

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

«Модернізація системи управління нагріву індукційної печі шляхом
застосування програмного забезпечення»

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕА-
ІВТ23мг

спеціальності: 175 Інформаційно-
вимірювальні технології

_____/ Володимир ПУТЯТІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Ганна ГРІНЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Євгеній КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія»

Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології

Освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувача вищої освіти Володимир ПУТЯТІН

(ім'я, прізвище)

1. Тема Модернізація системи управління нагріву індукційної печі шляхом застосування програмного забезпечення

затверджена наказом по академії №__ від «__» _____ 20__ р.

2. Термін здачі закінченої роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

проаналізувати наукові підходи до модернізації систем управління індукційної печі, визначити основні напрямки удосконалення систем управління нагріву індукційної печі, розробка рекомендацій щодо модернізації системи управління нагріву індукційної печі шляхом застосування програмного забезпечення

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання«__»_____20__р.

Керівник _____ Ганна ГРІНЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Володимир ПУТЯТІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Розробка плану кваліфікаційної роботи, ознайомлення з літературними джерелами за темою		
2.	Написання теоретичної частини кваліфікаційної роботи		
3.	Написання аналітичної частини кваліфікаційної роботи		
4.	Написання дидактичного проєкту в рамках кваліфікаційної роботи		
5.	Перевірка чернетки кваліфікаційної роботи та внесення змін до неї керівником		
6.	Перевірка якості кваліфікаційної роботи у системі «Антиплагіат»		
7.	Оформлення кваліфікаційної роботи		
8.	Проходження нормоконтролю оформлення кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Володимир ПУТЯТІН
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль _____
(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВСТУП

Однією зі складових успішного виходу України на світовий ринок товарів є випуск конкурентоспроможної продукції, особливо в тих галузях, які традиційно забезпечують експорт країни. Машинобудування - ключова наукомістка галузь промисловості країни, оскільки її розвиток є визначальним для забезпечення якості продукції інших галузей національної економіки. Основним завданням сучасного машинобудування є випуск продукції високої якості та конкурентоспроможності. Якість продукції залежить від якості виготовлення окремих деталей і процесу їх складання.

Складання є завершальною стадією виготовлення машин і механізмів, яка багато в чому визначає експлуатаційну надійність і довговічність виробу. Слід зазначити, що основну частину складальних робіт становлять ручні слюсарно-складальні роботи, які потребують інколи великих витрат фізичної праці та високої кваліфікації виконавців. Тому економічні показники підприємства в багатьох випадках залежать від трудомісткості складального виробництва, а проблема підвищення якості та продуктивності складання є однією з найважливіших проблем науково-технічного прогресу сучасного машинобудування.

Нині на території України діють та несуть свій вклад в добробут нашої держави понад мільйон підприємств, які надають нашим споживачам різноманітні послуги, поставляють на вітчизняний ринок свої товари та займаються удосконаленням своєї управлінської діяльності, щоб якомога більше задовольнити потреби країни та покупців.

Основним мотивом діяльності кожного підприємця є максимізація прибутку та забезпечення ефективності роботи, що досягається через ретельний аналіз та грамотне управління політикою підприємства.

В історії автоматизації нагрівальних печей можна виділити кілька важливих етапів. До середини 1950-х років увага була зосереджена на

локальних системах регулювання, а проведені роботи здебільшого спрямовувалися на вдосконалення характеристик використовуваного обладнання. Через обмежену надійність приладів складні системи управління нагрівальними печами не були необхідні.

З підвищенням вимог до якості продукції виникла необхідність у створенні систем керування, які б автоматично адаптували режим роботи печей в залежності від змін у їхньому режимі. Розробка таких систем дозволила реалізувати прості алгоритми керування.

Виходячи з цього, на сьогоднішній день необхідно розробити більш перспективні та ефективні методи для створення автоматичних систем керування такими динамічними об'єктами, як нагрівальні печі. Це дозволить забезпечити оптимальні умови їх роботи, знижуючи витрати електроенергії при високій якості продукції.

На якість складання може впливати велика кількість чинників, зокрема ті, що не мають прямого відношення до складального процесу [1, 2], наприклад, похибки термічної, механічної та інших видів обробки деталей. Ці похибки прямо чи опосередковано можуть виявитися або в процесі складання, або в зібраному виробі і таким чином погіршити його якість.

У дослідженнях [3,4] такі положення було деталізовано. Так похибки складання почали розглядати за характером їхнього прояву (випадкові та систематичні), за типом посадок, взаєморозташування елементів, деформацій, стану сполучуваних поверхонь тощо.

Технологію складання з'єднання того чи іншого виду (циліндричне, конічне, плоске, різьбове тощо) обирають, зважаючи на характер посадки, з урахуванням її точності, розмірів деталей та їхньої точності, похибки форми й шорсткості поверхонь, конструктивних елементів (фаски, розточування, проточки), потрібної точності відносного розташування деталей у з'єднанні і т.д. У роботах [5-9] розглянуто основні параметри, якими повинні володіти деталі, що надходять на складання. Найважливішим етапом у проектуванні

технології є проектування операції власне складання на основі розрахунку збирання деталей. Обґрунтованість розрахунку залежить від ступеня врахування впливу раніше перерахованих факторів, а також від кінематичних, жорсткісних, силових і динамічних характеристик засобів технологічного оснащення.

У роботах [10, 11] розглядалися питання, пов'язані з розв'язанням проблеми збирання деталей у складальну одиницю за циліндричними посадковими поверхнями. Під час складання з натягом деталі мають бути виготовлені з фасками, оскільки їхня відсутність призводить до незбірності виробу через високу ймовірність упору торцевими поверхнями або збирання з ушкодженням крайок по контуру посадкової поверхні. Наявність фасок має велике значення, особливо під час автоматичного складання. І це є головною вимогою до технологічності деталі з точки зору складання. Детальніше питання складання з'єднань з малими зазорами і з натягом розглянуто в роботах [12, 13]. Незначний перекис осей деталей призводить до їх заклинювання, а невелике збільшення складального зусилля призводить до утворення задирів. Під час складання таких з'єднань, використовуючи різні пристрої корекції, в автоматичному режимі необхідно забезпечити малі ексцентриситет і кут перекосу осей.

Як уже зазначалося раніше, один із найважливіших показників якості - точність [14-17]. Під час складання основні технічні вимоги - це дотримання точності положення, обертання, лінійного переміщення тощо вузлів і деталей щодо будь-яких базових поверхонь. Точність відносного положення деталей, якщо на охоплюваній деталі немає наполегливого бурта, залежить від точності роботи складального механізму. Найбільшого ефекту під час розв'язання комплексної проблеми точності, продуктивності та економічності виробництва виробів (машини та прилади) загалом досягають тоді, коли цю проблему розв'язують із трьох основних позицій, що характеризують усі етапи виробництва та експлуатації: конструкторсько-експлуатаційних, технологічних і метрологічних [18, 19].

Метою роботи є підвищення якості технології складання шляхом розрахунку розмірних ланцюгів з урахуванням температурних зазорів, що виникають у процесі складання в умовах термовпливу.

І ГЛАВА. ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАГРІВАОМ ТЕПЛОВИХ УСТАТКУВАНЬ.

У цій главі розглянуті основні принципи автоматичного керування, контролю, та регулювання температури, вітчизняні прилади, які застосовуються для автоматичного керування, та датчики, які встановлюються на об'єкті керування.

1. Принцип та мета автоматичного контролю та регулювання.

Моделювання теплових процесів, які проходять під час збирання з термовпливом, і знання закону розподілу зміни величини температурних зазорів, дає можливість управляти зв'язками, що утворюються між поверхнями деталей. Раніше, щоб виключити неминучі зазори, вдавалися до спеціальних способів. Існуючий спосіб притиску деталей одна до одної в процесі скріплення трудомісткий і вимагає пресового обладнання. Великогабаритними ж з'єднаннями маніпулювати дуже складно і не завжди на виробництві є великі преси. На підставі проведеного аналізу процесу формування багатoelementного з'єднання в осьовому напрямку для виключення зазорів, уперше пропонується використовувати отриману величину температурного зазору в розрахунку складальних розмірних ланцюгів.

Математична модель розрахунку складального розмірного ланцюга має вигляд:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \left(\xi_{A_i} A_i - \left(\alpha_{BTi} l_{BTi} T_{BTi} + \Delta_{o_i} \right) \right) \quad (1)$$

де A_{Δ} - номінальний розмір замикальної ланки розмірного ланцюга; A_i - номінальний розмір складової ланки розмірного ланцюга; ξ_{A_i} - передавальне

відношення i –ланки, яке може набувати різного змісту і значення залежно від виду розмірного ланцюга.

Отримане номінальне значення замикаючої ланки дає змогу зменшити сумарну похибку складання на етапі технологічної підготовки виробництва без використання додаткових технологічних операцій.

На підставі отриманих даних та аналізу літературних джерел для раціонального використання нормативної бази розрахунку складальних розмірних ланцюгів запропоновано алгоритм розрахунку складальних розмірних ланцюгів, у якому описується послідовність виконання дій розв'язання розмірної точності з урахуванням методу складання. (рисунк 1).

На першому етапі формується задача (пряма або зворотна). Під час розв'язання прямої задачі визначаємо номінальні розміри, допуски, координати середин полів допусків і граничні відхилення всіх ланок розмірного ланцюга, які є складовими. Під час розв'язання зворотної задачі визначаємо номінальне значення, допуск, координату середини поля допуску, граничні відхилення замикальної ланки.

На другому етапі залежно від поставленого завдання встановлюється замикальна ланка і будується схема виробу, на яку наноситься розмірний ланцюг. Зазвичай замикальною ланкою є відстань між поверхнями, які необхідно забезпечити під час конструювання виробу, досягти в процесі його виготовлення або визначити вимірюванням.

Потім визначаємо метод розрахунку розмірного ланцюга, який залежить від типу виробництва та кількості ланок розмірного ланцюга, а також спосіб складання виробу.

На четвертому етапі виконуємо безпосередньо розрахунок складального розмірного ланцюга. Під час розв'язання зворотної задачі з використанням імовірнісного методу розрахунку під час складання з термовпливом, номінальне значення замикальної ланки визначається за допомогою виразу (1).

Далі визначаємо координату середини поля допуску замикальної ланки:

$$\Delta_{o_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n \xi_i \Delta_{o_i}, \quad (2)$$

де Δ_{o_i} - середина поля допуску складових ланок і визначається:

$$\Delta_{o_i} = \frac{\Delta_{B_i} + \Delta_{H_i}}{2}, \quad (3)$$

де Δ_{B_i} , Δ_{H_i} - верхні та нижні граничні відхилення складових ланок.

Наступним кроком визначаємо величину поля допуску замикальної ланки та її граничні відхилення

$$\delta_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \lambda_i^2 \delta_i^2}, \quad (4)$$

де δ_i - величина допуску складових ланок; t_{Δ} - коефіцієнт ризику; λ_i^2 - відносне середньоквадратичне відхилення.

За нормального закону розподілу λ_i^2 дорівнює 1/9. За фактичних даних про закон розподілу значення відхилення відносного середнього квадратичного відхилення необхідно виконати розрахунок відповідно до нормативних вимог.

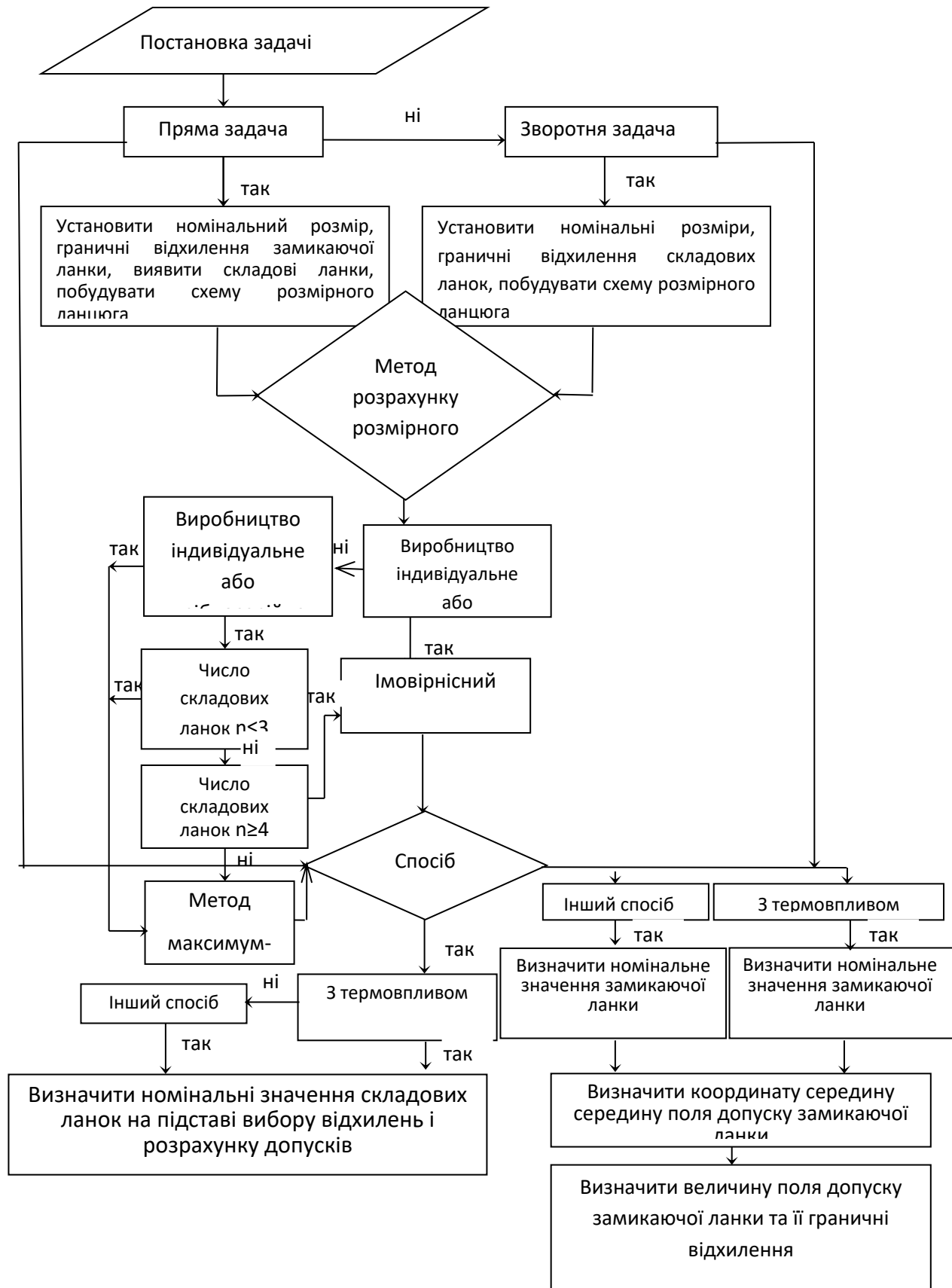


Рисунок 1. Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга

$$\Delta_{B_{\Delta}} = \Delta_{o_{\Delta}} + \frac{\delta_{\Delta}}{2}, \quad \Delta_{H_{\Delta}} = \Delta_{o_{\Delta}} - \frac{\delta_{\Delta}}{2}, \quad (5)$$

де $\Delta_{B_{\Delta}}, \Delta_{H_{\Delta}}$ - верхнє і нижнє граничні відхилення замикальної ланки.

Запропонований алгоритм розрахунку складального розмірного ланцюга є одним з елементів нормативного матеріалу щодо забезпечення якості складання в машинобудуванні в умовах термовпливу термовпливу багатоелементного з'єднання із заданими параметрами.

Визначимо допуск замикальної ланки редуктора, розмірний ланцюг якого зображено на рис. 2, номінальні розміри, граничні відхилення складових ланок задано в таблиці 1, водночас використаємо чотири отримані коефіцієнти відносного середньоквадратичного відхилення ланки.

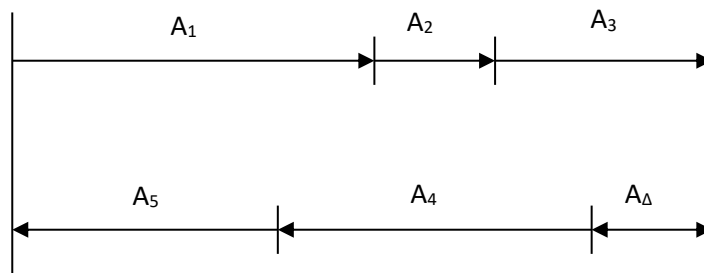


Рис.2. Схема складального розмірного ланцюга

Таблиця 1. Номінальні розміри, граничні відхилення складових ланок

Ланка	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Номінальний розмір	32	2	16	30	13
Верхнє відхилення	+0,10	+0,05	+0,12	-0,10	0

Нижнє відхилення	-0,05	-0,05	-0,08	-0,02	-0,05
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------

З метою розв'язання поставленого завдання в Eхеlе для кожної складової ланки було згенеровано нормальний закон розподілу. Допуск замикальної ланки визначали, використовуючи незміщені оцінки Q_1 , Q_2 , Q_3 і Q_4 .

