Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розробка програмного модуля оптимального вибору конструкції термопар
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-19-1
Щербаков Г.Л.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
(код і повна назва напряму)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Безкоровайний В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри _____ Невлюдов І.Ш.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____

(підпис)
«_____»_____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Щербакову Глібу Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка програмного модуля оптимального вибору конструкції термопар
затверджена наказом по університету від 02.11. 2020 р. № Ст. 1509
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11.12. 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи Набір характеристик конструкції термопар. Кількість термопар або альтернативних варіантів конструкцій у базі даних – до 100. Кількість параметрів для оцінки і вибору термопар – до 10. Функція програмного засобу – підтримка прийняття рішень при виборі конструкцій термопар технологічного обладнання. Реалізація програмного засобу на IBM-сумісному персональному комп'ютері.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)
4.1. Вступ.
4.2. Аналіз сучасного стану проблеми вибору термопар.
4.3. Моделі та метод вибору термопар
4.4. Розробка програмного засобу підтримки прийняття рішень.
4.5. Розрахунок електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці.
4.6. Висновки.
4.7. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 15 с., формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз вихідних даних та літератури		
	за темою атестаційної роботи	05.09.2020	Виконано
2	Аналіз особливостей конструкцій		
	сучасних термопар	11.09.2020	Виконано
3	Постановка мети та задач		
	дослідження	15.09.2020	Виконано
4	Розробка моделей і методу вибору		
	термопар	12.10.2020	Виконано
5	Розробка програмного засобу		
	вибору термопар	03.11.2020	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки		
	та презентації	22.11.2020	Виконано
7	Подання атестаційної роботи до		
	екзаменаційної комісії	11.12.2020	Виконано

Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Студент _____ Щербаков Г.Л.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи проф. Безкоровайний В.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Атестаційна робота: 90 с., 3 табл., 24 рис., 3 дод., 24 джерел.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ, СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ, ТЕРМОПАРА, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ.

Мета роботи – розробка засобу підтримки прийняття рішень з багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання.

Об’єкт дослідження – термопари для технологічного обладнання.

Предмет дослідження – моделі багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання.

Методи дослідження – математичне моделювання, теорія корисності, теорія багатокритеріальної оптимізації, методи та засоби сучасних інформаційних технологій.

У магістерській атестаційній роботі виконано розробку структурної та параметричної моделей термопар, формалізацію подання їх параметрів, розроблено узагальнений алгоритм виділення підмножини ефективних варіантів та її скорочення методом лексикографічної оптимізації. На їх основі розроблено програмний засіб підтримки прийняття рішень з вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання, виконано розрахунок електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці.

Використання отриманих результатів за рахунок функцій видалення неефективних варіантів та багатокритеріальної оптимізації дозволить підвищити якість конструкцій термопар при проектуванні та (або) комплектуванні технологічного обладнання.

Результати магістерської атестаційної роботи апробовані в статті та на Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.

ABSTRACT

Attestation work contains: 90 pp., 3 tabs., 24 fig., 3 adds., 24 sources.

MULTICRITERIAL CHOICE, MATHEMATICAL MODEL, PARAMETRIC MODEL, STRUCTURAL MODEL, THERMOPOIR, TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

The purpose of the work – development a tool to support decision-making on the multi-criteria choice of thermocouple designs for process equipment.

The object of research – thermocouples for technological equipment.

The subject of research – models of multicriterial selection of thermocouple design for technological equipment.

Research methods - mathematical modeling, utility theory, theory of multicriterial optimization, methods and tools of modern information technology.

In the master's attestation work the development of structural and parametric models of thermocouples, formalization of representation of their parameters is performed, the generalized algorithm of selection of a subset of effective variants and its reduction by the method of lexicographic optimization is developed. Based on them, a software tool for decision-making on the choice of thermocouple designs for process equipment was develop, electrical safety was calculated and safe working conditions were provided.

Use of the received results due to functions of removal of inefficient variants and multicriterial optimization will allow to increase quality of designs of thermocouples at designing and (or) completing of the technological equipment.

The results of the master's attestation work were tested in the article and at the International scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists.

ЗМІСТ

С.

Скорочення та умовні познаки ……..……. 8

Вступ…….. 9

1 Аналіз сучасного стану проблеми вибору термопар для технологічного обладнання ……. 11

1.1 Термопари, що використовуються у технологічному обладнанні... 11

1.2 Класифікація термопар……..……... 17

1.3 Аналіз основних похибок термопар……. 20

1.4 Огляд сучасних засобів підтримки прийняття рішень з вибору термопар……... 23

1.5 Постановка мети та задач дослідження……... 30

2 Моделі та метод вибору термопар ……..… 32

2.1 Розробка структурної моделі термопари ……..……..… 32

2.2 Розробка параметричної моделі термопари ……..…… 34

2.3 Формалізація подання параметрів термопар …..…….. 36

2.4 Розробка математичної моделі термопари …… 37

2.5 Лексикографічний метод вибору термопар...……. 39

2.6 Висновки до другого розділу…… 42

3 Розробка програмного засобу підтримки прийняття рішень……. 43

3.1 Вибір середовища розробки……..…… 43

3.2 Розробка бази даних та вибір СУБД……..…….. 44

3.3 Розробка алгоритму вибору термопар..…..……. 50

3.4 Опис інтерфейсу програми..…..…… 52

3.5 Розрахунок електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці 56

3.6 Висновки до третього розділу…… 58

Висновки …… 60

Перелік джерел посилання…… 62

Додаток А Текст програми…… 65

Додаток Б Демонстраційний матеріал ……. 82

Додаток В Відомість атестаційної роботи ……...……... 90

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БД – база даних.

ІМП – інтервал між перевірками.

СУБД – система управління базами даних.

ТЕН – трубчастий електронагрівач.

ТЕРС – термоелектрорушійна сила.

ТЗ – технічне завдання.

ВСТУП

Під час автоматизації технологічних процесів зазвичай виникає необхідність знімати показники про температурні зміни, для їх завантаження в системи управління з метою подальшої обробки. Для цього потрібні високоточні, малоінерційні датчики, здатні витримувати великі температурні навантаження в певному діапазоні вимірювань. Як термоелектричні перетворювачі широко використовуються термопари – диференціальні пристрої, що перетворюють теплову енергію в електричну.

Такі пристрої також є простими і зручними датчиками температури для термоелектричного термометра, призначеного для здійснення точних вимірювань в межах досить широких температурних діапазонів. Зокрема, керуюча автоматика газових котлів та інших опалювальних систем спрацьовує від електричного сигналу, що надходить від сенсора на базі термопари. Конструкції датчика забезпечують необхідну точність вимірювань в обраному діапазоні температур.

За результатами огляду сучасних засобів підтримки прийняття рішень з вибору термопар встановлено, що вони лише надають інформацію щодо наявних типів термопар та їх функціонально-вартісних характеристик. Це обумовлює актуальність задачі розробки математичного та програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень щодо вибору термопар.

Об’єктом дослідження є термопари для технологічного обладнання.

Предмет дослідження складає процес багатокритеріального вибору конструкції термопар для технологічного обладнання.

Метою роботи є розробка засобу підтримки прийняття рішень з багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

− проаналізувати сучасні типи і види термопар;

− дослідити основні параметри термопар та їх вплив на технічні характеристики;

− проаналізувати сучасні автоматизовані системи вибору параметрів конструкції термопар;

− розробити структурно-параметричну модель термопари;

− розробити математичну модель та метод вибору термопар;

− розробити програмний продукт для підтримки прийняття рішень щодо вибору конструкцій термопар;

– виконати розрахунок засобів електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці в офісі розробників програмного забезпечення.

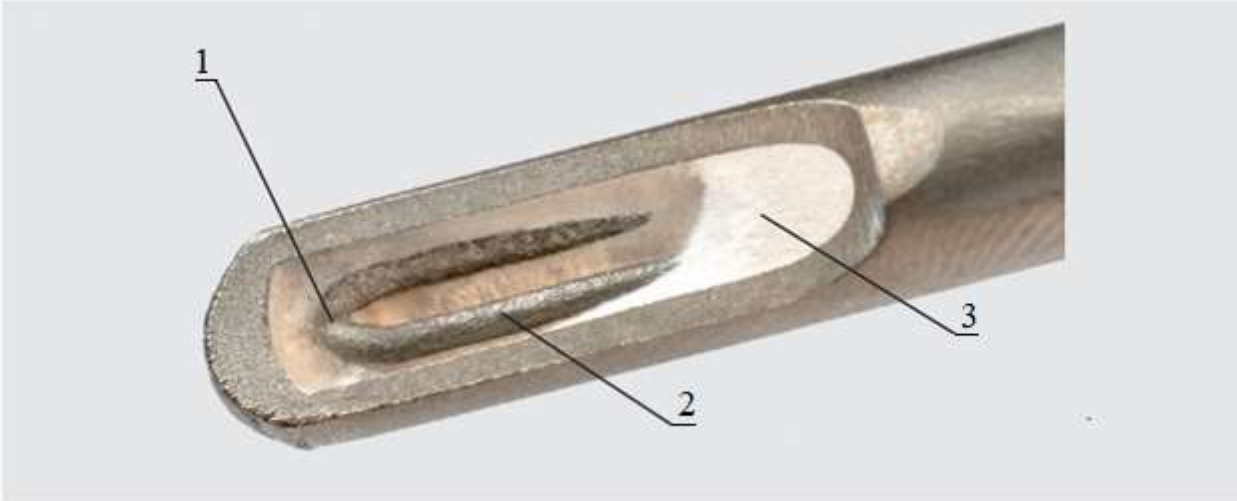
– оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ ТЕРМОПАР ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Термопари, що використовуються у технологічному обладнанні

Термопара (термоелектричний перетворювач) – пристрій, що застосовується для вимірювання температури в промисловості, наукових дослідженнях, медицині та в системах автоматики.

Термопара – це пара провідників з різних матеріалів, з'єднаних на одному кінці і формують частину пристрою, що використовує термоелектричний ефект для вимірювання температури (рис. 1.1) [4].



1 – термопара / точка вимірювання;

2 – провідники термопари;

3 – керамічна ізоляція.

Рисунок 1.1 – Конструкція точки вимірювання

Під термоелектричним ефектом розуміється генерування термоелектрорушійної сили (ТЕРС), яка виникає через різницю температур між двома з'єднаннями різних металів і сплавів в точці вимірювання.

Ця напруга виникає завдяки різної щільності електронів в двох (різнорідних) металевих провідниках і різниці температури в точці вимірювання і в точці холодного спаю.

Фактично термопара вимірює не абсолютну температуру, а різницю температур між: Т1 – точкою вимірювання (гарячий спай) та Т2 – холодною точкою (холодний спай) (рис. 1.2) [4].

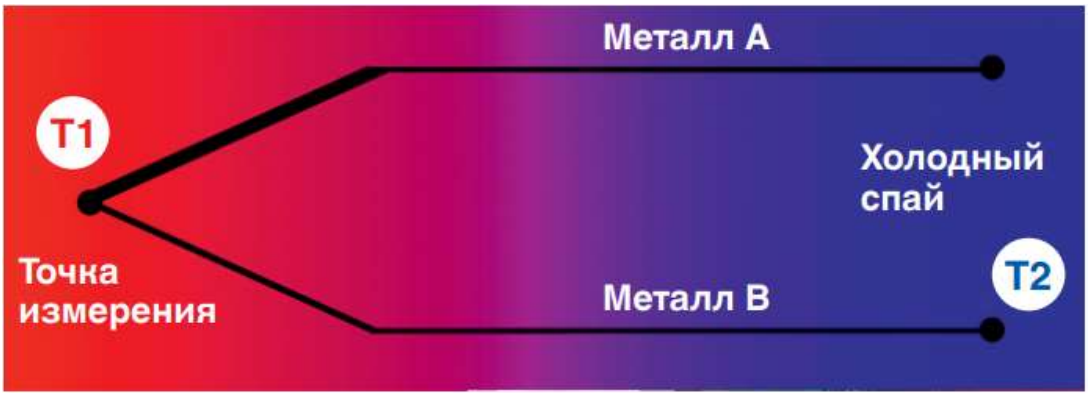


Рисунок 1.2 – Схема будови термопари

Оскільки напруга часто вимірюється при температурі навколишнього середовища, що показується значення напруги буде занижена на значення напруги, який відповідає температурі довкілля. Для того, щоб отримати значення абсолютної температури вимірювальної точки застосовується так звана "компенсація холодного спаю".

Раніше (в калібрувальних лабораторіях цей метод використовується донині) така компенсація здійснювалася шляхом занурення з'єднання на холодному кінці термопари і проводів вольтметра в крижану ванну.

У сучасному обладнанні з входом для підключення термопари (перетворювачі, портативні вимірювальні прилади або пристрої для монтажу в панелі тощо) функція електронної компенсації холодного спаю вже вбудована в електричні ланцюги приладу.

Кожен метал характеризується певною електронегативні. Електронегативність – це схильність атомів відтягувати до себе електрони інших атомів.

Для отримання максимально можливих термоелектричних напружень в термопарах використовуються спеціально підібрані пари металів, що мають найбільш відрізняються один від друга значення електронегативності. Такі пари металів мають певні обмеження, наприклад, обумовлені максимальною робочою температурою термопари.

Основними факторами, від яких залежить конструкція термопари, є умови її експлуатації. При конструюванні того чи іншого термоелектричного перетворювача враховуються такі чинники, як агрегатний стан речовини, температуру якого потрібно вимірювати, «агресивність» зовнішнього середовища, діапазон вимірюваних температур, теплова інерційність і інші [5].

Можна виділити наступні особливості конструкції термопар:

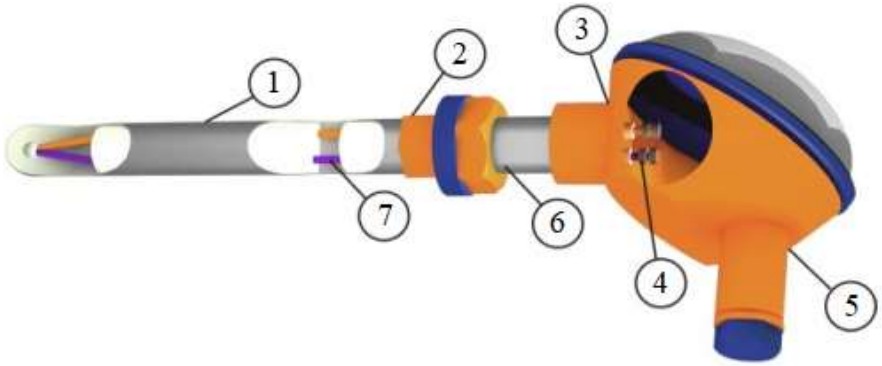
– кінці двох термоелектродів з'єднуються між собою в одній точці, утворюючи робочий спай. З'єднання відбувається, як правило, за допомогою зварки, а термоелектроди перед зварюванням скручують між собою. У спеціальних випадках замість зварювання може застосовуватися пайка. Термоелектроди з тугоплавких металів, наприклад, в вольфрам-ренієві або вольфрам-молібденових термопарах, часто з'єднують тільки зкруткою без подальшої зварювання;

– термоелектроди повинні бути з'єднані між собою тільки в робочому спаї. По всій решті довжині потрібно їх електрична ізоляція один від одного;

– спосіб ізоляції термоелектродів залежить від верхнього температурного межі застосування термоелектричного термометра. Якщо вказану межу не перевищує від 100 °С до 120 °С, то може застосовуватися будь-яка ізоляція, в тому числі повітряна. При температурах до 1300 °С ізоляцію виконують за допомогою порцелянових одно- і двоканальні трубок або бус. При більш високих температурах електроізоляційні властивості пірометричного порцеляни сильно погіршуються, а сам він розм'якшується. У зв'язку з цим при більш високих температурах використовують трубки з окису алюмінію (до 1950 °С) і з окису магнію, окису берилію, двоокису торію і двоокису цирконію (вище 2000 °С);

– залежно від середовища, в якій здійснюється вимірювання температури, термопара може мати зовнішню захисну трубку-чохол з закритим кінцем. Дана трубка може бути металевою, керамічною або металокерамічною. Вона повинна забезпечувати механічну стійкість термоелектричного термометра, відсутність механічної напруги термоелектродів, гідроізоляцію, а в деяких випадках герметичність термометра. Матеріал захисної трубки-чохла повинен витримувати тривале перебування при температурі верхньої межі застосування даної конструкції термопари, а також бути хімічно стійким до середовища, в якій здійснюються вимірювання, мати гарну теплопровідність. Захисна трубка-чохол повинна бути газонепроникної і нечутливою до дії різких змін температури.

