої зміни температурних режимів та перевірки стійкості виробів до термоударів.

Основні характеристики:

- висока температура: $+80 \dots +200$ °C;
- низька температура: $-80 \dots -10$ °C;
- переміщення між зонами: близько 10 секунд;
- вологість: 20–98 %.

Термічно-вібраційні камери

Поєднують температурні, вологісні та вібраційні впливи. Використовуються в авіації, космічній техніці, нафтовій та електронній промисловості.

Основні характеристики:

- об'єм: 63–1000 л;
- температура: $-70 \dots +180$ °C;
- вологість: 10–99 %;

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- вібраційне навантаження: понад 5000 кгс.

Камери старіння та корозії

Дозволяють оцінити вплив корозійних процесів на матеріали та покриття, зокрема за допомогою сольового туману.

Основні характеристики:

- температура: +20...+100 °С;
- стабільність температури: $\pm 0,5$ °С;
- рівень шуму: до 75 дБ.

Калориметри

Використовуються для визначення кількості теплоти, що виділяється або поглинається під час фізичних, хімічних і біологічних процесів.

Вибухозахищені кліматичні камери

Призначені для випробування акумуляторів і батарей у різних температурних та вологісних режимах.

Основні характеристики:

- температура: $-40 \dots +150$ °С;
- вологість: 10–95 %;
- коливання температури: $\pm 0,5$ °С.

Кліматичні камери з охолодженням Пельтьє

Такі установки працюють на основі термоелектричного ефекту Пельтьє. Вони відрізняються енергоефективністю, низьким рівнем шуму, компактністю та тривалим строком служби.

Основні характеристики:

- температура без освітлення: $0 \dots +70$ °С;
- температура з освітленням: $+15 \dots +40$ °С;
- вологість: 10–90 %;
- об'єм: 100–1500 л;
- споживана потужність: 300–4000 Вт.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОГЛЯД СУЧАСНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Кліматичні камери серії ТТС та СТС компанії Memmert

Новий діапазон камер серії ТТС (з регулюванням температури) та СТС (із регулюванням температури та вологості) виробництва компанії Memmert (Німеччина) розроблений для проведення точних кліматичних та термостатних випробувань електронних компонентів та матеріалів. Лінійка включає моделі з номінальною ємністю робочої камери від 256 літрів, які забезпечують високу стабільність підтримання заданих параметрів середовища.

Зовнішній вигляд стандартної камери Memmert СТС приведений на рис. 3.1.



Рис. 3.1 Зовнішній вигляд стандартної камери Memmert СТС

Конструктивні особливості та елементи керування камери:

- 1 - оглядове вікно з підігрівом: багатошарове скло із захистом від конденсації та обмерзання;
- 2 - сенсорна панель керування ControlCOCKPIT: забезпечує інтелектуальне налаштування параметрів, відображення графіків та підключення до ПК через програмне забезпечення AtmoCONTROL;

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- 3 - внутрішній корпус із нержавіючої сталі: стійкий до корозії та агресивних середовищ, має закруглені кути для легкого очищення;
- 4 - датчики вологості та температури: високоточні ємнісні зонди та платинові термометри опору Pt100;
- 5 - примусова циркуляція повітря: забезпечується турбінним вентилятором із регулюванням швидкості для рівномірного розподілу температури;
- 6 - інтерфейси зв'язку: стандартні порти Ethernet та USB для інтеграції у локальну мережу та збору даних;
- 7 - електронний замок та система захисту: багаторівневий контроль доступу із захистом паролем.

Регулювання вологості здійснюється за допомогою системи активного зволоження та осушення в діапазоні від 10% до 98% відносної вологості. Для тривалих випробувань передбачено можливість підключення до централізованої системи подачі дистильованої води з механічною фільтрацією.

Технічні характеристики базових моделей Memmert наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Характеристики моделей камер Memmert

Модель / Параметр	TTC 256	CTC 256
Робочий об'єм (літри)	256	256
Внутрішні розміри, мм (ШхГхВ)	640x500x800	640x500x800
Зовнішні розміри, мм (ШхГхВ)	898x1100x1730	898x1100x1730
Діапазон температур, °C	-42 ... +190	-42 ... +190

Модель / Параметр	ТТС 256	СТС 256
Точність за часом (Т), °С	±0.1 ... ±0.3	±0.1 ... ±0.3
Швидкість нагрівання, °С/хв	4.0	4.0
Швидкість охолодження, °С/хв	3.0	3.0
Діапазон відносної вологості, %	-	10 ... 98
Вага (кг)	310	337

3.2. Термошоківі двозонні камери ESPEC серії TSD

Для випробувань виробів електронної техніки на стійкість до різких температурних коливань використовуються спеціалізовані двозонні термошоківі камери ESPEC серії TSD (Японія). Зовнішній вигляд установки представлений на рис. 2.2.



Рис. 2.2 Зовнішній вигляд термошоківі камери ESPEC TSD

Керування камерою здійснюється за допомогою вбудованого мікропроцесорного контролера з рідкокристалічним сенсорним екраном. Зразок автоматично переміщується між зоною високої температури (до +205 °С) та зоною низької температури (до -77 °С) за допомогою пневматичного ліфта, що мінімізує температурний градієнт під час стабілізації.

Технічні характеристики ESPEC TSD-100:

- Об'єм тестової зони: 100 літрів;
- Час відновлення температурного режиму: менше 5 хвилин;
- Розміри внутрішньої камери ліфта (ШхГхВ): 410х460х460 мм;
- Вага установки: 790 кг;
- Електроживлення: трифазна мережа 380 В, 50 Гц.

3.3. Високоточні кліматичні камери CTS серії CW

Німецька компанія CTS пропонує серію високоточних кліматичних камер CW, які призначені для моделювання складних циклічних впливів навколишнього середовища. Зовнішній вигляд камери CTS CW-40/100 наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3 Зовнішній вигляд кліматичної камери CTS серії CW

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Камери оснащені унікальним вимірювальним комплексом, який дозволяє підтримувати параметри вологості у вузьких технологічних допусках завдяки ємнісним сенсорам та оптимізованій системі охолодження на базі екологічного холодоагенту.

Характеристики камери CTS CW-40/100:

- Об'єм тестового простору: 100 літрів;
- Діапазон робочих температур: від -40 °C до +180 °C;
- Точність підтримання температури: ± 0.3 °C;
- Швидкість зміни температури при нагріванні: 3.5 K/хв;
- Швидкість зміни температури при охолодженні: 3.0 K/хв;
- Діапазон вологості: від 10% до 98%;
- Розмір тестового простору (ШхГхВ): 450x400x560 мм.

3.4. Промислова кліматична камера REYON серії RTC

Великогабаритні камери REYON серії RTC призначені для проведення серійних випробувань електронної апаратури та перевірки термінів довготривалого збереження виробів. Конструкція включає двоступеневу компресорну систему охолодження.

Зовнішній вигляд камери REYON RTC наведено на рис. 3.4.

Для автоматизації процесів застосовується програмований логічний контролер з можливістю підключення до ПК по інтерфейсу RS-485 / Ethernet та інтеграцією у загальнозаводську мережу збору даних.

Технічні параметри камери REYON RTC-500:

- Діапазон температур: -70 ... +150 °C;
- Тип охолоджувача: двоступеневий компресійний (фреони R404A та R23);
- Точність підтримання температури: ± 0.5 °C;
- Об'єм камери: 500 літрів;

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Можливість комплектації ультразвуковим зволожувачем повітря.



Рис. 3.4 Зовнішній вигляд кліматичної камери REYON RTC

3.5. Настільні мікрокамери Scienova

Для експрес-тестів малогабаритних компонентів та друкованих плат використовуються компактні настільні камери Scienova, які мають мінімальне енергоспоживання та низький рівень шуму.