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку складального ланцюга

Ланка	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Допуск складових ланок	0,15	0,1	0,2	0,1	0,05
Q_1	0,0614	0,048746	0,051239	0,045262	0,057088
Q_2	0,063041	0,050049	0,052609	0,046472	0,058614
Q_3	0,062056	0,049403	0,052129	0,045433	0,057983
Q_4	0,060824	0,047018	0,04998	0,044614	0,055059
λ_1	0,00124	0,000782	0,000864	0,000674	0,001072
λ_2	0,001273	0,000803	0,000887	0,000692	0,001101
λ_3	0,001253	0,000792	0,000879	0,000677	0,001089
λ_4	0,001229	0,000754	0,000842	0,000664	0,001034
K_1	1,586554	0,905071	1,281555	0,628595	0,86448
K_2	1,586554	0,905071	1,281555	0,628595	0,86448
K_3	1,582197	0,901603	1,298897	0,621239	0,868741

K_4	1,62945	0,894973	1,268205	0,642444	0,841636
δ_1 – допуск замикальної ланки	0,369246				
δ_2 – допуск замикальної ланки	0,369246				
δ_3 – допуск замикальної ланки	0,37106				
δ_4 – допуск замикальної ланки	0,371459				

На рис. 3 зображено діаграму, на якій показано величини допусків замикальної ланки, отримані під час використання чотирьох коефіцієнтів відносного середньоквадратичного відхилення.

Проведений аналіз показав, що точність замикальної ланки вища за умови використання коефіцієнта відносного середньоквадратичного відхилення λ_1, λ_2 , а за умови використання коефіцієнтів λ_3, λ_4 точність замикальної ланки нижча.

Таким чином, під час розрахунку складальних розмірних ланцюгів імовірнісним методом, де розсіювання розмірів підпорядковане

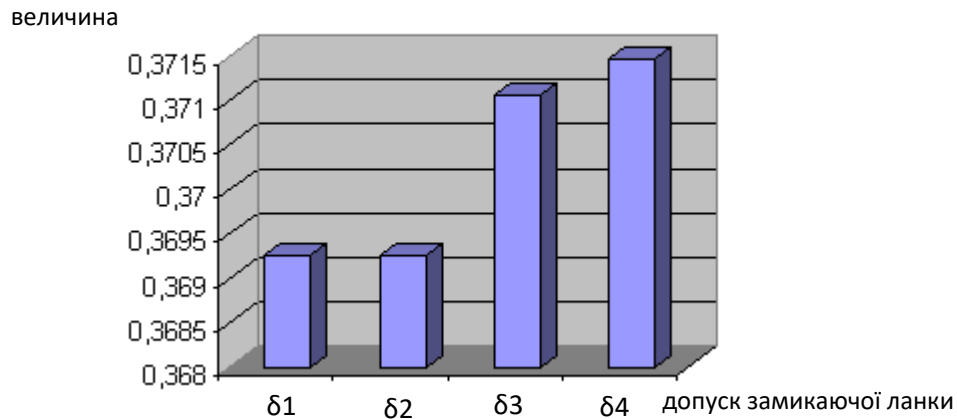


Рис. 3. Величини допусків залежно від використовуваних коефіцієнтів відносного середньоквадратичного відхилення

нормальному закону розподілу, доцільно використовувати незміщені оцінки поля розсіювання Q_1 і Q_2 , які порівняно з іншими оцінками є більш точними. Отримані результати можна використати в розробці нормативного документа для визначення коефіцієнта відносного розсіювання K_i та розв'язання складального розмірного ланцюга методом імовірнісного підсумовування.

2. Вітчизняні пристрої контролю та регулювання температури.

У цьому параграфі будуть розглянуті найбільш доступні прилади, їх переваги та недоліки у процесі експлуатації.

1. Показуючі одноканальні та реєструючі прилади серії КС-3.

Ці прилади призначень для:

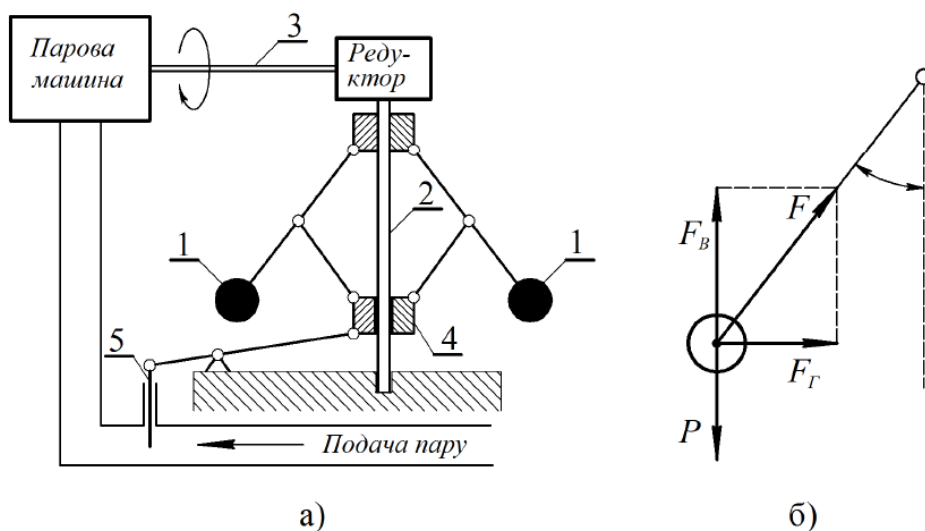
- вимірювання і реєстрації на дисковій діаграмі ($D = 250\text{мм}$) сигналів від перетворювачів термоелектричних (термопар ТП), термоперетворювачів опору (ТО), різних неелектричних величин, перетворених в уніфіковані сигнали сили і напруги постійного струму або в комплексну взаємодуктивність;
- сигналізації та регулювання параметрів технологічного процесу;

- перетворення вхідного сигналу в вихідний уніфікований безперервний струмовий, частотний або пневматичний сигнал.

Потенціометри КСПЗП, КСПЗПІ і урівноважені мости КСМЗП, КСМЗПІ використовуються для вимірювання та реєстрації активного опору, сили і напруги постійного струму, а також неелектричних величин, перетворених в зазначені сигнали.

Прилади КСПЗ-ПІ, КСМЗ-ПІ виготовлені з іскробезпечними вимірювальними ланцюгами (іскрозахист Ехі). З метою безпеки вони використовуються в комплекті з серійно випускаються первинними перетворювачами, які не мають власного джерела струму і не володіють індуктивністю або ємністю.

Прилади виготовлені таким чином, що аварійні режими, які виникають в результаті короткого замикання, обриву або виходу з ладу будь-якого елемента тощо, не можуть викликати іскру в ланцюзі первинного перетворювача, здатну запалити вибухонебезпечну суміш, в якій встановлені первинні перетворювачі. Аналоги самописних паперових реєстраторів КС-3 з дисковою діаграмою діаметром 250мм - реєстратори Диск-250, Диск-250М. Найбільш часто використовувані прилади вказані у табл. 1.



Мал. 1 – Регулятор: а) принципова схема; б) схема діючих сил;

Таблиця 1 - Градування і межі вимірювань

Тип прилада	Тип датчика	Позначення градування	Межі вимірювання, °C		Номер Діаграми
			від	до	
КСПЗ-П КСПЗ-ПИ	Термоелектричний перетворювач типу ТХК, ГОСТ 6616- 74	ХК ₆₈	-50	100	2230
			-50	150	2231
			-50	200	2232
			0	150	2212
			0	200	2233
			0	300	2214
			0	400	2213
			0	600	2210
			200	600	2222
			200	800	2223
КСПЗ-У КСПЗ-УИ	Теж саме	ХК ₆₈	-50	50	2405
			0	100	2406

Продовження табл.1

Тип прилада	Тип датчика	Позначення градуювання	Межі вимірювання , °C		Номер Діаграм и
			від	до	
КСПЗ-П	Термоелектричний перетворювач типу ТХА, ГОСТ 6616-74	ХА ₆₈	0	400	2216
			0	600	2217
			0	800	2211
			0	900	2218
			0	1100	2208
			0	1300	2219
			200	600	2220
			200	1200	2221
			400	900	2227
			600	1100	2228
			700	1300	2229
КСПЗ-ПИ	Термоелектричний перетворювач типу ТПП, ГОСТ 6616-74	ПП ₆₈	0	1300	2224
			0	1600	2209

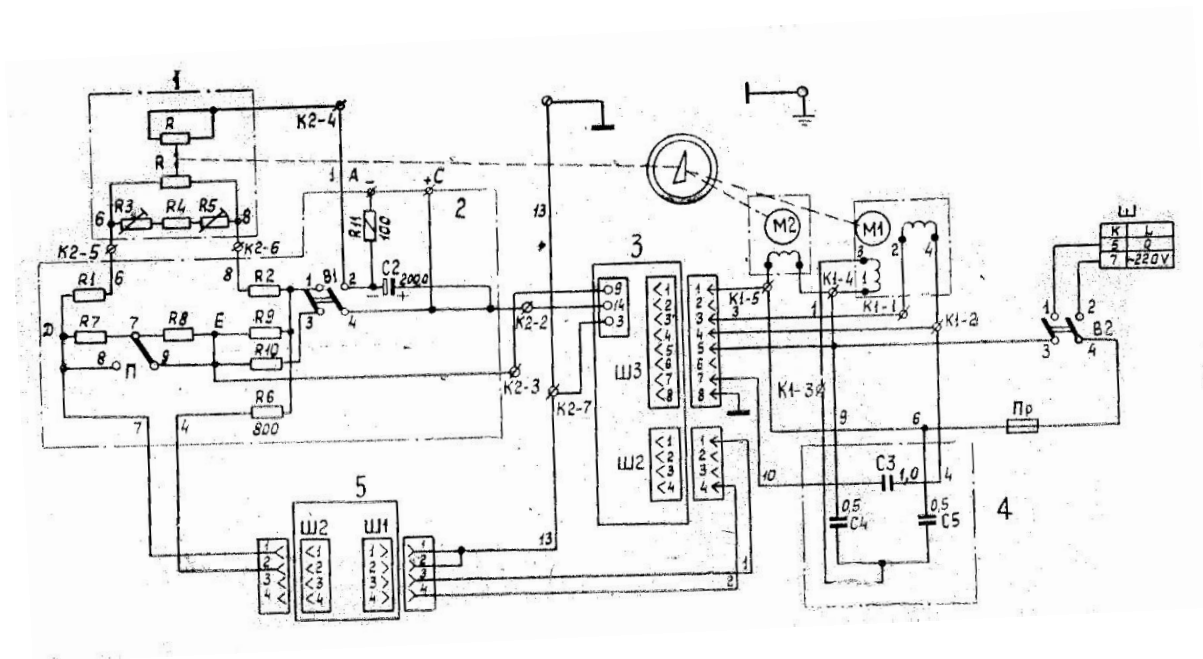
КСПЗ-У КСПЗ-УИ	Теж саме	ПП ₆₈	500	1300	2207
КСПЗ-П КСПЗ-ПИ	Термоелектричний перетворювач типу ТПР, ГОСТ 6616- 74	ПР-30/6 ₆₈	300	1600	2310
КСПЗ-П КСПЗ-ПИ	Теж саме	ПР-30/6 ₆₈	300 1000 1000	1000 1600 1800	2408 2409 2410
КСМЗ-П КСМЗ-ПИ	Термоперетворюва ч опору платиновий ТСП, ГОСТ 6651- 78 Опір термопере- творювача при 0°C рівне 100 Ом	10П	0	300	2247
			0	400	2252
			0	500	2260
			0	650	2270
			300	650	2253
	Термоперетворюва ч опору платиновий ТСП, ГОСТ 6651- 78 Опір термопере- творювача при 0°C рівне 46 Ом	21	-200	-70	2257
			-120	30	2256
			-70	180	2266
			0	100	2251
			0	150	2249
			0	200	2259
			0	300	2247
			0	400	2252
			0	500	2260
			50	100	2462
			50	150	2463
			200	500	2255

Продовження табл.1

Тип прилада	Тип датчика	Позначення градуювання	Межі вимірювання, °С		Номер Діаграми
			від	до	
КСМЗ-П КСМЗ-ПИ	Термоперетворювач опору платиновий ТСП, ГОСТ 6651-78 Опір термоперетворювача при 0°C рівне 100 Ом	100П	-200	-70	2257
			-200	50	2464
			-120	30	2256
			-90	50	2258
			-70	180	2266
			-25	25	2269
			0	50	2248
			0	100	2251
			0	150	2249
			0	200	2259
			0	300	2247
			0	400	2252
			0	500	2260
			200	500	2255
	Термоперетворювач опору мідний ТСМ, ГОСТ 6651-78 Опір термоперетворювача при 0°C рівне 53 Ом	23	-50	0	2261
			-50	50	2263

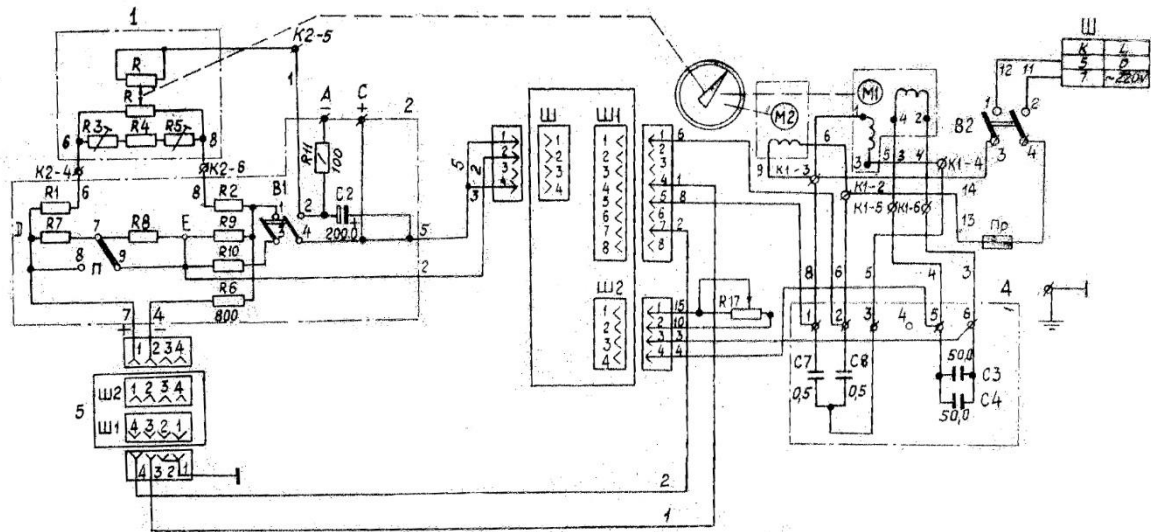
КСМЗ-П КСМЗ-ПИ	Термоперетворювач опору мідний ТСМ, ГОСТ 6651-78 Опір термоперетворювача при 0°C рівне 53 Ом	23	-50	100	2265
			0	50	2254
			0	60,4	2190
				(для виміру вакуума)	
			0	100	2246
			0	150	2268
			0	180	2267
			50	100	2262
	Термоперетворювач опору мідний ТСМ, ГОСТ 6651-78 Опір термоперетворювача при 0°C рівне 53 Ом	100М	-50	0	2261
			-50	50	2263
			-50	100	2265
			-25	25	2264
			0	25	2250
			0	50	2254
			0	100	2246
			0	150	2268

Нище приведені принципові електричні схеми найбільш використовуваних приладів, габаритні розміри та схема підключення приладу та датчиків.



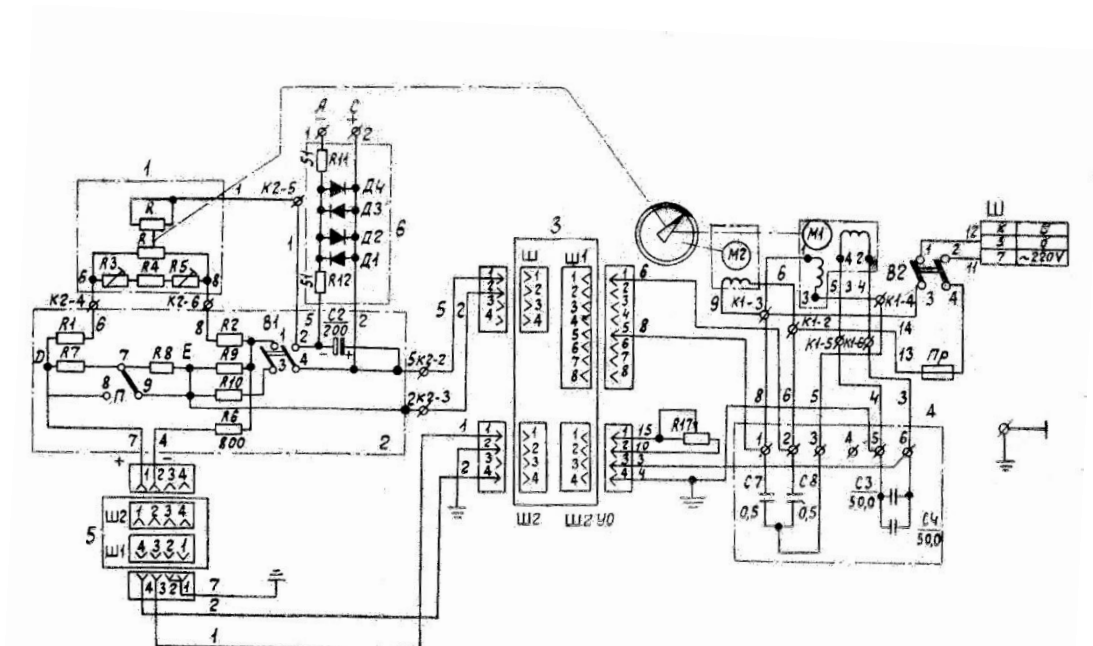
мал. 6 – Схема електрична принципова потенціометрів КСПЗ-У, КСПЗ-УИ для градуювання ХХ₆₈, ПП₆₈:

1-реохорд; 2-блок вимірювальний; 3-підсилювач УЕД (Ш2:1, 4-6,3 В; Ш3; 1-220 В, 3-двигун; 4-спільний, 5-220 В; 7-конденсатор, 8-корпус); 4-блок конденсаторів; 5-джерело живлення стабілізоване (Ш1: 1-екран; 2-«земля»; 3 и 4-6,3 В; Ш2: 1- +5 В, 2- -5 В; П-перемичка; В1, В2 -перемикач; Пр-запобіжник; М1-електродвигун реверсивний; М2-електродвигун синхронний; К1, К2-колодка клемна; Ш- роз'єм зовнішніх з'єднань(L-ланцюг, К-контакт); А, С -клеми підключення перетворювача термоелектричного.