Основними факторами, які визначають конструкцію термопари, є умови її експлуатації. На рисунку 1.3 зображена конструкція типової термопари.



1 – захисна гільза;

2 – нерухомий штуцер (існують варіанти виконання з пересувним штуцером);

3 – головка;

4 – розетка з ізоляційного матеріалу з зажимами для приєднання термоелектродів і подовжують проводів;

5 – патрубок з сальниковим ущільненням;

6 – сполучна трубка;

7 – термоелектроди.

Рисунок 1.3 – Конструкція типової термопари [5]

Основні параметри за якими відрізняються термопари: діапазон вимірюваних температур і властивості середовища, в якій здійснюються вимірювання. Сучасні термопари виготовляються різної форми і довжини.

Класифікація типів конструктивного виконання термопар:

За призначенням і умовам експлуатації:

– занурювані;

– поверхневі.

За наявністю і матеріалу захисного чохла:

– виготовлені без чохла;

– зі сталевим чохлом (до t ≈ 600 °С);

– з чохлом зі спеціального жаростійкого сплаву (до t ≈ 1000 °С (1100 °С));

– з порцеляновим чохлом (до t ≈ 1300 °С);

– з чохлом з тугоплавких сплавів (t ≈ 2000 °С і більше).

По конструкції кріплення термопари на місці установки:

– з нерухомим штуцером;

– з рухомим штуцером;

– з рухомим фланцем.

За захищеності від зовнішнього середовища з боку висновків:

– зі звичайною головкою;

– з водозахищеною головкою;

– зі спеціальною закладенням вивідних кінців (без головки).

За захищеності від вимірюваного середовища:

– захищені від впливу неагресивних і агресивних середовищ;

– незахищені (застосовуються, коли вимірювана середовище не має шкідливого впливу на термоелектроди).

За герметичності, розраховані на високий тиск вимірюваного середовища:

– негерметичні;

– герметичні, призначені для роботи при різних умовних тисках і температурах.

За стійкістю до механічних впливів:

– вібротрясостійкі;

– ударостійкі;

– звичайні.

За кількістю зон, в яких повинна контролюватися температура:

– однозонні;

– багатозонні.

За ступенем теплової інерції:

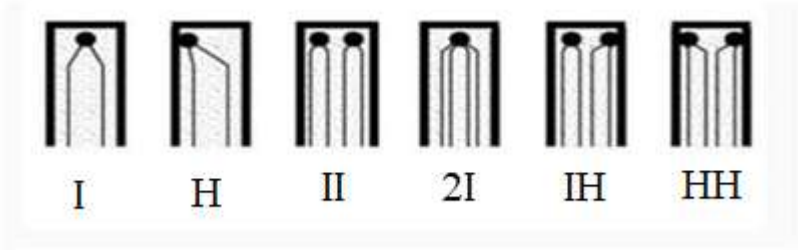
– з великою інерційністю – до 3,5 хв;

– із середньою інерційністю – до 1 хв;

– малоінерційні – до 40 с;

– з ненормованою інерційністю.

Залежно від призначення термодатчику спаї термопар можуть мати різну конфігурацію. Існують одноелементні і двоелементні спаї. Вони можуть бути як заземленими на корпус колби, так і незаземленими. Схеми конструкцій спаїв зображено на рисунку 1.4.



I – один спай, ізольований від корпусу;

H – один з'єднаний з корпусом спай;

II – два ізольованих один від одного і від корпусу спаяний;

2I – здвоєний спай, ізольований від корпусу;

IH – два спаяний, один з яких заземлений;

H – два неізольованих спаяний, з'єднаних з корпусом.

Рисунок 1.4 – Типи спаїв термопар

1.2 Класифікація термопар

Найбільш поширеною класифікацією термопар є класифікація за типом матеріалів, з яких виготовлені термоелектроди.

Термопари поділяють на:

– термопари з неблагородних металів;

– термопари з тугоплавких металів;

– термопари з благородних металів.

Найбільш широким класом термопар є термопари, виготовлені з неблагородних металів. Серед найбільш використовуваних можна виділити такі, як:

– термопара хромель-алюмель (ТХА, тип К) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від –200 °С до +1200 (+1300) °С. У діапазоні температур від 200 °С до 500 °С може виникнути ефект гістерезису, коли показання при нагріванні і охолодженні можуть відрізнятися. У деяких випадках різниця досягає 5 °С. Працює в нейтральній атмосфері або атмосфері з надлишком кисню. Після термічного старіння свідчення знижуються. Може статися зміна ТЕРС при використанні в розрідженій атмосфері, тому що хром може виділятися з Ni-Cr виведення. При цьому термопара показує занижену температуру. Атмосфера сірки шкідлива для термопари, тому що негативно впливає на обидва електроди. Термопара хромель-алюмель (ТХА, тип К) зображена на рисунку 1.5 [6];

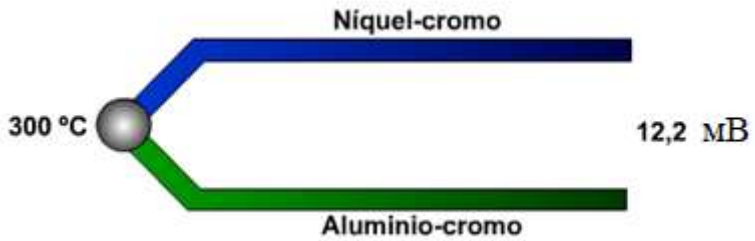


Рисунок 1.5 – Схема термопари типу К

– термопара хромель-копель (ТХК, тип L) і хромель-константан (ТХКн, тип E) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від –200 °С до +800 °С (+1100) °С. Має найвищу чутливістю з усіх промислових термопар;

– термопара залізо-константан (ТЖК, тип J) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від –203 °С до +750 °С (+1100) °С. Працює в відновлювальної та окисної середовищах. Добре працює в розрідженій атмосфері. При температурах вище 500 °С необхідна наявність газощільної захисту термопари, якщо в середовищі вимірювання присутня сірка. Має високу чутливість. Має невисоку вартість, так як до складу термопари входить залізо. На електроді з заліза може утворитися іржа через конденсації вологи. Показання підвищуються після термічного старіння;

– термопара мідь-константан (ТМК, тип T) і мідь-копель (ТМК, тип M) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від –250 °С до +400 °С (+600) °С. В дужках вказана максимальна температура при короткочасному вимірі. Може працювати в окислювальному або відновлювальної атмосфері, а також в вакуумі. Найбільш точна термопара для вимірювання температур від 0 °С до 250 °С. Не рекомендується використання термопар даного типу при температурах вище 400 °С. Не чутлива до підвищеної вологості;

– термопара ніхросил-нісіл (ТНН, тип N) – використовується для вимірювання температур до +1200 °С (+1250) °С. Це відносно новий тип термопари, розроблений на основі термопари типу К. Термопара типу К може легко забруднюватися домішками при високих температурах. Сплавляючи обидва електроди з кремнієм, можна тим самим забруднити термопару заздалегідь, і таким чином знизити ризик подальшого забруднення під час роботи. Висока стабільність при температурах від 200 °С до 500 °С (значно менший гістерезис, ніж для термопари типу К). Вважається найточнішою термопарою з неблагородних металів.

Термопари з тугоплавких металів призначені для вимірювання високих температур, поділяються на підтипи:

– термопара ВР5-ВР20 (ТВР, тип А) – Використовується для вимірювання високих температур в діапазоні від +1300 °С до +2500 (+3000) °С. Може працювати в інертному атмосфері або вакуумі. Володіє хорошими механічними властивостями при високих температурах;

– термопара вольфрам-молібден (ТВМ) – Використовується для вимірювання високих температур в діапазоні від +1400 °С до +1800 (+2400) °С. Може працювати в інертному середовищі, середовищі водню або вакуумі. Має невисоку вартість в порівнянні з іншими термопарами для вимірювання високих температур. Має низьку чутливість.

Термопари з благородних металів є найточнішими і часто застосовуються в якості еталонних:

– термопара платинородій-платина (ТПП, тип S, R) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від +300 °С до +1400 °С (+1600) °С. Може працювати в окислювальному і інертній атмосфері. При наявності захисту може використовуватися в відновлювальних середовищах. Не рекомендується застосування нижче 300 °С, так як термо-ЕРС в цій області мала і вкрай нелінійна. Дає високу точність вимірювань. Має хорошу відтворюваність і стабільність термо-ЕРС. Використовується в якості еталонної термопари. Має високу вартість. Чутлива до хімічних забруднень металевими і неметалевими домішками;

– термопара платинородій-платинородій (ТПР, тип В) – використовується для вимірювання температур в діапазоні від +600 °С до +1600 °С (+1800) °С. Може працювати в окислювальному і нетральному середовищі. Можливе використання в вакуумі. При наявності захисту може використовуватися в відновлювальних середовищах. Не рекомендується застосування при температурі нижче +600 °С, де ТЕРС дуже мала і нелінійна. Дає високу точність вимірювань. Має хорошу відтворюваність і стабільність ТЕРС. Використовується в якості еталонної термопари. Має високу вартість. Чутлива до хімічних забруднень металевими і неметалевими домішками.

Кольорове маркування термопар і кабельних виводів зображено на рисунку 1.6 [6].

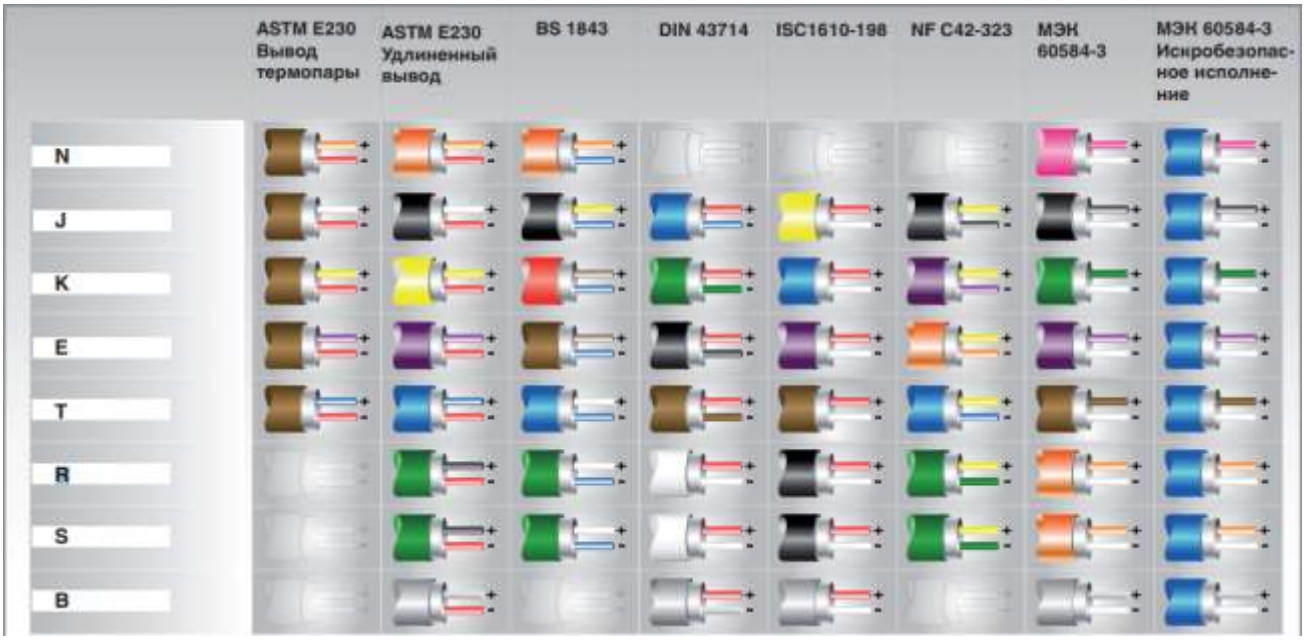


Рисунок 1.6 – Кольорове маркування термопар і кабельних виводів

1.3 Аналіз основних похибок термопар

Принцип дії термопар і особливості перетворення і передачі сигналу приводять до наступних можливих проблем при їх експлуатації, що викликає помилку у визначенні температури:

– дефекти формування робочого спаю термопари. Існує багато способів формування робочого спаю термопари: механічне скручування, пайка, зварювання тощо. При зварюванні в спай додається третій метал, але тому що температури провідників, що виходять з спаяний однакові, це не може привести до будь-якої похибки. Проблема полягає в тому, що третій метал, як правило, має більш низьку температуру плавлення і при високих температурах спай може розірватися. Більш того, може відбуватися забруднення електродів чужорідним металом. Тому рекомендується проводити зварювання робочого спаю. Однак процес зварювання теж вимагає особливої уваги, тому що перегрів

може пошкодити термопарного дріт і газ, який використовується для зварювання, може дифундувати в дріт. Дефектна зварювання може привести до розриву спаяний при експлуатації. У програмному забезпеченні, яке для зчитування й обробки сигналу термопари завжди є спеціальний тест на розрив спаю;

– виникнення термоелектричної неоднорідності по довжині термоелектродів і зміна градуювальної характеристики термопари. Це найбільш серйозний і важко діагностується джерело похибки, тому що результат відліку ТЕРС може здатися цілком прийнятним і в той же час бути помилковим. Термоелектрична неоднорідність може бути результатом дифузії домішок з навколишнього атмосфери при високих температурах, високотемпературним відпалом або механічною обробкою електродів. Вона може утворитися в результаті протягування електродів, необережне поводження, ударів і вібрацій, що викликають напруження в дроті. Зміна складу сплаву може спостерігатися на окремій ділянці дроту, що знаходиться тривалий час в зоні різкого температурного градієнта. Однак неоднорідність впливає на зміну градуювальної характеристики тільки в тому випадку, якщо вона потрапляє в зону температурного градієнта при вимірюванні. Чим більше градієнт температури, тим більше похибка, що виникає через неоднорідність. Один із способів зменшення даної похибки – зробити більш плавним зміна температури на довжині термоелектрода, наприклад, використовуючи металеві рукава і чохли. Опір ізоляції термопари Опір ізоляції термоелектродів зменшується з підвищенням температури за експоненціальним законом. При високій температурі, в окремих випадках, цей ефект може привести до утворення так званого «віртуального» спаю, тобто фактичного замикання електродів в середній точці термопари. Таким чином, термопара буде вимірювати температуру не в області робочого спаю, а температуру в середній області. При високих температурах слід також дуже ретельно підбирати матеріал для ізоляції, тому що домішки і хімічні речовини ізоляції можуть проникнути в електроди і змінити їх властивості;

– електричне шунтування провідників ізоляцією і можливе виникнення гальванічного ефекту. Барвники, що застосовуються в деяких видах ізоляції, можуть викликати утворення електроліту при попаданні води. Це може привести до гальванічного ефекту, який за силою перевищує ефект Зеебека. Необхідно вживати заходів для захисту термопарної дроту від шкідливої атмосфери, проникнення води і інших рідин;

– теплове шунтування. Термопара, як і будь-який інший контактний датчик, при введенні в об'єкт вимірювання змінює його температуру. Тому, якщо об'єкт малий, термопара теж повинна мати малі розміри. Однак термопара, виготовлена з тонкого дроту, більш схильна до ефектів забруднення, відпалу, виникнення напружень, електричному шунтування. Щоб мінімізувати ці ефекти застосовують подовжувальні дроти, які з'єднують термоелектроди термопари з вимірювальним вольтметром і мають коефіцієнт Зеебека близький до коефіцієнта термопари даного типу. Зазвичай подовжувач провід має більший діаметр, його опір, включене послідовно з термоелектроди, не викликає втрат при передачі сигналу на довгі відстані. Крім того, подовжувач провід простіше протягнути через підвідний вимірювальний канал, ніж тонку термопарного дріт. Оскільки вимоги до допускам подовжувальних проводів встановлені тільки у вузькому інтервалі температур, і сам провід може бути схильний до механічних пошкоджень і натягу, слід забезпечити мінімальний температурний градієнт вздовж дроти;

– електричні шуми і витоку. Широкосмуговий шум може бути пригнічений аналоговим фільтром. Єдиний тип шуму, який не може придушити система зчитування й обробки сигналу - зрушення, обумовлений витоком постійного струму в системі. Хоча зазвичай такі витоку не викликають великих похибок, можливість їх виникнення повинна завжди прийматися до уваги і, по-можливості, запобігати, особливо якщо термоелектроди дуже малі і їх опір велике.

