

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально - науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри АЕМК

(підпис) Сергій Бойченко
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2023_ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг інтелектуальних
електротехнічних та мехатронних комплексів»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

за темою: «Адаптивний термодатчик гідромолота з ефектом пам'яті»

Виконав:

Студент VI курсу, групи ОА-21мп Бежевець Владислав Вадимович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., доцент. Сліденко Віктор Михайлович _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з _____ (підпис)
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____ Бежевець В.В.

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність– 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АЕМК

(підпис) Сергій БОЙЧЕНКО
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Бежевцю Владиславу Вадимовичу

1. Тема дисертації «Адаптивний термоподатчик гідромолота з ефектом пам'яті», науковий керівник дисертації Сліденко Віктор Михайлович, д.т.н. професор, затверджені наказом по університету від «__» __ 2023 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації « » 2023 р.
3. Об'єкт дослідження –процеси адаптивної подачі ударного виконавчого органа на вибій.
4. Вихідні дані: - матеріали переддипломної практики, курсового та дипломного проєктування, результати наукової роботи кафедри за зазначеною тематикою в ПАТ "Київметробуд" та "Київметрополітен"
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1. Виконати аналіз технологічного середовища застосування маніпулятора обладнаного гідромолотом за технологічних умов ПАТ "Київметробуд".
 - 5.2. Привести аналіз та виконати необхідні обґрунтування з розрахунками основних параметрів системи електропостачання станційного тунелю.
 - 5.3. Провести аналіз літературних джерел, патентної інформації та виробничої інформації з мережі Інтернет за темою дисертації.
 - 5.4. Дослідити, за матеріалами публікацій, властивості сплаву NiTi з ефектом пам'яті
 - 5.5. Розробити конструкцію та обґрунтувати параметри податчика гідромолота (60 Дж) встановленого на маніпуляторі універсального укладача тюбінгів.

5.6. Розробити стартап проєкту за темою дисертації.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація 15-20 слайдів – наочні матеріали за результатами дослідження; схема комбінована розташування обладнання маніпулятора на універсальному укладачу тюбінгів (формат А1); схема електропостачання станційного тунелю (формат А1), складальне креслення податчика з гідромолотом (формат А1), деталювання основних елементів конструкції податчика (формат А1).

7. Орієнтовний перелік публікацій:

«АДАПТИВНИЙ ТЕРМОПОДАТЧИК З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ»

8. Консультант розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Електропостачання	Мейта О.В. доцент	24.10.23	
Стартап	Шевчук Н.А., доцент	10.11.23	
Нормоконтроль	Кулаковський Л.Я.	27.12.23	

9. Дата видачі завдання: « » 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Технологічна частина : аналіз та обґрунтування технологічних умов застосування податчика з ефектом пам'яті	28.10.23	≈20 стор. тексту
2.	Розробка схеми комбінованої розташування податчика на маніпуляторі універсального укладача тюбінгів	03.11.23	Формат А1
3.	Аналіз інформації та визначення конструкції податчика на маніпуляторі універсального укладача тюбінгів	05.11.23	≈20 стор. тексту
4.	Дослідження функціонування податчика та встановлення основних залежностей "керований температурний режим - керована подача", оформлення тез конференції	10.11.23	≈20 стор. тексту
5.	Участь в IX Міжнародній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'23»	22 – 24 листопада	участь в конференції
6.	Електропостачання дільниці станційного тунелю метрополітену з розрахунком основних параметрів	25.11.23	≈20 стор. тексту

7.	Розробка схеми електричної принципової дільниці станційного тунелю метрополітену	01.12.23	Формат А1
8.	Розробка мехатронної системи адаптивного керування податчиком з ефектом пам'яті на основі застосування матеріалу нітітола з ефектом пам'яті форми.	05.12.23	≈20 стор. тексту
9.	Розробка складального креслення податчика	08.12.23	Формат А1
10.	Розробка креслень основних деталей	10.12.23	Формат А1
11	Розробка стартапу впровадження дисертаційної роботи	15.12.23	≈20 стор. тексту
12	Підготовка необхідних документів до захисту	16.12.23	

Студент _____ Владислав БЕЖЕВЕЦЬ
 (підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ Віктор СЛІДЕНКО
 (підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Адаптивний термоподатчик гідромолота з ефектом пам'яті»: __ с., __ р., __табл., __рис., __джерел.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивної подачі ударного виконавчого органа на вибій.

Мета дослідження – підвищення енергетичних показників системи гідромолоту при руйнуванні гірських порід та міцних ґрунтів та збільшення терміну експлуатації..

Методи дослідження – пошук, огляд, аналіз і узагальнення результатів досліджень, розрахунок гідравлічної мережі, метод коефіцієнта попиту, а також математичне моделювання в середовищі Mathcfl.

Магістерська дисертація присвячена опису комплексу механізації Сирецько-Печерської лінії метрополітену, проведено розрахунок системи електропостачання, наведено результати інформаційного та патентного пошуку в яких розглянуто актуальність проблеми підвищення енергоефективності процесу руйнування гірських порід шляхом встановлення адаптивного термоподатчика гідромолота з використання пружини податчика з матеріалу, який реалізує ефект пам'яті форми в залежності від температури нагрівання.. Розроблено варіант конструкції гідромолота з допоміжним пристроєм – адаптивним термоподатчиком та системою автоматичного регулювання потужності нагрівання та подачі робочої рідини.

Ключові слова: метрополітен, гідромолот, програмований логічний контролер, адаптація, термоподатчик, нітинол, ефект пам'яті форми.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic "Adaptive thermofeeder of a hydraulic hammer with a memory effect": __ pages, __ sections, __ tables, __ figures, __ sources.

The object of research is the processes of adaptive delivery of the shock executive body to the bump.

The purpose of the study is to increase the energy performance of the hydraulic hammer system during the destruction of rocks and strong soils and to increase the service life.

Research methods – search, review, analysis and generalization of research results, hydraulic network calculation, demand factor method, as well as mathematical modeling in the MathCAD environment.

The master's thesis is devoted to the description of the mechanization complex of the Syretsko-Pechersk metro line, the calculation of the power supply system is carried out, the results of an information and patent search are given, in which the relevance of the problem of increasing the energy efficiency of the process of rock destruction by installing an adaptive thermal feeder of a hydraulic hammer using a feeder spring made of a material that realizes the effect of pam is considered different shapes depending on the heating temperature. A variant of the hydraulic hammer design with an auxiliary device - an adaptive temperature sensor and a system of automatic adjustment of the heating power and supply of the working fluid - has been developed.

Key words: subway, hydraulic hammer, programmable logic controller, adaptation, thermal sensor, nitinol, shape memory effect.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГПМ – гідропневмомолот;

ДТ – датчик тиску;

ДП - датчик положення;

ЕПФ – ефект пам'яті форми;

кВт – кіловат.

КЗ – коротке замикання.

мм – міліметри.

МПа – мегапаскаль.