Зовнішній вигляд настільної камери Scienova приведений на рис. 3.5.

Контролер дозволяє записувати до 100 програм випробувань (максимум 10 кроків кожна) з автоматичним циклічним повторенням до 99 разів.

Основні параметри: Зовнішні розміри складають всього 450x580x700 мм, вага — 55 кг, робочий об'єм — 30 літрів. Діапазон температур: -20 ... +130 °C.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.5 Зовнішній вигляд настільної камери Scienova

3.6. Кліматична камера тепло-холод-вологість ТН-Г

Кліматичні камери ТН-Г (рис. 3.6) створені для проведення випробувань у режимі «тепло-холод-вологість» і забезпечують температурний діапазон від -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$ з програмованим робочим діапазоном від -35°C до $+140^{\circ}\text{C}$.



Рис. 3.6. Кліматична камера тепло-холод-вологість ТН-Г

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Кліматичні камери серії TH-G забезпечені системою контролю BDBC2-FCS. До складу цієї системи входить охолоджувальний CFC-випарник і нагрівач, які необхідні для налаштування необхідної температури всередині камери. Зневоложувальний CFC-випарник потрібен для налаштування необхідного рівня вологісного режиму.

Економія електроенергії відбувається завдяки ефективній роботі приладів, що регулюють температуру та рівень вологості. Лід з'являється тільки в випарній трубці, серед охолоджувальних приладів. Шар льоду не може бути товщиною певного значення, тому що енергія від повітря, яким обдувається поверхня льоду, йде на його плавлення. Оскільки температура всередині камери залишається постійною, немає потреби переривати роботу для розморожування. Досягнення низького рівня вологості можливе завдяки встановленню охолоджувальної трубки всередині робочої ванни, це захищає від теплоти випаровування. Керування кліматичною камерою здійснюється через 6" чорно-білий сенсорний екран. Всі дії оператора відбиваються на дисплеї в графічній і текстовій формі. Екран головного меню дає змогу встановлювати або перевіряти операційний екран, встановлювати режим і параметри роботи камери, відстежувати несправності в системі.

Через порт RS 485 можливе під'єднання до 9 камер до одного комп'ютера з функціями реєстрації, архівування, роздруку та зберігання даних випробувань. Під час встановлення спеціального програмного забезпечення можливий віддалений контроль роботи кліматичної камери. Система безпеки контролює перегрівання, перевантаження в електромережі, відчинені двері камери.

Електронний датчик рівня вологості дає змогу робити точне налаштування рівня вологості за температур від -40 °C до +120 °C, він має високу швидкість відгуку на зміни робочих параметрів і тривалий термін експлуатації. Значення відносної вологості під час використання електронного датчика визначаються безпосередньо, тоді як звичайні датчики

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

передбачають використання спеціальних таблиць, за якими відносна вологість обчислюється за різницею між температурою та рівнем вологості. Електронний датчик не потребує періодичних робіт щодо усунення забруднень.

Двоярусна система нагрівання захищає оглядове вікно від обмерзання навіть за низьких температур і забезпечує чистоту скла впродовж усієї роботи. Встановлені в кліматичних камерах лампи денного світла роблять зручним спостереження за досліджуваним об'єктом.

Дворівневий датчик забезпечує підтримку потрібного рівня води. Водні резервуари створені спеціально для використання в цих кліматичних камерах.

Примусова система циркуляції повітря забезпечує точність і рівномірність розподілу температури та підтримання рівня вологості всередині камери. Під час відчинення дверей нагрівач і вентилятор автоматично відмикаються, і повітря, що міститься в камері, швидко змішується з повітрям із довкілля. Внутрішні скляні дверцята дають змогу побачити відразу весь робочий простір камери та мінімізує порушення вологості та температури всередині камери під час відчинення дверей у процесі роботи.

Модель	ТН-G-408
Об'єм камери, л	408
Діапазон температур	Від -35 °C до +150 °C без вологості
Контролер	Програмований Сенсорний екран (5.7" чорно-білий)
Точність температури, °C	±0,2
Рівномірність температури, °C	±0,5
Діапазон вологості	40–85% RH при 15 °C

	25–98% RH в діап. 25–80 °С 25–80% RH при 90 °С
Точність вологості	0,3
Рівномірність вологості	3,0
Час нагрівання	50 хв (-40°С → +120°С)
Час охолодження	60 хв (20°С → -35°С): уповільнюється майже -35°С
Місткість резервуара для води	15 л — картриджного типу
Вимоги до якості води	pH 6,2–7,2; Електропровідність 20 μs/cm і нижче
Зовнішні розміри (Ш × Г × В)	1120 × 1240 × 1730
Внутрішні розміри (Ш × Г × В)	600 × 850 × 800
Оглядове вікно, мм	200 × 300
Вага, кг	400 ±10

4. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

4.1. Аналіз існуючої системи і вибір напрямків розробки

Сучасний промисловий сектор висуває надзвичайно жорсткі та безкомпромісні вимоги до сировини й матеріалів, що впроваджуються у виробничі процеси. Від рівня якості їхнього виготовлення безпосередньо залежить стабільність та надійність функціонування різноманітних технічних вузлів і складних механізмів. Як наслідок, цей фактор прямо впливає на безпеку життєдіяльності та здоров'я людей, загальний екологічний стан навколишнього середовища, а також на фінансову ефективність та терміни окупності інвестованих у виробництво капіталовкладень.

Ключовим кроком на шляху до створення матеріалів із чітко визначеними корисними властивостями є організація всебічних випробувань дослідних зразків під час їхнього проєктування та безпосереднього виробництва. Такі іспити проводяться у суворих та наближених до екстремальних умовах експлуатації. Це дозволяє оперативно перевірити відповідність характеристик матеріалу встановленим стандартам, а також вчасно виявити наявні технологічні дефекти й недоліки.

Одним із найбільш ефективних та показових видів тестування вважається термічне циклювання. Воно дає змогу не лише зафіксувати приховані відхилення у технології виготовлення матеріалів, а й спрогнозувати їхню довговічність та стійкість під впливом значних температурних і кліматичних коливань. Як відомо, зміна температурного поля всередині матеріалу має нерівномірний характер. Головну роль у цьому процесі відіграють параметри теплопровідності матеріалу, а також неоднорідність його внутрішньої структури або специфіка хімічного складу.

Температурний градієнт, що виникає внаслідок таких процесів, провокує появу внутрішніх механічних напружень у досліджуваному зразку. Через це всередині структури можуть з'являтися мікротріщини, відбуватися фазові переходи чи інші структурні трансформації, на основі аналізу яких

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фахівці роблять висновки про реальні експлуатаційні характеристики та якість матеріалу.

Сам алгоритм проведення випробувань на термічне циклювання є досить зрозумілим. Дослідний зразок поміщають у герметичний ізольований простір (робочу камеру), де температурні показники змінюються відповідно до наперед заданого графіка протягом певної кількості циклів. Зазвичай кожен окремий цикл складається з етапу нагрівання до конкретного температурного рівня з чітко визначеною швидкістю, після чого досягнуте значення температури стабілізується й утримується незмінним упродовж встановленого часу.

Наступним кроком є стадія охолодження із заданою швидкістю до визначеної нижньої температурної межі, на якій об'єкт знову витримується протягом необхідного часового проміжку. Якщо проводяться комплексні кліматичні випробування, то паралельно з температурними коливаннями здійснюється також регулювання та зміна показників відносної вологості повітря всередині робочого простору.

Для виконання таких технологічних завдань застосовують спеціалізовані кліматичні камери. Вони стандартно комплектуються системою охолодження, електричними нагрівальними елементами та модулем автоматичного керування. Подібне обладнання активно використовується як у науково-дослідній діяльності для вивчення нових матеріалів, так і у промислових масштабах для серійного тестування готової продукції.