1.4 Огляд сучасних засобів підтримки прийняття рішень з вибору термопар

Сучасний ринок пропонує декілька сайтів з подібним функціоналом, до основних з яких можна віднести «Космодром», «ОВЕН» та «Интмакс».

Розглянемо сервіс, що надає сайт «Космодром». Основний упор робиться на компанії-виробники. Для них «Космодром» пропонує високоякісні електронні компонентів, обладнання та технології провідних фірм такі як:

– активні прилади (напівпровідники, діоди, транзистори, IGBT модулі, мікросхеми, РК-індикатори, світлодіоди, семисегментні індикатори, датчики вологості, прискорення, температури, струму, тиску, перетворювачі напруги, джерела живлення, інвертори, тиристори, сімістори, драйвер);

– пасивні компоненти (керамічні і плівкові, електролітичні конденсатори, постійні і змінні резистори);

– оптоелектроніка;

– комутуючі пристрої, реле електромеханічні, реле твердотільні;

– запобіжники, роз'єми, засоби промислової комутації, акумуляторні відсіки і власники батареї;

– вимірювальна техніка, засоби точних вимірювань;

– паяльне обладнання і монтажний інструмент, хімію для виготовлення друкованих плат.

Стартова сторінка сайту зображена на рисунку 1.7 [7].

При виборі термопари сайт «Космодром» надає тільки опис та характеристики пристрою (рисунок 1.8).

Розглянемо сервіс, що надає сайт «ОВЕН». Компанія ОВЕН є найбільшим виробником промислової автоматики в Україні. З’явившись на українському ринку в 2007 році, компанія стрімко розвивається, нарощує виробничі потужності, постійно збільшує команду розробників, динамічно розвиває активні продажі.

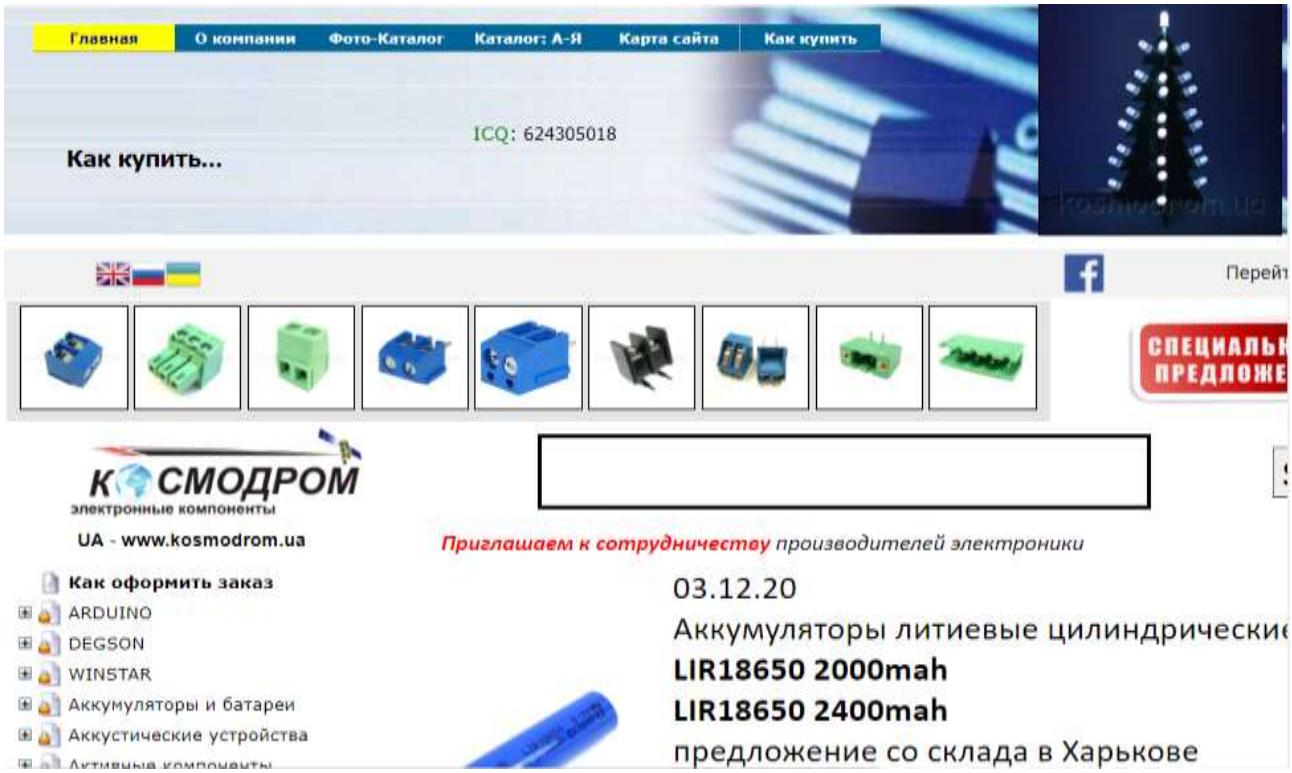


Рисунок 1.7 – Стартова сторінка сайту «Космодром»

Рисунок 1.8 – Опис та характеристики пристрою

Асортимент продукції ОВЕН, що випускається, нараховує більше двохсот найменувань:

– логічні контролери, програмовані реле, модулі вводу/виводу, панелі оператора;

– перетворювачі інтерфейсів, пристроїв зв’язку та сигналізації, модеми;

– вимірювачі, регулятори, таймери, лічильники, пристрої комутації, архіватори;

– блоки живлення;

– перетворювачі частоти;

– датчики температури, рівня, тиску тощо.

Обладнання компанії ОВЕН широко застосовується в системах автоматизованого контролю технологічних процесів у різних галузях промисловості: хімічній, машинобудівній, металургійній, харчовій, аграрній, енергетичній, а також на об’єктах житлово-комунального господарства. Стартова сторінка сайту зображена на рисунку 1.9 [8].

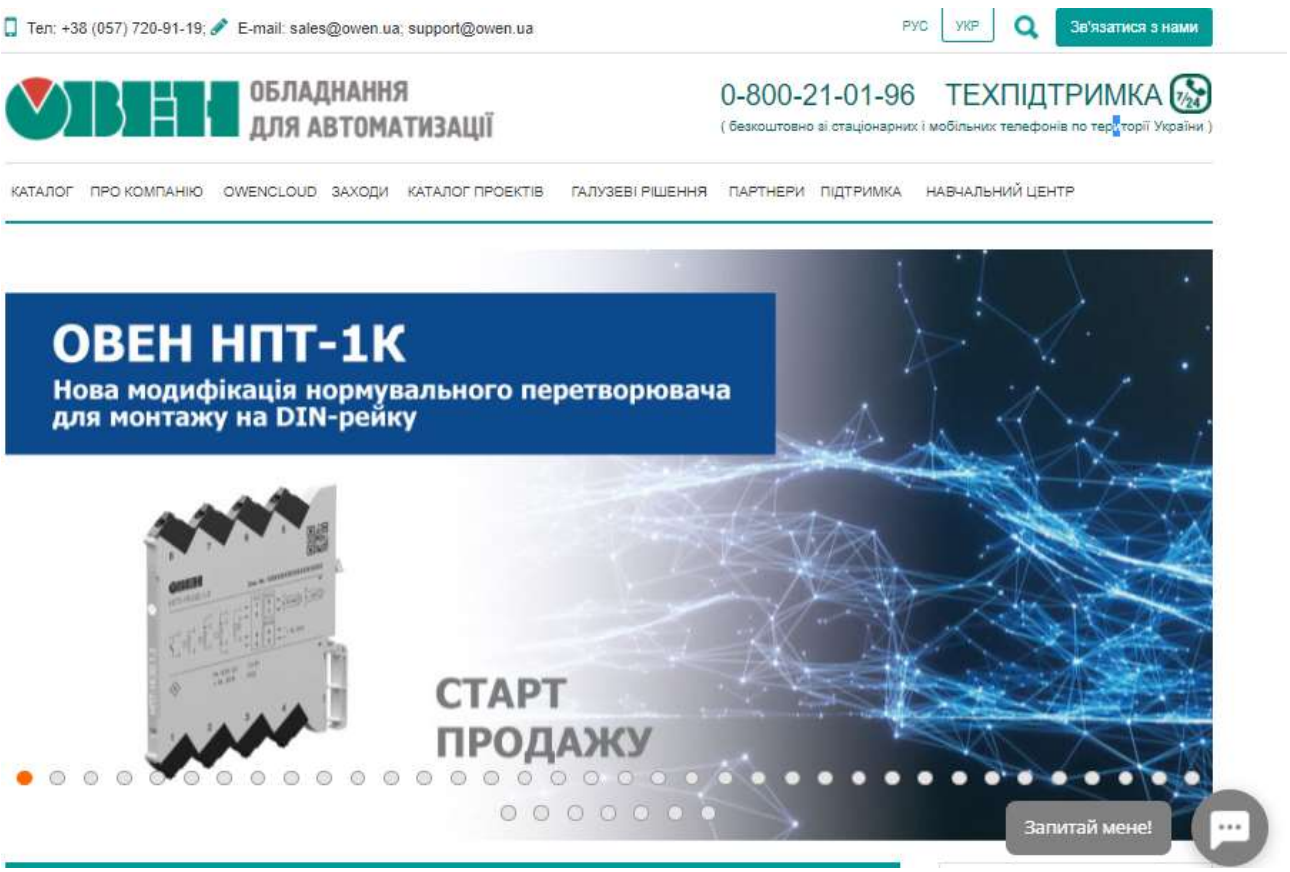


Рисунок 1.9 – Стартова сторінка сайту «ОВЕН»

При виборі термопари сайт «ОВЕН» надає:

– опис пристрою з перевагами (рисунок 1.10);

– технічні характеристики (рисунок 1.11);

– конструктивні виконання (рисунок 1.12);

– актуальні питання та відповіді (рисунок 1.13).

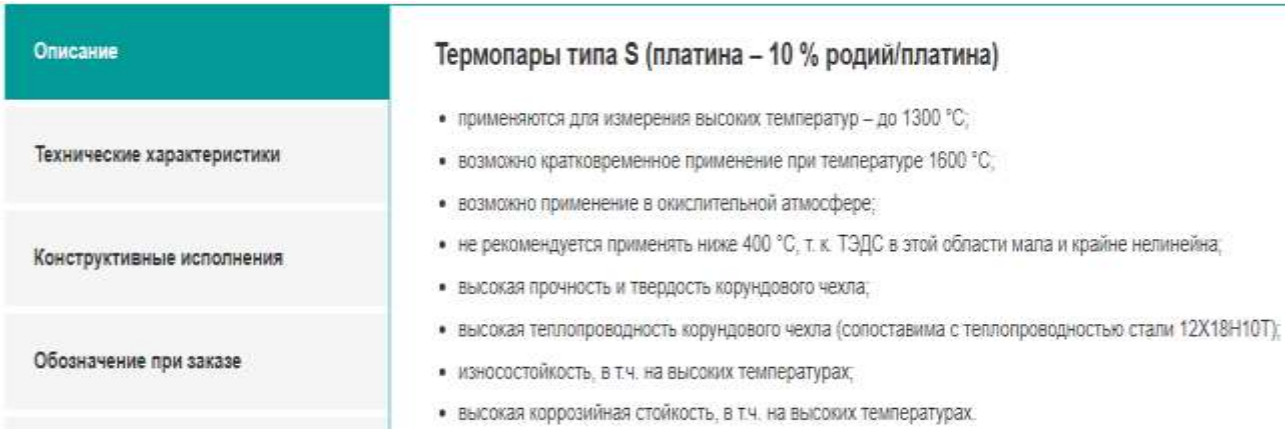


Рисунок 1.10 – Опис пристрою з перевагами

Характеристика	Значение
Номинальная статическая характеристика	ТПП(S)
Рабочий диапазон измеряемых температур	0...+1300 °С
Класс допуска	2
Показатель тепловой инерции	Не более 5 с – для ДТПS021 Не более 50 с – для ДТПS145 Не более 90 с – для ДТПS155
Материал защитной арматуры	Корунд СЕR795/12Х18Н10Т

Пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ по ГОСТ Р 8.585

НСХ	Класс допуска	Диапазон измерения	Пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ
S (ПП)	2	0...+600 °С включ.	± 1,5 °С
		св. 600...1600 °С	± 0,0025 *t* °С
t - значение измеряемой температуры, °С			

Рабочий диапазон измеряемых температур определяется исполнением датчика и зависит от материала защитной арматуры.

Величина нестабильности датчика не превышает 0,5 предела допускаемого отклонения ТЭДС от НСХ, указанного в таблице «*Предельные допускаемые отклонения ТЭДС от НСХ*».

Рисунок 1.11 – Технічні характеристики

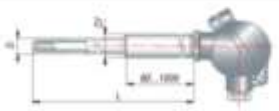
Конструктивное исполнение	Модель	Диаметр платинового электрода	Диаметр платинородиевого электрода	Внешний диаметр	Материал защитной арматуры	Длина термопары L*
	021.1Э	0,5 мм	0,4 мм	Не более 4,6 мм	Корунд CER795	Определяется при заказе. 0,2 до 2,0 м
	021.1О	0,5 мм	0,4 мм	Не более 4,6 мм	Корунд CER795	Определяется при заказе. 0,2 до 2,0 м
	ДТПS145-0019.L	0,5 мм	0,4 мм	D=12 мм D1=20 мм	Корунд CER795 (0…+1300 °C)	250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600 мм
	ДТПS155-0019.L	0,5 мм	0,4 мм	D=20 мм D1=30 мм	Корунд CER795 (0…+1300 °C)	250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600 мм

Рисунок 1.12 – Конструктивні виконання термопары

- **Термопара при нагреве снижает температуру. Что делать?**

Не соблюдена полярность. Поменяйте «+» и «-» на приборе, к которому подключена термопара.

- **Термопары ОВЕН проходят первичную поверку?**

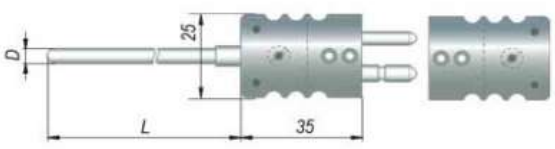
Компания ОВЕН имеет право первичной поверки выпускаемой продукции, которая сертифицирована как СИ (средство измерения). В комплекте с датчиком идет паспорт, в котором идет отметка поверителя (поверительное клеймо), а также печать нашей службы СТК.

- **Какой может быть максимальная длина монтажной части КТМС? В частности, мод. 284 с вилкой?**

Монтажной частью термопары мод. 284 является КТМС без дополнительной защитной арматуры. Мы можем изготовить датчик с очень длинной монтажной частью L, вплоть до 100 м.