ПІД регулятор – пропорційноінтегрований диференціальний регулятор;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПС – пневмосистема;

ЕМР – електромагнітний розподільувач;

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. Технологічні умови застосування комплексу для будівництва станції метрополітену.....	13
1.1. Організація роботи метрополітену в м. Києві.....	13
1.2. Гірничо-геологічні умови будови метрополітену.....	14
1.3 Особливості технології спорудження станційного тунелю глибокого залягання.....	18
Висновки за розділом.....	20
2. Розробка системи електропостачання.....	22
2.1 Опис об'єкту проектування та розрахунок електричних навантажень.....	22
2.2 Розрахунок дільничної кабельної мережі.....	27
2.3. Розрахунок струмів короткого замикання.....	32
2.4. Вибір апаратури керування і захисту.....	36
2.5 Основні енергетичні показники підприємства та компенсація реактивної потужності.....	40
Висновки за розділом.....	43
3 Обґрунтування параметрів адаптивного термоподатчика гідромолота з ефектом пам'яті форми.....	45
3.1 Аналіз джерел інформації щодо матеріалів з ефектом пам'яті форми.....	45
3.2 Патентний пошук за темою досліджень.....	57
3.3. Конструктивна та функціональна схема керування механізмом подачі гідромолота.....	59
3.4 Алгоритм роботи системи автоматичного керування пристроєм.....	64
3.5 Дослідження функціонування пристрою.....	69
3.6. Встановлення параметрів пружного елемента з матеріалу нікеліду титану від конструктивних параметрів термоподатчика.....	75
Висновки за розділом.....	77
4. Стартап-проект.....	78
4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту	78

<u>4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту..</u>	<u>80</u>
<u>4.3 Аналіз конкурентного середовища та SWOT – аналіз</u>	<u>81</u>
<u>4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту</u>	<u>84</u>
<u>4.5 Ключові види діяльності</u>	<u>84</u>
<u>4.6 Обґрунтування рівня рентабельності (прибутковості) інноваційної ідеї.....</u>	<u>85</u>
<u>4.7 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту та рівня рентабельності</u>	<u>90</u>
<u>4.8 Цільові групи потенційних споживачів</u>	<u>94</u>
<u>4.9 Бізнес-модель проекту</u>	<u>96</u>
Висновки за розділом.....	97
Узагальнені висновки.....	99
Перелік джерел посилання	101
ДОДАТКИ.....	103

ВСТУП

Актуальність роботи пов'язана зі створенням пристрою адаптивної подачі гідромолота на гірський масив в залежності від змінних технологічних характеристик гірських порід. Це дозволяє забезпечити ефективну і надійну роботу гідромолота та мінімальну реакцію віддачі, яка діє на базову машину та оператора, оскільки подача гідромолота на вибій впливає на ефективність передачі енергії удару гідромолота гірському масиву та впливає на ефективність його руйнування. Одним з ефективних напрямків зниження енергоємності технологічних процесів є застосування спеціальних матеріалів з ефектом пам'яті форми.

Науковою новизною є розробка та обґрунтування параметрів термоподатчика гідромолота з використанням пружини податчика з матеріалу, який реалізує ефект пам'яті форми в залежності від температури нагрівання. Такий податчик доцільно використовувати для адаптивної подачі гідромолота при розробці вибою, як допоміжного пристрою до гідроприводу. При цьому, регулювання зусилля подачі здійснюється без участі гідравлічних циліндрів внаслідок лише однієї дії манжетного нагрівача, що ефективно при складності проходки вибою у випадку зміни коефіцієнта міцності гірської породи і необхідності миттєвого пристосування робочого органу під конкретні умови будь-якого вибою.

Матеріал виготовлення пружини податчика – нікелід титану (нітінол), складається із 50 % нікелю та 50% титану. Сплав NiTi має найбільшу серед сплавів відновлювану деформацію (до 10%), невисоку температуру фазового переходу (до +100 °C), високу корозійну стійкість, завдяки утворенню на поверхні плівки із діоксиду титану TiO_2 , а також невелику електропровідність ($0,5 \dots 0,6 \cdot 10^{-6}$) Ом – в мартенситному стані та ($0,82 \dots 1,16 \cdot 10^{-6}$) Ом – у первинній фазі, що дозволяє їх використовувати в безпосередній близькості до електричного нагрівача.

Методи дослідження – пошук, огляд, аналіз і узагальнення результатів

досліджень, розрахунок гідравлічної мережі, метод коефіцієнта попиту, а також математичне моделювання в середовищі Mathcad.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивної подачі ударного виконавчого органа на вибій.

Мета дослідження – підвищення енергетичних показників системи гідромолоту при руйнуванні гірських порід та міцних ґрунтів та збільшення терміну експлуатації..

Предметом дослідження є показники навантажень на робочий орган гідромолота та характеристика деформації пружини податчика з ефектом пам'яті форми.

Задачами даної роботи є:

1. Виконати аналіз технологічного середовища застосування маніпулятора обладнаного гідромолотом за технологічних умов ПАТ "Київметробуд".
2. Привести аналіз та виконати необхідні обґрунтування з розрахунками основних параметрів системи електропостачання станційного тунелю.
3. Провести аналіз літературних джерел, патентної інформації та виробничої інформації з мережі Інтернет за темою дисертації.
4. Дослідити, за матеріалами публікацій, властивості сплаву NiTi з ефектом пам'яті
5. Розробити конструкцію та обґрунтувати параметри податчика гідромолота встановленого на маніпуляторі універсального укладача тюбінгів.
6. Розробити стартап проекту за темою дисертації.

Практичне значення даної роботи – розробка пристрою адаптивної подачі гідромолота з використанням матеріалу з ефектом пам'яті форми, параметри якого регулюються шляхом нагріванням пружини податчика. Система автоматичного регулювання температури пружини дозволяє мінімізувати енергетичні втрати, час виконання робіт з вибою гірських порід та ґрунтів залежно від показання датчику переміщення робочого органу гідромолоту. При цьому знижується вібраційна віддача на маніпулятор та

підвищується експлуатаційний термін роботи установки.

Апробація результатів дисертації: була доповідь на IX Міжнародній науково-практичній «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS’23», КПІ ім. І. Сікорського, 24 листопада 2023 року за матеріалами тез на тему «АДАПТИВНИЙ ТЕРМОПОДАТЧИК З ЕФЕКТОМ ПАМ’ЯТІ ФОРМИ».

1 Технологічні умови застосування комплексу для будівництва станції метрополітену

1.1. Організація роботи метрополітену в м. Києві.

На сьогодні київський метрополітен має 3 діючі лінії, експлуатаційна довжина яких близько 60 км [1]. До послуг пасажирів – 44 станції, з трьома підземними пересадочними вузлами в центрі міста.



Рисунок 1.1- Схема Київського метрополітену

Лінії метрополітену перетинають всі 10 районів міста. Перша лінія, Святошинсько-Броварська, історія якої починається з 6 листопада 1960 року, має довжину 22,8 км (із яких 6,7 км – наземна ділянка) і 18 станцій. Наземна ділянка має 2 мостових переходи – через річку Дніпро та Русанівську затоку та 2 шляхопроводи. Друга лінія, Куренівсько-Червоноармійська, перша ділянка якої була введена в експлуатацію 16 грудня 1976 року, має довжину 13,2 км і 12

станцій. Третя лінія, Сирецько-Печерська, перша ділянка якої була введена в експлуатацію 31 грудня 1989 року, має довжину 22,5 км і 14 станцій.

На разі довжина двоколійної Сирецько-Печерської лінії складає 23,8 кілометри. Вона має 16 станцій, всі розташовані підземно. Щоденно лінія перевозить понад 300 тисяч пасажирів. Найкоротший відрізок між станціями "Золоті ворота" і "Палац Спорту" становить 788 метрів, а найдовший відрізок між "Видубичі" і "Славутич" складає 3 кілометри і 46 метрів [2]

У майбутньому лінія метро буде розширена на північ до станції "Виноградар" і планується подовження її до Дарницького вокзалу. Ця лінія обслуговуватиме затоки Києва, які розкинулися на обох берегах Дніпра, включаючи центр міста, залізничні станції Сирець, Видубичі та Дарницький вокзал, а також передміський транспорт. На схемі метро ця лінія буде позначена зеленим кольором з номером 3 [1]

Будівництво пілонної станції, яка відноситься до найстаріших типів станцій глибокого закладення метрополітену, включає декілька етапів: спочатку прокладаються три паралельні тунелі, які з'єднуються проходами та мають три окремі зали, розділені кількома пілонами з проходами між ними. У крайніх тунелях, як правило, розташовані платформи, а центральний зал знаходиться в середньому тунелі. Цей тип станцій будується у складних геологічних умовах, оскільки така конструкція найкраще витримує тиск гірської породи. Однак через обмежену кількість вузьких проходів пропускна здатність цієї станції метрополітену зменшується. Саме для будівництва таких типів станцій актуально застосування універсальних укладачів тюбінгів та розширення тунелю з використанням маніпуляторів, обладнаних адаптивними гідромолотами до змінних характеристик гірничо-геологічних властивостей грантів.

1.2. Гірничо-геологічні умови будови метрополітену

Для проектування і будівництва метрополітену необхідно враховувати інженерно-геологічні умови району проведення робіт [3].