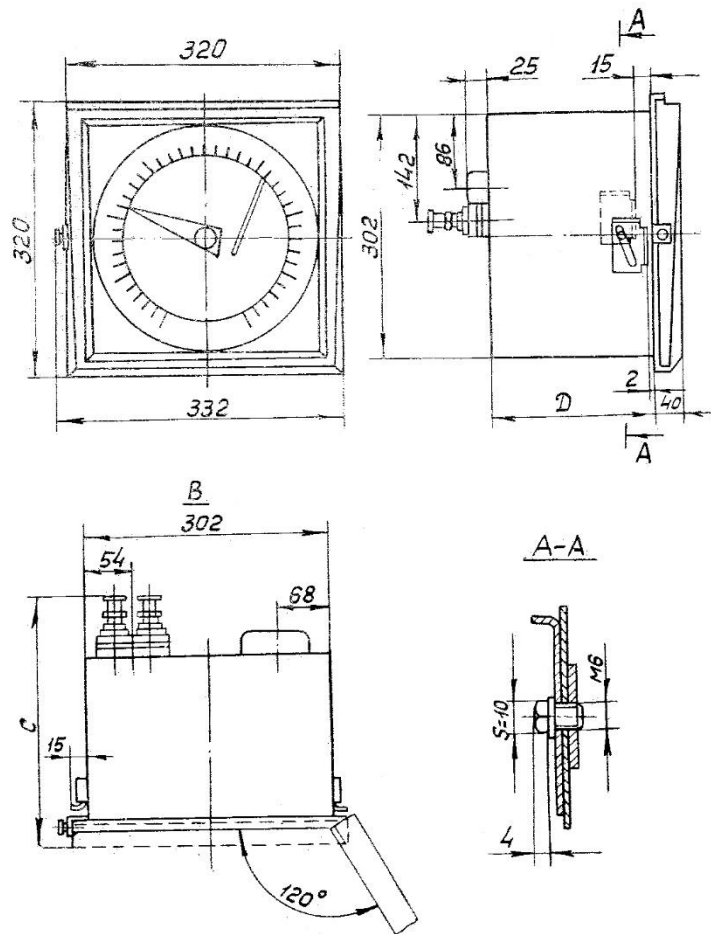
мал. 7 – Схема електрична принципова потенціометрів КСПЗ-ПИ для градуювання ХА₆₈, ХК₆₈, ПП₆₈:

1-реохорд; 2-блок вимірювальний; 3-підсилювач У (Ш:1, 2-вхід; 4-екран, Ш1: 1, 5-220 В; 3-екран; 4, 7-живлення вимірювальної схеми-6,3 В, 8-24 В; Ш2: 1, 2 -управління обр. зв'язком; 3, 4 – вихід); 4-блок конденсаторів; 5-джерело живлення стабілізоване (Ш1: 1-екран; 2-«земля»; 3 и 4-6,3 В; Ш2: 1- +5 В, 2- -5 В); 6-блок іскрозахисний; В1, В2 -перемикач; П-перемичка; Ш-роз'єм зовнішніх з'єднань(Л-ланцюг, К-контакт); А, С -клеми підключення перетворювача термоелектричного; М1-електродвигун реверсивний; М2-електродвигун синхронний; К1, К2-колодка клемна;



мал. 8 - Схема електрична принципова потенціометрів КСПЗ-П для градуювання ХА₆₈, ХК₆₈, ПП₆₈:

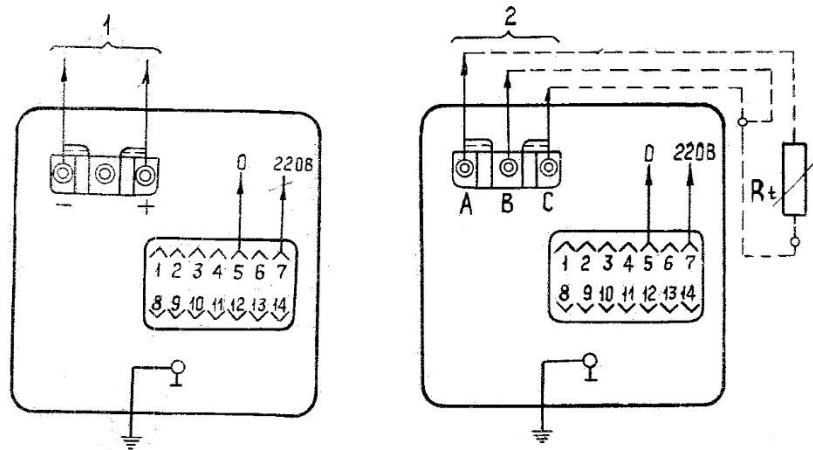
1-реохорд; 2-блок вимірювальний; 3-підсилювач У (Ш:1, 2-вхід; 4-екран, Ш1: 1, 5-220 В; 3-екран; 4, 7-живлення вимірювальної схеми-6,3 В, 8-24 В; Ш2: 1, 2 -управління обр. зв'язком; 3, 4 – вихід); 4-блок конденсаторів; 5-джерело живлення стабілізоване (Ш1: 1-екран; 2-«земля»; 3 и 4-6,3 В; Ш2: 1- +5 В, 2- -5 В); П-перемичка; Ш- роз'єм зовнішніх з'єднань(L-ланцюг, К-контакт); А, С -клеми підключення перетворювача термоелектричного; М1-електродвигун реверсивний; М2-електродвигун синхронний; К1, К2-колодка клемна;



мал. 9 - габаритні розміри і приєднувальні розміри приладів,

В - вигляд з відкритою кришкою.

	КСПЗ-П, КСПЗ-ПИ, КСМЗ-П, КСМЗ-ПИ, КСУЗ	КСПЗ-У, КСПЗ-УИ та прилади з двома вихідними пристроями.
С	395	460
D	265	330



мал. 10 - Схема підключення приладу без вихідних пристроїв:

1 - перетворювач термоелектричний; 2 - термоперетворювач опору.

3. Датчики перетворювачі температури для контролю температури.

Найбільш використовувані датчики у виробництві – це перетворювач термоелектричний (термопара) та термоперетворювач опору (термоопір). вибір датчика роблять згідно максимальної температури, при якій він буде використовуватися, формфактору необхідного датчика і приладу який використовується. Крім цього, важливим критерієм при виборі датчика є точність вимірювання, швидкість реакції та стійкість до зовнішніх впливів, таких як вібрації, корозія, або високий тиск. Для деяких специфічних умов, наприклад, для вимірювання температури в агресивних середовищах чи в умовах високої температури, можуть бути обрані спеціалізовані датчики з підвищеною точністю та здатністю витримувати екстремальні умови.

Врахування всіх цих параметрів забезпечує ефективність роботи системи автоматичного керування та дозволяє досягти необхідного рівня точності при вимірюванні температури, що є критично важливим для оптимізації виробничих процесів і зниження енергетичних витрат.

1. Термопара — це чутливий елемент термоелектричного перетворювача, що складається з двох ізольованих проводів з різних матеріалів (див. таблицю 2), з'єднаних на одному кінці. Принцип її роботи базується на використанні термоелектричного ефекту для вимірювання температури. Термопара застосовується в обладнанні для вимірювання температури, а також для перетворення теплової енергії в електричну, зокрема в тих випадках, коли необхідно уникнути рухомих частин (наприклад, у космосі). Вона також використовується в холодильниках для поглинання тепла при проходженні електричного струму через контакт. Термопара служить чутливим елементом (первинним вимірювальним перетворювачем) в системах контролю температури печей. Вона складається з металевого проводу, зробленого з особливих сплавів, дві жили якого з'єднані спаєм. Цей спай розташовується в зоні контролю температури печі, а вільні кінці проводів виведені за межі нагрівальної зони і підключені до приладу, що показує перетворений сигнал від спаю термопари. Термопара в печі знаходиться в захисному вогнестійкому чохлі, який оберігає її від агресивного середовища.

1.2) Принцип дії термопари базується на термоелектричному ефекті або ефекті Зеебека. Коли два різні провідники з'єднані, між ними виникає контактна різниця потенціалів. Якщо стики цих провідників знаходяться при одній температурі, різниця потенціалів дорівнює нулю. Однак, коли стики цих провідників знаходяться при різних температурах, різниця потенціалів пропорційна різниці температур. Коефіцієнт пропорційності в цій залежності називається коефіцієнтом термо-ЕРС. У різних металах цей коефіцієнт відрізняється, тому різниця потенціалів між кінцями різних провідників також буде різною. Якщо спай з металів, що мають коефіцієнти термо-ЕРС, які не дорівнюють нулю, розмістити в середовищі з температурою T_1 , то між протилежними контактами, що

перебувають при іншій температурі T_2 , виникне напруга, пропорційна різниці температур T_1-T_2 .

Найпоширенішими є два способи підключення термопар до вимірювальних перетворювачів: простий і диференційний. У першому випадку вимірювальний перетворювач підключається безпосередньо до двох термоелектродів. У другому випадку використовуються два провідники з різними коефіцієнтами термо-ЕРС, з'єднані в двох точках, а вимірювальний перетворювач вбудовується в розрив одного з цих провідників.

Для дистанційного підключення термопар використовуються подовжувальні та компенсаційні дроти. Подовжувальні дроти виготовляються з того ж матеріалу, що й термоелектроди термопар, але можуть мати менший або більший діаметр. Компенсаційні дроти зазвичай застосовуються з термопарами з благородних металів і мають інший склад, відмінний від складу термоелектродів. Вимоги до цих проводів регламентуються стандартом ІЕС 60584-3.

Для підвищення точності вимірювань у системах, що використовують термопару, слід дотримуватись таких рекомендацій:

- **Мініатюрні термопару**, виготовлені з дуже тонкого дроту, слід підключати через подовжувальні дроти більшого діаметра.
- **Уникати механічного натягу та вібрацій** термопарного дроту, які можуть призвести до погіршення точності вимірювань.
- **Запобігати індукційним наведенням** при використанні довгих подовжувальних проводів. Для цього екран проводу потрібно підключати до екрана вольтметра, а самі дроти ретельно перекручувати.
- **Звести до мінімуму різкі температурні градієнти** вздовж довжини термопару, що може впливати на точність вимірювань.

- **Матеріал захисного чохла** термопар має бути таким, щоб запобігти забрудненню електродів у робочому діапазоні температур і забезпечити надійний захист від агресивного середовища.
- **Використовувати подовжувальні дроти** лише в їхньому робочому діапазоні температур і за мінімальних температурних градієнтів.
- Для забезпечення **додаткового контролю та діагностики температурних вимірювань** можна застосовувати спеціальні термопары з чотирма термоелектродами, які дозволяють проводити вимірювання опору кола. Це дає змогу перевіряти цілісність і надійність термопар під час експлуатації.

1.3.) Переваги термопар:

- Висока точність вимірювання значень температури (до $\pm 0,01$ °C).
- Великий температурний діапазон виміру: від -250 °C до +2500 °C.
- Простота.
- Надійність.
- Дешевизна.

1.4. Недоліки термопар:

- Для забезпечення високої точності вимірювання температури (до $\pm 0,01$ °C) необхідно виконувати індивідуальну градування термопары.
- Температура вільних кінців впливає на результати вимірювань, що потребує внесення відповідних поправок. У сучасних термометрах з термопарами використовують вбудовані термістори або напівпровідникові датчики для визначення температури холодних спайів і автоматичного введення корекції до вимірюваного термо-ЕРС.
- Ефект Пельтьє ускладнює точність вимірювань: при знятті показань необхідно виключити протікання струму через термопару, оскільки струм може охолоджувати гарячий спай і нагрівати холодний.
- Нелінійна залежність термо-ЕРС від температури ускладнює розробку вторинних сигналоперетворювачів.

- Термоелектрична неоднорідність, що виникає через різкі перепади температур, механічні напруження, корозію або хімічні реакції в провідниках, призводить до змін градууювальної характеристики та похибок, які можуть досягати 5 К.
- При великій довжині термопарних і подовжувальних проводів можливий ефект "антени", що призводить до впливу зовнішніх електромагнітних полів на результати вимірювань.

1.5. Типи термопар

Технічні вимоги до термопар регламентуються ГОСТ 6616-94. Номінальні статичні характеристики перетворення (НСХ), класи точності та діапазони вимірювань описані в стандартах ІЕС 60584-1,2.

Особливості складу та стандартів:

- Точний склад сплавів термоелектродів термопар з неблагородних металів не вказаний у стандарті ІЕС 60584-1. Для термопар типів ТХК і вольфрам-ренієвих їх характеристики визначені тільки в ГОСТ Р 8.585-2001.
- Характеристики імпортованих термопар можуть суттєво відрізнятися від вітчизняних. Наприклад, імпортований тип L і вітчизняний хромель-копель не є взаємозамінними.
- Більшість імпортованого обладнання не розраховане на використання вітчизняних стандартів, що може створювати труднощі в експлуатації.

У 2008 р МЕК ввів два нових типи термопар: золото-платинові і платино-паладієві. Новий стандарт МЕК 62460 встановлює стандартні таблиці для цих термопар з чистих металів.

2.1. Термометр опору

Термометр опору — це прилад для вимірювання температури, чутливий елемент якого змінює свій електричний опір залежно від температури. Як чутливі елементи використовуються терморезистори,

виготовлені з металу або напівпровідникового матеріалу. У разі використання напівпровідників такі елементи називають термісторами.

2.2. Металевий термометр опору

Металевий термометр опору є резистором, виготовленим з металевого дроту або металевієї плівки, нанесеної на діелектричну підкладку, і характеризується певною залежністю опору від температури.

Найбільш точним і широко застосовуваним типом термометрів опору є платинові термометри. Платина вирізняється стабільністю та добре вивченою залежністю електричного опору від температури. Вона не окислюється в повітряному середовищі, що забезпечує високу точність і відтворюваність вимірювань. Еталонні термометри виготовляються з платини високої чистоти і мають температурний коефіцієнт $0,003925 \text{ 1/K}$ при 0°C .

Крім платинових, у вимірювальній практиці використовуються також мідні та нікелеві термометри опору.

Технічні стандарти

Вимоги до робочих термометрів опору регламентуються стандартом **ГОСТ 6651-2009** ("Державна система забезпечення єдності вимірювань. Термоперетворювачі опору з платини, міді та нікелю. Загальні технічні вимоги та методи випробувань"). Стандарт містить:

- діапазони робочих температур;
- класи точності;
- таблиці номінальних статичних характеристик (НСХ);
- стандартні залежності між опором і температурою.

ГОСТ 6651-2009 відповідає міжнародному стандарту **ІЕС 60751 (2008)**. Згідно з цими стандартами, номінальні опори при нормальних умовах не є фіксованими. Початковий опір термометра може бути довільним, але з певним допуском.

Табл. 2 – Типи термопар.