- **Хотел купить датчик ДТПК374 (Ø КТМС 2 мм) с вилкой стандартного разъема, но в техподдержке сказали, что такая термопара идет с вилками мини-разъема. От чего вообще это зависит? И, кстати, идет ли в комплекте адаптер?**

Тип вилки зависит от диаметра КТМС: вилкой мини-разъема комплектуются термопреобразователи с КТМС Ø1,5-3 мм (модели 364, 374, 384). Вилкой стандартного разъема – датчики с КТМС Ø3-6 мм (модели 284). Адаптеры для подключения датчиков к измерительной линии поставляются отдельно с заказываемой длиной удлинительного кабеля (или без него). Они также бывают двух модификаций: мини- и стандартные.



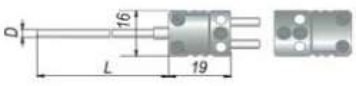


Рисунок 1.13 – Актуальні питання та відповіді

Розглянемо сервіс, що надає сайт «Интмакс». Компанія Интмакс налічує 10 років плідної роботи в галузі промислового нагріву. Сьогодні Интмакс єдина компанія в Україні, яка займається інфрачервоними нагрівачами керамічного і кварцового типу. Асортиментний ряд керамічних інфрачервоних випромінювачів налічує більше 15 видів нагрівачів, який застосовуються як для обігріву приміщень, так і для вирішення складних виробничих завдань. Широкий асортимент виробничих нагрівачів Интмакс – це кільцеві, пласкі, спіральні, гнучкі і патронні нагрівачі різних розмірів і потужностей. Також Интмакс пропонує: керамічні ТЕНи (пласкі і круглі), ТЕНи для печей відпалу, гнучкі нагрівачі. Стартова сторінка сайту зображена на рисунку 1.13 [9].

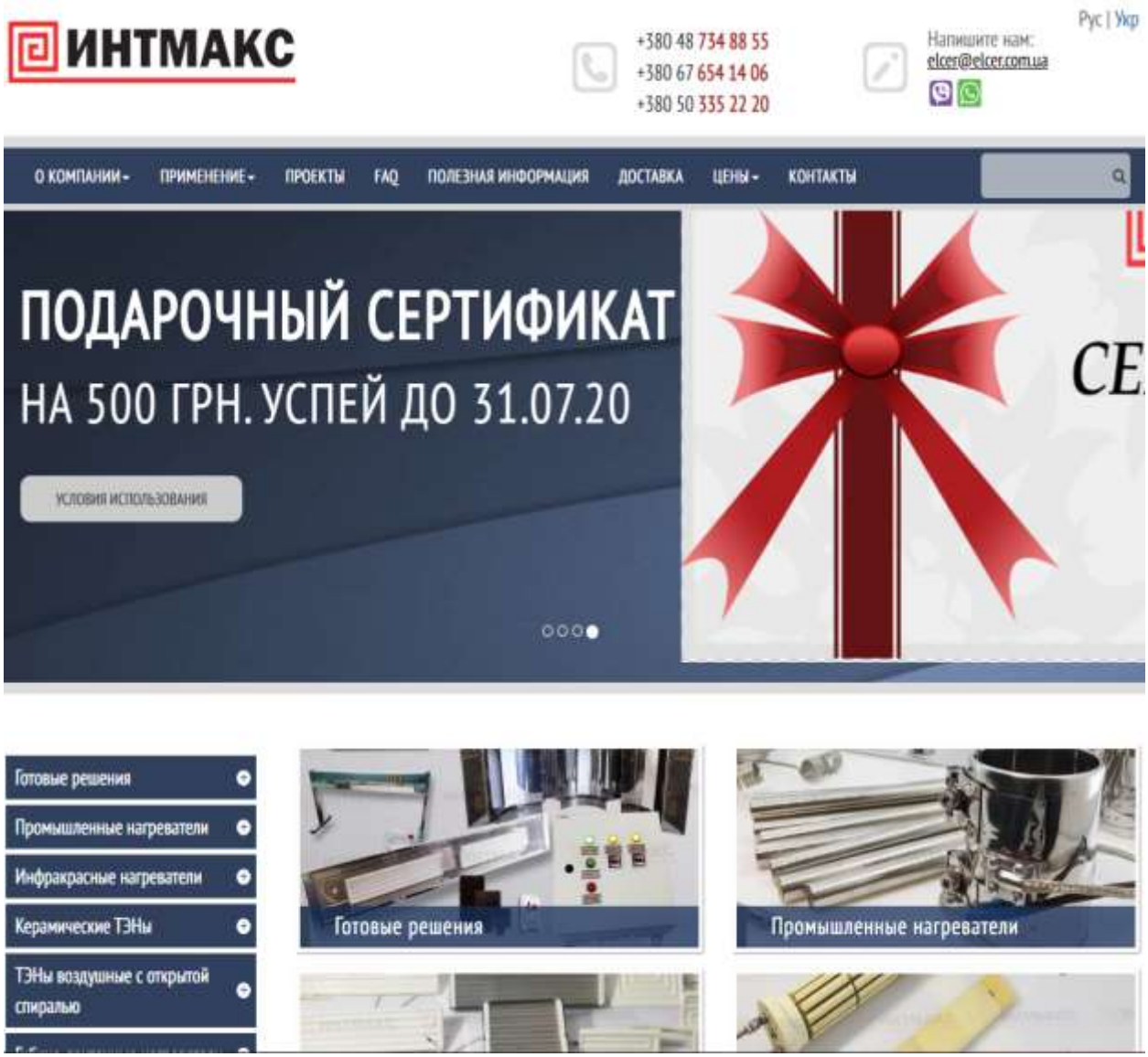


Рисунок 1.14 – Стартова сторінка сайту «Интмакс»

Сайт «Интмакс» пропонує тільки термопари типу J та K надає опис пристрою, сферу використання, технічні характеристики та креслення.

При виборі термопари сайт «Интмакс» надає:

– опис пристрою (рисунок 1.15);

– технічні характеристики пристрою (рисунок 1.16);

– креслення пристрою (рисунок 1.17).

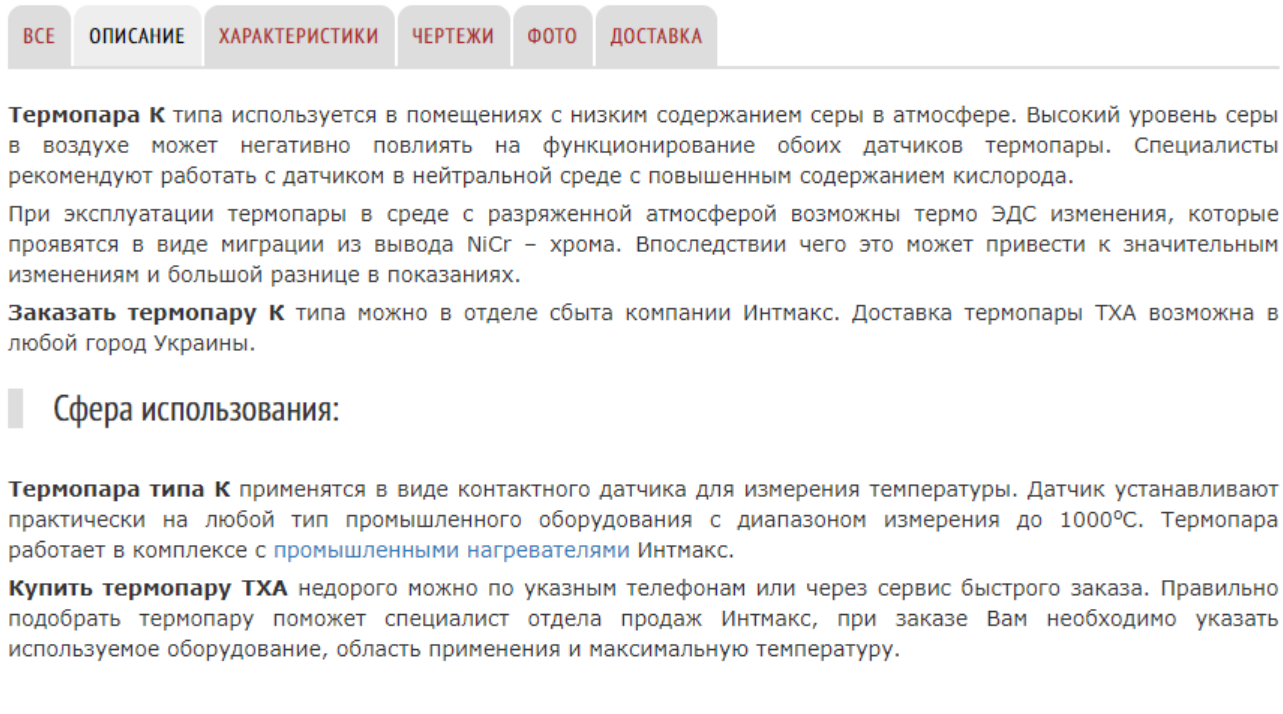


Рисунок 1.15 – Опис пристрою

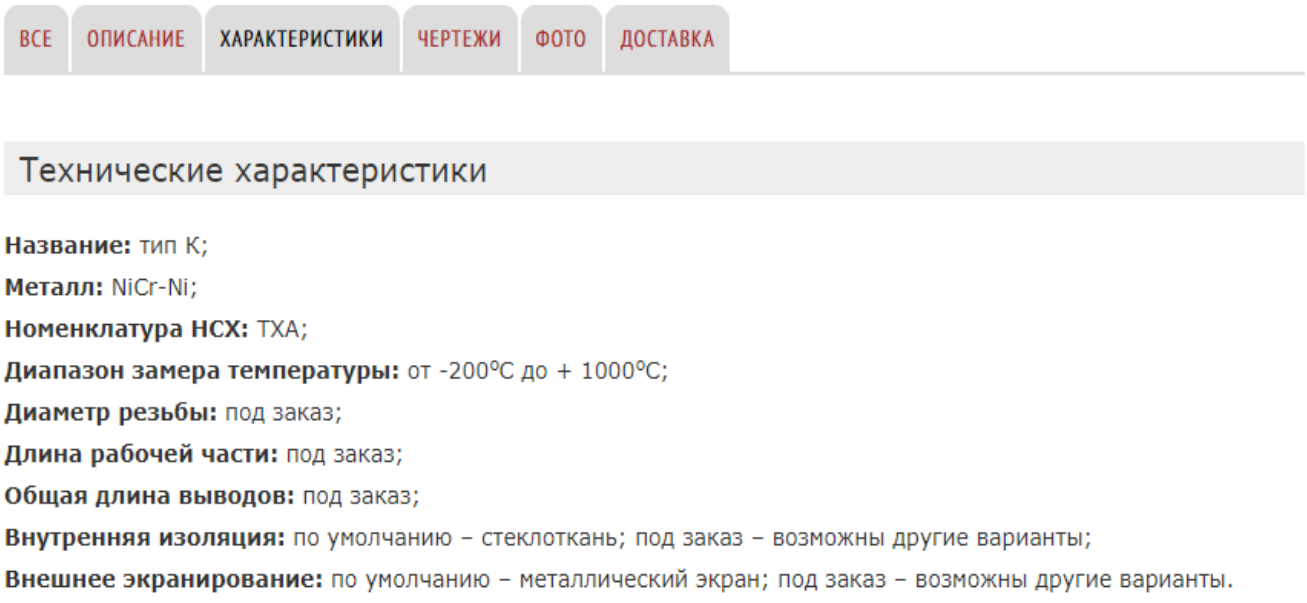


Рисунок 1.16 – Технічні характеристики пристрою

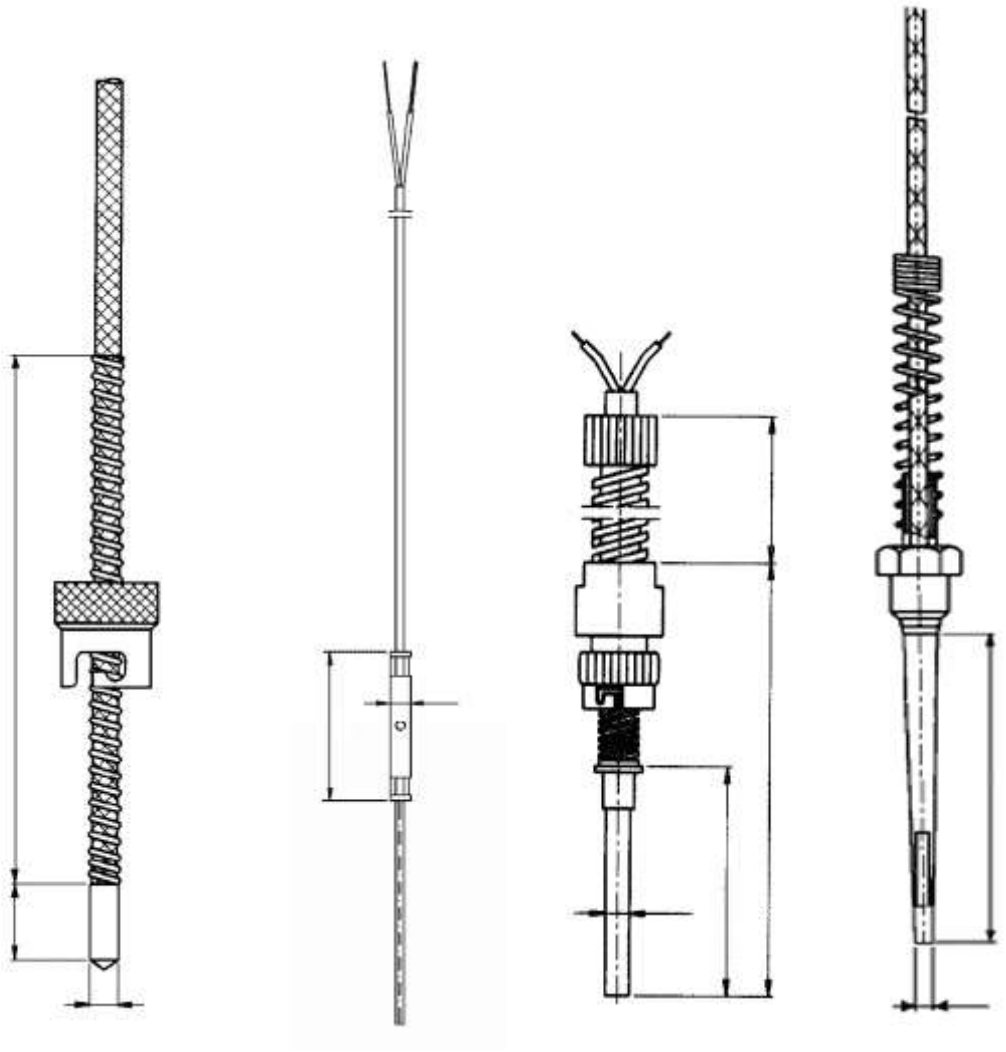


Рисунок 1.17 – Креслення пристрою

Таким чином, проаналізувавши сайти «Космодром», «ОВЕН» та «Интмакс», можна зробити висновок, що детальну інформацію про термопарах надає сайт «ОВЕН» та сайт «Интмакс» Ці два сайти дуже зручні у використанні і детально описують прилад з урахуванням характеристик, конструктивного виконання і сфера використання термопари.

1.5 Постановка мети та задач дослідження

Проведений в оглядовій частині роботи аналіз сучасних конструкцій та характеристик термопар показав широкі можливості їхнього застосування у

виробничому технологічному обладнанні. При виборі конструкції термопар використовують множини їх функціонально-вартісних показників, існуючі класифікації, комп’ютерні засоби підтримки прийняття рішень з вибору термопар у вигляді сайтів.

За результатами огляду сучасних засобів підтримки прийняття рішень з вибору термопар встановлено, що вони лише надають інформацію щодо наявних типів термопар та їх функціонально-вартісних характеристик. Це обумовлює актуальність задачі розробки математичного та програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень щодо вибору термопар.

Об’єктом дослідження є термопари для технологічного обладнання.