На підставі аналізу матеріалів, отриманих при інженерно-геологічних дослідженнях, вибирають глибину закладення споруди, засоби будівництва, типи конструкцій і т.і.

Дослідженнями повинні бути встановлені такі основні завдання: геологічна будівля (види і склад гірських порід, характер залягання шарів, їхня потужність і тріщинуватість); гідрогеологічні умови (наявність водоносних горизонтів, глибина залягання рівнів підземних вод, напрямок і швидкість підземних вод, характеристика водопроникності порід, очікувані розміри водопритоків води у виробки, температура і хімічний склад підземних вод).

Дослідження виконують у три етапи. У початковому, підготовчому, періоді обирають, вивчають і узагальнюють фондові і літературні матеріали по району досліджень і розробляють програму робіт. Потім, на другому, польовому, етапі робіт із розробленої програми ведуть інженерно-геологічну розвідку (буріння розвідницьких свердловин, геофізичні дослідження, лабораторні дослідження ґрунтів і підземних вод по зразках, підібраним у процесі буріння свердловин). На третьому етапі опрацьовують матеріали розвідки, завершують лабораторні роботи і складають звіт про пророблену роботу.

Основним видом геологічної розвідки є буріння вертикальних свердловин з періодичним добором проб ґрунтів, по яких визначають потужність шарів, їхнє чергування і міцність. У процесі буріння свердловин роблять опис ґрунтів, що зустрілися, і їхню характеристику заносять у спеціальний часопис. За даними записів складають геологічні колонки, що подають собою графічне зображення розтину свердловини. У геологічних колонках вказують чергування ґрунтів, що зустрічаються при бурінні свердловин, потужність їхніх шарів, рівні ґрунтових вод. На підставі геологічних колонок, отриманих за результатами буріння свердловин, складають геологічний розріз, що надає графічне зображення геологічних і гідрогеологічних умов, у яких буде вестися будівництво.

Складений за результатами досліджень звіт і геологічний розріз є одними з повних документів для проектування підземного паркінгу.

У свердловинах відбиралися зразки ґрунтів порушеної і непорушеної структури, проби підземних вод для лабораторних досліджень.

У результаті опрацювання інженерно-геологічних досліджень формуються інженерно-геологічні розрізи, зведені таблиці фізико-механічних характеристик і розрахункових параметрів ґрунтів, таблиці хімічних аналізів підземних вод; дійсний поділ пояснювальної записки про гідро-геологічні умови будівництва.

В геоструктурному відношенні територія міста Києва відноситься до зони з'єднання Українського щита та Дніпровського-Донецької западини, що обумовлює складність геологічної будови [3].

В геологічній будові виділяються два структурних поверхи – нижній та верхній. Нижній складається з порід докембрія, а верхній – з порід палеозоя, мезозоя та кайнозоя.

Відкладення докембрія, палеозоя та нижня частини палеогенової системи залягають на великій глибині і ніде не виходять на денну поверхню.

Відкладення бугакського ярусу палеогена розповсюджені скрізь і представлені пісками різної крупності, сірими із золотуватим відтінком. Загальна потужність цих відкладень 35...40 м.

Відкладення Київського ярусу, в літологічному відношенні, неоднорідні та чітко розділяються на три горизонти. Нижній представлений пісками сірувато-зеленого кольору і потужністю 3...5 м. Середній горизонт-спонділові глини, представляють собою щільну глинисту породу із значним вмістом тонко дисперсного карбонату кальцію, з невеликими прошарками та лінзами пильного піску. Верхній горизонт Київського ярусу представляє собою безкарбонатний суглинок з потужністю 5...6 м.

Відкладення Харківського ярусу представлені пісками жовтувато-зеленими та зеленувато-сірими. Потужність Харківського ярусу-10...14м.

Горизонт строкатих глин неогену – це жирна на дотик глиниста порода з різними відтінками сірого кольору. Потужність горизонту 6...8м.

Горизонт бурих глин розвинений тільки на водороздільних ділянках і представлений різними піщанистими глинами. Потужність 8...16м .

В гідрогеологічному відношенні територія міста розміщена в північно-західній частині Дніпровського артезіанського басейна . Ряд водоносних горизонтів відрізняються один від одного літологічним складом водовміщуючих порід , умовами циркуляції та розгрузки підземних вод .

Водовміщуючі породи неоднорідні по складу , як у вертикальному розрізі так і по простяганню. Це обумовлює різні фільтраційні властивості порід. Коефіцієнт фільтрації змінюється від 0,2 до 8.7 м/доб. У верхній частині і може сягати 35м/доб в нижніх ярусах. Потужність водоносного горизонту різна і може становити до 40м. Нижнім водоупором являється мергально-крейдовий шар. По хімічному складу води водоносного горизонту мають слабкі вуглекислотні та загально кислотні властивості. Коефіцієнт фільтрації пісків – 2.0- 5.0 м/доб .

У геоморфологічному відношенні територія м. Києва входить в область розвитку північних схилів Придніпровської (Правобережної) височини , що переходять у Поліську і Придніпровську низовину.

Рельєф території представляє собою комплекс геоморфологічних елементів, які визначаються особливостями їх геоструктури та гіпсометричного плану , не тектонічним рухом земної кори , різноманіттям літологічного складу рельєфові значаючі порід , кліматичних , гідрологічних, гідрогеологічних та інших умов.

Гідрографічна мережа Києва належить басейну р. Дніпро з його притоками, рукавами, озерами. Територія представляє собою ерозійно-аккумулятивну терасову рівнину, що переходить в морено-зондрову рівнину. Гравітаційні процеси свою діяльність не проявляють.

Клімат м. Києва помірно-континентальний з відносно м'якою зимою і не дуже жарким літом. На клімат м. Києва впливають гідрографічна мережа та гідрологічний режим водних об'єктів таких , як Київське та Канівське водосховище.

Температурний режим повітря визначається сонячною радіацією, загальною циркуляцією атмосфери. В умовах сучасного великого міста важливу роль відіграє господарча діяльність людини, що впливає на перераховані вище фактори і змінює їх вплив на клімат. Ці зміни пов'язані з особливостями структури міста (характером забудови, архітектурним ландшафтом, озелененням, наявністю водоймищ, виділенням виробничого та побутового тепла).

Середньорічна температура $+7^{\circ}\text{C}$ з коливанням від -36°C в січні, лютому до $+36^{\circ}\text{C}$ в липні, серпні. Кількість опадів 348-925мм, в середньому 620мм. Найбільша середньомісячна кількість опадів 87...100 мм випадає в травні-червні, мінімальне 25...30мм – в січні, лютому. Максимальна зафіксована швидкість вітру -30м/с .

У відповідності з даними СНіП 2.01.01-82 глибина промерзання ґрунту змінюється від 0,9м для глинистих та суглинистих різновидностей ґрунтів, до 1,08 м для піщаних та супіщаних ґрунтів. Середня глибина шару стічних річних температур $-14,0\text{ м}$.

1.3 Особливості технології спорудження станційного тунелю глибокого залягання

Основним комплексом для спорудження станційного тунелю глибокого залягання є комплекс КМ-15Гп-пс [3, 4]. Комплекс використовується для спорудження станційного тунелю глибокого залягання діаметром 6-7,8 в міцних ґрунтах.

Комплекс (рис.1.2) забезпечує також монтаж обробки тунелю з внутрішнім діаметром 7,8м, монтаж металоконструкцій станції колонного типу та нагнітання розчину за тунельну обробку. Передбачено застосування маніпулятора з гідромолотом з кріпленням до важеля укладчика.

Обладнання працює разом з навантажувальною машиною ППМ-4М, вагонетками закритого типу ємністю $1,5\text{м}^3$, електровозами та тубінговозами.