Очевидно, що для гарантування високої точності відтворення заданих програм тестування та повторюваності отриманих результатів, загальна якість та надійність такого апаратно-програмного комплексу мають відповідати найвищим стандартам. Необхідно забезпечити стабільну та безперебійну роботу обладнання, жорстке дотримання всіх критичних параметрів іспитів, точну фіксацію результатів вимірювань і збереження

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних, а також сумісність та можливість інтеграції з іншими автоматизованими системами керування підприємства.

На багатьох підприємствах та в лабораторіях для реалізації цих цілей досі експлуатуються кліматичні камери виробництва фірми Memmert (рис. 4.1). Ці технічні агрегати демонструють високу механічну надійність та успішно виконують свої функції й сьогодні, проте їхня оригінальна застаріла система контролю та регулювання вже не здатна забезпечити необхідну точність дотримання сучасних умов випробувань, а також позбавлена можливості автоматизованої цифрової обробки отриманих результатів.



Рис. 4.1. Кліматична камери виробництва фірми Memmert

Під час проектування нової інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери слід брати до уваги той факт, що велика кількість кліматичних камер має фізично застарілу мікропроцесорну чи релейну логіку керування при збереженні відмінного експлуатаційного стану силових агрегатів та контурів. З огляду на це, раціональним рішенням є

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробка універсальної системи контролю, яка б дозволила замінити зношені плати апаратної логіки сучасним надійним обладнанням. Воно має повністю відповідати нинішнім вимогам до вимірювальної та випробувальної техніки, але одночасно з цим цілковито зберегти базовий функціонал і специфіку взаємодії з наявними виконавчими механізмами.

Усі операції з формування сигналів тривоги, захисних блокувань та безпосереднього моніторингу виконавчих пристроїв, які раніше виконувалися на жорсткому апаратному рівні, тепер необхідно перенести в площину програмного забезпечення. Окрім цього, існує потреба в автоматизації лінійки кліматичних камер, що мають відмінні технічні характеристики, різні типи керуючих пристроїв і, як наслідок, різномірну структуру сигналів та алгоритми автоматичного регулювання.

Зокрема, внутрішній корисний об'єм камер варіюється у межах від 400 до 630 дм³, а доступний робочий діапазон температур може становити від -75 до 100 °С або від -50 до 100 °С. Водночас камери з більшим корисним об'ємом оснащені двома електричними нагрівачами із сумарною потужністю до 7,6 кВт, тоді як моделі меншого об'єму мають один нагрівальний елемент на 4 кВт, керування яким реалізовано за допомогою симісторних модулів.

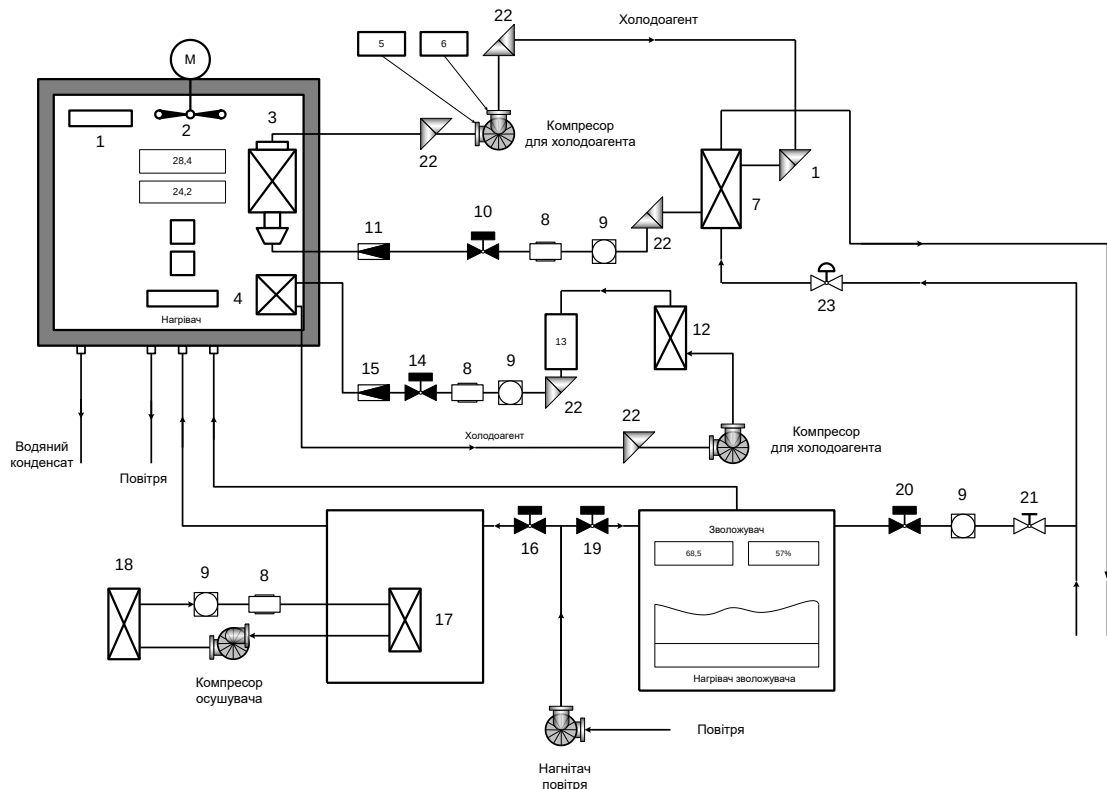
Для досягнення низьких температурних показників у деяких модифікаціях камер інтегровано двоступеневу компресорну систему охолодження, а в інших моделях задля забезпечення більш плавної стабілізації параметрів у плюсовому температурному діапазоні передбачено додатковий охолоджувальний контур. Певна частина випробувальних камер додатково обладнана системою автоматичної підтримки вологості повітря у межах від 10 до 100%, яка функціонує завдяки інтегрованим модулям осушення та зволоження. Для рівномірного розподілу та циркуляції повітряного потоку всередині робочого простору кожна камера комплектується одним або двома циркуляційними вентиляторами.

Загальна кількість інформаційних каналів та сигналів системи

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становить: 3 вхідних аналогових канали, 19 вхідних дискретних ліній від первинних датчиків та органів ручного керування, а також 17 вихідних дискретних каналів для безпосередньої комутації виконавчих пристроїв.

На рис. 4.2 наведена мнемосхема кліматичної камери



1 — Лампа освітлення об'єму камери; 2 — Вентилятор; 3 — Випарник для холодоагенту R13; 4 — Випарник для холодоагенту R12; 5 — Реле тиску мастила; 6 — Реле тиску холодоагенту; 7 — Випарник-конденсатор для R13; 8 — Фільтр для утримання бруду; 9 — Фільтр-осушувач; 10 — Електромагнітний клапан R13; 11 — Вентиль, що впорскує, для R13; 12 — Випарник-конденсатор для R12; 13 — Зрівняльний бак для R12; 14 — Електромагнітний клапан R12; 15 — Вентиль, що впорскує, для R12; 16 — Електромагнітний клапан осушувача; 17 — Конденсатор осушувача; 18 — Випарник-конденсатор для холодоагенту осушувача; 19 — Електромагнітний клапан зволожувача; 20 — Електромагнітний клапан подачі води в зволожувач; 21 — Вентиль подачі води; 22 — Кутовий вентиль; 23 — Водорегулювальний вентиль.