Тип Термо пари ІЕС (МЭК)	Матеріал позитивного електрода	Матеріал Негатив. електрода	Тем п. коэф іцієн т, $\mu V/^{\circ}C$	Тем п. діап азон, $^{\circ}C$ (три вало)	Тем п. діап азон, $^{\circ}C$ (кор отко часн о)	Клас точності 1 ($^{\circ}C$)	Клас точності 2 ($^{\circ}C$)	ІЕС (МЭК) Кольо рове маркув ання
K	Хромель Cr—Ni	Алюмель Ni—Al	40... 41	0 до +110 0	-180 до +130 0	$\pm 1,5$ від $-40^{\circ}C$ до $375^{\circ}C$ $\pm 0,004 \times T$ от $375^{\circ}C$ до $1000^{\circ}C$	$\pm 2,5$ від $-40^{\circ}C$ до $333^{\circ}C$ $\pm 0,0075 \times T$ от $333^{\circ}C$ до $1200^{\circ}C$	Зелени й-білий
J	Залізо Fe	Константан Cu—Ni	55.2	0 до +700	-180 до +800	$\pm 1,5$ від $-40^{\circ}C$ до $375^{\circ}C$ $\pm 0,004 \times T$ от $375^{\circ}C$ до $750^{\circ}C$	$\pm 2,5$ від $-40^{\circ}C$ до $333^{\circ}C$ $\pm 0, T$ от $333^{\circ}C$ до $750^{\circ}C$	Чорний -білий
N	Нихросил Ni—Cr—Si	Нисил Ni—Si—Mg	26	0 до +110 0	-270 до +130 0	$\pm 1,5$ от $-40^{\circ}C$ до $375^{\circ}C$ $\pm 0,004 \times T$ от $375^{\circ}C$ до $1000^{\circ}C$	$\pm 2,5$ от $-40^{\circ}C$ до $333^{\circ}C$ $\pm 0,0075 \times T$ от $333^{\circ}C$ до $1200^{\circ}C$	Бузков ий- білий

Продовження табл. 2

R	Платинородий Pt—Rh (13 % Rh)	Платина Pt	5.3	0 до +160 0	–50 до +170 0	$\pm 1,0$ от 0 °C до 1100 °C $\pm [1 + 0,003 \times (T - 1100)]$ от 1100 °C до 1600 °C	$\pm 1,5$ от 0 °C до 600 °C $\pm 0,0025 \times T$ от 600 °C до 1600 °C	Помаранчевий-білий
S	Платинородий Pt—Rh (10 % Rh)	Платина Pt	5.4	0 до 1600	–50 до +175 0	$\pm 1,0$ от 0 °C до 1100 °C $\pm [1 + 0,003 \times (T - 1100)]$ от 1100 °C до 1600 °C	$\pm 1,5$ от 0 °C до 600 °C $\pm 0,0025 \times T$ от 600 °C до 1600 °C	Помаранчевий-білий
B	Платинородий Pt—Rh (30 % Rh)	Платинородий Pt—Rh (6 % Rh)		+200 до +170 0	0 до +182 0		$\pm 0,0025 \times T$ от 600 °C до 1700 °C	Відсутне
T	Мідь Cu	Константан Cu—Ni	38	–185 до +300	–250 до +400	$\pm 0,5$ от –40 °C до 125 °C $\pm 0,004 \times T$ от 125 °C до 350 °C	$\pm 1,0$ от –40 °C до 133 °C $\pm 0,0075 \times T$ от 133 °C до 350 °C	Коричневий-білий
E	Хромель Cr—Ni	Константан Cu—Ni	68	0 до +800	–40 до +900	$\pm 1,5$ от –40 °C до 375 °C $\pm 0,004 \times T$ от 375 °C до 800 °C	$\pm 2,5$ от –40 °C до 333 °C $\pm 0,0075 \times T$ от 333 °C до 900 °C	Фіолетовий-білий

2.3. Терморезистор

Терморезистор — це напівпровідниковий резистор, електричний опір якого змінюється залежно від температури. Терморезистори вирізняються такими характеристиками:

- високий температурний коефіцієнт опору;
- простота конструкції;
- здатність працювати в різноманітних кліматичних умовах під значними механічними навантаженнями;
- стабільність характеристик у часі.

Їх компактні розміри дозволяють використовувати їх для вимірювання температури малих об'єктів, що також сприяє зниженню інерційності вимірювання.

Більшість терморезисторів мають **негативний температурний коефіцієнт опору (NTC)**, тобто їх опір зменшується із підвищенням температури. У свою чергу, **позистори** мають **позитивний температурний коефіцієнт опору (PTC)**, при якому опір зростає із підвищенням температури.

2.4. Переваги термометрів опору

- **Висока точність вимірювань** (зазвичай точність краща за ± 1 °C, у деяких випадках досягає 0,013 °C).
- **Можливість компенсації впливу опору ліній зв'язку** на результати вимірювання за допомогою 3- або 4-провідної схеми.
- **Практично лінійна залежність опору від температури.**

2.5. Недоліки термометрів опору

- **Обмежений діапазон вимірювань** у порівнянні з термопарами.
- **Висока вартість**, особливо для платинових термометрів опору (типу ТСП) у порівнянні з термопарами з неблагородних металів.
- **Необхідність додаткового джерела живлення** для забезпечення струму через датчик (якщо така функція не передбачена у приладі).

2.6. Типи термометрів опору

Термометри опору поділяються на кілька типів залежно від конструкції, матеріалу чутливого елемента, точності та робочого діапазону. Вибір конкретного типу залежить від умов експлуатації та вимог до вимірювання.

Табл. 3 - Типи термометрів опору.

Температура в °C	Pt100	Pt100 0	Нім. <i>PT</i> <i>C</i>	Нім. <i>NT</i> <i>C</i>	NTC	NTC	NT C	NT C
	Тип: 404	Тип: 501	Тип: 201	Тип: 101	Тип: 102	Тип: 103	Тип : 104	Тип : 105
-50	80,31	803,1	1032					
-45	82,29	822,9	1084					
-40	84,27	842,7	1135			5047 5		
-35	86,25	862,5	1191			3640 5		
-30	88,22	882,2	1246			2655 0		
-25	90,19	901,9	1306		2608 3	1956 0		
-20	92,16	921,6	1366		1941 4	1456 0		

Продовження табл. 2

-15	94,12	941,2	1430		1459 6	1094 3		
-10	96,09	960,9	1493		1106 6	8299		
-5	98,04	980,4	1561	31389	8466			
0	100,0 0	1000, 0	1628	23868	6536			
5	101,9 5	1019, 5	1700	18299	5078			
10	103,9 0	1039, 0	1771	14130	3986			
15	105,8 5	1058, 5	1847	10998				

Продовження табл. 2

20	107,79	1077,9	1922	8618				
25	109,73	1097,3	2000	6800			15000	
30	111,67	1116,7	2080	5401			11933	
35	113,61	1136,1	2162	4317			9522	
40	115,54	1155,4	2244	3471			7657	
45	117,47	1174,7	2330				6194	
50	119,40	1194,0	2415				5039	
55	121,32	1213,2	2505				4299	27475
60	123,24	1232,4	2595				3756	22590
65	125,16	1251,6	2689					18668
70	127,07	1270,7	2782					15052
75	128,98	1289,8	2880					12932
80	130,89	1308,9	2977					10837
85	132,80	1328,0	3079					9121
90	134,70	1347,0	3180					7708
95	136,60	1366,0	3285					6539

Продовження табл. 2

100	138,50	1385,0	3390					
105	140,39	1403,9						
110	142,29	1422,9						
150	157,31	1573,1						
200	175,84	1758,4						

2.7.) Схеми підключення термоопорів.

Використовується 3 схеми включення датчика в вимірювальну ланцюг:

2.7.1. Схема підключення термоопору по двупровідній схемі (мал. 11).

У схемі підключення найпростішого термометра опору використовується два дроти. Така схема використовується там, де не потрібно високої точності вимірювання. Точність вимірювання знижується за рахунок опору з'єднувальних проводів, підсумовується з власним опором термометра і призводить до появи додаткової похибки. Така схема не застосовується для термометрів класів А і АА.

2.7.2.) Схема підключення термоопору по трипровідній схемі (мал. 12)..

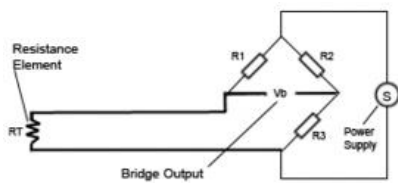
Ця схема забезпечує значно більш точні вимірювання за рахунок того, що з'являється можливість виміряти в окремому досвіді опір підвідних проводів і врахувати їх вплив на точність вимірювання опору датчика.

2.7.3.) Схема підключення термоопору по четирьпровідній схемі (мал. 13)

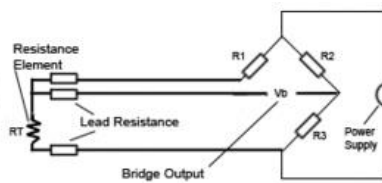
Є найбільш точною схемою вимірювання, що забезпечує повне виключення впливу на результат вимірювання, що підводять. При цьому по двом дротам подається струм на терморезистор, а два інших, в яких струм

дорівнює нулю, використовуються для вимірювання напруги на ньому. Недолік такого рішення - збільшення обсягу використовуваних проводів, вартості і габаритів виробу. Цю схему можна використовувати з в чотирехплечем мосту Уитстона.

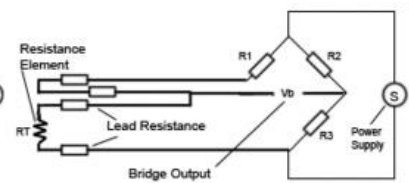
У промисловості найбільш поширеною є трьохпровідна схема. Для точних і еталонних вимірювань використовується тільки чотирьохпровідна схема.



Мал. 11- Двопровідна
Схема.



Мал. 12 - Трипровідна
схема.



Мал. 13 -Чотирипровідна
схема.

ІІІ ГЛАВА. МОДЕРНІЗАЦІЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАГРІВОМ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЕЧІ.

У цій главі на практиці розглянуто проектування автоматичної системи управління піччю, вибір керуючого приладу, принципи передачі сигналів по порту RS 485 і практична робота всіх цих систем.

§1. Вибір приладу для автоматичного керування печі.

Унікальні можливості цифрової техніки принципово вдосконалили процес проектування АСУТП, підняли на якісно новий рівень процеси збору, обробки, представлення і збереження інформації. Що стосується якості виконання функції управління в АСУТП, то в цій частині прогрес виявився набагато скромніше. У наявності явне недовикористання можливостей цифрової техніки. Серед причин цього виділимо одну, яка може вважатися традиційною. Йдеться про хронічно низьку якість настройки регуляторів в замкнених системах автоматичного регулювання (САР). Практика показує, що робота переважної більшості систем управління на підприємствах може бути істотно поліпшена без будь-яких додаткових витрат на їх модернізацію, а тільки за рахунок оптимізації настройки регуляторів. Це означає, що виробничники (користувачі АСУТП) несуть абсолютно невиправдані втрати через зниження продуктивності обладнання, якості продукції, що випускається, підвищеної витрати сировини, енергоресурсів.

Змусити автоматику працювати з максимальною ефективністю - завдання непросте навіть для фахівців. Причина в тому, що традиційні інженерні методики настройки регуляторів або надмірно трудомісткі, або не володіють необхідною точністю. Як правило, їх застосування дозволяє забезпечити стійкість САР (тобто працездатність системи), але не гарантує

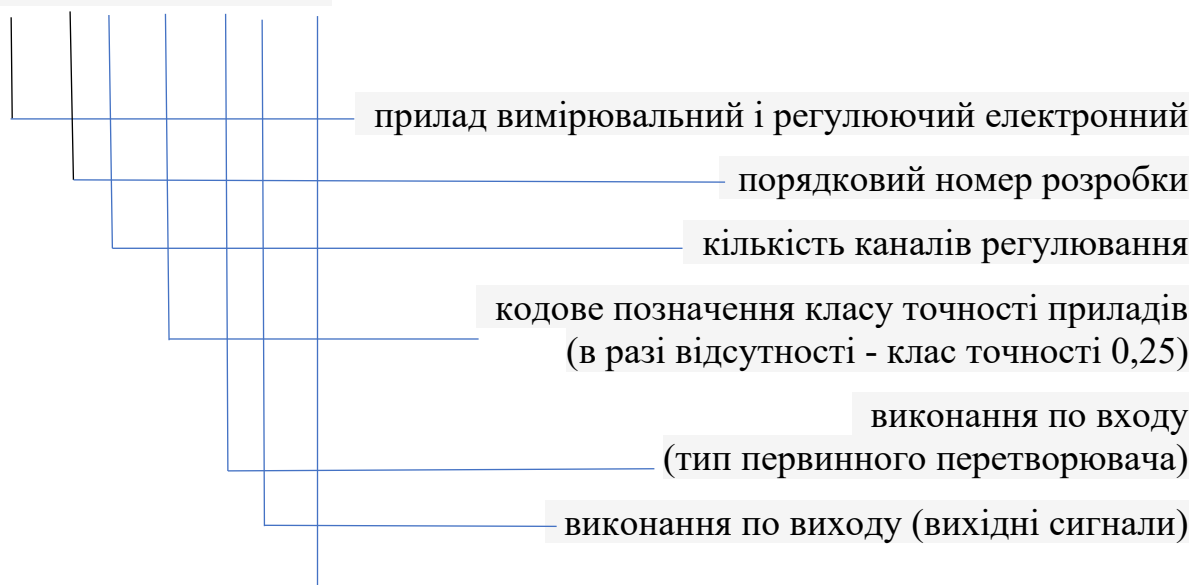
її якісної роботи. Завдання визначення раціональних параметрів регуляторів додатково ускладнюють відмінності в програмній реалізації законів управління, які спостерігаються, у різних виробників регуляторів. В першу чергу це відноситься до ПІД закону. В результаті регулятори від різних виробників при однакових налаштуваннях забезпечують в однакових умовах різну якість роботи САР.

В даний час вимоги до точності вимірювання та регулювання температури неухильно зростають. Технологічна дисципліна, в більшості випадків, вимагає, щоб точність вимірювання і регулювання температури була не гірше $\pm 1^\circ\text{C}$. Це призводить до заміни старої техніки на нову - більш точну. На підприємстві ТОВ "Завод Укрелектроремонт" для управління і регулювання температури індукційної печі застосовується прилад типу КСПЗ-П, з межею вимірювання $0-300^\circ\text{C}$ і термоперетворювачем ХК₆₈. Щоб при заміні приладу не міняти тип датчика, був зроблений вибір приладу Харківського виробника ТОВ ф. "Ергос". РТЕ-4.1-В-12.

Прилад призначений для вимірювання та регулювання температури в різних технологічних процесах. Прилад використовується для вироблення регулюючого впливу, мінливого по пропорційно - інтегрально - диференціального (ПІД) або позиційному закону регулювання.

Структура умовного позначення приладів:

РТЕ-Х.Х - Х - Х Х - Х



Прилад в залежності від виконання призначений для роботи с уніфікованим вхідним сигналом, термоелектричним перетворювачем (ТП) або термометром опору відповідно до таблиці 4.

Виконання по регулюючому виходу Y1 представлені в таблиці 5.

Табл. 4.

№ виконання по входу	0	1	2	3	4
Тип первинного перетворювача або сигналу	Уніфікований, мА	Термоперетворювач ТХА(К), ТХК(Л), мВ	Термометр опору ТСМ, ТСП (50-100) Ом	Термоперетворювач ТПП(С)	Термоперетворювач ТПР(В)
Діапазон вимірів	0-20, 4-20 мА	-50 – 1250 °С -50 - 650 °С	-50 – 200 °С	0 – 1750 °С	200 – 1800 °С

Табл. 5.

№ виконання по виходу	0	1	2	3
Тип виходу	Опtotранзистор	Оптосимистор	Контакт реле	Струмівий
Максимальний струм нагрздки, А	0,1	0,05	2	0-20(4-20)мА
Максимальна напруга, В	30	250	250	30

Згідно цих даних, для проектування, було обрано прилад РТЕ-4.1-В-12-220.
Основні да приладу наведено у таблиці 6.

Табл. 6 – основні дані обраного приладу.

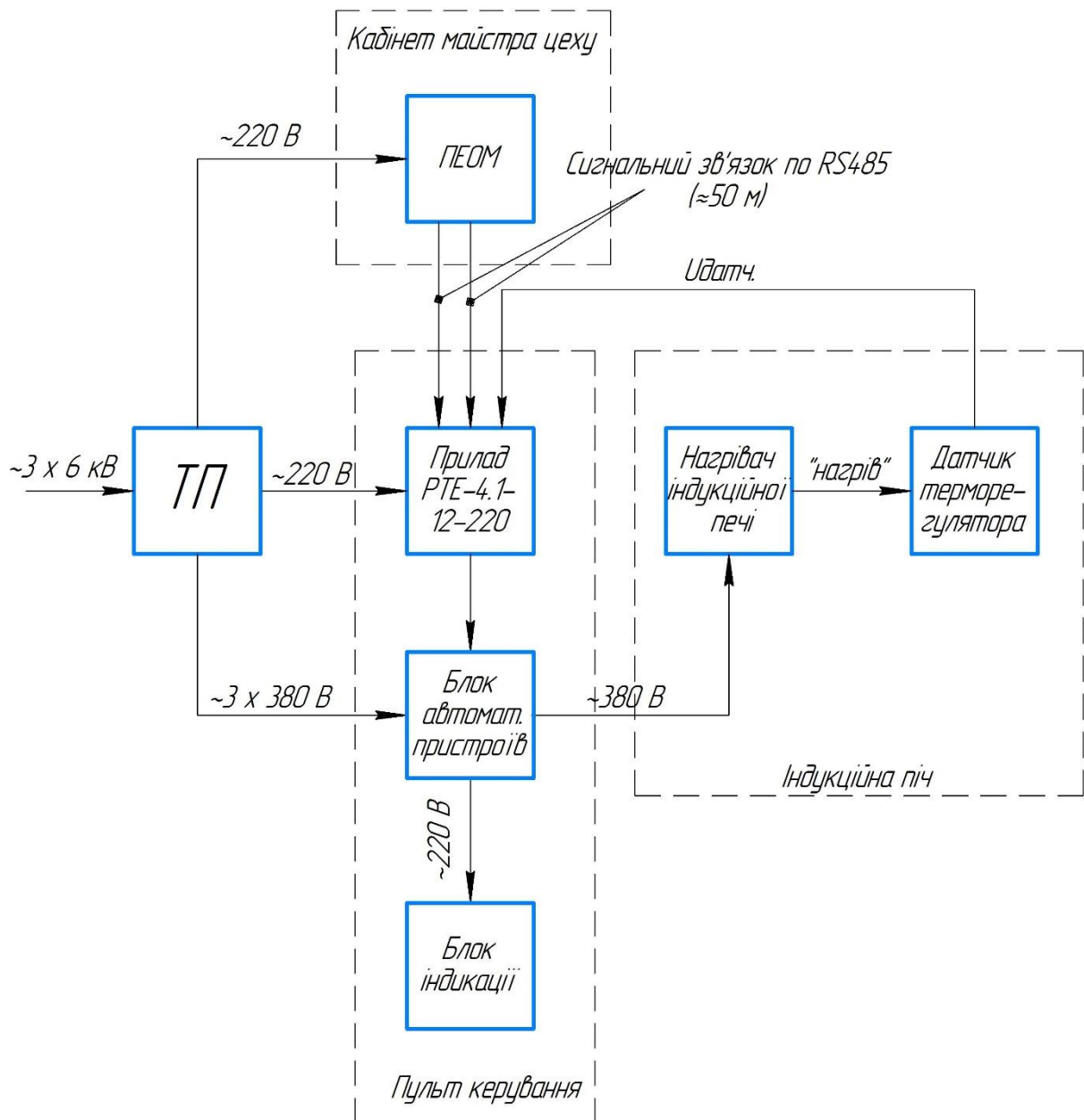
Межа зведеної похибки вимірювання, %	0,25
Кількість каналів вимірювання, шт.	1
Кількість каналів регулювання, шт.	1
Кількість керівників виходів, шт.	2+1(Вихід на ПЕВМ по RS485)
Максимальний струм комутації по виходу Y1-Y2, А	2
Максимальна напруга комутації по виходу Y1-Y2, В	250

Габаритні розміри приладу, мм	50x50x100
Маса приладу, не більше, кг	0,5
Споживана потужність не більше, Вт	5
Електричний опір ізоляції між гальванічно розділеними сигналами, не менше, МОм	5

3.2. Схема та принцип дії схеми автоматизації з приладом РТЭ 4.1. та ПК.