Предмет дослідження складає моделі багатокритеріального вибору конструкції термопар для технологічного обладнання.

Метою роботи є розробка засобу підтримки прийняття рішень з багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

− проаналізувати сучасні типи і види термопар;

− дослідити основні параметри термопар та їх вплив на технічні характеристики;

− проаналізувати сучасні автоматизовані системи вибору параметрів конструкції термопар;

− розробити структурно-параметричну модель термопари;

− розробити математичну модель та метод вибору термопар;

− розробити програмний продукт для підтримки прийняття рішень щодо вибору конструкцій термопар;

– виконати розрахунок засобів електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці в офісі розробників програмного забезпечення.

2 МОДЕЛІ ТА МЕТОД ВИБОРУ ТЕРМОПАР

2.1 Розробка структурної моделі термопари

Структурна модель дозволяє формалізувати архітектуру термопари для зручності її подання у задачах проектування технологічних процесів.

При цьому виникає потреба розглядати модельований об'єкт як множину окремих елементів, які пов’язані між собою, в той же час пов’язані з навколишнім світом як одне ціле. У цьому випадку об'єкт зручно представити у вигляді системи, а при його моделюванні використовувати методи системного аналізу.

Система є множиною пов’язаних між собою елементів, виділених із середовища і взаємодіючих з навколишнім середовищем як одне ціле для досягнення поставленої цілі.

Структурну модель термопар можна представити з використанням теорії множин:

$$T_i = < C_j, PM_k, BT, St, MP, MN, D, EN_i >, \qquad (2.1)$$

де T_i – термопара при $i = 1 \ldots M$ (M – кількість типів термопар);

C_j, $j = 1 \ldots 5$ – j-та конструкція термопари (C_1 – неізольована тонкодротова з відкритим контактом; C_2 – ізольована з відкритим контактом; C_3 – ізольована на самоклеїкій основі; C_4 – ізольована в керамічного оболонці; C_5 – в металевому корпусі з вбудованими клемами);

PM_k, $k = 1 \ldots 5$ – види матеріалу захисного чохла (PM_1 – без чохла; PM_2 – стальний чохол для температур до 600 °С; PM_3 – з чохлом зі спеціального жаростійкого сплаву для температур до 1000 °С (1100 °С) ; PM_4 – порцеляновий чохол для температур до 1300 °С; PM_5 – чохол з тугоплавких сплавів для температур до 2000 °С і більше);

BT – тип корпусу;

St – стійкість до механічних впливів;

MP – позитивний термоелектродний матеріал;

MN – негативний термоелектродний матеріал;

D – діаметр;

EN_l, $l = 1\ldots 6$ – l-тий підклас робочого середовища (EN_1 – газоподібне середовище; EN_2 – тверде середовище; EN_3 – рідке середовище; EN_4 – окислювальне середовище; EN_5 – середовище інертних газів; EN_6 – нейтральне середовище.

Представлена структурна модель відрізняється від існуючих тим, що складається із виявлених специфічних особливостей описаних вище. Модель дозволяє скоротити час обліку всіх основних елементів конструкції.

2.2 Розробка параметричної моделі термопари

У цьому підрозділі проведемо параметричне моделювання, завдяки якому можна за короткий проміжок часу «програти» (за допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень) різні конструктивні схеми і уникнути принципових помилок.

Параметричне моделювання (параметризація) – моделювання (проектування) з використанням параметрів елементів моделі і співвідношень між цими параметрами.

Параметричне моделювання істотно відрізняється від звичайного двовимірного креслення або тривимірного моделювання. Конструктор в разі параметричного проектування створює математичну модель об’єктів з параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації деталі, взаємні переміщення деталей в збірці.

На основі структурної моделі термопари побудуємо параметричний опис T_i, який можна представити у вигляді кортежу:

$$T_i = < R_i, S_i, t_i, P_{ri}, I_{ti}, V_i >, \ i = 1 \ldots M, \qquad (2.2)$$

де R_i – надійність термопари T_i;

S_i – чутливість термопари T_i;

t_i – температурний діапазон термопари T_i;

P_{ri} – точність термопари T_i;

I_{ti} – ступінь теплової інерції термопари T_i;

V_i – вартість термопари T_i.

Параметр температурного діапазону t_i термопари T_i можна подати у вигляді інтервалу:

$$t_i = < t_{i\,min}, t_{i\,max} >, \ i = 1 \ldots M, \qquad (2.3)$$

де $t_{i\,min}$ – мінімальний температурний діапазон;

$t_{i\,max}$ – максимальний температурний діапазон.

Показники надійності *Ri* термопари *Ti*, $i = 1 \ldots M$ встановлюються відповідно до діючої нормативно технічної документації і враховують умови експлуатації термопари:

– температура застосування;

– температура і вологість навколишнього середовища;

– вібраційні і ударні навантаження;

– хімічна агресивність середовища до матеріалу чохла датчика.

Призначений термін служби дорівнює інтервалу між перевірками (ІМП). При успішному проходженні термопарою періодичної повірки, призначений термін служби продовжується на величину наступного ІМП. Залежно від наявності та рівня факторів, датчики температури розділені на чотири групи експлуатації [10]. Середній термін служби зазначено з ймовірністю безвідмовної роботи 0,8 за вказаний період.

Відмовою термопари вважають:

– перевищення допустимої величини дрейфу при періодичної або позачергової повірки;

– руйнування захисної арматури або порушення цілісності оболонки кабелю;

– обрив або коротке замикання ланцюга чутливого елемента;

– зниження значення електричного опору ізоляції між ланцюгом чутливого елемента і металевою частиною захисної арматури або оболонкою кабелю нижче допустимих значень.

Показники надійності і груп експлуатації наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники надійності термопар

Група умов експлуатації	Імовірність безвідмовної роботи	Інтервал між перевірками / Призначений термін служби	Середній термін служби
I	0,95 за 40000 годин	5 років	10 років
II	0,95 за 16000 годин	5 років	4-6 років
III	0,95 за 8000 годин	1 років	2 років
IV	не нормований	не нормований	не нормований

2.3 Формалізація подання параметрів термопар

Виходячи з завдання, поставленого в дослідженні, на першому етапі створення математичної моделі опису параметрів необхідно розробити правила математичного представлення допустимих діапазонів значень для кожного елемента параметричної моделі представленої у виді виразу (2.1).

На основі аналізу параметрів, їх можливих діапазонів значень і описів, які вони можуть приймати, пропонується наступні форми запису, в яких будуть використовуватися наступні значення змінних: числові, лінгвістичні, булеві.

Пропонується записати параметри, що мають числове значення в такому формальному

$$A^i = \begin{cases} a^1, \text{якщо } a_i \le A \le [\text{значення}], \\ a^2, \text{якщо } [\text{значення}] \le A \le [\text{значення}], \\ \dots \\ a^n, \text{якщо } [\text{значення}] \le A \le a_j, \end{cases} \quad (2.4)$$

де A^i – позначення i-го параметра термопари;

$a^1, a^2, \dots a^n$ – ідентифікатори діапазонів значень;

a_i, a_j – граничні значення, які : $a_i \to min, a_j \to max$;

[значення] – виділені порогові значення параметра діапазону.

Пропонується записати параметри, що мають лінгвістичний опис значень в такому формальному виді:

$$A^i = \begin{cases} a^1, \text{якщо } A = [\text{слово}], \\ a^2, \text{якщо } A = [\text{слово}], \\ \dots \\ a^2, \text{якщо } A = [\text{слово}], \end{cases} \quad (2.5)$$

де A^i – позначення i-го параметра термопари;

$a^1, a^2, \dots a^n$– ідентифікатори діапазонів значень;

[слово] – лінгвістичне визначення параметра.

Для булевих параметрів формальний запис представлений виразом:

$$A^i = \begin{cases} 0, \text{якщо } [FALSE], \\ 1, \text{якщо } [TRUE], \end{cases} \quad (2.6)$$

де A^i– позначення i-го параметра конвеєра;

$[FALSE]$ – значення, якщо параметр не характерний для даного типу термопари;

$[TRUE]$ – значення, якщо параметр характерний для даного типу термопари.

2.4 Розробка математичної моделі термопари

Для розробки методу розрахунку термопар, на основі розроблених правил представлення параметрів які входять до формул (2.7) – (2.10), розробимо математичну модель опису, яка буде гнучко адаптуватися під специфіку виробництва і вимоги замовника залежно від умови експлуатації і вимоги до їх вихідних характеристик.

Опишемо основні характеристики термопар, які узагальнено подані кортежем (2.1): тип корпусу *BT*, стійкість до механічних впливів *St*, матеріал захисного чохла, позитивний термоелектродний матеріал *MP*, негативний термоелектродний матеріал MN, діаметр *D*, характеристики робочого середовища EN_l, $l = 1\ldots 6$, ступінь теплової інерції.

Тип корпусу *BT* описуються виразом:

$$BT^i = \begin{cases} BT^1, \text{ якщо } BT = [\text{тип } S], \\ BT^2, \text{ якщо } BT = [\text{тип } R], \\ BT^3, \text{ якщо } BT = [\text{тип } B], \\ BT^4, \text{ якщо } BT = [\text{тип } A], \\ BT^5, \text{ якщо } BT = [\text{тип } L], \\ BT^6, \text{ якщо } BT = [\text{тип } E], \\ BT^7, \text{ якщо } BT = [\text{тип } K], \\ BT^8, \text{ якщо } BT = [\text{тип } J], \\ BT^9, \text{ якщо } BT = [\text{тип } T], \\ BT^{10}, \text{ якщо } BT = [\text{тип } M], \\ BT^{11}, \text{ якщо } BT = [\text{тип } N]. \end{cases} \quad (2.7)$$

За показником стійкості до механічних впливів *St* поділяються на вібротрясостійкі, ударостійкі, і звичайні та описуються виразом:

$$St^i = \begin{cases} St^1, \text{ якщо } St = [\text{вібротрясостійкі}], \\ St^2, \text{ якщо } St = [\text{ударостійкі}], \\ St^3, \text{ якщо } St = [\text{звичайні}]. \end{cases} \quad (2.8)$$

Визначення виду позитивного термоелектродного матеріалу *MP* термопар здійснюється за виконання умов:

$$MP^i = \begin{cases} MP^1, \text{ якщо } MP = [\text{хромель}], \\ MP^2, \text{ якщо } MP = [\text{залізо}], \\ MP^3, \text{ якщо } MP = [\text{ніхросил}], \\ MP^4, \text{ якщо } MP = [\text{платинородій}], \\ MP^5, \text{ якщо } MP = [\text{мідь}]. \end{cases} \quad (2.9)$$

Визначення виду негативного термоелектродного матеріалу *MN* термопар здійснюється за виконання умов:

$$MN^i = \begin{cases} MN^1, \text{ якщо } MN = [\text{алюмель}], \\ MN^2, \text{ якщо } MN = [\text{константан}], \\ MN^3, \text{ якщо } MN = [\text{нісіл}], \\ MN^4, \text{ якщо } MN = [\text{платина}], \\ MN^5, \text{ якщо } MN = [\text{платинородій}], \\ MN^5, \text{ якщо } MN = [\text{реній}]. \end{cases} \quad (2.10)$$

Для заданих технологічних умов діапазон допустимих значень діаметра *D* (вимірюються в мм) термопари:

$$0{,}5 \leq D \leq 8. \quad (2.11)$$

Характеристика робочого середовища *EN* описує, в якому середовищі стійко працює термопара:

$$EN^{\,i} = \begin{cases} EN^1, \text{якщо } MN = [\text{газоподібне середовище}], \\ EN^2, \text{якщо } MN = [\text{тверде середовище}], \\ EN^3, \text{якщо } MN = [\text{рідке середовище}], \\ EN^4, \text{якщо } MN = [\text{окислювальне середовище}], \\ EN^5, \text{якщо } MN = [\text{середовище інертних газів}], \\ EN^6, \text{якщо } MN = [\text{нейтральне середовище}]. \end{cases} \quad (2.12)$$

Ступінь теплової інерції I_t виміряється в хвилинах:

$$I_t{}^{i} = \begin{cases} I_t{}^1, \text{якщо } I_t <= 0{,}5 \text{ хв}, \\ I_t{}^2, \text{якщо } I_t <= 1 \text{ хв}, \\ I_t{}^3, \text{якщо } I_t <= 3{,}5 \text{ хв}, \end{cases} \quad (2.13)$$

де $I_t{}^1$ – малоінерційні;

$I_t{}^2$ – середньоінерційні;

$I_t{}^3$ – багатоінерційні.

2.5 Лексикографічний метод вибору термопар

У процесі вибору термопар для технологічного обладнання, поданих моделями (2.1) – (2.2), враховується множина характеристик, які розглядаються як часткові критерії $k_1(T_i), k_2(T_i), ..., k_m(T_i)$. Інформація щодо характеристик всіх типів термопар, що складають універсальну їх множину $T^U = \{T_i\}$, $i = 1,2...M_U$, міститься в базі даних. На універсальній множині $T^U = \{T_i\}$ визначається підмножина допустимих типів термопар $T \subseteq T^U$, які задовольняють вимогам (2.7) – (2.13).

У загальному випадку на підмножині допустимих типів термопар $T = \{T_i\}$, $i = 1,2...M$ необхідно визначити підмножину ефективних їх типів $T^E \subseteq T$, $T^E = \{T_j\}$, $j = 1,2...M_E$ за визначеною множиною показників [11-12].

До підмножини ефективних належать термопари, для жодної з яких не існує кращої за всіма визначеними показниками $k_1(T_i), k_2(T_i),...,k_m(T_i)$.

За відносно невеликої потужності підмножини допустимих типів $T \subseteq T^U$ визначення підмножини ефективних термопар $T^E \subseteq T$ можна здійснити методом парних порівнянь. Для здійснюється порівняння усіх можливих двійок термопар $T_i, T_j \in T$: T_1 і T_2, T_1 і T_3,…, T_2 і T_3, T_2 та T_4,… та видаленні з подальшого розгляду термопар, які за всіма частковими критеріями гірші за інші (іншу).

Розв'язання задачі ранжування варіантів конструкцій термопар здійснюється на основі парадигми максимізації їх корисності при використанні у технологічному обладнанні за всією множиною показників $k_1(T_i), k_2(T_i),...,k_m(T_i)$ [11].

Для її розв'язання використовуються два підходи: упорядкування варіантів особою, яка приймає рішення (ОПР) або формування узагальненого критерію ефективності й зведення задачі до задачі багатофакторного оцінювання. При цьому в обох підходах вважається, що кожному з варіантів конструкцій з множини ефективних $T_j \in T^E$, $j = 1,2...M_E$ приписується деяка корисність (цінність) $P(T_i)$, значення якої й визначають порядок:

$$\forall T_i, T_j \in T^E: T_i \sim T_j \leftrightarrow P(T_i) = P(T_j),$$

$$T_i \succ T_j \leftrightarrow P(T_i) > P(T_j),$$

$$T_i \succ\sim T_j \leftrightarrow P(T_i) \geq P(T_j).$$

Для підтримки процесу прийняття рішень щодо вибору найкращої конструкції термопари $T^o \in T^E$ необхідно обрати (або розробити) математичну модель чи метод, які дозволять виконати ранжування всіх термопар з підмножини ефективних за скалярним узагальненим показником їх корисності

$P(T_i) \to max$, що будуть враховувати значення всіх часткових критеріїв $k_1(T_i), k_2(T_i),...,k_m(T_i)$, $T_i \in T^E$.

Задача вибору найкращого варіанту $T^o \in T^E$ у визначених вище умовах зводиться до вибору крайнього елемента впорядкованого ряду варіантів або до безпосередньої екстремізації функції загальної корисності:

$$T^o = arg \max_{T_i \in T^E} P(T_i), \tag{2.14}$$

методами математичного програмування.