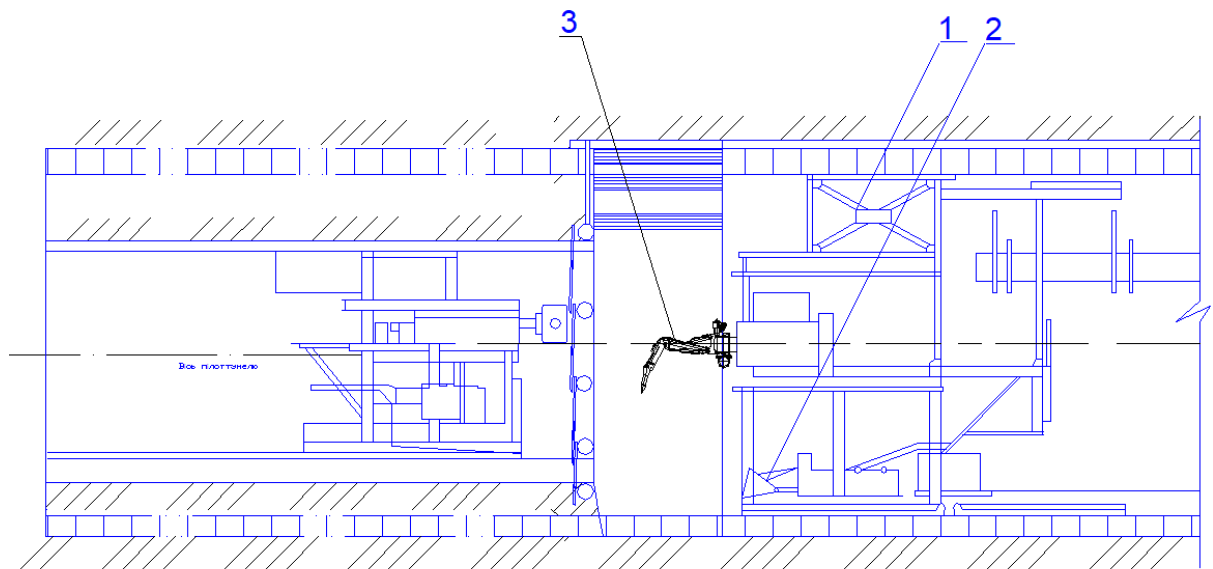


Рисунок 1.2 – Комплекс КМ-15Гп-пс: 1 – універсальний укладчик, 2 - породонавантажувальна машина ППН-4, 3 – гідромолот (запропонований варіант)

До складу комплексу входять: Тунельний укладач з гідроприводом ТУ-2Гп -1шт; металоконструкція (з рухомими платформами) -1шт; гідропривод - 1шт; важіль -1шт; Захват -1шт; гідромолот -1шт; механізм крокування -2шт; висувний козирок -1шт; висувна ланка -1шт; установка розчинонагнітачів -2шт; пристосування для фасонних тюбінгів -2шт; гідрообладнання -1шт; електрообладнання 1шт; електроталь $Q=3\text{т}$ -1шт; навантажувач ППН-4-1шт; шланг для нагнітання -2шт; пересувна платформа ПП-18-1шт; проставка 1шт; симетричний стрілочний перевід -1шт; з'єднувальна ланка -2шт.

Тунельний укладач з гідроприводом ТУ-2Гп є головною машиною комплексу і застосовується для монтажу оброблення станцій метрополітену глибокого залягання.

В табл. 1.1. наведені технічні характеристики комплексу.

Таблиця 1.1- Технічні характеристики елементів комплексу КМ-15Гп

n/n	Технічна характеристика	Числове значення
1	Діаметр тунелю	7,8м
2	Обробка тунелю: чавунні тюбінги або залізобетонні блоки-діаметр	8,5м
3	Площа перерізу виробки	57,00м ²
4	Продуктивність укладача	0.75 п.м./год
5	Колія відкатки	0,60м
6	Пересування «крокуванням»- найбільший крок	1,45м
7	Кут повороту важеля	+186,50
8	Найбільша маса піднімаючого вантажу	3,7т
9	Швидкість обертання важеля	0,5-1хв-1.
10	Висування та обертання важеля від гідроприводу	0,15-0,2м
11	Висуванні платформи	10шт
12	Крок висування платформи та захисних козирків	2,18м
13	Загальна продуктивність насосних установок	4,2м ³ /год
14	Робочий тиск в гідросистемі домкратів крокування та обертання важеля На інших пристроях	150·104кг/м ² 50·104кг/м ²
15	Загальний об'єм нагнітачів цементосуміші	0,5м ³
16	Діаметр шлангів для нагнітання	2"
17	Вантажопідйомність тельфера для підйому вагонетки на ярус	3т
18	Загальна встановлена потужність електродвигунів Освітлення	45кВт 5кВт
19	Вага тунельного укладача Вага тунельної платформи Загальна вага комплексу	60,5т 4,8т 65,8т

Висновки за розділом

1. Об'єм інженерно-геологічних пошуків по проектованій станції метрополітену є достатнім для інженерно-геологічного обґрунтування проекту станції.

2. Інженерно-геологічні умови будівництва метрополітену в м. Києві характеризується як середньої складності та складні.

3. До складу комплексу КМ-15Гп входить тунельний укладач ТУ-2Гп. В технології робіт цього комплексу розробка породи ведеться робітниками з

висувних платформ за допомогою відбійних молотків МО-8. Ще чотири робітники задіяні в установці тимчасового кріплення кривлі та лобу вибою.

4. За для скорочення кількості людей задіяних у цих операціях, запропоновано замінити ручну працю з відбійними молотками на роботу маніпулятора з гідромолотом. Це також дозволить вивести людину з небезпечної зони руйнування породи, зведе до мінімуму вплив на людину вібрації.

5. Для підвищення ефективності роботи з адаптацією до умов робочого середовища запропонована система адаптації з керуванням сили подачі гідромолота до гірського масиву з застосуванням термоподатчика, механізм подачі якого реалізується застосуванням спеціального новітнього матеріалу нікеліду титану (нітинолу), що значно підвищує ефективність роботи та коефіцієнт корисної дії гідромолота.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Опис об'єкту проєктування та розрахунок електричних навантажень

Об'єктом забезпечення електричною енергією є низьковольтна ділянка будівельного майданчик №215, що знаходиться на подовження Сирецько-Печерської лінії метрополітену в м. Києві від ст."Лук'янівська" до ст."Золоті ворота".

Розподіл електроенергії виконується за магістральною схемою. Дана ділянка (рис. 2.1) розділена на 2 комплексні трансформаторні підстанції, що живляться від двох незалежних джерел живлення – ввід 10кВ від РП496 та 10кВ від КТПН будмайданчику №216. Двотрансформаторні підстанції застосовують при великому числі споживачів I і II категорії. Передбачається роздільна робота трансформаторів для зменшення струмів короткого замикання [6].

Споживачами I категорії, які необхідно резервувати з використання автоматичного введення резерву (АВР) є електровозна відкатка, машина підйомна, насос головного водовідливу, протипожежна насосна установка, вентилятор головного провітрювання, електроосвітлення тунелів [7].

Особливою в проєктуванні є збірка №2, яка має дві аналогічні секції які кожна з яких живляться від різних КТПН, а у разі відсутності подачі від одного джерела для однієї секції, вмикається секційний вимикач для під'єднання живлення. До III-ої категорії належать всі інші електроприймачі, перерва в живленні допускається від 30 хв і більше для усунення пошкоджень обслуговуючим персоналом.

Рівень напруги живлення для більшості споживачів становить 380 В, освітлення, електровоз живляться напругою 220 В. Значна кількість споживачів – це електроприводи механізмів, що формує характер навантаження з складовою реактивної потужності [8].