Рис. 4.2. Мнемосхема кліматичної камери

Перелік основних елементів та технологічних вузлів кліматичної

камери наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Перелік основних елементів та технологічних вузлів камери:

№ п/п	Найменування технологічного вузла / елемента
1	Елемент освітлення внутрішнього простору камери
2	Циркуляційний вентилятор
3	Випарний модуль для роботи з холодоагентом марки R13
4	Випарний модуль для роботи з холодоагентом марки R12
5	Реле контролю тиску мастила
6	Реле контролю тиску робочого холодоагенту
7	Вузол випарника-конденсатора для контуру R13
8	Фільтрувальний елемент для очищення від механічних домішок
9	Фільтр-осушувач контуру
10	Електромагнітний запірний клапан контуру R13
11	Регульований впорскувальний клапан для контуру R13
12	Вузол випарника-конденсатора для контуру R12
13	Зрівняльний ресивер (бак) для контуру R12
14	Електромагнітний запірний клапан контуру R12
15	Регульований впорскувальний клапан для контуру R12
16	Електромагнітний керуючий клапан модуля осушувача
17	Конденсаторний блок системи осушення повітря
18	Випарник-конденсатор для забезпечення роботи холодоагенту осушувача
19	Електромагнітний клапан системи зволоження
20	Електромагнітний клапан автоматичної подачі води до зволожувача
21	Запірно-регульовальний клапан подачі води
22	Кутовий клапан регулювання
23	Водорегульовальний автоматичний клапан

З огляду на проведені дослідження, створювана автоматизована система має повною мірою задовольняти наступний перелік технічних та експлуатаційних вимог:

1. Висока точність регулювання: Інтеграція сучасних законів та алгоритмів керування, які здатні забезпечити утримання технологічних параметрів камери на заданому рівні з похибкою не більше $\pm 0,2$ °C для температурного поля та $\pm 2\%$ для відносної вологості. Також має бути гарантоване точне відпрацювання часових інтервалів та заданих швидкостей зміни параметрів.

2. Надійність та автономність: Забезпечення безперебійної довготривалої роботи випробувального обладнання в автономному режимі, що є критично важливим під час проведення тривалих технологічних тестів.

3. Децентралізація керування: Реалізація можливості повноцінного функціонування, конфігурування та введення робочих параметрів окремо для кожної камери локально, навіть за умови тимчасової відсутності інформаційного зв'язку з централізованим автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора.

4. Логічний захист та блокування: Автоматичний безперервний моніторинг коректності функціонування елементів системи. Це передбачає програмну реалізацію складних логічних зв'язків та захисних блокувань між сигналами (які раніше виконувалися на рівні апаратної логіки) з метою недопущення аварійних ситуацій та виходу з ладу силових механізмів.

5. Архівація та збереження даних: Постійний контроль поточних технологічних параметрів з їхнім обов'язковим логуванням та збереженням у базі даних загальноприйнятого стандартного формату. Це дозволить забезпечити швидкий та зручний доступ до архівних масивів з боку суміжних інформаційних систем підприємства.

6. Ергономічний інтерфейс: Створення зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача (HMI), який надаватиме

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговуючому персоналу гнучкі можливості для швидкого налаштування програм випробувань, а також наочний доступ до поточних вимірювань та історичних трендів.

7. Масштабованість системи: Забезпечення потенціалу для подальшої модернізації, розширення каналів введення-виведення та вдосконалення алгоритмів системи, які за потреби можуть бути успішно виконані безпосередньо силами інженерно-технічного персоналу підприємства.

4.2. Розробка структурної схеми системи

Розроблювана інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів кліматичної камери має забезпечити надійність, точність, низьку ціну та простоту конструкції. Зберігається можливість переходу в ручний режим за допомогою локальної консолі, що підвищує стійкість системи. Це дозволяє послідовно модернізувати камери без переривання функціонування системи. В системі використовуються аналогові та дискретні датчики: аналогові датчики температури та вологості; дискретні датчики тиску мастила, холодоагенту та дверних контактів; аварійні сигнали обладнання; кнопки керування; виконавчі механізми.

Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери наведена на рис. 4.3. Апаратна частина виконана на базі ПЛК серії AS Delta DVP-AS300 модулями розширення.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

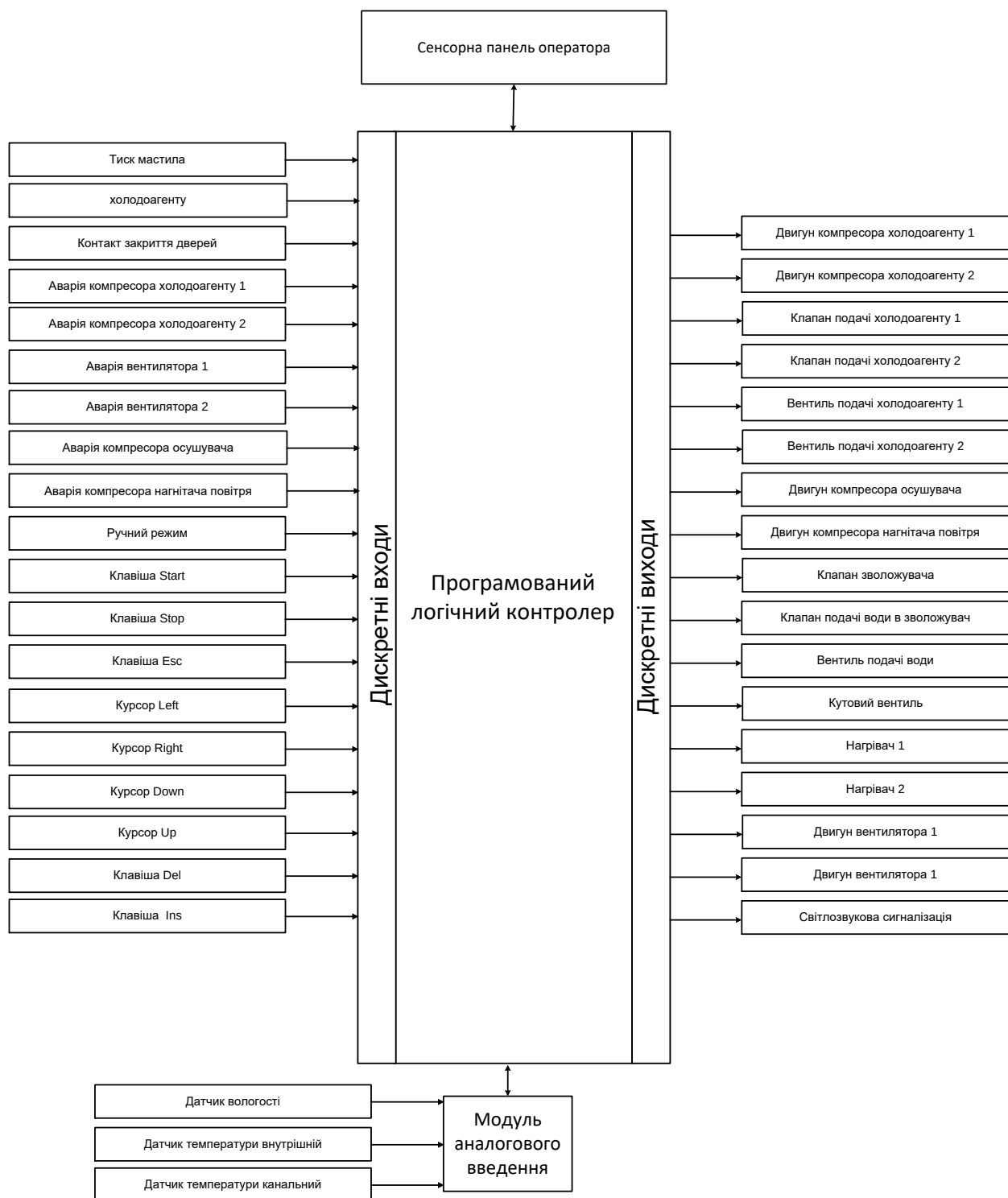


Рис. 4.3 Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів кліматичної камери

5. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИСТЕМИ

5.1. Вимірювальні засоби системи

5.1.1. Термометр опору TR10-J

Моделі термометрів TRxx (рис. 5.1) складаються з запаяної трубки, екранованого кабелю з мінеральною ізоляцією або дротів термопари з керамічної ізоляцією, в якій знаходиться термочутливий елемент [28] .