При цьому часткові критерії, що характеризують термопари $k_1(T_i), k_2(T_i),...,k_m(T_i)$, $T_i \in T^E$ по формулі (2.14), мають різний фізичний зміст, розмірність, інтервали вимірювання і є суперечливими. Для їх нормалізації скористаємось функціями корисності, які мають сенс функцій належності значень часткових критеріїв $k_1(T_i), k_2(T_i),...,k_m(T_i)$ нечіткій множині «найкращий варіант конструкції термопари» $T^o \in T^E$:

$$\xi_j(T_i) = \left([k_j(T_i) - k_j^-] / [k_j^+ - k_j^-] \right)^{\alpha_i}, \tag{2.15}$$

де $k_j(T_i)$ – значення *j*-го часткового критерію, $j = \overline{1,m}$;

k_j^+, k_j^-, $j = \overline{1,m}$ – найкраще та найгірше значення часткового критерію $k_j(T_i)$ на множині ефективних рішень T^E;

α_i – параметр, що визначає вид залежності (2.15) ($\alpha_i = 1$ – лінійна, $0 < \alpha_i < 1$ – вигнута догори, $\alpha_i > 1$ – вигнута донизу).

Для визначення найкращого варіанту конструкції термопари $T^o \in T^E$ скористаємось методом лексикографічної оптимізації. На першому етапі визначимо систему переваг часткових критеріїв. Нехай $k_1 \succ k_2 \succ ... \succ k_m$. На

множині ефективних варіантів T^E визначимо підмножину варіантів $T_1^o \in T^E$, найкращих за найважливішим із критеріїв – k_1. На множині розв'язків T_1^o знайти підмножину розв'язків T_2^o, оптимальних за наступним за важливістю критерієм – k_2. На останньому етапі із підмножини T_{m-1}^o знайдемо за критерієм k_m єдиний оптимальний розв'язок $T^o \in T^E$. При цьому $T^o \in T_{m-1}^o \subseteq T_{m-2}^o \subseteq ... \subseteq T_1^o \subseteq T^E$.

Якщо в процесі оптимізації за критеріями k_j, $j = \overline{1,m-1}$ буде отримано єдиний варіант, відповідну підмножину T_j^o, $j = \overline{1,m-1}$ необхідно розширити шляхом включення до неї квазіоптимальних розв'язків.

2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі були розроблені структурна, параметрична та математична моделі термопари. Структурна модель відображає виявлені специфічні особливості термопар і дозволяє скоротити час обліку всіх основних елементів конструкції. Параметрична модель слугує базою для розробки математичної моделі.

На основі розроблених моделей для вибору термопар запропоновано здійснювати виділення підмножини їх ефективних конструкцій. Для скорочення множини ефективних альтернатив запропоновано метод лексикографічної оптимізації. Це дозволяє на основі аналізу актуальних даних щодо більшої кількості різних типів термопар здійснювати остаточний вибір найкращої конструкції лише з підмножини ефективних.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Вибір середовища розробки

Для реалізації методу багатокритеріального вибору термопар для технологічного обладнання необхідне середовище розробки, що дозволяє створювати, супроводжувати і налаштовувати додатки, що інтенсивно взаємодіють з базами даних та може працювати на різних операційних системах (Windows, Mac). Після аналізу різних середовищ розробки обрана система візуального об'єктно-орієнтованого проектування RAD Studio XE3, що повністю задовольняє всім вимогам висунутим у ТЗ.

Delphi – це система візуального об'єктно-орієнтованого проектування, дозволяє відразу, з невеликими витратами часу і сил створювати прикладні програми, які зовні не відрізняються від програм, створених професіоналами.

При створенні графічного інтерфейсу додатків Delphi, є всі можливості мови програмування Object Pascal, "загорнутого" в середовище RAD. Такі компоненти графічного інтерфейсу користувача, як форми, кнопки і списки об'єктів, включені до складу Delphi. Перевагою цього середовища є те, що компоненти графічного інтерфейсу користувача, як форми, кнопки і списки об'єктів, включені до складу Delphi і при додаванні їх в програму не потрібно використовувати додатковий програмний код для їх опису (розташування, розміри тощо), а потрібно тільки задати обробники подій. Це означає, що не потрібно писати ніякого коду при додаванні їх в програму [13].

Delphi – це RAD, або Rapid Application Development-середовище швидкої розробки додатків. Інакше кажучи, Delphi включає в себе не тільки всі засоби для роботи з мовою Object Pascal.

Укупі з розвиненими засобами для написання і налагодження коду – спеціалізованим текстовим редактором, компілятором з оптимізацією і відладчиком, Delphi являє собою засіб швидкої розробки додатків. При цьому

основою Delphi для кінцевого користувача є IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки), яка об'єднує в собі редактор коду і засоби візуальної розробки, а також пов'язує це з компілятором, засобами розробки баз даних і іншими складовими частинами Delphi [14].

Компілятор Delphi упаковує додатки в компактні виконувані файли, причому немає необхідності в громіздких бібліотеках DLL [15].

3.2 Розробка бази даних та вибір СУБД

Окрім середовища розробки додатку, для створення методу багатокритеріального вибору термопар для технологічного обладнання передбачається використання системи управління базами даних що необхідна для створення бази даних, підтримання її в актуальному стані та організації пошуку в ній необхідної інформації.

База даних (БД) – це сукупність взаємопов'язаних, що зберігаються разом, даних при наявності такої мінімальної надмірності, яка допускає їх використання оптимальним чином для одного або декількох додатків.

Створення бази даних, її підтримка і забезпечення доступу користувачів до неї здійснюється централізовано за допомогою спеціального програмного інструментарію – системи управління базами даних.

Система управління базами даних (СУБД) – це комплекс програмних і мовних засобів, необхідних для створення баз даних, підтримання їх в актуальному стані та організації пошуку в них необхідної інформації.

Організація даних розглядається з позицій тієї чи іншої моделі даних. Модель даних є ядром будь-якої бази даних. За допомогою моделі даних можуть бути представлені об'єкти предметної області та взаємозв'язку між ними.

Модель даних – сукупність структур даних, обмежень цілісності і операцій маніпулювання даними. Моделі використовуються для представлення даних в інформаційних системах [16].

Існує кілька основних видів моделей даних:

– ієрархічні;

– мережеві;

– реляційні.

Ієрархічна модель представляє сукупність елементів, пов'язаних між собою за певними правилами. Об'єкти, пов'язані ієрархічними відношеннями, утворюють орієнтований граф.

В мережевій структурі при тих же основних поняттях, як і в ієрархічній моделі даних, кожен елемент може бути пов'язаний з будь-яким іншим елементом.

Реляційна модель орієнтована на організацію даних у вигляді двовимірних таблиць. Кожна реляційна таблиця являє собою двовимірний масив і має такі властивості:

– кожен елемент таблиці – один елемент даних;

– всі стовпці в таблиці однорідні, тобто всі елементи в стовпці мають однаковий тип (числовий, символьний і т.д.) і довжину;

– кожен стовпець має унікальне ім'я (заголовки стовпців є назвами полів в записах);

– однакові рядки в таблиці відсутні;

– порядок проходження рядків і стовпців може бути довільним.

З опису цих моделей було прийнято рішення використовувати реляційні БД, в якій основним критеріями при виборі СУБД були:

– компактність;

– швидкість;

– низькі трудовитрати;

– актуальність;

– централізоване управління даними;

– незалежність даних.

Система баз даних включає в себе чотири основні компоненти: дані, апаратне забезпечення, програмне забезпечення (зокрема систему управління базами даних, або СУБД) і користувачі.

Системи баз даних бувають одно користувальницька і розраховані на багато користувачів. Одно користувальницька система - це система, в якій одночасно до бази даних може отримати доступ не більше одного користувача, а розрахована на багато користувачів система – це така система, в якій до бази даних можуть отримати доступ відразу кілька користувачів.

У загальному випадку дані в базі даних є інтегрованими і розділяються. Під поняттям інтегрованості даних мається на увазі можливість представити базу даних як об'єднання декількох окремих файлів даних повністю або частково виключають надмірність зберігання інформації. Під поняттям разділяємості даних річ йде про можливість використання окремих елементів, що зберігаються в базі даних декількома різними користувачами.

На даний період СУБД MySQL вважається однією з найбільш популярних, надійних і швидких з усього сімейства існуючих СУБД.

Була вибрана MySQL тому що однією з чинників вважаються принципи її поширення – за неї не треба платити гроші і поширюється вона разом зі своїми вихідними текстами, інша причина – це те, що вона швидка СУБД. PostgreSql, наприклад, також поширюється під ліцензією * GNU GPL, однак вона ніяк не отримала такого широкого поширення. Одна з причин - це помітна повільність. Таким чином, 2 основні причини популярності MySQL: ціна і продуктивність.

Принцип роботи СУБД MySQL аналогічний принципу роботи будь-якої СУБД, що використовує SQL (Structured Query Language, мова структурованих запитів) в якості командного мови для створення / видалення баз даних, таблиць, для поповнення таблиць даними, для здійснення вибірки даних.

MySQL, як і будь-яка інша СУБД описує собою програму-сервер, яка знаходиться в пам'яті комп'ютера і обслуговує TCP порт. У випадку з MySQL, номером порту буде число 3306.

Отже, популярність MySQL сервера визначається не тільки тим, що пакет поширюється безкоштовно і має велику продуктивність, але ще і тим, що має безліч переваг, деяких з яких відсутній у інших СУБД.

Розроблювана програма потребує можливості обробляти і зберігати великі обсяги інформації. MySQL надає всім цю можливість абсолютно безкоштовно. Це безсумнівно одна з найпотужніших, швидких і надійних СУБД.

Розробка бази даних була виконана в спеціальному програмному засобі MySQL Command Line Client. Дана програма дозволяє повністю контролювати створення БД, до найменших деталей, так само це програм-ний засіб дозволяє краще вивчити команди MySQL.

Як фізичну модель бази даних вибрали реляційну модель так як вона має ряд перевага перед другими відомими моделями:

– структурна незалежність;

– простота;

– наявність стандартного мови маніпулювання даними;

– висока швидкість роботи БД.

У реляційної моделі даних можливо для типу зв'язку: один до багатьох і один до одного. Зв'язки, які вийшли типу багато до багатьох необхідно розбити за допомогою проміжного таблиці.

Зв'язок – це асоціювання двох або більше сутностей. Якби призначенням БД було тільки збереження окремих, не пов'язаних між собою даних, то її структура могла б бути дуже простий. Проте одна з основних вимог до організації БД – це забезпечення можливості відшукання одних сутностей за значеннями інших, для чого необхідно встановити між ними певні зв'язки [13].

У програмному засобі MySQL Command Line Client база даних представляється у вигляді ER-моделі. ER-модель (від англ. Entity-relationship model, модель «сутність-зв'язок») – це модель даних, що дозволяє описувати концептуальні схеми предметної області.

ER-модель використовується при високорівневому (концептуальному) проектуванні баз даних. З її допомогою можна виділити ключові сутності і позначити зв'язки, які можуть встановлюватися між цими сутностями.

Під час проектування баз даних відбувається перетворення ER-моделі в конкретну схему бази даних на основі обраної моделі даних (реляційної, об'єктної, мережевий або ін.).

ER-модель являє собою формальну конструкцію, яка сама по собі не наказує ніяких графічних засобів її візуалізації. Як стандартна графічної нотації, за допомогою якої можна візуалізувати ER-модель, була запропонована діаграма «сутність–зв'язок» [17].

На рисунку 3.1 представлена ER-діаграма, що дозволяє описувати концептуальні схеми предметної області. З її допомогою можна виділити ключові сутності і позначити зв'язки, які можуть встановлюватися між цими сутностями.

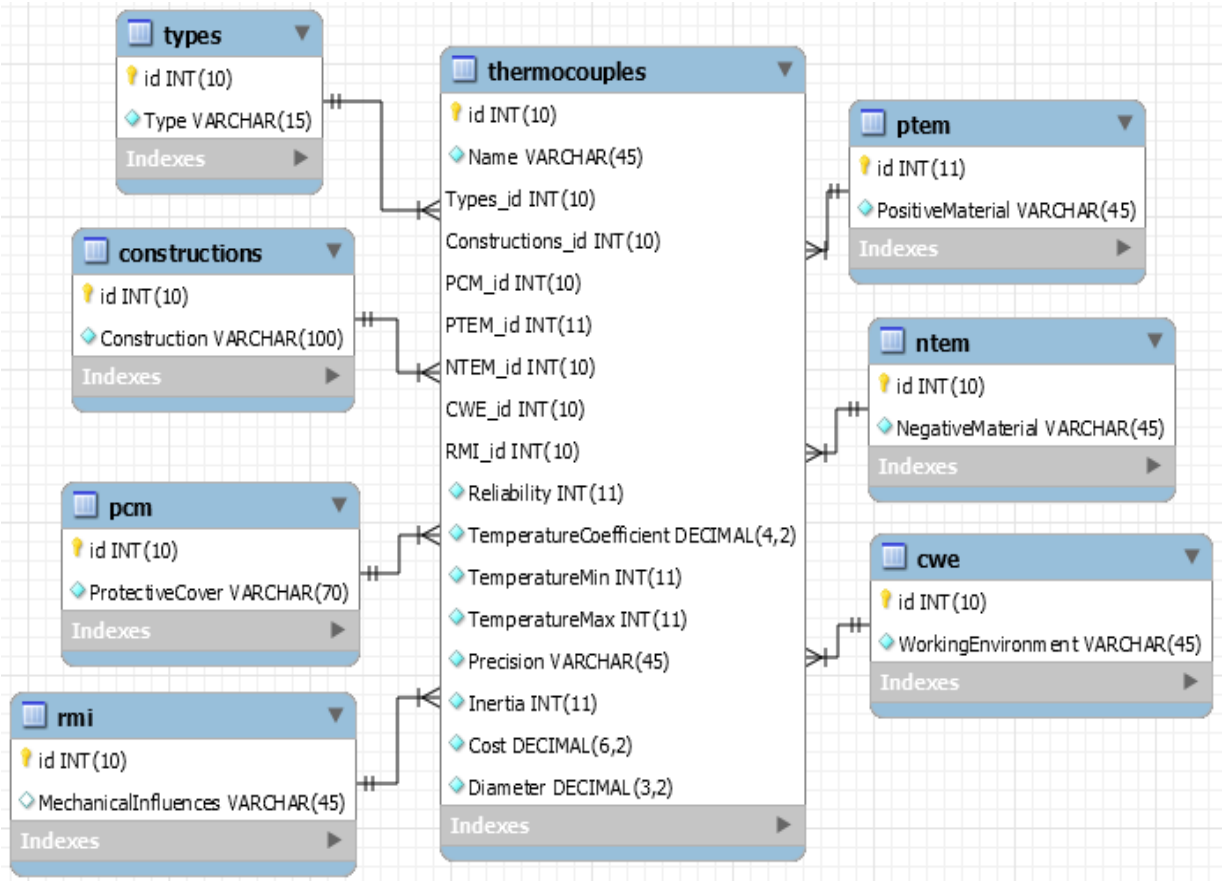


Рисунок 3.1 – ER-діаграма термопар

На основі вище описаної концептуальної моделі термопар була побудована реляційна модель реалізації. Опис реляційної бази даних і їх атрибутів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Таблиця бази даних

№	Назва таблиці	Назва атрибута	Тип атрибута	Розмір даних	NULL/NOT NULL	Ключ
1	Thermocouples	Id	int	11	NOT NULL	PK
		Name	varchar	50	NOT NULL	
		Types_id	int	11	NOT NULL	FK
		Constructions_id	int	11	NOT NULL	FK
		PCM_id	int	11	NOT NULL	FK
		PTEM_id	int	11	NOT NULL	FK
		NTEM_id	int	11	NOT NULL	FK
		CWE_id	int	11	NOT NULL	FK
		RMI_id	int	11	NOT NULL	FK
		Reliability	int	11	NOT NULL	
		Temperature Coefficient	decimal	(4,2)	NOT NULL	
		TemperatureMin	int	11	NOT NULL	
		TemperatureMax	int	11	NOT NULL	
		Precision	varchar	50	NOT NULL	
		Inertia	int	11	NOT NULL	
		Cost	decimal	(5,2)	NOT NULL	
		Diameter	decimal	(4,2)	NOT NULL	
2	Types	Id	int	11	NOT NULL	PK
		Type	varchar	50	NOT NULL	
3	Constructions	Id	int	10	NOT NULL	PK
		Construction	varchar	50	NOT NULL	
4	PCM	Id	int	11	NOT NULL	PK
		ProtectiveCover	varchar	70	NOT NULL	
5	PTEM	Id	int	10	NOT NULL	PK
		PositiveMaterial	varchar	30	NOT NULL	
6	NTEM	Id	int	11	NOT NULL	PK
		NegativeMaterial	varchar	30	NOT NULL	
7	CWE	Id	int	10	NOT NULL	PK
		Working Environment	varchar	30	NOT NULL	
8	RMI	Id	int	11	NOT NULL	PK
		Mechanical Influences	varchar	30	NOT NULL	

3.3 Розробка алгоритму вибору термопар

Рішення задач на комп’ютері засновано на понятті алгоритму.