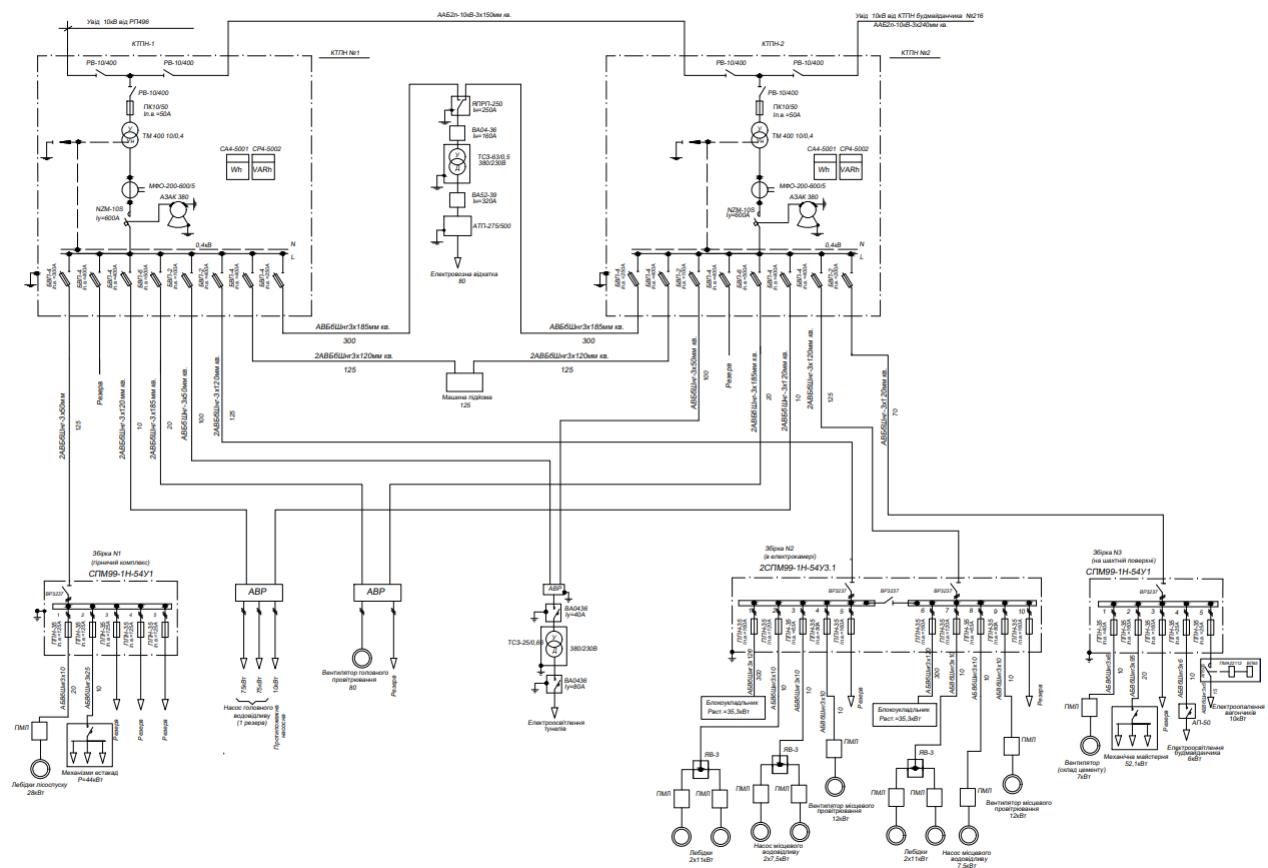


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання будмайданчику №215

Споживачі електричної енергії будмайданчику зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри соживачів дільниці

Споживачі електроенергії	Тип двигуна	$P_{\text{н}}$, кВт	n , шт	$\Sigma P_{\text{н}}$, кВт	$I_{\text{н}}$, А	η	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\text{tg} \varphi_{\text{н}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Збірка №1 (гірничий комплекс)								
Освітлення ствола	ТС3-4-380/37,5	1,08	1	1,08	-	0,90	0,90	0
Механізми естакад	-	44	1	44	88	0,90	0,81	0.45
Лебідки лісоспуску	АО	28	1	28	72	0,895	0,88	0.55
Збірка №2 (в електрокамері) - 1								
Блокоукладальний двигун	-	30	1	30	74	0,9	0,9	0,48
Інші навантаження	-	5,3	1	5,3		0,9	0,96	0,29
Лебідки	-	11	2	22	45	0,89	0,88	0,55

Продовження таблиці 2.1

Насос місцевого водовідливу	4AM112M2	7,5	2	15	16,5	0,8	0,68	0,55
Вентилятор місцевого провітрювання	AIP160S4	12	1	12	22,7	0,88	0,8	0,55
Збірка №2 (в електрокамері) - 2								
Блоукладальний двигун Інші навантаження	ТУ2-Гп	305,3	1 1	30 5,3	74	0,9 0,9	0,8 0,96	0,48 0,29
Лебідки	-	11	2	22	45	0,89	0,88	0,55
Насос місцевого водовідливу	4AM112M2	7,5	1	7,5	16,5	0,8	0,8	0,55
Вентилятор місцевого провітрювання	AIP160S4	12	1	12	22,7	0,88	0,8	0,55
Збірка №3 (на шахтній поверхні)								
Електроосвітлення будмайданчика	-	6	1	6	9	1	1	0
Вентилятор (склад цементу)	-	7	1	7	13,2	0,88	0,87	0,56
Механічна майстерня	-	52,1	1	52,1	101,2	0,56	0,6	0,78
Електроопалення вагончиків	-	10	1	10	25	0,87	1	0
Споживачі, що резервуються від КТПН №1 та №2								
Електровозна відкатка	ТС3-63/0,5-380/220	80	1	80	142	0,90	0,86	0,6
Машина підйомна	-	125	1	125	301	0,9	0,6	0,78
Насос головного водовідливу	4AM225M2	75	1	75	140	0,87	0,82	0,73
Протипожежна насосна установка	-	10	1	10	-	-	-	-
Вентилятор головного провітрювання	AIP250S4	80	1	80	152	0,8	0,82	0,43
Електроосвітлення тунелів	ТС3-25/0,66-380/220	25	1	25	80	1	1	0
Разом				704,2				

На основі даних таблиці визначаємо встановлену потужність, дільнична підстанція двохсекційна і робочий режим здійснюється від двох секцій, так як ці секції однакові, то встановлена потужність для двох секцій буде однаковою. Приймаємо коефіцієнт попиту для всіх споживачів рівний 0,65. Визначається розрахункове активне навантаження для електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол збірки:

$$P_p = K_{\text{п}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і.}} \quad (2.1)$$

Обрахунок коефіцієнту реактивної потужності кожного споживача визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{н}} = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_{\text{н}})) \quad (2.2)$$

За формулами (2.3) та (2.4) визначаємо розрахункове реактивне навантаження для кожного електроприймача та сумарне реактивне навантаження:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{н}i}}{\eta_{\text{н}i}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{н}} \quad (2.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.4)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Електричні навантаження ділянки.

Споживачі електроенергії	$\sum P_{\text{н}}$, кВт	η	$\cos j_{\text{н}}$	$\operatorname{tg} j_{\text{н}}$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Збірка №1 (гірничий комплекс)							
Освітлення ствола	1,08	0,9	0,9	0	0,702	0,00	0,70
Механізми естакад	44	0,9	0,81	0,45	28,6	22,00	36,08
Лебідки лісоспуску	28	0,895	0,88	0,55	18,2	17,21	25,05
Збірка №2 (в електрокамері) - 1							
Блокукладальний двигун	30	0,9	0,9	0,48	19,5	16,00	25,22
Інші навантаження	5,3	0,9	0,96	0,29	3,445	1,71	3,85
Лебідки	22	0,89	0,88	0,55	14,3	13,60	19,73
Насос місцевого водовідливу	15	0,8	0,68	0,55	9,75	10,31	14,19
Вентилятор місцевого провітрювання	12	0,88	0,8	0,55	7,8	7,50	10,82
Збірка №2 (в електрокамері) - 2							
Блокукладальний Двигун	30	0,9	0,8	0,48	19,5	16,00	25,22
Інші навантаження	5,3	0,9	0,96	0,29	3,445	1,71	3,85
Лебідки	22	0,89	0,88	0,55	14,3	13,60	19,73
Насос місцевого водовідливу	7,5	0,8	0,8	0,55	4,875	5,16	7,10
Вентилятор місцевого провітрювання	12	0,88	0,8	0,55	7,8	7,50	10,82
Збірка №3 (на шахтній поверхні)							
Електроосвітлення будмайданчика	6	1	1	0	3,9	0,00	3,90
Вентилятор (склад цементу)	7	0,88	0,87	0,56	4,55	4,45	6,37
Механічна майстерня	52,1	0,56	0,6	0,78	33,865	72,57	80,08
Електроопалення вагончиків	10	0,87	1	0	6,5	0,00	6,50