В цьому параграфі буде розглянуто структурну і принципову схему автоматичного регулювання температури індукційної печі і принцип її дії.

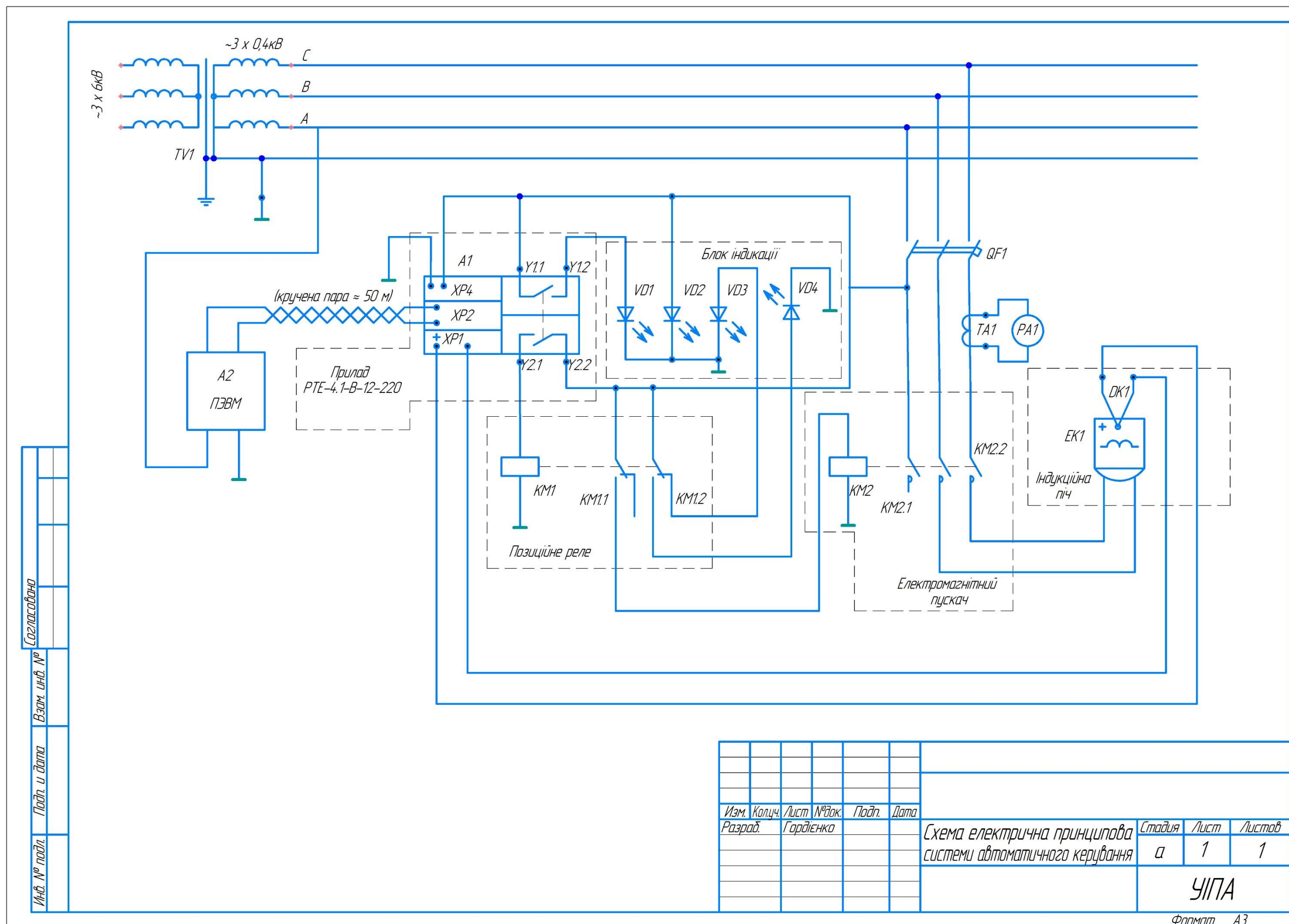
Блок-схема автоматичного управління приведена на малюнку 14.



Мал. 14 - Блок-схема автоматичного управління.

Виходячи з цього була побудована принципова електрична схема – малюнок 15.

Мал. 15 – Принципова електрична схема системи автоматичного керування та регулювання температури індукційній печі.



1.1) Принципи дії електричної схеми.

Після включення автоматичного вимикача QF1, напруга живлення надходить на прилад A1 - PTE-4.1-12-220 та на керуючі елементи KM1, загоряється світлодіод VD2 - "пульт управління включений" та і світлодіод VD3 - "очікування команди приладу / перевищення температури", далі з термопари DK1 сигнал у вигляді напруги надходить на прилад A1 - PTE-4.1-B-12-220(далі-прилад) , після чого обробляється мікропроцесором приладу і переводить електричні величини в двійковий код, завдяки якому, прилад розподіляє керуючі сигнали, які надходять на керуючий контролер і виводяться на табло де показується діюча температура печі.

Згідно уставки приладу A1, мікроконтролер приладу подає сигнал на внутрішні керуючі елементи Y1.1, Y1.2, Y2.1, Y2.2 і передає сигнал в двійковому коді на A2 - ПЕОМ по кручений парі через перетворювач сигналів PC485.

При спрацьовуванні мікроконтролера приладу A1, сигнал подається на керуючі внутрішні контакти приладу Y1.1, Y1.2, Y2.1, Y2.2., та подається напруга світлодіод VD1 і на котушку позиційного реле KM1.

Після подачі напруги на котушку позиційного реле KM1, яке одночасно служить керуючим елементом і додаткової гальванічною розв'язкою, від великих струмів пускача KM2. Після включення реле KM1, напруга управління передається, електромагнітний пускач KM2 після включення якого спалахує світлодіод VD4 – «нагрів включений», VD3 - вимикається

Амперметр PA1 за допомогою трансформатора струму NA1 відображає струм в ланцюзі KM2, для визначення початкової витрати електроенергії і додаткового моніторингу роботи по силовому ланцюзі нагріву.

Моніторинг температури проводиться безпосередньо на приладі A1 встановленому на пульті управління і на ПЕОМ- A2 у вигляді графіка.

По досягненню температури ЕК1 від термопари подається сигнал від DK1 на прилад, після чого, розмикаються внутрішні ланцюга управління приладу Y1.1, Y1.2, Y2.1, Y2.2, після чого відключається позиційне реле КМ1, що призводить до відключення електромагнітного пускача КМ2 та нагріву печі ЕК1, загоряється світлодіод VD3 - "очікування команди приладу / перевищення температури", та вимикається світлодіод VD1 - "сигнал управління" та VD4 – «нагрів включений».

При зниженні температури уставки приладу А1, мікроконтролер подає сигнал на керуючі внутрішні контакти приладу Y1.1, Y1.2, Y2.1, Y2.2 і процес нагріву повторюється заново.

При правильному підключенні автоматична система управління починає працювати відразу.

XP1 - порт підключення термопари.

XP2 – порт для RS-485.

XP4 – порт живлення приладу PTE 4.1-B

Далі перейдемо до налаштування програмного забезпечення ERGOS-SCADA.

1.2) Налаштування програмного забезпечення ERGOS-SCADA на ПЕОМ.

Спочатку потрібно завантажити з офіційного сайту ф. "Ергос", програмне забезпечення ERGOS-SCADA.

Після установки програмного забезпечення запускаємо програму. Після запуску програми ми бачимо інтерфейс програми малюнок 16.

Функціональні можливості ERGOS-SCADA.

-Налаштування системи віддалених пристроїв;

-Віддалене конфігурування, налаштування і завдання робочих режимів пристроїв системи;

- Отримання оперативних даних від віддалених пристроїв;
- Архівування даних, отриманих від віддалених пристроїв: в процесі роботи програма збирає дані з пристроїв, що входять до складу системи управління; Ці дані записуються в файли на диску комп'ютера для їх подальшого використання. У процесі подальшої роботи програми ці дані можуть бути використані для перегляду статистики у вигляді графіків або складання необхідних звітів.
- Відображення даних, одержуваних від віддалених пристроїв вигляді графіків(мал. 23), в реальному масштабі часу;
- Аналіз отриманих від пристроїв даних, сигналізація аварійних і виняткових ситуацій, що сталися в ході роботи;
- Перегляд отриманих даних у вигляді графіків за довільний проміжок часу;
- Складання звітів у вигляді текстових файлів або таблиць Excel за довільний проміжок часу;
- Детальний журнал роботи програми;

Додаткові особливості:

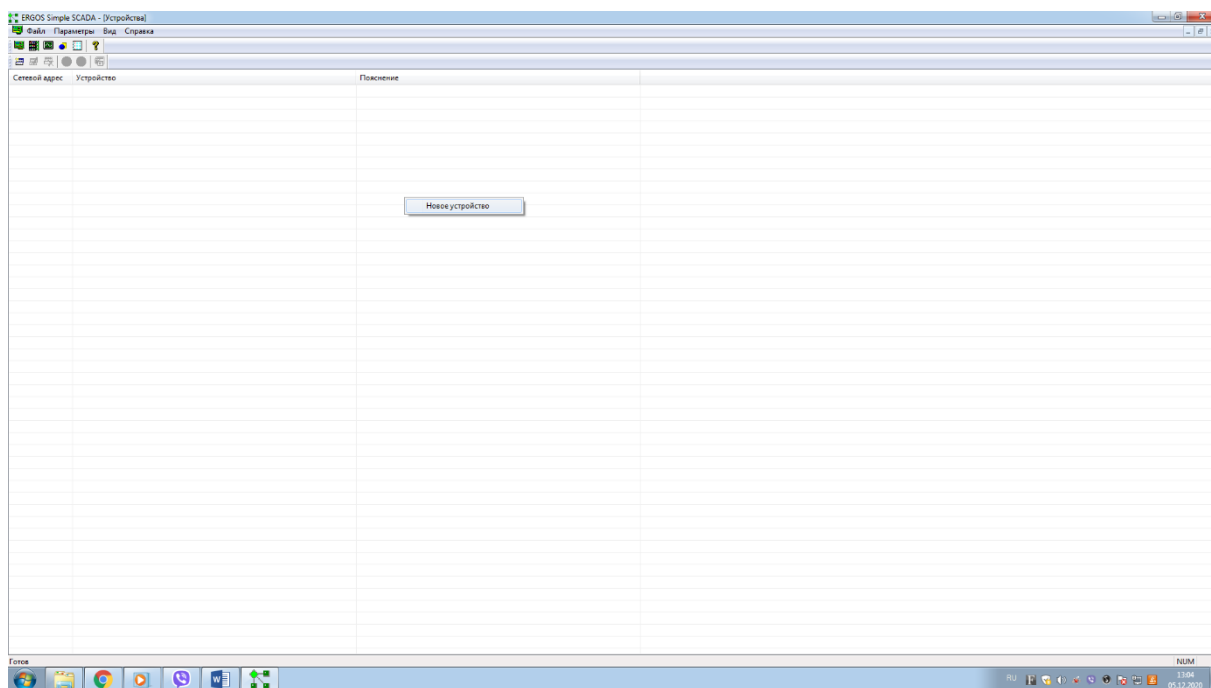
- Легкість в освоєнні і налаштуванні;
- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- Гнучкість у створенні систем управління;
- Надійність роботи, великий вибір доступних функцій;
- Перегляд статистики роботи системи і створення різноманітних звітів за довільні проміжки часу;
- Є розширена довідкова система, що дозволяє зручно і швидко ознайомитися з функціями і можливостями даного ПЗ. У довідковій системі приведена інформація та рекомендації по налаштуванню і управлінню приладами, пристроями та іншим обладнанням виробництва фірми «ЕРГОС». У довідковій системі наведено докладні описи і роз'яснення

налаштовуваних параметрів і характеристик приладів, пристроїв та іншого обладнання виробництва фірми «ЕРГОС».



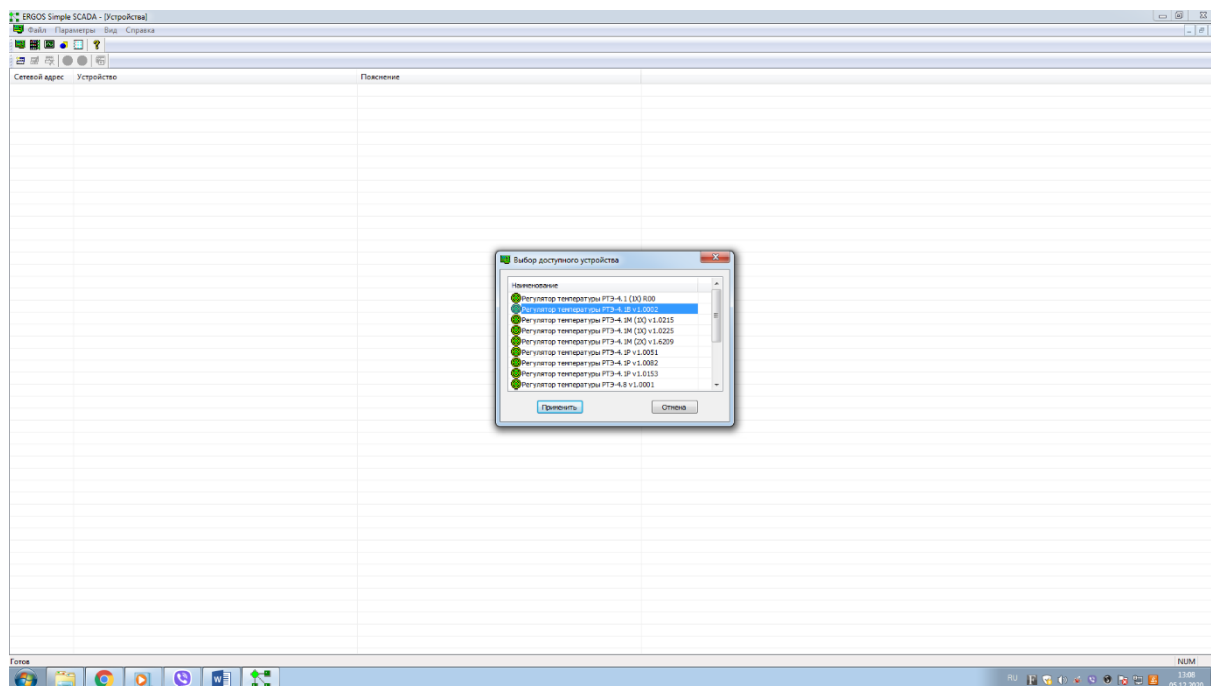
Мал. 16 – початковий інтерфейс програми ERGOS-SCADA

Насамперед потрібно вибрати тип прилад, для цього потрібно перейти у вкладку «параметри-пристрої» і вибрати прилад, який буде керувати нагрівом печі. Далі після натискання лівої кнопки мишки на вільному полі інтерфейсу, з'явиться спливаюче вікно - "новий пристрій", створюємо новий пристрій малюнок 17.