Алгоритм – це зрозуміла та чітка послідовність дій, який описує процес перетворення об'єкта з початкового стану в кінцеве [18].

Автоматизована система починає свою роботу з введення конструктивних параметрів для вибору необхідної термопари.

Далі йде перевірка на коректність заповнення даних.

Якщо данні введені невірно або некоректно, то користувачу показується вікно з помилкою.

Якщо данні введені коректно, то далі формується список термопар за заданим конструктивними параметрам в якому користувачу потрібно ввести технічні параметри для вибору.

Далі йде перевірка на коректність заповнення даних.

Якщо данні введені невірно або некоректно, то користувачу показується вікно з помилкою.

Після йде перевірка на кількість термопар.

Якщо було знайдено більше двох термопар, то показується вікно в якому користувачу потрібно обрати важливі параметри.

Якщо було вибрано конструктивні параметри, тоді показується вікно з введення конструктивних параметрів.

Якщо було вибрано технічні параметри, тоді показується вікно з введення технічних параметрів.

В тому випадку коли була знайдено одна термопара яка задовольняє за параметрами користувача, тоді показується вікно з описом термопари та зберігає опис в файл. Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи показаний на рис. 3.2.

Після розробки алгоритму була розроблена програма яка виконує всі вище описані операції.

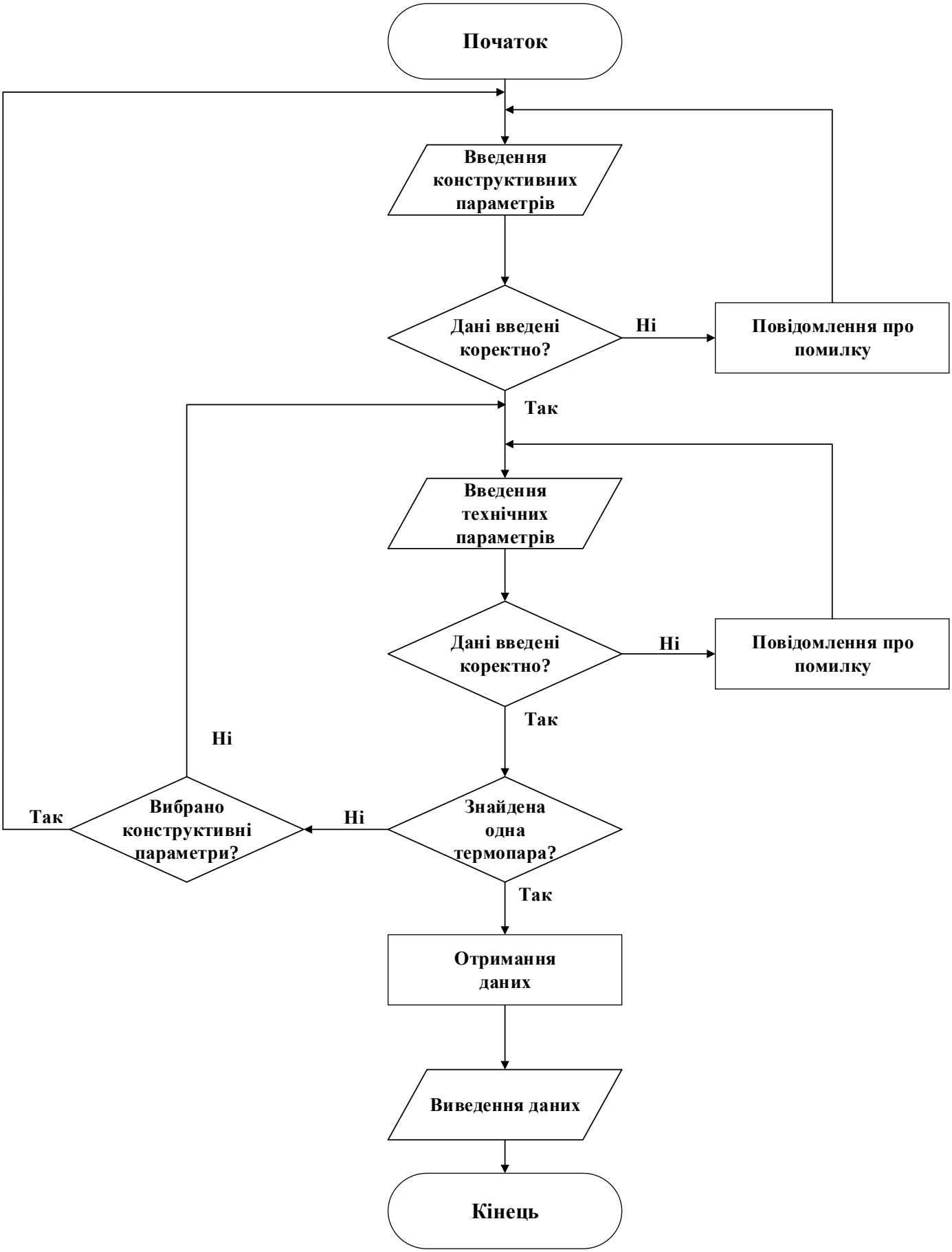


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму вибору термопар

3.4 Опис інтерфейсу програми

За розробленим алгоритмом була написана програма. В головному вікні користувачу потрібно заповнити один або декілька конструктивних параметрів для того щоб знайти термопару. Після заповнення полів з параметрами та натискання кнопки «Далее» проводиться пошук термопар з заданими параметрами та виводиться повідомлення про те, скільки термопар знайдено, інтерфейс якої показана на рисунку 3.3.

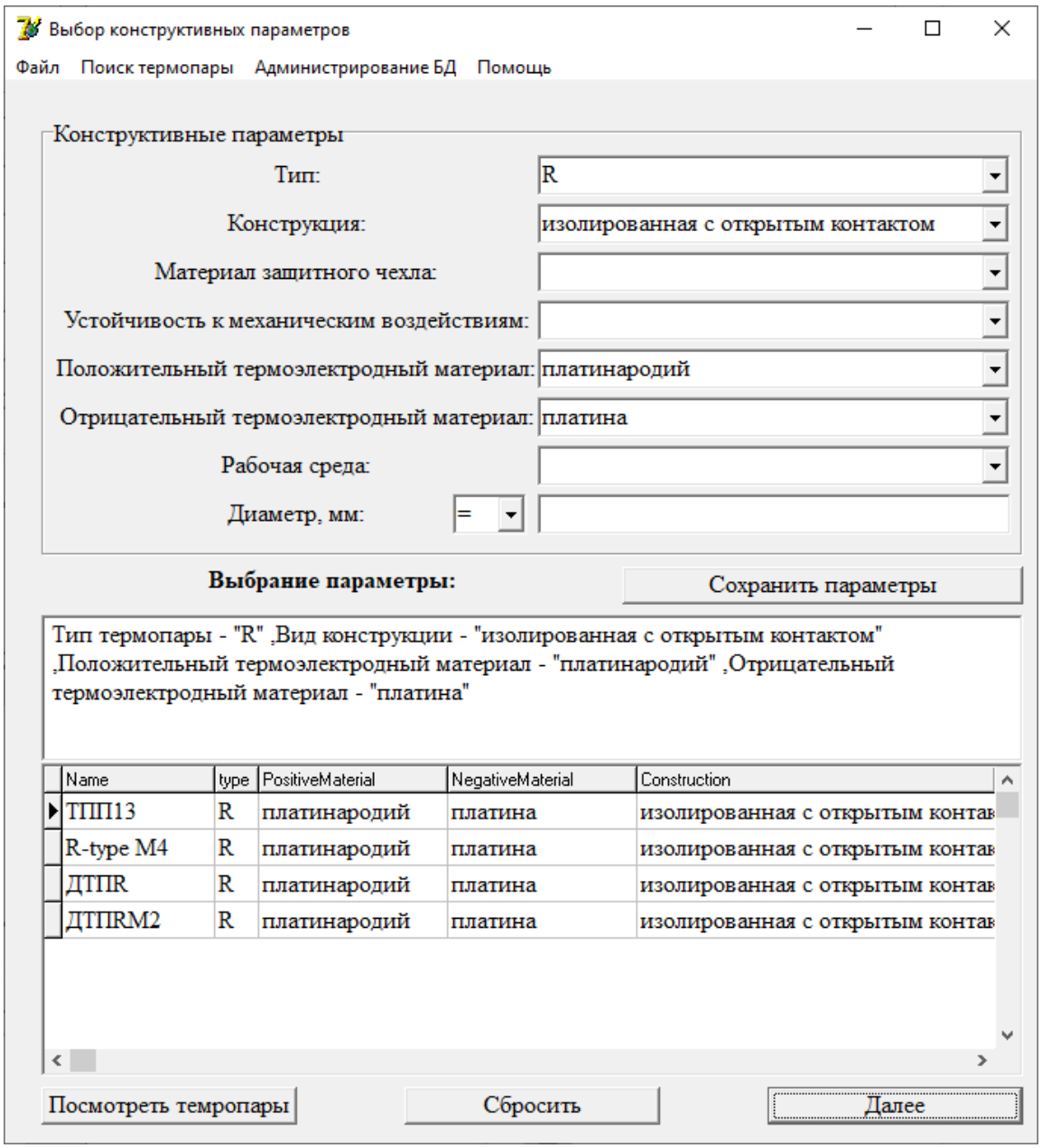


Рисунок 3.3 – Інтерфейс вибору конструктивних параметрів

Наступним етапом, після введення конструктивних параметрів користувачу потрібно заповнити технічні параметри, які показано на рисунку 3.4. Цей етап схожий з етапом вибору конструктивних параметрів. Після заповнення полів з параметрами та натискання кнопки «Далее» проводиться пошук необхідної термопари та виводиться повідомлення про те скільки термопар знайдено по заданих параметрах.

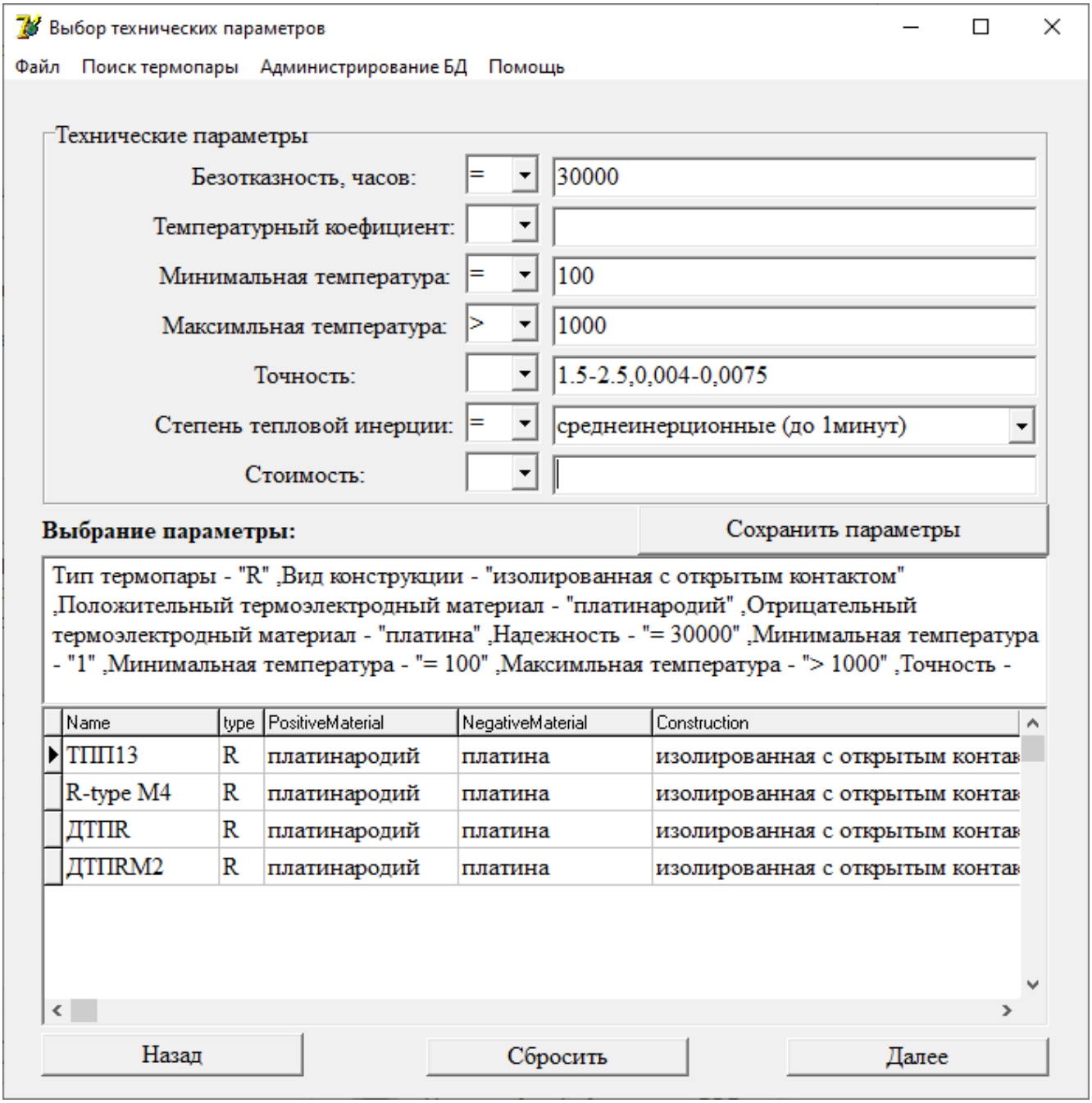


Рисунок 3.4 – Інтерфейс вибору конструктивних параметрів

Якщо буде знайдено 2 або більше термопар тоді з’являється діалогове вікно в якому користувачу потрібно обрати важливі параметри – конструктивні параметри або технічні параметри (рис 3.5). В залежності від зробленого вибору з’являється вікно з параметрами (див. рис. 3.3-3.4). Ці етапи будуть повторюватися до тих пір, поки по заданим параметрам не буде знайдено одна термопара.

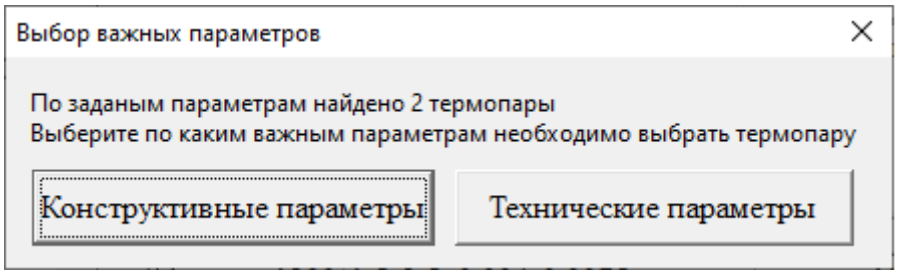


Рисунок 3.5 – Інтерфейс вибору конструктивних параметрів

До основних функцій програми можна віднести «Администрирование БД» та «Поиск термопары».