Продовження таблиці 2.2

Споживачі, що резервуються від КТПН №1 та №2							
Електровозна відкатка	80	0,9	0,86	0,6	52	53,33	74,49
Машина підйомна	125	0,9	0,6	0,78	81,25	108,33	135,42
Насос головного водовідливу	75	0,87	0,82	0,73	48,75	62,93	79,60
Протипожежна насосна установка	10	1	1	0	6,5	0,00	6,50
Вентилятор головного провітрювання	80	0,8	0,82	0,43	52	43,00	67,48
Електроосвітлення тунелів	25	1	1	0	16,25	0,00	16,25
Разом	704,2				457,73	476,90	661,02

Розрахункова потужність трансформатора складається з сум потужностей всіх збірок, що живляться (резервуються) від цього трансформатора. Слід врахувати, що трансформатор може працювати з перевантаженням до 30%. Споживачами трансформатора КТПН №1 є: резервовані, збірку №1 та збірку №2, а КТПН №2 – резервовані, збірки №2 та №2. Коефіцієнт одночасності приймаємо рівним одиниці.

$$\sum S_{\text{тр}} = K_{\text{вик}} \cdot (S_{\text{сп-1}} + S_{\text{сп-2}} + S_{\text{сп-3}} + S_{\text{сп-4}} + S_{\text{сп-5}}) \quad (2.5)$$

$$\sum S_{\text{тр1}} = 582,10 \text{ кВА};$$

$$\sum S_{\text{тр2}} = 617,114 \text{ кВА};$$

Для обох підстанцій обираємо трансформатори (таблиця 2.3)

Таблиця 2.3 – Параметри обраного понижувального трансформатора

Тип	Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності XX, P_x , кВт	Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Струм XX I_x , %	Напруга КЗ, U_k , %
		ВН (Y)	НН (Y)				
ТМ-630/10/0.4	630	10	0,4	1.31	8.5	2	5,5

2.2 Розрахунок дільничної кабельної мережі

Розрахунок зводиться до вибору перерізу жил кабелів за допустимим нагрівом і їх перевірка на допустиму втрату напруги.

Вибір перерізу силових жил кабелю по нагріву зводиться до порівняння розрахункового струму $I_{p.c}$ із довшодопустимими струмами для стандартних перерізів $I_p \leq I_d$.

Вибір перерізу проводів ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному тривалому режимі роботи полягає в порівнянні розрахункового струму лінії з допустимим струмом, для якого рекомендовані стандартні значення перерізів проводів жил кабелів, за умови

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.6)$$

де I_p - розрахунковий (або рномінальний) струм і-ї лінії, А;

Розрахований струм для групи споживачів:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_m \cdot \cos \varphi_p} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.7)$$

де $\sum P_p$ - сума потужностей всіх двигунів в групі, кВт.

Але оскільки на лінії знаходяться споживачі, що працюють тривалий час в мережі, то доцільніше розрахувати струм при номінальних параметрах. Дільнична підстанція:

$$I_p = \frac{S_{HT}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} = \frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10^4 \cdot 0,9} = 40,4 \text{ А}$$

$I_d = 136 \text{ А}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом АВБбШнг-3х50 мм².

Збірка №1 (комплекс)

$$I_p = \frac{73.08}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,898} = 123.8 \text{ А}$$

$I_d = 136 \text{ А}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом АВБбШнг-3х50 мм².

Збірка №2 (в електрокамері)

$$I_p = \frac{161.1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,893} = 274.1 \text{ A}$$

$I_d = 321 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом 2АВБбШнг-3х120 мм².

Збірка №3 (на шахтній поверхні)

$$I_p = \frac{75.1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,849} = 134.6 \text{ A}$$

$I_d = 204 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом АВБбШнг-3х95 мм².

Машина підйому

$$I_p = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 237.4 \text{ A}$$

$I_d = 274 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом 2АВБбШнг-3х120 мм².

Насос головного водовідливу

$$I_p = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 123.86 \text{ A}$$

$I_d = 136 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом 2АВБбШнг-3х50 мм².

Вентилятор головного провітрювання

$$I_p = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 132.12 \text{ A}$$

$I_d = 136 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом 2АВБбШнг-3х50 мм².

Електровозна відкатка

$$I_p = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,86} = 282.6 \text{ A}$$

$I_d = 313 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом АВБбШнг-3х185 мм².

Електроосвітлення тунелів

$$I_p = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 1} = 38 \text{ A}$$

$I_d = 136 \text{ A}$ - цьому струму відповідає кабель марки перерізом АВБбШнг-3х50 мм².

Вибору за економічною щільністю струму не підлягають пересувні мережі кар'єрів, будівельних майданчиків, мережі з малим терміном служби (3-5 років), відгалуження до електроприймачів до 1000В, мережі напругою до 1000 В з T_{Σ} до 4000 годин/рік.

Тому для даних мереж, перевірка за економічною густиною не проводиться.

2.2.1 Розрахунок кабельної мережі по втратах напруги.

Вибрані кабелі дільничної мережі перевіряємо по допустимим втратах напруги:

$$\Delta U_d = U_0 - 0,95 U_n;$$

де: U_0 і U_n - відповідно напруга холостого ходу трансформатора ($U_0=400\text{В}$) і номінальна напруга мережі ($U_n=380\text{В}$).

При цьому допустимі втрати напруги ΔU_d при нормальному режимі роботи для низьковольтних електроприймачів не повинно перевищувати при напрузі 380В – 39 В. Ділянка мережі низької напруги складається з трансформатора (або трансформаторної підстанції) та кабелів (магістральні, відгалужувальні, гнучкі), які з'єднують трансформатор та електроприймач.

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{ТР}\%} = \beta (U_{a\%} \cos \varphi_{\text{ТР}} + U_{p\%} \sin \varphi_{\text{ТР}}); \quad (2.8)$$

де $\beta = \frac{S_p}{S_{\text{н.т}}}$ - коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 S_{\text{н.т.}}}$ - активна складова напруги КЗ трансформатора;

ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{\text{н.т}}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{p\%} = \sqrt{(U_{\text{к}\%})^2 - (U_{a\%})^2}$ - реактивна складова напруги КЗ

трансформатора;

Враховуючи можливість регулювання напруги на виході трансформатора за рахунок переключення відпайок обмотки первинної напруги абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{\text{ТР}} = \Delta U_{\text{ТР}\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}; \quad (2.9)$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі. U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора – 400 В.

Розрахунок втрат напруги в кабелі проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{м.к}} = \frac{P_{\text{Н}} \cdot L_{\text{м.к}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к}} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{Н}}}; \quad (2.10)$$

$P_{\text{Н}}$ - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем, кВт;

$L_{\text{м.к}}$ – довжина кабелю [м]; $\gamma=50$ м/(Ом•мм²) – питома провідність мідного кабелю ($\gamma=32$ для алюмінієвих жил);

$S_{\text{м.к}}$ – найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок, мм²;

$U_{\text{Н}}$ - номінальна напруга мережі, В [33];

$\eta_{\text{Н}}$ - ККД електроприймача .