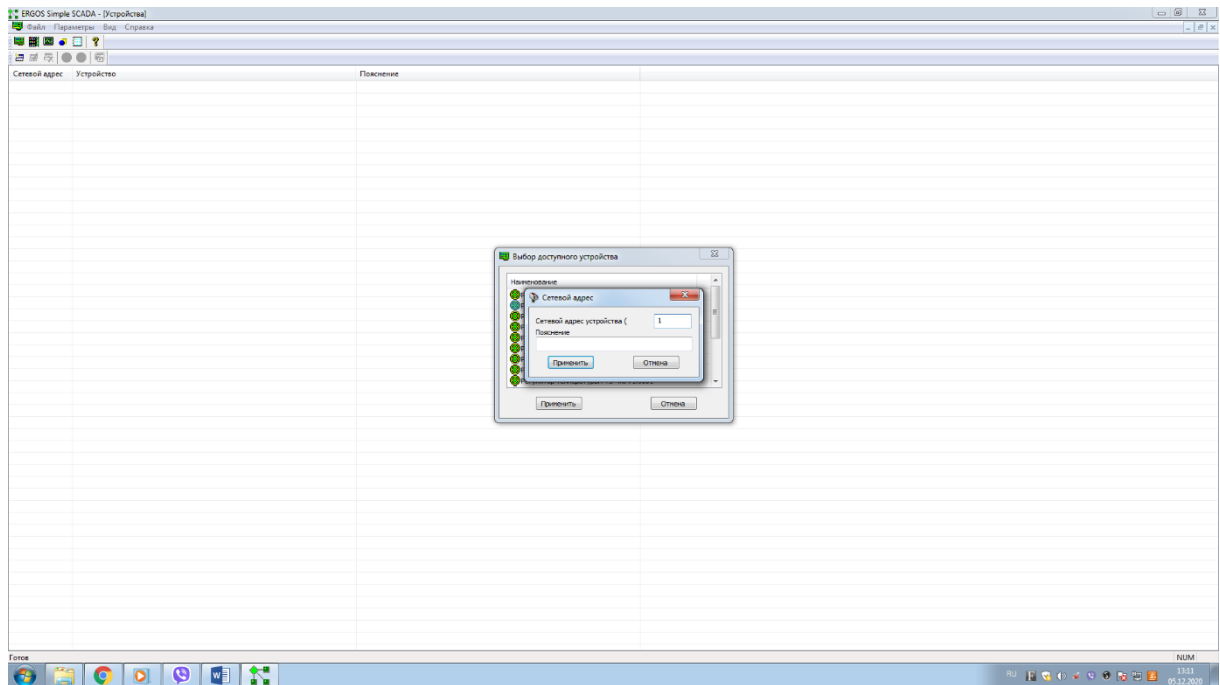


Мал. 17 – Створення нового пристрою

Після чого з'явиться вікно вибору доступного пристрою (в нашому випадку - РТЕ 4.1В) малюнок 18 та назначаємо канал зчитування інформації(адрес мережі по стандартним налаштуванням приладу – канал №1) малюнок 19.

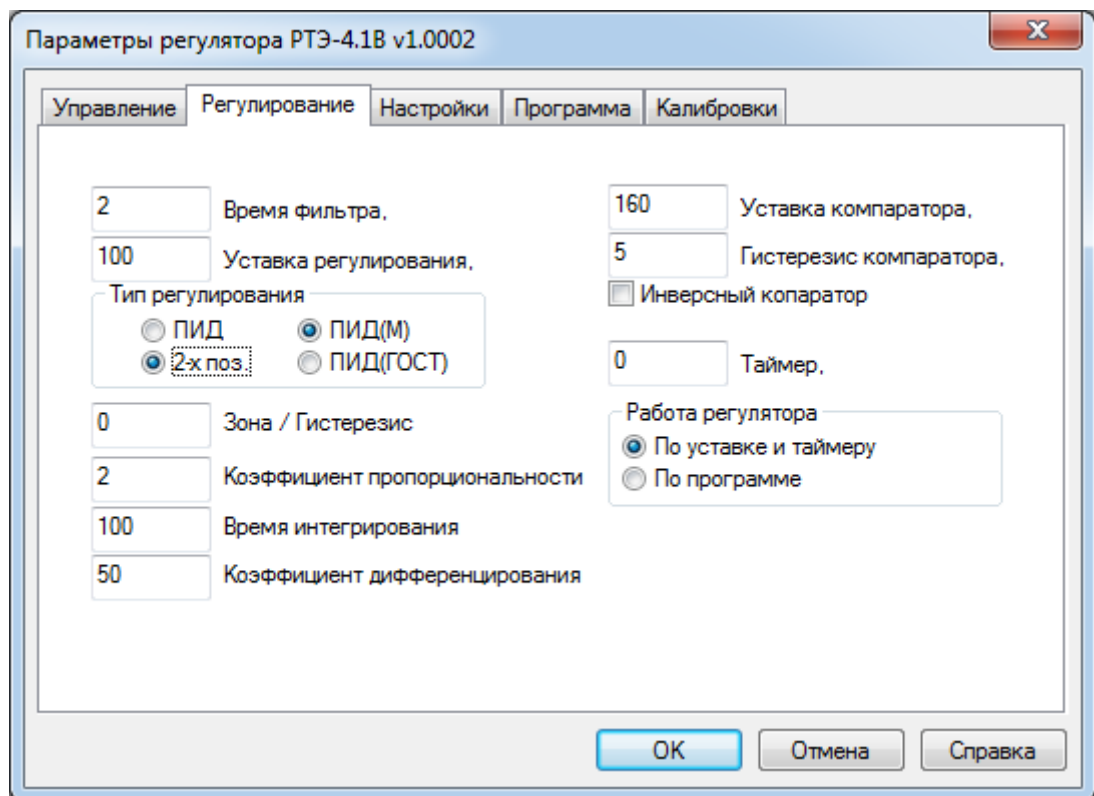


Мал. 18 – Вибір пристрою



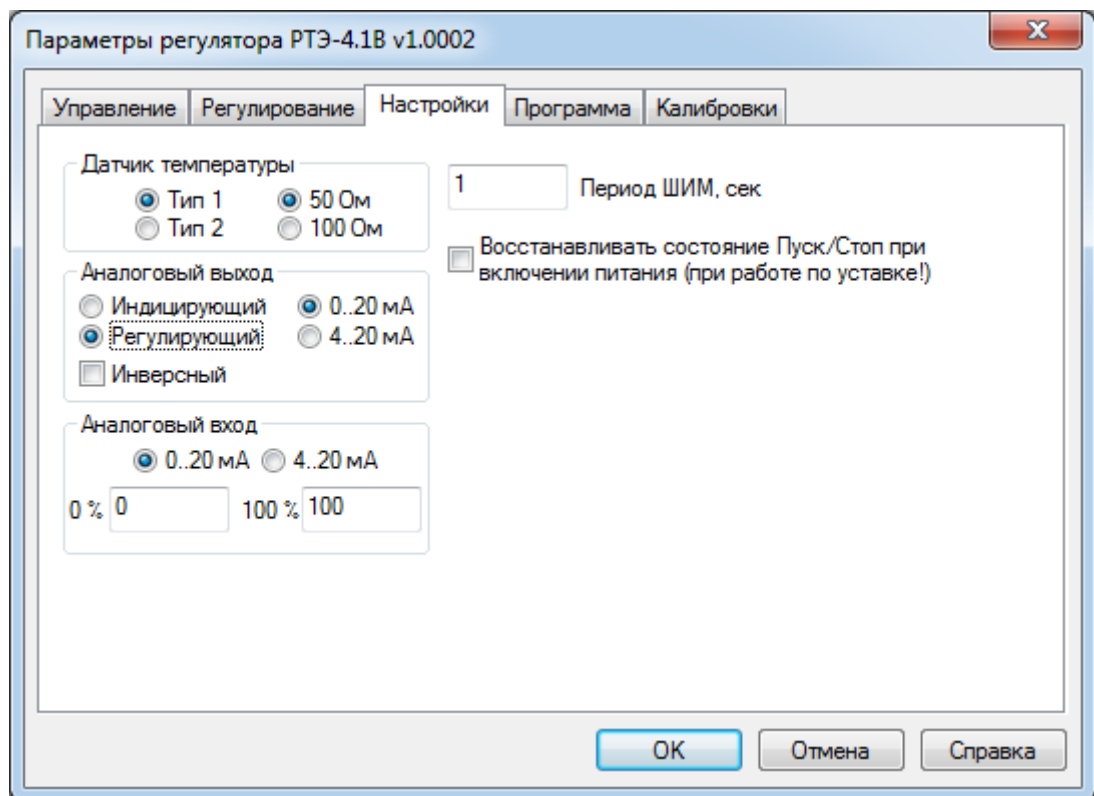
Мал. 19 – Налаштування адреси мережі приладу.

На основному інтерфейсі з'явитися обраний нами прилад, клікнувши по ньому лівою кнопкою мишки два рази, з'явитися спливаюче вікно настройки приладу(мал. 20), де нам слід перейти на вкладку "регулювання". На цій вкладці нам потрібно виставити настройки температури – 150°C (згідно техпроцесу ТОВ "Завод Укрелектроремонт" - температура запікання обмоток $150\pm 5^{\circ}\text{C}$) і духпозиційное регулювання (включення-виглюченіє нагрівальних елементів печі). Гістерезісом компаратора ми задаємо ті самі $\pm 5^{\circ}\text{C}$.



Мал. 20 – Налаштування регулювання нагріву печі.

Перейдемо на вкладку "Настройки". Згідно з технічною інструкції на прилад, "тип 1" - термопара ТХК₆₈(як у нашому випадку), "тип 2" - термопара ТХА₆₈, регулювання за допомогою термоопору в обраному приладі не передбачено, тому пропускаємо цей пункт. У пункті «Аналоговий вихід» вибираємо параметр «Регулюючий», малюнок 21.

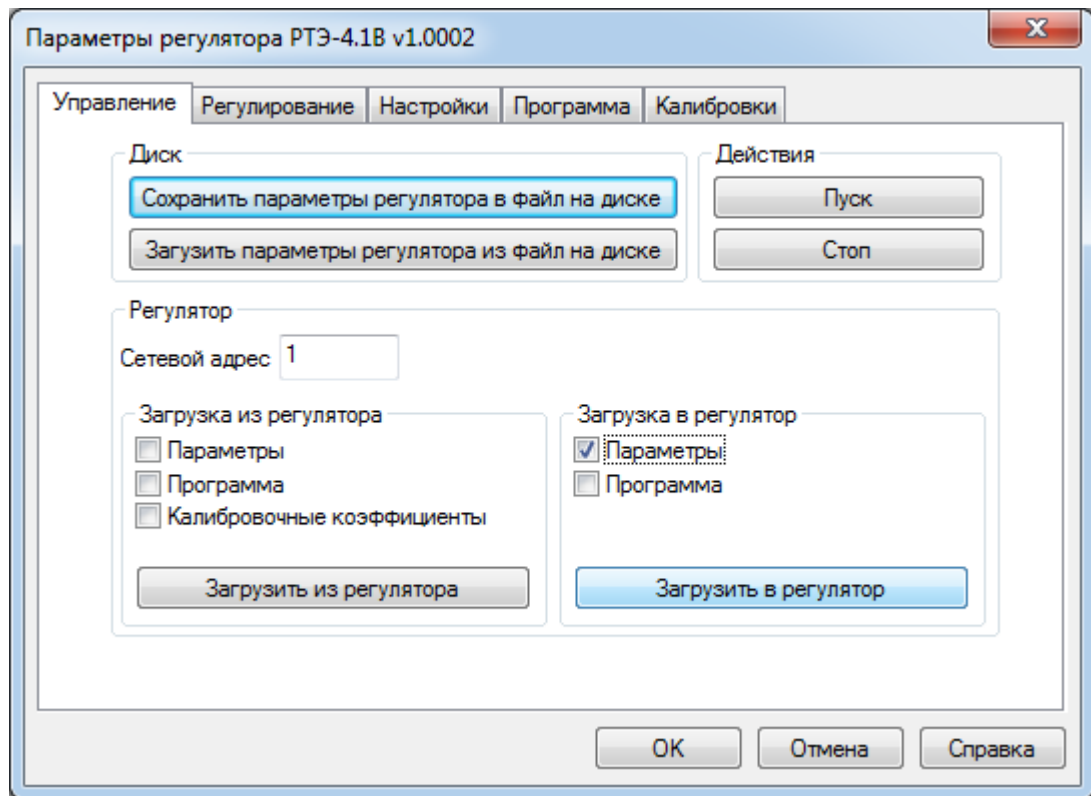


Мал. 21 – Налаштування типу термопари та роботи аналогового виходу.

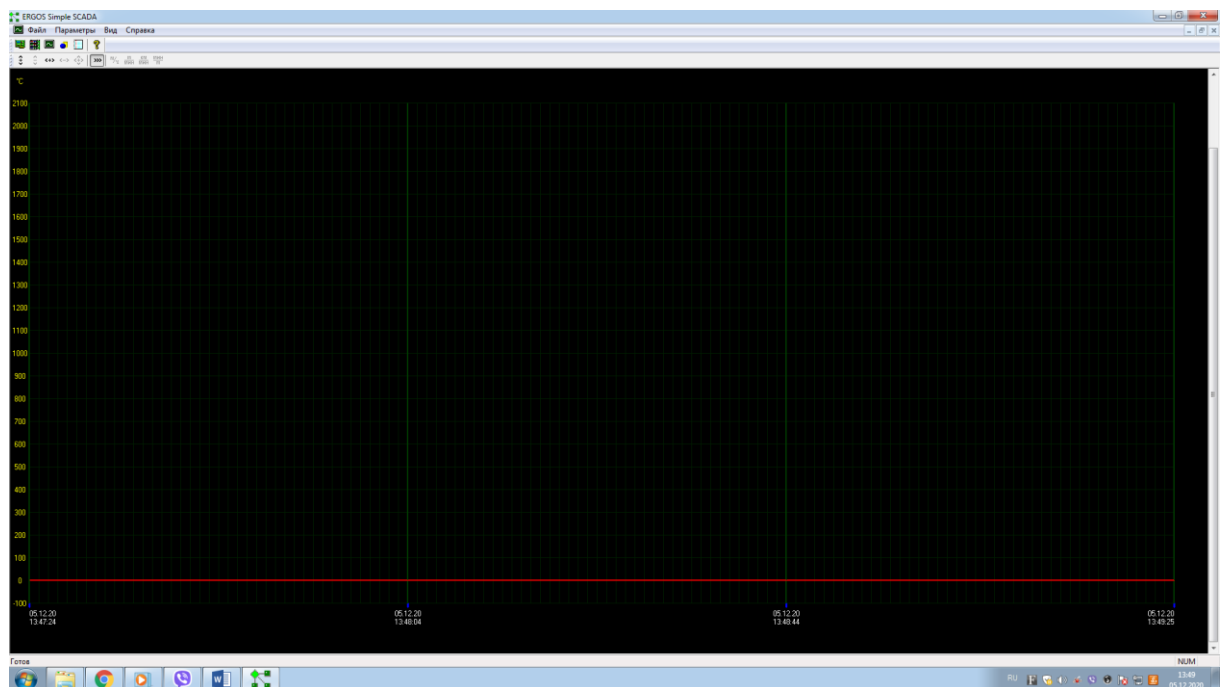
Перейдемо на вкладку управління і завантажимо алгоритм управління в прилад. Для цього нам потрібно у полі «Завантаження в регулятор» встановити галочку на пункті «параметри» і натиснути кнопку «завантажити в регулятор» малюнок 22.

Після закінчення завантаження програми регулятора, потрібно натиснути на кнопку пуск в поле дії, малюнок 22.

Прилад буде підтримувати задану температуру необмежену кількість часу. Для обмеження часу роботи терморегулятора, на вкладці регулювання, у полі «таймер»(мал. 20), потрібно вказати часовий період підтримки заданої температури уставки в хвилинах від 1 до 999 (0-таймер відключений) і завантажити параметри приладу в прилад повторно.



Мал. 22 – завантаження параметрів в регулятор.



Мал. 23 - Интерфейс відтворення графіка нагрівання печі.

IV ГЛАВА. ОГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАГРІВОМ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЕЧІ.

У цій главі буде в буде огляд результатів роботи системи автоматичного керування.

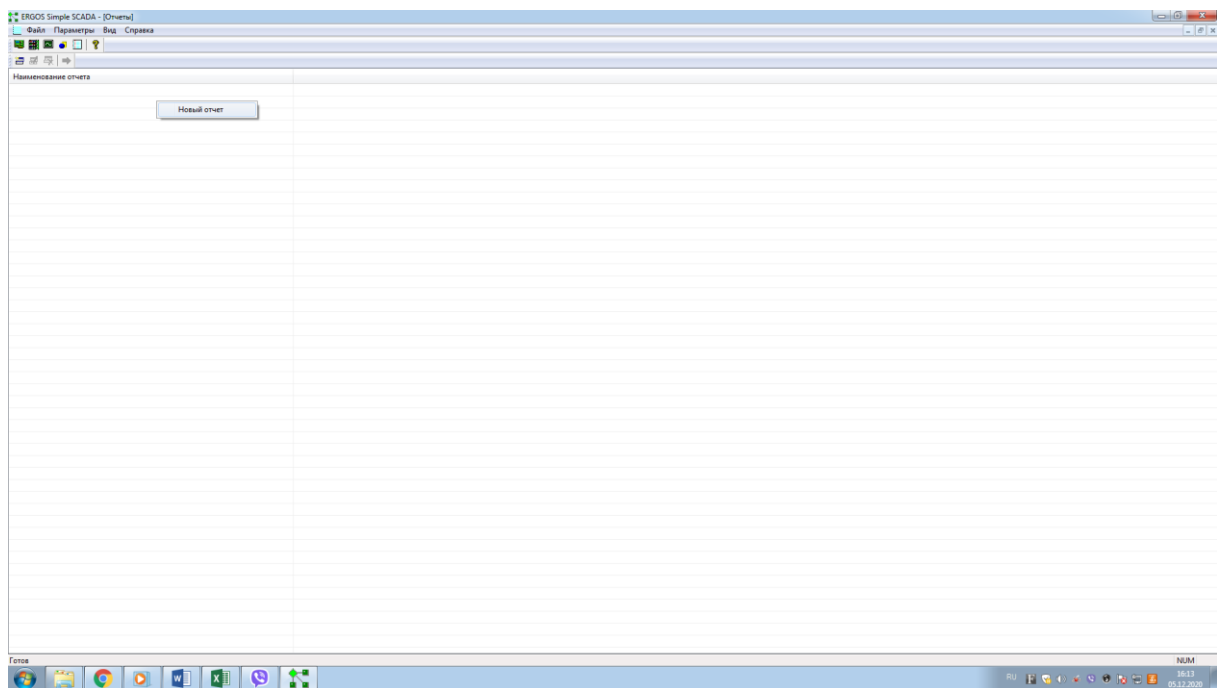
§1. Розгляд отриманих результатів роботи приладу РТЭ 4.1.