Діапазони вимірювань від - 200 ° С до + 600 ° С

Опір Pt100 становить 100 Ом при 0 ° С.

Коефіцієнт α :

$$\alpha = 3,85 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$



Рис. 5.1. Термометр опору TR10-J

5.1.2. Перетворювач вологості / температури RHP

Перетворювачі вологості / температури серії RHP [29] поєднують уніфікований вихідний сигнал з виходом по температурі (термістор, термоопір або струм / напруга) (рис. 5.2). Ємнісний полімерний сенсор не схильний до впливу конденсату, туману, високої вологості або забруднення.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серія	RHT
Похибка вимірювання	$\pm 2\%$ $\pm 3\%$
Діапазон вимірів	Температура: $-40...+60^{\circ}\text{C}$ Вологість: $0...100\%$
Середовище вимірювання	Повітря
Вихідний сигнал	4-20 мА 0-5 В 0-10 В
Температура контролюваного середовища	$-40...60^{\circ}\text{C}$



Рис. 5.2. Перетворювач вологості / температури серії RHP

5.2. Обчислювальні засоби системи

5.2.1. Програмований логічний контролер Delta DVP- AS300

Компактний модульний ПЛК серії AS – це високопродуктивний багатоцільовий контролер, розроблений для всіх видів автоматизованого обладнання. Він оснащений власно розробленими 32-розрядними

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

процесорами SoC Delta для покращеної швидкості виконання (40 тис. кроків/мс) і підтримує до 32 модулів розширення або до 1024 входів/виходів (рис. 5.3). Він широко використовується в різноманітному автоматизованому обладнанні, наприклад для виробництва електроніки, харчових продуктів і текстильних машин [10].

Характеристики базового модуля контролера серії AS300 Delta Electronics, 16DI/16DO транзисторні виходи, Ethernet:

- Високопродуктивний ПЛК модульного типу серії AS300 для керування технологічними процесами та завдань керування рухом.
- Дискретних входів - 16
- Дискретних виходів — 16 (транзисторні, NPN)
- Можливість розширення модулями введення/виведення до 1024 точок дискретного введення/виведення і до 64 точок аналогового введення/виведення,
- Обсяг прикладної програми — 128k кроків.
- 6 АВ - виходів 200 кГц
- 6 імпульсних виходів АВ або 12 step/dir
- 283 завдання (32 циклічні, 251 за перериванням різного типу)
- Максимальна комплектація — 32 модулі в/в (+ можливе розширення за шиною CANopen)
- 512 таймерів, 512 лічильників 16 бітів
- 16 переривань по фізичних входах (ЦПУ AS332/ AS228)
- Монтаж на DIN-рейку
- Безбатарейна пам'ять програми та даних
- Годинник реального часу (доступна, проста батарейка CR1620)
- Modbus ASII/RTU (2x RS485)
- Modbus TCP (32 станції AS300/16 AS200) + 4 RTU-EN01
- Ethernet/IP (32 CIP AS300)
- Висока надійність і функціональність

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- Висока рентабельність застосування
- Компактний корпус. Габаритні розміри 98,3 x 80 x 92 мм.
- Простий і зручний монтаж на DIN-рейку
- Безкоштовне програмне забезпечення
- Відповідність RoHS.

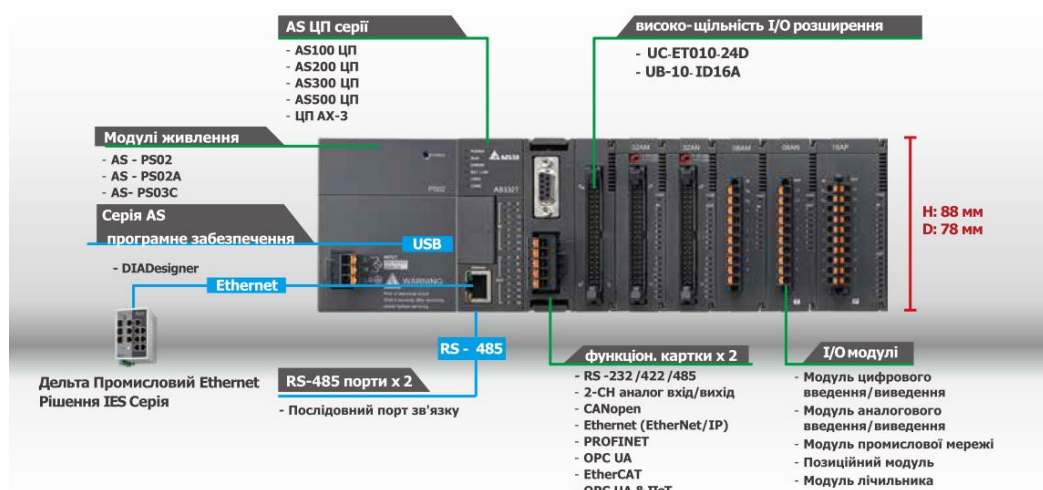


Рис. 5.3. Компактний модульний ПЛК серії AS Delta DVP- AS300

Зовнішній вигляд програмованого логічного контролері AS300 Delta Electronics, 16DI/16DO наведено на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Програмований логічний контролер AS300 Delta Electronics, 16DI/16DO

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль розширення аналогового введення AS08AD-B (рис. 5.5)

Призначення: аналогове введення.

Аналоговий вхід: 8 каналів.

Час перетворення: 2 мс.

Напруга живлення: 24 В DC.

Потужність: 2,5 Вт.

Світлодіодні індикатори: PWR, ERR, A->D.

Спосіб монтажу: встановлення на DIN-рейку 35 мм.



Рис. 5.5. Модуль розширення аналогового введення AS08AD-B

Модуль розширення дискретного введення AS16AM10N-A (рис. 5.6)

Цифрові (дискретні) входи - 16 каналів (зовнішнє живлення, 24 В DC, I=5 мА).

Потужність - 0,72 Вт.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рис. 5.6. Модуль розширення дискретного введення AS16AM10N-A

Модуль розширення дискретного виведення AS16AN01P-A (рис.5.7)

- Цифрові (дискретні) виходи - 16 Транзисторних (PNP) каналів (5~30 В DC, I=0.5 А, джерело).
- Споживаний струм - 0,5 А.
- Потужність - 1,4 Вт.



Рис. 5.7. Модуль розширення дискретного виведення AS16AN01P-A

5.2.2. Панель оператора графічна 7 TFT (800x480 пікс TP70P-RM0

Компанія Delta Electronics - випускає панелі оператора (HMI - Human-Machine Interface). Панель оператора графічна 7 TFT (800x480 пікс TP70P-RM0 (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Панель оператора графічна 7 TFT (800x480 пікс TP70P-RM0

Основні характеристики:

Повнокольоровий сенсорний екран TFT LCD 7 (154 x 85 мм) з роздільною здатністю 800 x 480 пікс.