Втрата напруги в кабелі Збірка № 1 – механізми естакад;

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 73.6 \cdot 10 \cdot 0.91}{32 \cdot 6} = 6.04 \text{ В}$$

Збірка №1 комплексу:

$$\Delta U = 8,98+3,31+6,04+4,6=22,93 \leq 39 \text{ В}$$

Збірка №2:

$$\Delta U = 13,78+15,71+1,81+1,24+1,97 = 34,51 \leq 39 \text{ В}$$

Збірка №3:

$$\Delta U = 4,55+1,23+1,83+1,75+5,14=14,5 \leq 39 \text{ В}$$

Збірка електроосвітлення тунелів

$$\Delta U=12,33+4,1=16,43 \leq 39 \text{ В}$$

Збірка електровозної відкатки

$$\Delta U = 2,13 + 1,89 = 4,02 \leq 39 \text{ В}$$

Розрахунки зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку

Призначення кабелю	Дов- жина L, м	I _p , А	I _д , А	Марка кабелю і переріз жил, мм ²	ΔU, В
1	2	3	4	5	6
Збірка №1 (комплекс)					
Магістральний	70	123,8	136	АБВбШнг 3 х 50	8,98
Трансформатор освітлення ствола	20	1,8	43	АБВбШнг 3х 6	3,31
Механізми естакад	10	73,6	88	АБВбШнг 3 х 25	6,04
Лебідки лісопуску	20	48,4	50	АБВбШнг 3 х 10	4,6
Збірка №2 (в електрокамері)					
Магістральний	125	274,1	321	2АБВбШнг 3 х 120	13,78
Блокоукладач	300	125	321	АБВбШнг 3 х 120	15,71
Лебідки	10	38	50	АБВбШнг 3 х 10	1,81
Насос місцевого водовідливу	10	25,9	50	АБВбШнг 3 х 10	1,24
Вентилятор місцевого провітрювання	20	20,7	50	АБВбШнг 3 х 10	1,97
Зборка №3 (на поверхні)					
Магістральний	70	134,4	204	АБВбШнг 3 х 95	4,55
Трансформатор електроосвітлення будмайданчика	10	13,7	43	АБВбШнг 3 х 6	1,23
Вентилятор (склад цементу)	10	23,1	43	АБВбШнг 3 х 6	1,83
Механічна майстерня	20	192,4	204	АБВбШнг 3 х 95	1,75
Електроопалення вагончиків	15	38	43	АБВбШнг 3 х 6	5,14
Збірка електроосвітлення тунелів					
Магістральний	300	38	136	АБВбШнг 3 х 50	12,33
Трансформатор освітлення тунелів	100	38	136	АБВбШнг 3 х 50	4,1
Збірка електровозної відкатки					
Магістральний	30	282,6	313	АБВбШв 3 х 185	2,13
Трансформатор жи- влення електровоза	20	142	167	АБВбШв 3 х 70	1,89

2.3. Розрахунок струмів короткого замикання

Підвищення струму в гілках електричної мережі, що з'єднуються з точкою короткого замикання, призводить до значного навантаження на елементи, які переносять струм – кабелі, ізолятори, обмотки трансформатора. Проходження великих струмів призводить до нагрівання жил кабелів і їх ізоляції, що може викликати пожежу. Зниження напруги призводить до порушення нормальної роботи механізмів: при нарузі нижче 70% номінальної напруги двигуна зменшується момент, що призводить до зупинки технологічного процесу. Для мінімізації наслідків короткого замикання важливо якомога швидше відключити пошкоджену ділянку, використовуючи швидкодіючі вимикачі та реле з мінімальним часом на вимкнення[33].

Розрахунок струмів короткого замикання ґрунтується на визначенні найбільшого можливого трьохфазного і найменшого двохфазного струмів короткого замикання.

Струми трьохфазного короткого замикання $I_{кз}^{(3)}$ розраховуються для вибору комутаційної апаратури. Струми двохфазного короткого замикання визначають в кінці захищеної ділянки мережі з метою перевірки надійності спрацювання вибраних установок захисту.

Розрахунок короткого замикання в мережах до 1000 В вимагає врахування опору кожного компонента схеми (таких як трансформатори струму, шини, котушки розчеплювачів автоматів, контактні з'єднання апаратів та інші), а також урахування активної та реактивної складових опору. Розрахунки струмів короткого замикання проводяться відповідно до встановлених стандартів. Струми короткого замикання розраховуються в іменованих одиницях.

Слід зазначити, що у схемі електропостачання є елементи такі як освітлення тунелю та вентилятори головного провітрювання, які резервуються додатковим джерелом живлення. Тому для них розраховуємо струми КЗ для двох випадків живлення і в подальших розрахунках приймаємо найбільше

значення струму з розрахованих, так як обладнання має бути розраховане для найбільш несприятливих умов.

Для визначення струмів короткого замикання складається однолінійна схема електропостачання ділянки (КТПН– споживачі) та її розрахункову схему заміщення; уточнюють точки короткого замикання на схемі; обчислюється сумарний опір кожної вітки мережі ($\sum R$, $\sum X$) до певної точки короткого замикання, включаючи опір зовнішньої системи $X_{з.с.}$ опір високовольтного кабелю $R_{в.к.}$, $X_{в.к.}$, трансформатора R_T , X_T , магістрального $R_{м.к.}$, $X_{м.к.}$, та гнучкого $R_{г.к.}$, $X_{г.к.}$ кабелів діляничної мережі, якщо такі наявні [33].

Трьохфазний струм короткого замикання:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{сн}}{\sqrt{3}Z} = \frac{U_{сн}}{\sqrt{3}\sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}}; \quad (2.11)$$

де $U_{сн} = 400$ - середня номінальна напруга ступеню короткого замикання, В;

Двохфазний струм короткого замикання:

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{U_{сн}}{2 \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} = 0,866 \cdot I_{кз}^{(3)} \quad (2.12)$$

Опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{н.т.}^2); \quad (2.13)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (2.14)$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{с.н.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{н.т.}; \quad (2.15)$$

де: ΔP_K - втрати короткого замикання трансформатора, Вт; $I_{н.т.}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора. А; U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

Активний опір кабельних ліній (алюмінієвих), що живить споживачів низької напруги (Ом) (довжину кабельної лінії переводимо в кілометри):

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{32 \cdot 70} \cdot 0,025 = 0,0112 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,07$ Ом/км - реактивний опір кабельних ліній низьковольтних споживачів довжиною 1 км;

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,07 \cdot 0,025 = 0,00175 \text{ Ом};$$

Розрахунки струмів короткого замикання зводимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок струмів КЗ дільниці

$I^{(2)}_{\text{кз}}, \text{А}$	$I^{(1)}_{\text{кз}}, \text{А}$	$Z_{\text{сб}}, \text{Ом}$	$\Sigma R, \text{Ом}$	$\Sigma X, \text{Ом}$	$R_{\text{гк}}, \text{Ом}$	$X_{\text{гк}}, \text{Ом}$	$R_{\text{сб}}, \text{Ом}$	$X_{\text{сб}}, \text{Ом}$	$R_{\text{лн}}, \text{Ом}$	$X_{\text{лн}}, \text{Ом}$	Точ. КЗ
14	1919,7	0,1043	0,019	0,1025	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	1
1602,6	1852,7	0,1248	0,0646	0,1068	-	0,0188	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁
1018,3	1177,3	0,1964	0,1636	0,1087	0,099	0,0019	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₂
1530,2	1769	0,1307	0,0743	0,10757	0,0097	0,00077	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₃
1339,6	1548,7	0,1493	0,1028	0,10825	0,0382	0,00145	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₄
779,1	900,7	0,2567	0,2315	0,11088	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₅
265,6	307,1	0,753	0,7415	0,13098	0,51	0,0201	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₆
729,1	842,9	0,2743	0,2506	0,11161	0,0191	0,00073	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₇
729,1	842,9	0,2743	0,2506	0,11161	0,0191	0,00073	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₈
684,4	791,3	0,2922	0,2697	0,11233	0,0382	0,00145	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₉
910,7	1052,9	0,2196	0,1541	0,1564	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₀
777,3	898,6	0,2573	0,2036	0,15735	0,0495	0,00095	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₁
777,3	898,6	0,2573	0,2036	0,15735	0,0495	0,00095	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₂
774,6	895,5	0,2582	0,1927	0,1718	0,0386	0,0154	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₃
720,5	832,9	0,2776	0,22835	0,15783	0,07425	0,00143	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₄
1855,3	2144,8	0,1078	0,02705	0,10433	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₅
1811,6	2094,3	0,1104	0,03242	0,10556	0,00537	0,00123	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₆
1277,1	1476,5	0,1566	0,09957	0,12093	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₇
1715,3	1983	0,1166	0,053	0,10384	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₈
1876,2	2169	0,1066	0,02437	0,10373	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₁₉
1876,2	2169	0,1066	0,02437	0,10373	-	-	0,01349	0,102	0,0055	0,0005	K ₂₀
											K ₂₁

2.3.1 Перевірка електричної мережі за пусковим режимом

Перевірка кабельної мережі за умовами пуску найбільш потужного та віддаленішого асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором полягає в тому, щоб забезпечити мінімально допустимий рівень напруги на його затискачах. Допустиме зменшення напруги обумовлюється допустимим зменшенням пускового моменту за умовою зрушення з місця.

$$U_{n.min} \geq 1,1U_n \sqrt{KM_{n.об} / M_{n.об}} = 1,1U_n \sqrt{K/a} \quad (2.16)$$

де $M_{н.дв} = 9550 P_n / n_n$ - номінальний момент електродвигуна, Нм;
 $a = M_{п.дв} / M_{н.дв}$ - таблична кратність пускового моменту; $M_{п.дв}$ - початковий пусковий момент, Нм; K - мінімальна кратність пускового моменту, яка забезпечує зрушення з місця і розгін машини.