В період з 18.11.2020 р з 13:44 за 19.11. 2020 8:21 був проведений тестовий запуск системи автоматичного контролю. Згідно з програмою ERGOS-SCADA і повідомленнями системи робота пройшла без збоїв. За цей час черговий по зміні не відмітив ніяких відхилень системи управління.

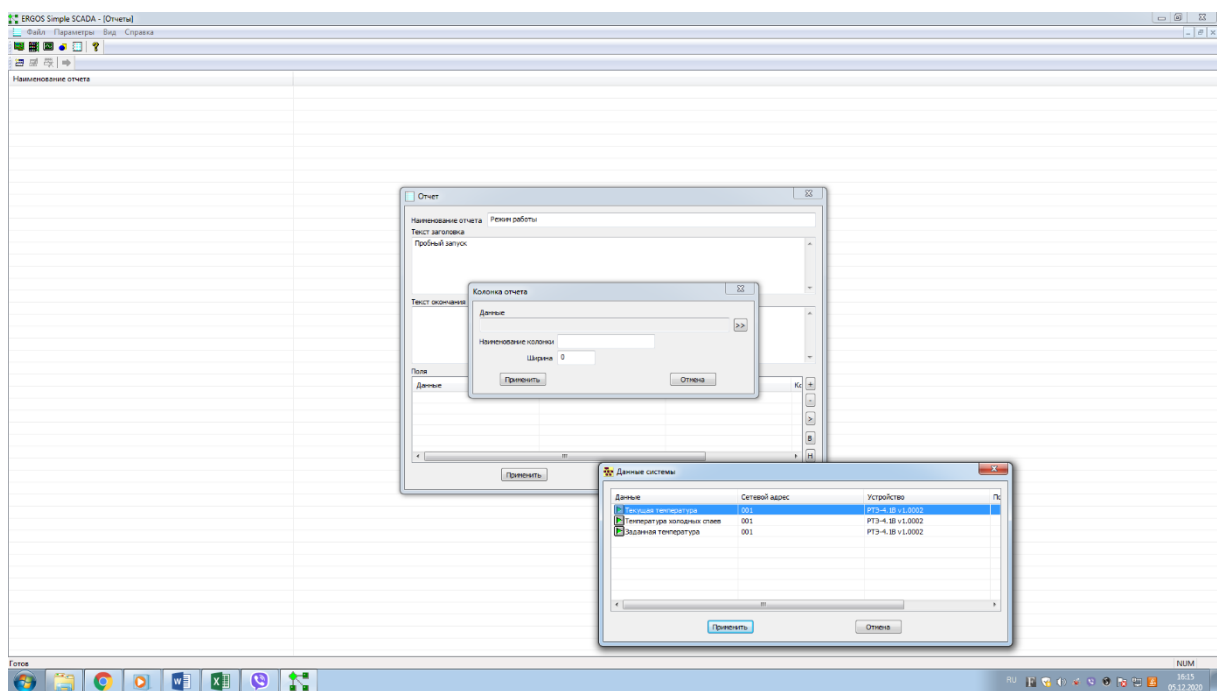
Виведемо за допомогою програми похвилинні дані.

Для цього зайдемо у вкладку "звіти"(мал.24) і натиснемо створити "новий звіт". назвемо звіт і додамо дані, зробити це можна натиснувши "+"(мал25),на правій панелі команд і вибравши параметр нашого звіту. Натискаємо "застосувати".

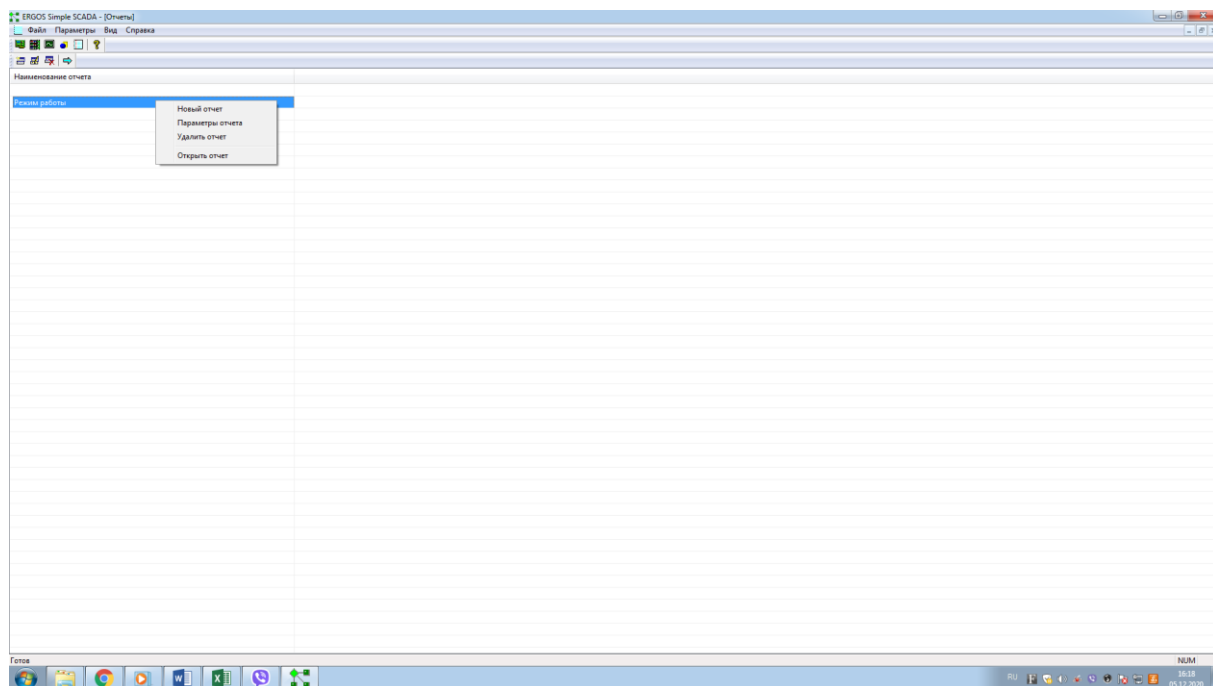
Після цього правою кнопкою миші відкриваємо спливаюче вікно і вибираємо "відкрити звіт"(мал.26). У вікні "звіт" задаємо часовий період для звіту і виводимо в форматі Microsoft Office Excel (мал. 27)



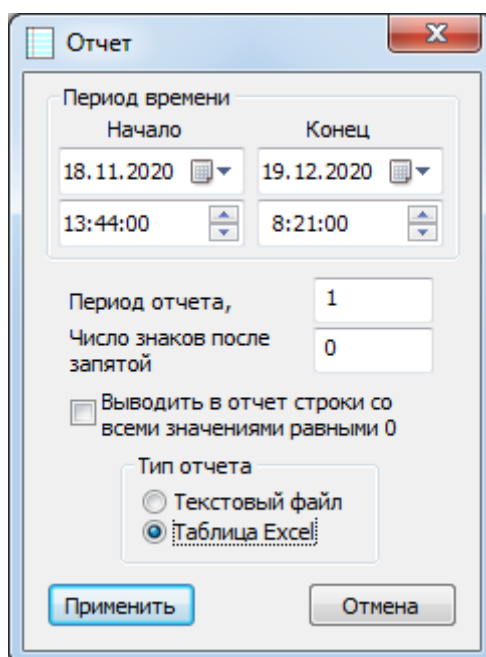
Мал. 24



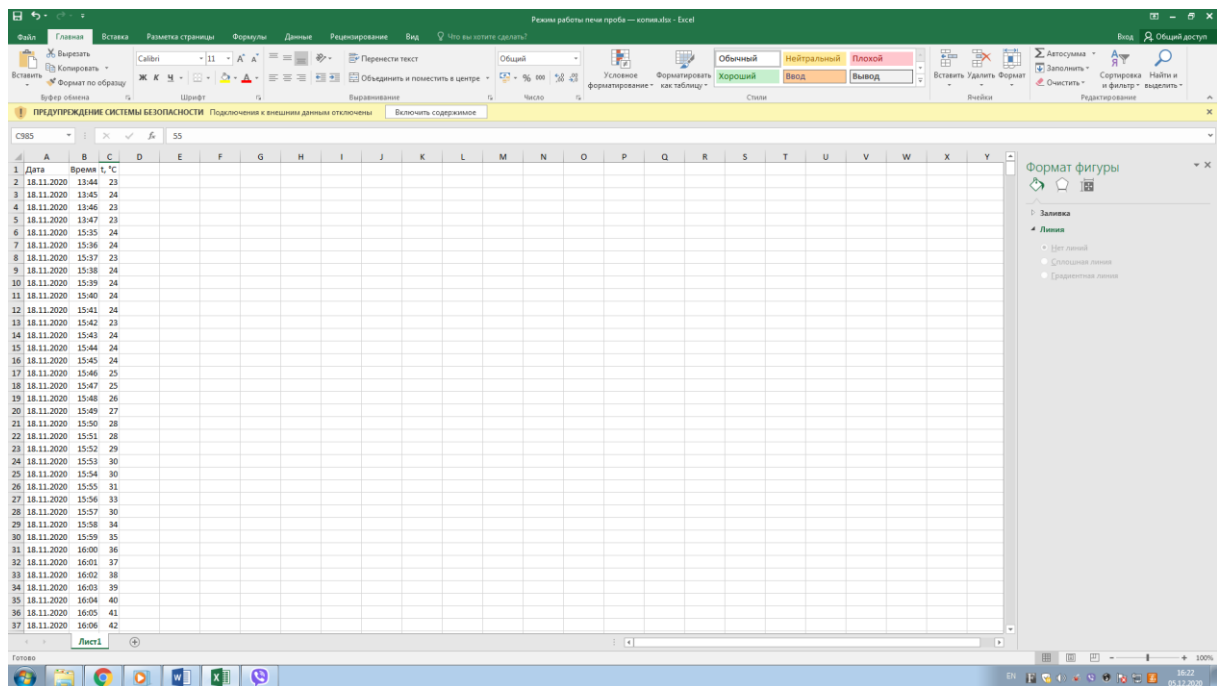
Мал.25



Мал.26



Мал.27



Мал. 27

У цій таблиці 937 рядків, проводити аналіз і працювати з такими даними дуже важко, побудуємо графік залежності температури від часу(графік 1).

На цьому графіку ми можемо виділити три основні зони:

- 1 - набір температури, нагрівання печі.
- 2 - підтримання температури
- 3 - повне відключення нагріву і охолодження печі.

Зробимо апроксимацію функції (це можна реалізувати стандартними засобами Microsoft Office Excel, натиснувши на на графіку правою кнопкою миші і вибравши пункт - "побудувати лінію тренда»). найбільш точна апроксимація виходе при застосуванні поліномініальної апроксимації шостого ступеня(графік 2). R – це точність побудови функції апроксимації.

Формула (1) описує графік апроксимації, але в практичному вигляді ця формула має мало користі, тільки в геометричному сенсі.

$$y = -1E-14x^6 + 4E-11x^5 - 5E-08x^4 + 3E-05x^3 - 0,0095x^2 + 1,8643x - 8,9913 \quad (1)$$

де – (-1E-14) це $-1 \cdot 10^{-14}$ тощо.

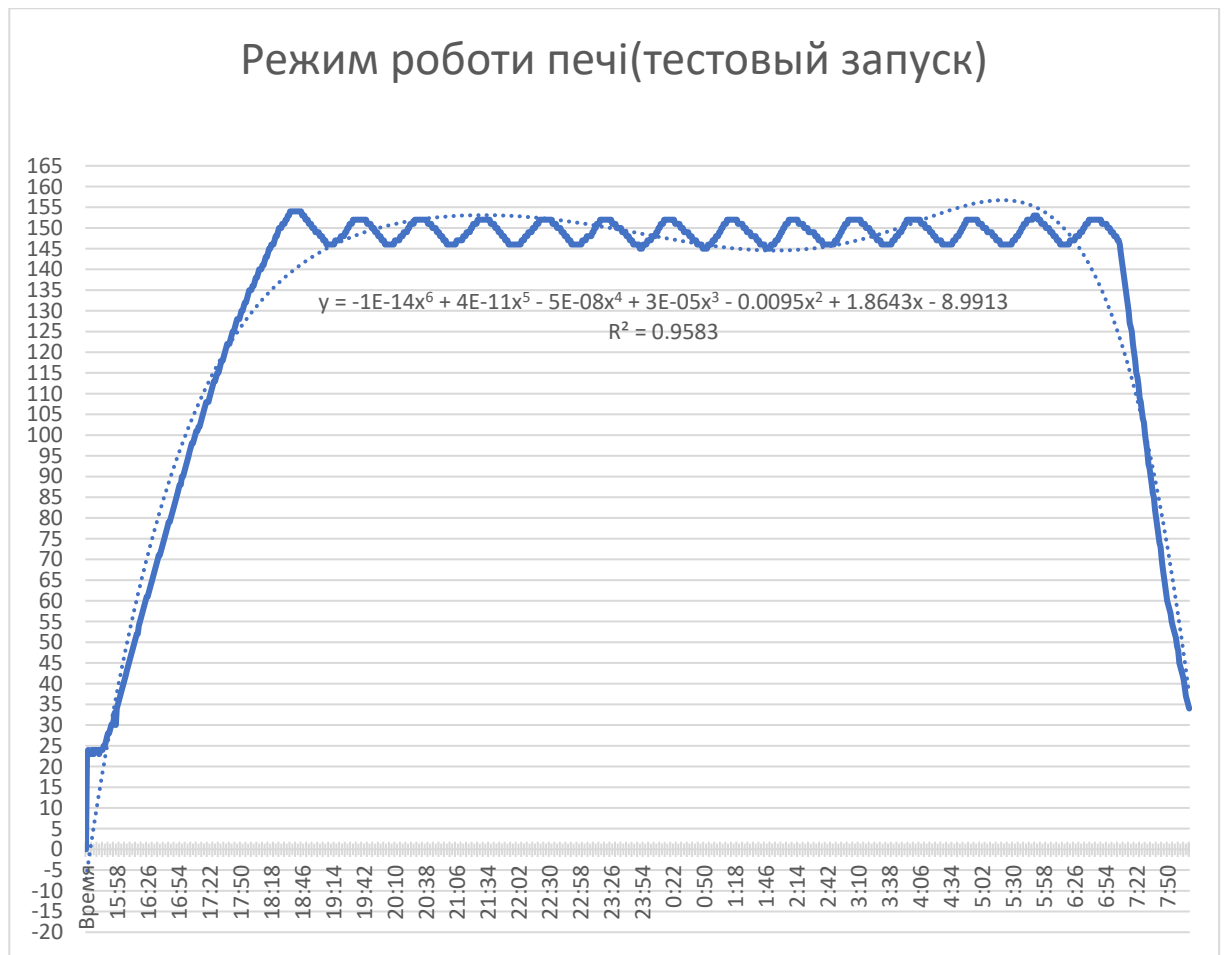


Графік 1 – Режим роботи печі.

Розглянемо більш докладно 3 окремих режиму роботи. На графіку 3 можна спостерігати режим нагріву печі. Приблизна формула (2) цього періоду:

$$y = -0,0013x^2 + 1,0328x + 8,6763 \quad (2)$$

Цей режим апроксимован за допомогою полінома другого ступеня з точність $R=0,996$.



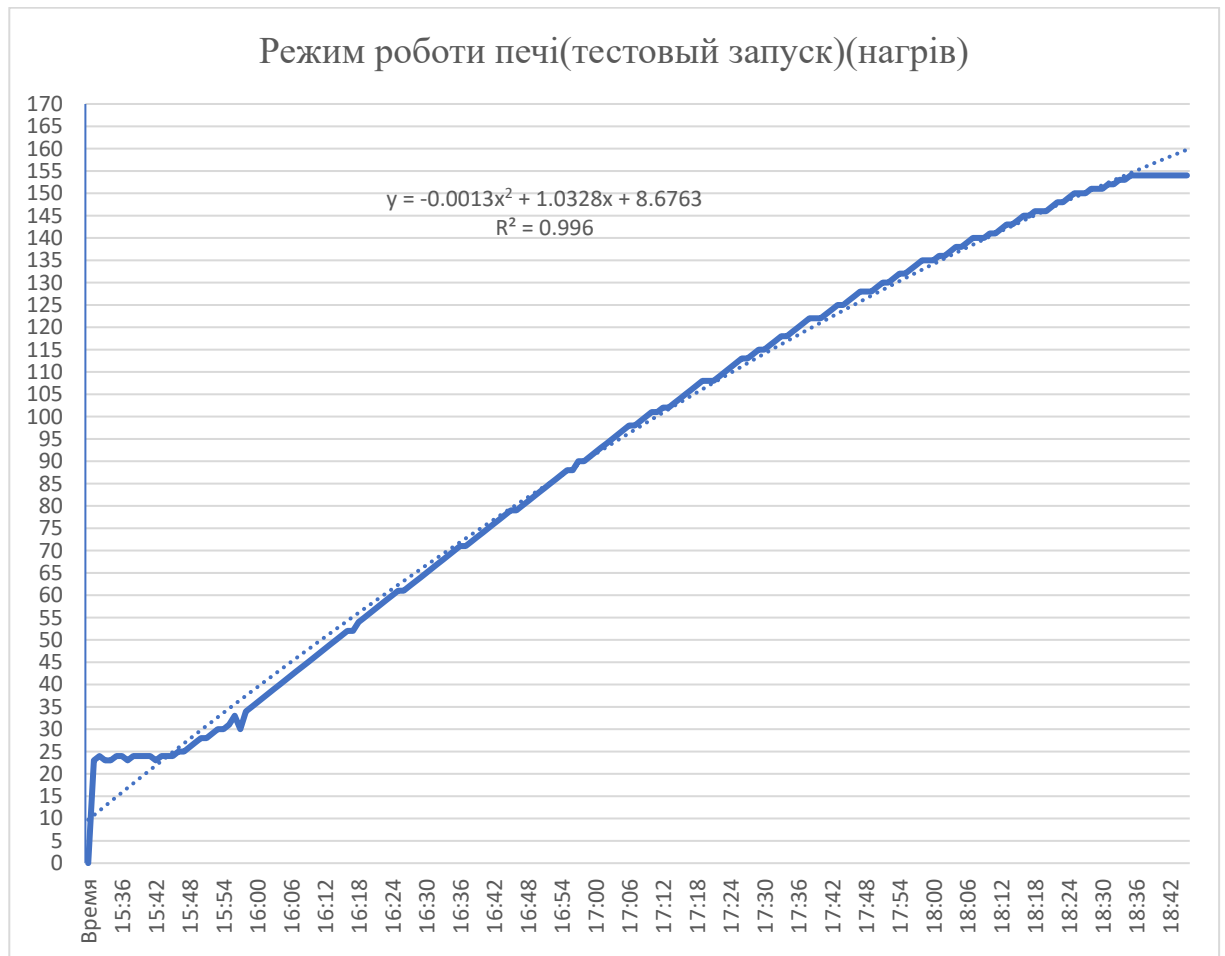
Графік 2 - Побудова апроксимації функції.