Flash пам'ять: 64Мб / SRAM пам'ять: 32Кб

Вбудований порт USB для завантаження програм

Інтегроване в панель ядро ПЛК серії SS2 (зі скороченим функціоналом): пам'ять програми - 8К кроків 5К слів

Дискретні, аналогові входи/виходи, входи температурних датчиків РТ

Високошвидкісні імпульсні входи: 2 x 10кГц

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Прикладні команди ПЛК

8000 кроків SRAM для програмування

Модулі цифрового введення/виводу та аналогові модулі (конвертація A/D, D/A та одиниць вимірювання температури)

Вбудований годинник реального часу

На екрані TP70P можна реалізувати різні типи об'єктів, включаючи криві в координатах X-Y, кругові лічильники дистанції, діаграми, індикатори процесів та аварійну індикацію.

TP70P підтримує роботу з контролерами Delta. Може з'єднуватися з сервоприводами, перетворювачами частоти та температурними контролерами Delta.

TP70P гнучке рішення з можливістю підключення до різних зовнішніх пристроїв.

Для роботи з панелями потрібні TPEditor (версії не нижче 1.88) для програмування панелі і WPLSoft (версії не нижче 2.33) для роботи з вбудованим ПЛК.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Під режимом роботи розуміється визначений стан системи контролю. Перемикання між ними здійснюється через органи управління, за винятком станів «Аварія» та «Стоп», які активуються системою автоматично.

Предбачено наступні робочі режими:

1. «Робота» — основний стан, під час якого виконується вимірювання та стабілізація параметрів температури та вологості. Функціонування можливе у двох варіаціях: програмний режим (виконання заздалегідь налаштованого циклу випробувань) або постійний режим (підтримка фіксованих значень).

2. «Зупинка» — тимчасова пауза у виконанні випробувальної програми. У цьому стані припиняється подача керуючих сигналів на виконавчі вузли та ставляться на паузу лічильники часу кроків і циклів, проте моніторинг температури та вологості продовжується. Якщо камера працює у постійному режимі, цей стан не передбачений (система безпосередньо перемикається у «Стоп»).

3. «Стоп» — режим очікування, при якому вимірювання параметрів триває, а лічильники програми обнулені. Активація відбувається після завершення циклу випробувань або за командою «Скидання».

4. «Налагодження» — активується при вимкненні кнопки «Потужність», що призводить до знеструмлення виконавчих механізмів. Контролер залишається активним для програмування, проте команди «Пуск/Стоп» або «Скидання» не впливають на обладнання. Це оптимальний режим для введення налаштувань.

5. «Аварія» — стан захисної зупинки. Критичні помилки призводять до повної зупинки системи. У разі некритичних відхилень (наприклад, короточасний стрибок тиску в контурі) блокується лише відповідний вузол (наприклад, компресор) із автоматичним відновленням роботи після нормалізації показників.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. «Самотестування та перезавантаження» — початковий етап роботи при кожному ввімкненні живлення. При виникненні програмних збоїв перезавантаження виконується шляхом перепідключення живлення камери. Процес супроводжується світловою індикацією на корпусі контролера.

Поточний стан системи відображається на панелі керування.

На основі аналізу функцій роботи кліматичної камери було розроблено блок-схему алгоритму роботи, що приведено на рис. 6.1.

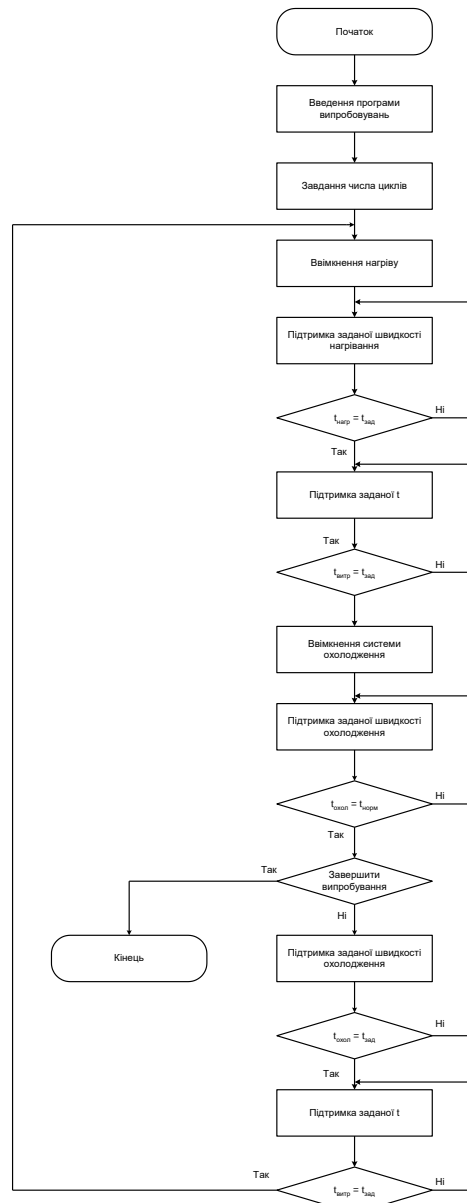


Рис. 6.1 Блок-схема алгоритму роботи системи

7. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для розрахунку похибок вимірювання (метрологічних характеристик) необхідно врахувати всі джерела похибок, що пов'язані з датчиком температури та вологості RHP, а також з програмованим логічним контролером (ПЛК) Delta DVP- AS300. Основні види похибок включають систематичні та випадкові похибки.

Основні види похибок

1. Систематичні похибки:
 - Похибка калібрування
 - Похибка датчика
 - Похибка через зовнішні фактори (температура, вологість, тиск)
 - Похибка вимірювального ланцюга (аналого-цифровий перетворювач ПЛК)
2. Випадкові похибки:
 - Флуктуації сигналу
 - Нестабільність датчика
 - Шум вимірювальної системи

Метрологічні характеристики датчика RHP

Для розрахунку похибок необхідно знати метрологічні характеристики датчика RHP:

1. Похибка вимірювання температури:
 - Типова похибка: $\pm(0.1 + 0.005 \cdot T)$ °C, де T — виміряна температура
2. Похибка вимірювання вологості:
 - Типова похибка: $\pm 2\%$ RH (відносної вологості)

Метрологічні характеристики ПЛК Delta DVP- AS300

1. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП):
 - Дискретність: $\pm 0.1\%$
 - Лінійність: $\pm 0.05\%$

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розрахунок сумарної похибки вимірювання температури

Сумарна похибка вимірювання температури складається з похибки датчика та похибки АЦП:

$$\delta_T = \sqrt{\delta_{\text{Датчик}}^2 + \delta_{\text{АЦП}}^2} \quad (7.1)$$

де:

- $\delta_{\text{Датчик}} = 0.1 + 0.005T \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\delta_{\text{АЦП}} = 0.1\%$ від діапазону вимірювання (наприклад, для діапазону 0-100°C це 0.1°C)

Розрахунок сумарної похибки вимірювання вологості

Сумарна похибка вимірювання вологості складається з похибки датчика та похибки АЦП:

$$\delta_{RH} = \sqrt{\delta_{\text{Датчик}}^2 + \delta_{\text{АЦП}}^2} \quad (7.2)$$

де:

- $\delta_{\text{Датчик}} = 2\%$
- $\delta_{\text{АЦП}} = 0.1\%$ від діапазону вимірювання (наприклад, для діапазону 0-100% це 0.1%)

Приклад розрахунку

Вимірювання температури

Нехай виміряна температура становить 70°C:

1. Похибка датчика:

$$\delta_d = 0.1 + 0.005 \cdot 70 = 0.1 + 0.35 = 0.45^\circ\text{C}$$

2. Похибка АЦП:

$$\delta_{\text{АЦП}} = 0.1\% \cdot 100 = 0.1^\circ\text{C}$$

3. Сумарна похибка:

$$\delta_T = \sqrt{0.45^2 + 0.1^2} = \sqrt{0.2125} \approx 0.046^\circ\text{C}$$

Вимірювання вологості

Нехай вимірювана вологість становить 50% RH:

1. Похибка датчика:

$$\delta_{\text{дк}} = 2\%$$

2. Похибка АЦП:

$$\delta_{\text{АЦП}} = 0.1\% \cdot 100 = 0.1\%$$

3. Сумарна похибка:

$$\delta_{RH} = \sqrt{2,0^2 + 0,1^2} = \sqrt{4,01} \approx 2,00 \%$$

Сумарні похибки вимірювання температури та вологості можна використовувати для оцінки точності вимірювань в кліматичній камері. Для температури сумарна похибка становить приблизно 0.46°C при 70°C, а для вологості — приблизно 2.00% при 50% RH. Ці похибки потрібно враховувати під час проектування системи та налаштування порогових значень для управління процесом іспитів.

8. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ

При розрахунку надійності системи потрібно визначити такі показники:

Розрахунок надійності робимо у відповідності зі схемою електричною підключення, з обліком заданої кліматичної категорії і виконання системи.

Параметр потоку відмов визначається по формулі:

$$\lambda_{\text{сис}} = \sum N_i \lambda_i,$$

де N - число груп комплектуючих, що входять до складу системи; N_i - кількість і інтенсивність відмов комплектуючих i -ої групи.

Інтенсивність відмов комплектуючих i -ої групи в робочому режимі визначається як:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} * a_1 \dots a_n,$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмов комплектуючого виробу в номінальному режимі і нормальних умовах $a_1 \dots a_n$ - коефіцієнти, що враховують умови роботи. Для визначення коефіцієнта a_1 скористаємося довідниковими даними:

$$a_1 = k_{11} * k_{12} * \dots * k_{15};$$

з огляду на умови експлуатації, вибираємо $k_{11}=2$, $k_{12}=1$, $k_{13}=1$, $k_{14}=2$, k_{15} ; таким чином, $a_1=2$. Зробимо розрахунок, скориставшись таблицею 8.1.

Інтенсивність потоку відмов елементів системи: $\lambda_{\text{сис}} = 21,4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Можливість безвідмовної роботи протягом часу t :

$$P(t) = e^{-\lambda T} \quad (8.1)$$

де T - час роботи системи, годин,

$\lambda_{\text{сис}}$ - інтенсивність потоку відмов.

Середній час наробітку на відмову визначимо по формулі:

$$T_0 = \lambda_{\text{сис}}^{-1}$$

При $\lambda_{\text{сис}} = 21,4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ значення $T_0 = 46729$ годин.

Ймовірність безвідмовної роботи за час $T = 1000$ год. визначимо по формулі (8.1). Вона склала 0,9788 відповідно до рис. 8.1.

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 8.1. Інтенсивність потоку відмов елементів системи

Прилад	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$	N_i	a_1	a_2	a_3	$N_i \cdot \lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$
Датчик вологості RHP	5	1	2	0,5	1	4
Датчик температури TR10-J	4,4	1	2	0,5	1	2,4
ПЛК Delta DVP- AS300	15	1	2	0,5	1	11
Роз'єми	0,010	400	2	0,5	1	4,0
Всього						21,4

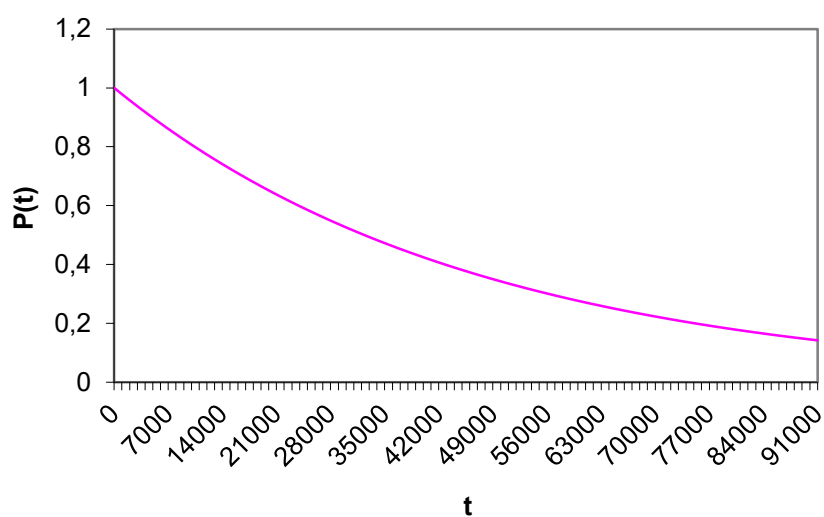


Рис. 8.1. Ймовірність безвідмовної роботи

9. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Процес випробувань пов'язаний із тривалою експлуатацією комп'ютерної техніки. Організація цих робочих місць повністю відповідає критеріям безпеки, зафіксованим у чинних «Вимогах щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» (затверджених Міністром України від 25.04.2018 р. під № 508/31960) [78], а також положенням ДСанПін 3.3.2.007-98 [79].

Головна увага в межах цього блоку зосереджена на дотриманні правил захисту від дії струму та заходів безпеки під час технічного обслуговування (заправки) робочого відсіку установки.

Ключову загрозу становить ризик електротравматизму. Додатково у процесі досліджень через роботу електрообладнання на персонал може негативно впливати магнітне та електричне поле.

Серед факторів ризику та шкідливих впливів у ході іспитів виділяють:

- небезпеку ураження електричним струмом;
- ризик пошкодження шкірних покривів через тривалу дію ІЧ-випромінювачів;
- імовірність хімічних опіків тіла у разі тривалого контакту з агресивними рідинами (кислотними чи лужними сумішами для зрошення);
- акустичне навантаження та вібраційні коливання від функціонування компресорних установок, вентиляторів і комутаційних пристроїв;
- наявність підвищеного фону електромагнітного випромінювання в робочій зоні;
- невідповідність параметрів мікроклімату (відхилення показників вологості та барометричного тиску від норми);
- дефіцит або неправильний розподіл штучного та природного освітлення.

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

У приміщенні лабораторії під час проведення дослідів та експлуатації кліматичних комплексів персонал перебуває під впливом комплексу негативних чинників. Без належного контролю вони можуть спровокувати виробничий травматизм, електричні опіки чи інтоксикацію через витік шкідливих сполук.

У лабораторії розгорнуто трифазні чотири- та п'ятипровідні силові лінії із підключенням до контуру занулення (конфігурації заземлення TN-C та TN-S). Температурний режим у кімнаті зазвичай підтримується на рівні близько ± 20 °C, а показник відносної вологості не виходить за межі $\pm 45\%$. Повітряне середовище не містить струмопровідного пилу чи хімічно агресивних домішок, що руйнують ізоляційні матеріали. Проте зберігається ймовірність того, що робітник може одночасно торкнутися металевого корпусу приладу та заземлених елементів будівлі. Зважаючи на це, згідно з критеріями ПУЕ-2017, цей простір за ступенем небезпеки ураження струмом класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Апаратура, задіяна в лабораторії, підключена до мереж із напругою до 1000 В (більшість випробувальних камер споживає 380 В). За рівнем протидії електротравматизму техніка належить до класів I та II (відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015). Вимірювальні блоки відповідають класу I: вони мають базову ізоляцію, а кабель живлення оснащений окремою заземлювальною жилою та штепсельною вилкою із заземлювальним приєднувальним елементом для роботи в системі TN-S.