Функція програми «Администрирование БД» дозволяє вносити нові моделі термопар в БД програми, додавати нові параметри та редагувати саму БД.

Функція програми «Поиск термопары» дозволяє робити пошук термопар по параметрам або по назві термопари (рис. 3.6).

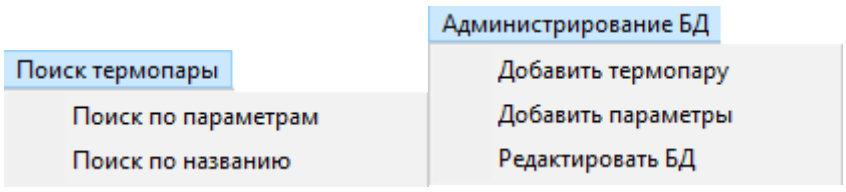


Рисунок 3.6 – Меню програми «Администрирование БД» та «Поиск термопары»

В тому випадку коли по заданим параметрам буде знайдено одну термопару з’являється вікно з результатами пошуку які зображені на рисунку 3.7.

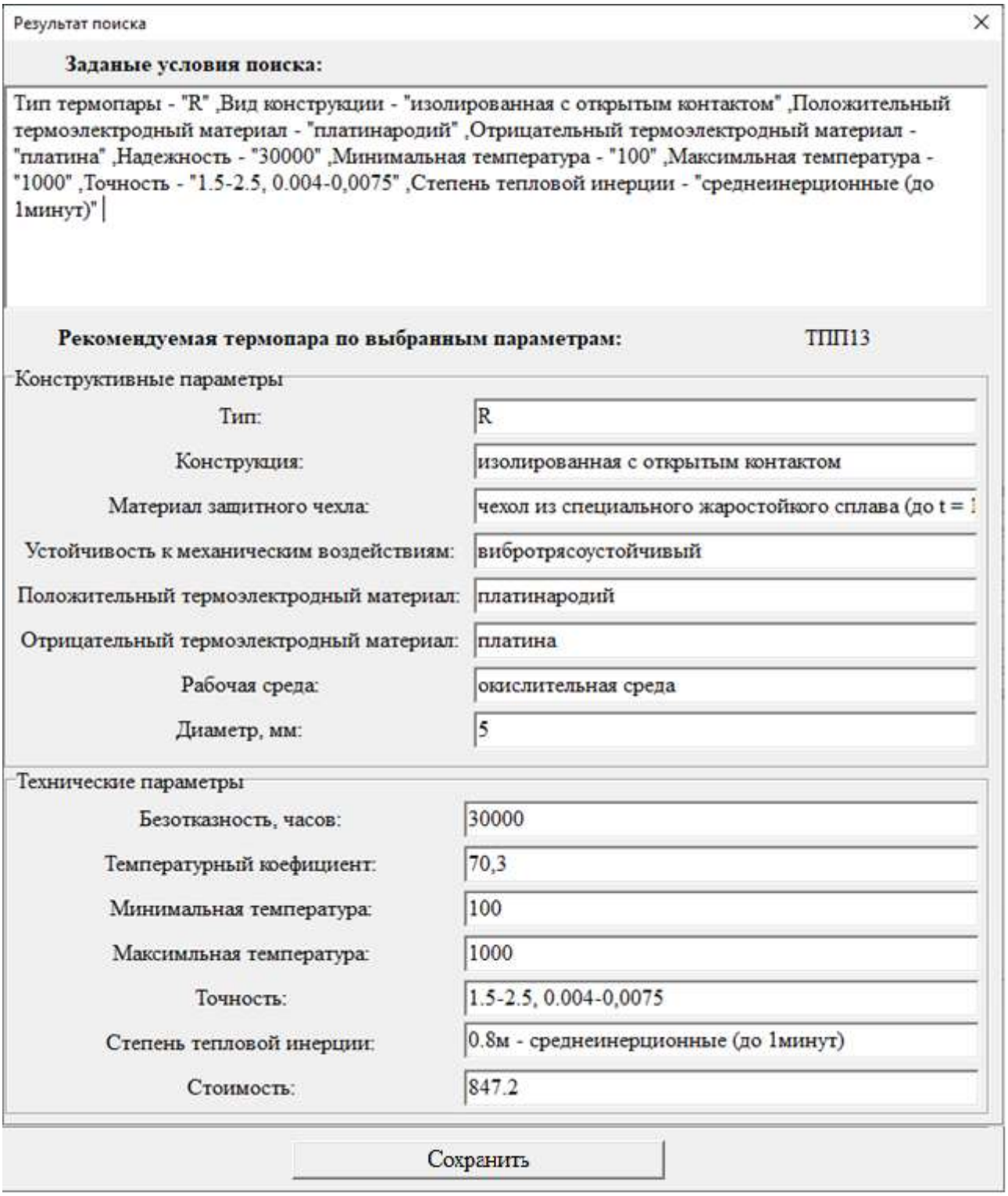


Рисунок 3.7 – Результати пошуку по заданим параметрам

Натиснувши кнопку «Сохранить» отримані дані зберігаються в файлі.

У головному вікні користувач також може натиснути на кнопку «Посмотреть термопары». Після натискання кнопки відривається нове вікно, в якому відображається повний список всіх термопар які є в базі даних.

Також користувач має можливість зберегти в файл параметри, які були введені. Завдяки цьому користувач може в будь-який момент може завантажити файл в програму і ті параметри, які були записані чи будуть внесені в поля.

3.5 Розрахунок електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці

Електроживлення у відділі розробки засобу вибору термопар здійснюється від трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю змінною напругою 220 *В* або 380 *В*, частотою 50 *Гц*.

Для забезпечення нормальних умов праці ДСанПиН 3.3.2-007-98 встановлює на одне робоче місце площа виробничого приміщення не менше 6 $м^2$, висота приміщення повинна бути не менше 3,2 *м*, об'єм повітряного простору 20 $м^3$. У даному випадку реальна площа на одного працюючого складає 10 *м*, об'єм – 25 $м^3$, що відповідає санітарним нормам.

Захист персоналу від ураження електричним струмом, необхідно здійснювати за допомогою занулення НПАОП 40.1-1.32-01. Для цього необхідно з'єднати металеві нетоковедучі частини обладнання з нульовим проводом мережі, за допомогою алюмінієвого дроту, переріз якого дорівнює перерізу фазного проводу мережі.

З метою зниження небезпеки ураження людини електричним струмом передбачається використання таких технічних засобів захисту: необхідно проводити контроль ізоляції згідно з вимогами [19]. Контроль проводити між нульовим і фазним провідниками та між фазами. Опір ізоляції не менше ніж 500 *кОм* на фазу. Контроль проводити не рідше ніж 1 раз на рік при вимкненому електроживленні.

При замиканні фази на занулений корпус електроустановка автоматично вимикається, якщо значення струму однофазного короткого замикання $I_к$, A, задовольняє умові

$$I_k \geq kI_{\text{ном}}, \tag{3.1}$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм спрацьовування автоматичного вимикача, A;

k – коефіцієнт кратності струму.

Він приймається в залежності від типу захисту електроустановки. Якщо захист здійснюється автоматичним вимикачем, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), тобто, який спрацьовує без витримки часу, то k приймається в межах 1,25. Якщо установка захищена плавкими запобіжниками, час перегоряння яких залежить від величини струму, то k приймають ≥ 3 (у вибухонебезпечних приміщеннях ≥ 4). За формулою (3.2) визначають:

$$I_{\text{кз}} = U_{\text{кз}}/(Z_{\text{Т}}/3 + Z_{\text{П}}), \tag{3.2}$$

де $Z_{\text{Т}}/3$ – повний опір обмоток трансформатора, визначається, виходячи з потужності трансформатора, $Z_{\text{Т}}/3 = 0{,}226$ *Ом*;

$Z_{\text{П}}$ – опір петлі «фаза-нуль» , $Z_{\text{П}} = 0{,}8$ *Ом*.

Розрахуємо дійсний струм $I_{\text{кз}}$ за формулою (3.2):

$$I_{\text{кз}} = 220/(0{,}226/3 + 0{,}8) = 251\ A.$$

З умови формули (3.1)

$$I_{\text{н}} \leq I_{\text{кз}}/k\ , \tag{3.3}$$

де $k = 1{,}25$ – коефіцієнт кратності струму.

$$I_н \leq 251/1{,}25 = 200\ A.$$

Вибираємо автоматичний вимикач TemBreak 50 – 250 *A* у якого, $I_н = 100\ A$, що має тільки напівпровідниковий розчіплювач (відсічку).

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 [19], по вибуховопожежній і пожежній небезпеці, робоче місце відноситься до категорії В. Ступінь вогнетривкості будівлі згідно ДБН В.1.1.7-2002 – II (стіни та перегородки з цегли, перекриття залізобетонні) [20].

Згідно з ГОСТ 12.1.004-91 [21] пожежна безпека в лабораторії забезпечується системами попередження пожежі і протипожежного захисту.

Згідно НАПБ Б.03.001-2004 [22] робоче місце для розробки методу автоматизації проектування ПП для АСК ТПВ обладнано 1 вуглекислотним вогнегасником ВВК-2.

Організаційно-технічні заходи по забезпеченню пожежної безпеки включають в себе наступні пункти:

– інструктаж персоналу по забезпеченню пожежної безпеки;

– нагляд за засобами пожежогасіння;

– розміщення плану евакуації на місці з безперешкодним оглядом.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі на основі структурної параметричної, математичної моделей і методів формування підмножини ефективних варіантів конструкцій термопар здійснено розробку програмного засобу підтримки прийняття рішень щодо їх вибору. Для цього обрано середовище розробки системи, розроблено базу даних конструкцій термопар та алгоритм їх вибору. При створенні інтерфейсу програмного засобу враховувались показники його достатності, зручності й економічності. Працездатність розробленого засобу продемонстрована на контрольному прикладі.

Здійснено розрахунок електробезпеки та забезпечення безпечних умов праці у відділі розробки засобу вибору термопар.

Використання розробленого програмного засобу дозволяє здійснювати аналіз актуальної інформації щодо більшої кількості різних типів термопар з бази даних і здійснювати остаточний вибір найкращої конструкції для технологічного обладнання вибору лише з підмножини ефективних.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання атестаційної роботи розроблено структурну, параметричну, математичну моделі та створено засіб підтримки прийняття рішень з багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання за методом лексикографічної оптимізації.

У першому розділі був проведений аналіз сучасного стану проблеми вибору термопар для технологічного обладнання, аналіз характеристик та конструкцій термопар, їх класифікація, аналіз основних похибок термопар і огляд сучасних засобів підтримки прийняття рішень з вибору термопар.

Проведений аналіз дозволив визначити основні складові термопар і їх параметричні особливості, що в подальшому стало передумовою для формулювання постановки мети та задач дослідження, що передбачають розробку засобу підтримки прийняття рішень з багатокритеріального вибору конструкцій термопар для технологічного обладнання.

У другому розділі були розроблені структурна і параметрична моделі термопари. Структурна модель відрізняється від існуючих тим, що складається із виявлених специфічних особливостей термопар. Вона дозволяє скоротити час обліку всіх основних елементів конструкції. Параметрична модель може використовуватися в якості бази для розробки математичної моделі в процесі створення модуля автоматизованого проектування термопар.

На основі розроблених параметричної та структурної моделей для вибору термопар було запропоновано здійснювати виділення підмножини їх ефективних конструкцій та скоротити множину ефективних альтернатив використати методом лексикографічної оптимізації. Це дозволяє якісно підібрати набагато більше конструкційних елементів термопар, при цьому розглядаючи більшу кількість різних типів термопар, використовуючи завжди актуальні дані.

На базі лексикографічного метода оптимізації в третьому розділі розроблено програмний засіб підтримки прийняття рішень вибору термопар для технологічного обладнання.

За результатами, отриманими у процесі виконання атестаційної роботи підготовлено публікацію у збірнику студентських наукових статей [23] і тези доповіді на Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління» CSYSC-2020, що проходила 1 – 2 грудня 2020 р. у м. Івано-Франківськ [24].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій Автоматизоване управління технологічними процесами, Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва, Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки, Комп'ютеризовані та робототехнічні системи, Інтелектуальні технології засобів радіоелектроніки. Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр / Упорядники: І. Ш. Невлюдов, О. М. Цимбал, С. П. Новоселов., С. С. Максимова – Харків: ХНУРЕ, 2017. – 63 с.

2. ДСТУ 3008-2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] / Введ. 1996-01-01. – К.: Держстандарт України, 2015. – 29 с.

3. Основи наукових досліджень [Текст]: Навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала; – М-во освіти і науки України, – Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2017. – 344 с.

4. Николай Никонов. Термопары [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.metotech.ru/articles/art_termopary_4_web.pdf. – (дата звернення: 12.09.2020). – Назва з екрану.

5. Термопары устройство и принцип работи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.asutpp.ru/termopary.html. – (дата звернення: 15.09.2020). – Назва з екрану.

6. Шишмарёв, В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник для среднего профессионального образования [Текст] / В. Ю. Шишмарёв. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 377 с.

7. Офіційний сайт KOSMODROM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kosmodrom.com.ua/index.php. – (дата звернення: 15.09.2020). – Назва з екрану.

8. Офіційний сайт OWEN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua. – (дата звернення: 18.09.2020). – Назва з екрану.

9. Офіційний сайт ELCER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elcer.com.ua. – (дата звернення: 18.09.2020). – Назва з екрану.

10. Основи термоелектрики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tesey.com/documents/stati/stati_19.html. – (дата звернення: 18.09.2020). – Назва з екрану.

11. Конспект лекцій дисципліни «Математичне моделювання» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / Упоряд. В.В. Безкоровайний. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с.

12. Beskorovainyi, V.V. Specific subset effective option in technology design decisions [Text] / V.V. Beskorovainyi, L.B. Petryshyn, O.Yu. Shevchenko // Applied Aspects of Information Technology. – 2020. – Vol. 3, № 1. – P. 443-455.

13. Программирование [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://progaprosto.ru. – (дата звернення: 24.10.2020). – Назва з екрану.

14. SNK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.snkey.net. – (дата звернення: 25.10.2020). – Назва з екрану.

15. Delphi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.delphi-manual.ru. – (дата звернення: 25.10.2020). – Назва з екрану.

16. Карпова, Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация [Текст] / Т.С. Карпова. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.

17. Технології інформаційно-пошукових систем [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, С. В. Сотник, А. В. Фролов. – Київ: НАУ, 2015. – 336 с.

18. Lessons [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.lessons-tva.info. – (дата звернення: 13.11.2020). – Назва з екрану.

19. ПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] /

Введ. 2007.12.03. – К.: Министерство по вопросам чрезвычайных ситуаций, 2007. – 108 с.

20. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст] / Введ. 2002.05.01. - К.: Госбуд України, 2002. – 249 с.

21. Дзюндзюк, Б.В. Охрана труда [Текст]: навчальний посібник / Б. В. Дзюндзюк, В. Г. Іванов. – Харків: НВП центр ХНУРЕ, 2006. – 242 с.

22. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників [Текст] / Введ. 2004.04.02. – К.: Міністерство з питань надзвичайних ситуацій, 2004. – 141 с.

23. Щербаков, Г.Л. Метод багатокритеріального вибору термопар для технологічного обладнання [Текст] / Збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – 2020. – Вип. 2. – С. 287-292.

24. Щербаков, Г.Л. Процедура багатокритеріального вибору термопар для технологічного обладнання [Електронний ресурс] / Г.Л. Щербаков, В.В. Безкоровайний // Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління» CSYSC-2020, 01 – 02 грудня 2020 р. – Івано-Франківськ. – Україна. – Режим доступу: http://drive.google.com/file/d/1y98z4d_gJMT3Yyh3YryJacetanpdUFXi/view. – (дата звернення: 13.11.2020). – Назва з екрану.