Режим підтримки температури апроксимирован за допомогою лінійної функції, це дає нам повне уявлення про середню температуру робочого простору печі. Формула ароксімації:

$$y = -0,0007x + 149,41 \quad (3)$$

Режим охолодження печі апроксимирован теж за допомогою лінійної функції. Формула (4) ароксімації:

$$y = -1,729x + 144,29 \quad (4)$$

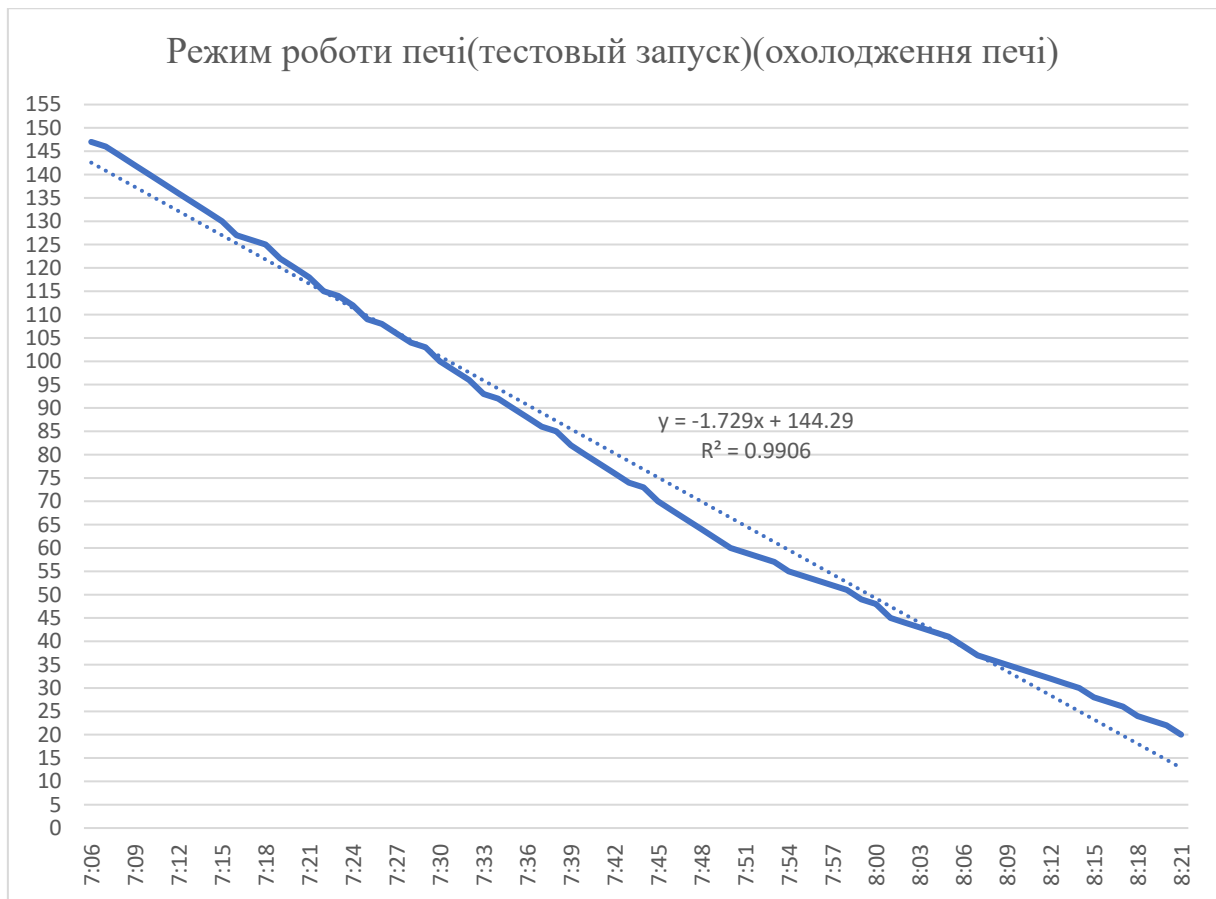


Графік 3 - Набір температури, нагрівання печі.

Отже побудуємо результуючий графік нагріву печі і зробимо висновки графік 4.

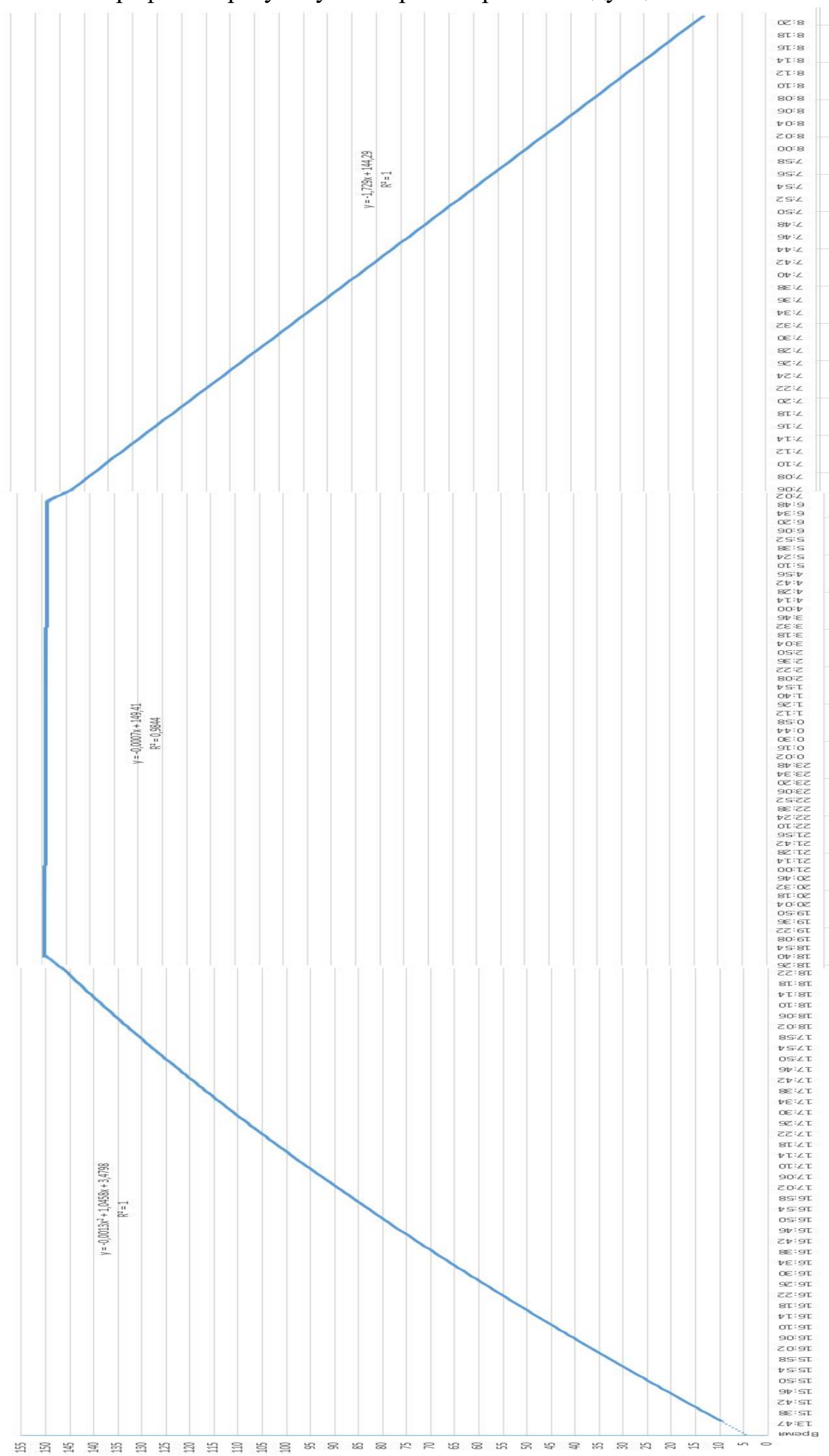


Графік 4 - Підтримання температури печі.



Графік 5 - Повне відключення нагріву і охолодження печі.

Графік 6 – результуючий режим роботи індукційної печі



V ГЛАВА. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Інструкція з охорони праці

Для електрослюсарів з ремонту та обслуговування Електровимірювальних приладів і приладів контролю теплових технологічних процесів.

1. Загальні положення.

1.1.Настояща інструкція поширюється на електрослюсарів з ремонту та обслуговування приладів і приладів контролю теплових технологічних процесів і визначає основні вимоги з техніки безпеки при виконанні профілактичних і ремонтних робіт.

1.2. До роботи з обслуговування та ремонту електровимірювальних та теплотехнічних приладів допускаються особи, які досягли 18-ти річного віку, пройшли медичне обстеження і мають відповідну групу допуску не нижче III для роботи на електроустановках до і понад 1000 В, які вивчили інструкції та схеми обслуговуваних установок і приладів .

1.3. На території підприємства (у дворі, в цеху) необхідно дотримуватися і виконувати наступні правила:

- бути уважним до попереджувальних сигналів, що подаються водіями транспорту, що рухається, кранівниками електричних кранів, не перебувати під піднятим вантажем;

- не заходити без дозволу за огорожі електроустановок.

1.4. Прі виконанні роботи бути уважним, не займатися сторонніми справами, не відволікати інших працюючих розмовами.

1.5. Вміти надавати першу домедичну допомогу постраждалим від електричного струму.

2 Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Робочим одягом електрослюсарів з ремонту та обслуговування приладів і приладів контролю теплових технологічних процесів є:

у чоловіків - костюм ХБ ГОСТ 11.621-73.

у жінок - халат ХБ ГОСТ 12.4.109-82

2.2. Привести в порядок спецодяг, заправити її так, щоб не було звисаючих кінців, застібнути рукава і підлоги костюма.

2.3. Переконатися в достатньому освітленні робочого місця.

2.4. Оглянути робоче місце, прибрати всі предмети, що заважають роботі. Інструмент, пристосування і прилади розкласти в зручному для роботи порядку.

2.5. Підготувати необхідні для роботи засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, боти, килимки). Справний інструмент і пристосування повинні відповідати таким вимогам:

- рукоятки плоскогубців і кусачок повинні мати випробувану ізоляцію;
- робоча частина викрутки повинна бути ретельно заточена, а рукоятка ізольована і міцно насаджена;
- індикатор напруги повинен мати справні щупи, а кінці проводів неушкоджену ізоляцію;
- гайкові ключі повинні бути справні і відповідати розміру гайок;
- молоток, зубило та іншої ударний інструмент не повинні мати наклепу і набійки, довжина зубила повинна бути не менше 150 мм.

2.6. Для перенесення робочого інструменту до місця роботи і назад підготувати спеціальний ящик або сумку з декількома відділеннями. Переносити інструмент в кишенях забороняється.

3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1.Проверіть наявність напруги в мережі тільки комбінованим приладом типу Ц4315, Ц20, вольтметром або індикатором напруги з двома щупами (напр. Індикатор типу МІН-1).

3.2. Заміну приладів виробляти тільки при вимкненому рубильнику, вимикачі, або автоматі, при цьому обов'язково вивішувати плакат «Не включати працюють люди». Якщо замість знятого амперметра змінного струму не встановлюється інший прилад, то обов'язково ізолювати і закорочувати залишаються кінці, тому що включення установки з розірваної вимірювальної обмоткою може привести до псування трансформаторів струму або ураження електричним струмом.

3.3.Сборку схем на випробувальному стенді виробляти при повному знятті напруги з клем, колодок, штепсельних роз'ємів, проводів і т.п.

3.4.Прі зварюванні термопар для захисту очей необхідно використовувати захисні окуляри.

3.5.Перед початком роботи по повірці приладів необхідно перевірити:

- правильність складання схеми;
- надійність з'єднання монтажних проводів;
- надійність заземлення;
- наявність і справність засобів індивідуального захисту.

3.6.Слідить за тим, щоб одяг і взуття були постійно сухими, тому що сира одяг і взуття значно зменшують опір ізоляції тіла.

3.7.Виполнять тільки ту роботу, яка доручена керівництвом і за умови забезпечення безпеки її виконання.

3.8. Прі отриманні нової (незнайомій) роботи необхідно получить у начальника лабораторії додатковий інструктаж з безпечних прийомів і методів її виконання.

3.9. Забороняється:

- працювати на несправному обладнанні, а також працювати несправним інструментом;
- доторкатися до струмоведучих частин без захисних засобів;
- палити на робочому місці;
- зберігати на робочому місці бензин, гас, розчинники та інші легкозаймисті речовини;
- при проведенні робіт користуватися відкритим вогнем;
- захищати доступ до розподільних щитів і іншим електроустановок, а також до засобів пожежогасіння;
- працювати на наждачному колі без захисного екрану або без захисних окулярів;
- користуватися засобами захисту з простроченим терміном повірки.

4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 4.1. Отключити прилади або установку від мережі електроживлення.
- 4.2. Убрати прилади і інструмент в відведене місце.
- 4.3. Привести в порядок робоче місце.
- 4.4. Обесточити все установки лабораторії.
- 4.5. Обо всі помічені недоліки під час роботи і про заходи, вжиті для їх усунення, своєчасно повідомити начальнику лабораторії.

5 ВИМОГИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

- 5.1 Куріння дозволяється тільки в спеціально обладнаних для цього місцях.
- 5.2 Забороняється застосування відкритого вогню.
- 5.3 Необхідно ставити урну для відходів не ближче 0,5 м від таборков.

5.4 Необхідно зберігати свою спецодяг тільки в роздягальні в розвішеному вигляді. Не можна залишати в кишенях обтиральні кінці і спідки.

6 ВИМОГИ безпеки в аварійних ситуаціях

При нещасному випадку необхідно звільнити потерпілого від вражаючого фактора, надати по можливості першу допомогу по інструкції № 4, викликати швидку допомогу по міському телефону «03», а також негайно повідомити про те, що трапилося начальнику ЦЗЛ.

До розслідування нещасного випадку зберігати робоче місце, обстановку і стан устаткування такими, якими вони були в момент про-сини при виході, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих праців-ков.

7 ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ЗА НЕВИКОНАННЯ ІНСТРУКЦІЇ

7.1.Кожний робітник повинен знати і виконувати всі вимоги, через лежання в даній інструкції.

7.2. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (стаття 44) особи, які не виконують вимоги інструкції з охорони праці, в залежності від характеру порушень притягуються до дисциплінарної, матеріальної, адміністративної та кримінальної відповідальності.

7.3.Случаї порушення вимог, викладених в даній інструкції, що не мають наслідків, розглядаються як порушення трудової дисципліни, і до робітників, які порушили інструкцію, можуть бути застосовані такі дисциплінарні стягнення: зауваження, догана, сувора догана, переведення на нижчеоплачувану роботу на термін до трьох місяців, звільни-ня.

8 КОНТРОЛЬ ЗА ДОТРИМАННЯМ ВИМОГ ІНСТРУКЦІЇ

Контроль за дотриманням вимозі інструкції з охорони праці здійснюється майстром, начальником цеху або його заступником.

ВИСНОВКИ

Перевірка режимів роботи нагріву індукційної печі та системи автоматичного керування, наглядно на графіках показала, що ця система працює стабільно. Це повністю впливає на економічний ефект і виключає вплив людського фактору у роботі. Завдяки модернізації, на графічних зображеннях, наглядно видно, що прилад підтримує задану температуру в допустимих межах, це означає, що якість продукції на завершальному етапі виробництва буде вище ніж раніше. Після модернізації системи управління індукційною піччю можна скоротити кількість обслуговуючого персоналу індукційної печі. Удалений контроль температурного режиму печі спростив роботу обслуговуючого персоналу.