Під час взаємодії з комп'ютерами та кліматичними камерами зберігається ризик випадкового торкання до відкритих ділянок схем, що перебувають під напругою. Розрахунок цього ризику передбачає порівняння можливої напруги дотику із гранично допустимими показниками, які залежать від тривалості дії струму згідно з регламентом ПУЕ-2017 (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Граничні параметри напруги дотику

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	>1 сек. до 5 сек.
$U_{\text{доп. доп.}}$ (В)	500	400	200	130	100	65

Основними факторами травмування персоналу електричним струмом є безпосередній контакт із неізольованими лініями або металевими елементами конструкцій, які опинилися під напругою через пошкодження захисного шару. Для запобігання таким випадкам впроваджено комплекс заходів згідно з вимогами ПУЕ-2017:

- Заходи для захисту від контакту із робочими струмоведучими вузлами: застосування високоякісної ізоляції, використання захищених (закритих) клемних колодок, прокладання силових кабелів всередині стінових каналів.
- Заходи на випадок пробою напруги на металеві корпуси (аварійні ситуації): реалізація схеми занулення. Це передбачає примусове з'єднання відкритих металевих частин устаткування із заземленим нейтральним проводом мережі, що забезпечує миттєве знеструмлення. У разі аварії спрацьовує захист від коротких замикань (магнітний розчеплювач автоматичного вимикача чи плавка вставка), і несправна лінія ізолюється від живлення.

Усі прилади в лабораторії підключені до захисного заземлення. Величина нормативного еквівалентного опору цього контуру R_z чітко регламентується залежно від напруги живлення, загальної потужності об'єктів та режиму нейтралі. Цей показник має становити від 4 до 10 Ом для обладнання до 1000 В, і в межах 0,5–10 Ом для ліній з напругою понад 1000 В.

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

У приміщенні лабораторії зосереджено багато матеріалів, схильних до горіння (елементи меблів із деревини, деталі з пластику, гумові шланги, документація та звукопоглинальне оздоблення стін). Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016, за рівнем вибухопожежної небезпеки лабораторія підпадає під категорію В (простір, де містяться тверді горючі або важкогорючі речовини, здатні до термічного розпаду чи займання під дією кисню, води або при контакті між собою).

Спираючись на нормативи НПАОП 40.1-1.32-01, робочі ділянки лабораторії класифікуються як пожежонебезпечні зони класу П-Па. У них присутні тверді пальні речовини, які не утворюють небезпечної концентрації пилу в повітрі.

Згідно з НАПБ В.01.056-2013/111, усе силове обладнання (включаючи температурні камери) експлуатується суворо відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС) та відповідних будівельних норм (ДБН).

Ініціювати займання можуть такі чинники, як електрична дуга, замикання дротів, надмірне навантаження на мережу, поломка приладів або ігнорування заборони на паління. Задля мінімізації цих ризиків впроваджено профілактичний комплекс: встановлено захисні запобіжники на лініях живлення, а зі співробітниками регулярно проводяться інструктажі з пожежної безпеки.

Згідно з положеннями ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007, приміщення укомплектоване первинними засобами пожежогасіння. Безпосередньо біля виходу на висоті 1,5 метра від рівня підлоги змонтовані вуглекислотний вогнегасник типу «ВВ-5», а також порошкові аналоги «ВП-2» та «ВП-5».

У загальному коридорі облаштовано пожежну шафу, укомплектовану гідрантом із рукавом, а також розміщено додатковий вогнегасник типу «ВХП-10».

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На обох кінцях коридорного приміщення встановлено стаціонарні телефонні апарати, поруч із якими розміщено інформаційні покажчики з номерами екстреного зв'язку для виклику як внутрішньої служби безпеки, так і міської пожежної охорони.

Безпека споруди від атмосферних розрядів реалізована через систему блискавкозахисту, яка відповідає положенням ДСТУ EN 62305-1:2012.

Для екстрених випадків у лабораторії розроблено та вивішено графічний план евакуації. Гранична відстань від робочих місць до дверей виходу, як і габарити евакуаційних проходів, повністю узгоджуються з параметрами ДБН В.1.1-7-2016, СНіП 2.02.02-85 та ДБН В 1.1-7-2002. Організація робочого простору повністю відповідає нормам НАПБ А.01.001-2004.

Таким чином, у лабораторії забезпечено виконання всіх державних стандартів пожежної безпеки.

					МІМТ.480.007.056 – ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено інформаційно-вимірювальну систему контролю параметрів кліматичної камери.

Під час проектування було проаналізовано види кліматичних випробувань та обладнання для проведення випробувань виробів електронної техніки, виконано огляд сучасного випробувального обладнання.

Сформульовані вимоги до точності вимірювання та надійності роботи лягли в основу вибору датчиків та контролера.

Розроблені структурна та електрична принципова схема системи, підібрані датчики з урахуванням їхніх метрологічних характеристик і експлуатаційних властивостей. Розроблено алгоритм роботи системи, який забезпечує збір, обробку, відображення та збереження даних.

Проведено розрахунок похибок системи, які не перевищують допустимі значення, що відповідає вимогам до точності систем контролю параметрів кліматичної камери. Визначено основні показники надійності системи, що дозволяє забезпечити її стабільну роботу протягом тривалого часу без збоїв.

Отримані результати підтверджують працездатність і ефективність розробленої системи. Вона може бути застосована для контролю параметрів кліматичних камер різного призначення. Розробка вирізняється простотою, доступністю, модульністю та високою точністю, що робить її перспективною для подальшого вдосконалення та модернізації.

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ДСТУ 8216:2015. Вироби електронної техніки. Класифікація за умовами застосування та вимоги стійкості до зовнішніх впливових чинників [Текст]. – Введ. 2017–01–04. – К.: Держспоживстандарт України, 2017. – 11 с.
- 2) 2 ДСТУ 3021–95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення [Текст]. – Введ. 1996-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 70 с.
- 3) 3 ДСТУ 3011-95. Устаткування випробувальне кліматичне та механічне. Терміни та визначення [Текст]. - Введ. 1996–01–01. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 36 с.
- 4) Голобородько, М.Ю. Загальні вимоги до видів, послідовності та умов проведення випробувань радіоелектронного обладнання [Текст] / М.Ю. Голобородько, І.Г. Зотова; О.С. Левшенко та інші. - // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. - 2018. - № 1, с. 86-92.
- 5) Випробування приладів і систем. Види випробувань та сучасне обладнання : навчальний посібник / В. В. Аврутов, І. В. Аврутова, В. М. Попов ; НТУУ «КПІ». — Електронні текстові дані. — Київ : НТУУ «КПІ», 2009.
- 6) Аврутов, В. В. Випробування і контроль приладів і систем [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В. В. Аврутов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електронні текстові дані (1 файл: 14,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 225 с. – Назва з екрана
- 7) Випробування радіоелектронних засобів [Текст] / І.Є. Поспеева, Г.М. Шило, Т.І. Куляба-Харитоновна / Навчальний посібник. – Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2020. – 281 с.
- 8) логічний контролер AS300 Delta Electronics, 16DI/16DO <https://delta-electronics.com.ua/ua/p992144951-bazovyj-modul-kontrollera.html>

					MIMT.480.007.056 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

9) Модуль розширення аналогового введення AS08AD-B
<https://deltaww.com.ua/as08ad-b-modul-rasshireniya-as300-8-ai-tolko-potentsialnyy-rezhim-16-bit-as08ad-b?dsort=added&dorder=DESC>

10) Модуль розширення дискретного введення AS16AM10N-
<https://delta-electronics.com.ua/ua/p992778413-modul-rasshireniya-plk.html>

11) Модуль розширення дискретного виведення AS16AN01P-A
<https://delta-electronics.com.ua/ua/p992874586-modul-rasshireniya-plk.html>

12) Панель оператора графічна 7 TFT (800x480 пікс TP70P-RM0
<https://eleksun.com.ua/uk/tp70p-rm0-panel-operatora-graficheskaya-7-tft-800h480-piks-65536-cvetov-so-vstroennym-plk-bez.html>

					<i>МІМТ.480.007.056 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