Збірка №1 (комплекс) Лебідки лісоспуску $P_n = 28$ кВт.

Мінімальна напруга на затискачах:

$$U_{n.min} \geq 1,1U_n \sqrt{KM_{n.об} / M_{н.об}} = 1,1U_n \sqrt{K/a} = 1,1 \cdot 380 \sqrt{1,2/2} = 324 \text{ В}$$

Для визначення напруги на затискачах двигуна:

$$U_n = \frac{U_x - \Delta U_{н.р}}{1 + 3nI_n (\sum R \cos \varphi_n + \sum X \sin \varphi_p) / U_n} \quad (2.17)$$

де $\Delta U_{н.р}$ - втрата напруги в мережі від решти працюючих двигунів при номінальній напрузі у тій частині мережі, з якої живиться двигун що запускається, В; n - кількість двигунів, що одночасно вмикаються і живляться з одного кабелю; I_n - початковий пусковий струм двигуна, А; $\cos \varphi_n$ - коефіцієнт потужності двигуна при пуску; $\sum R$ - сумарний активний опір трансформатора R_T , магістрального $R_{м.к}$ та живлячого $R_{г.к}$ кабелів, Ом;

$$\sum R = R_T + R_{м.к} + R_{г.к} = R_T + r_{м.к} L_{м.к} + r_{г.к} L_{г.к} \quad (2.18)$$

Аналогічно сумарний реактивний опір

$$\sum X = X_T + X_{м.к} + X_{г.к} = X_T + X_{м.к} L_{м.к} + X_{г.к} L_{г.к} \quad (2.19)$$

Напруга на затискачах двигуна при його пуску

$$U_n = \frac{U_x - \Delta U_{n,p}}{1 + 3nI_n (\sum R \cos \varphi_n + \sum X \sin \varphi_p) / U_n} = \frac{400 - 9.35}{1 + 3 \cdot 144(0.1028 \cdot 0.88 + 0.10825 \cdot 0.47) / 380} = 336.8 \quad B$$

$$U_n \geq U_{n \min} \quad 336.8 \geq 324 \quad B$$

Аналогічно проводяться розрахунки для інших збірок.

Збірка №2 (в електрокамері). Блокоукладач $P_H=30$ кВт. Мінімальна напруга на затискачах:

$$U_{n,\min} \geq 1,1U_n \sqrt{KM_{n,\text{дв}} / M_{n,\text{дв}}} = 1,1U_n \sqrt{K/a} = 1.1 \cdot 380 \sqrt{1.1/2.5} = 277.3 \quad B$$

де $K=1,1$; $a=2.5$

$$\cos \varphi_n = 0.9 \quad \sin \varphi_n = \sqrt{1 - 0.9^2} = 0.436$$

$$U_n = \frac{400 - 5.02}{1 + 3 \cdot 134.5 \cdot (0.2956 \cdot 0.9 + 0.13098 \cdot 0.436) / 380} = 294.8 \quad B$$

$$U_n \geq U_{n \min} \quad 294.8 \geq 277.3 \quad B$$

Вентилятор головного провітрювання $P_H=80$ кВт. Мінімальна напруга на затискачах:

$$U_{n,\min} \geq 1.1 \cdot 380 \sqrt{0.6/2} = 229 \quad B'$$

$$\cos \phi_n = 0.92 \quad \sin \phi_n = \sqrt{1 - 0.92^2} = 0.392$$

$$U_n = \frac{400}{1 + 3 \cdot 506.7 \cdot (0.02437 \cdot 0.92 + 0.10373 \cdot 0.392) / 380} = 319.5 \quad B$$

$$U_n \geq U_{n \min} \quad 319.5 \geq 229 \quad B$$

2.4. Вибір апаратури керування і захисту

2.4.1. Вибір автоматичних вимикачів.

Автоматичні вимикачі вибирають по призначенню, по номінальній напрузі мережі $U_{нс}$, розрахунковим струмам I_p і перевіряють по критичному струму вимикання. При цьому повинна виконуватися умова :

$$I_{н.а} \geq I_p; U_{на} = U_{нс}; I_B \geq 1,2I_K^{(3)} \quad (2.20)$$

де $I_{н.а}$, $U_{на}$ - номінальний струм і напруга автомата; $I_{в}$ - критичний струм автомата, що вимикається; $I_{к}^{(3)}$ - струм трьохфазного короткого замикання.

Вибираємо автоматичні вимикачі серії ВА, ВАО, АО з відповідними струмами уставок.

2.4.2. Вибір магнітних пускачів.

Магнітні пускачі вибирають по номінальній напрузі мережі $U_{нс}$. Номінальним струмом двигуна $I_{нд}$, а також по потужності режиму роботи двигуна

$$I_{н.п} \geq I_{нд}; \quad U_{нп} = U_{нс}; \quad P_{mj} \geq P_{нд} \quad (2.21)$$

де $I_{н.п}$, $U_{нп}$ - номінальний струм і напруга пускача; $P_{нд}$ - номінальна потужність двигуна; P_{mj} - максимальна потужність двигуна в залежності від j -тої категорії по ДСТУ 2846-94 [31].

Вибираємо магнітні пускачі серії ПМЛ. Вибір автоматичних вимикачів і магнітних пускачів зводимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.9 - Вибір автоматичних вимикачів і магнітних пускачів.

Споживач електроенергії	I_p , А	Тип ап-ту	$I_{на}$, А	$I_{кз}^{(2)}$	$I_{доп,а}$, А
1	2	3	4	5	6
Лебідки лісоспуску	72	ПМЛ 511002	80	1018,3	-
Механізми естакад	88	ПМЛ 610002	125	1530,2	-
Трансформатор освітлення ствола	9	АП50	10	1339,6	2000
Блокоукладач	24,9	ПМЛ 211002	25	265,6	-
Лебідки	13,9	ПМЛ 211002	25	729,1	-
Насос місцевого водовідливу	6,1	ПМЛ 151102	10	729,1	-
Вентилятор місцевого провітрювання	6,1	ПМЛ 151102	10	684,4	-
Вентилятор (склад цементу)	38	ПМЛ 210002	40	777,3	-
Механічна майстерня	6,1	ПМЛ 151102	10	777,3	-

Продовження таблиці 2.9

Освітлення будмайданчика	38	АП50	50	774,6	6000
Електроопалення вагончиків	31,9	ПМА 22112 АП50Б	40 50	720,5	-
Трансформатор електроосвітлення тунелів	25,6	BAO4-36 BAO4-36	40 80	1277,1	6000
Трансформатор електровозної відкати	13,1	BAO4-36 BA52-39	160 320	1855,3	6000
Збірка №1	116	BA5239	400	1602,6	-
Збірка №2	135	BA5239	400	779,1	-
Збірка №3	114	BA5239	400	910,7	-

2.4.3. Добір плавких вставок запобіжників.

В багатьох розподільчих шкафах захист від струмів КЗ забезпечується з допомогою запобіжників. Номінальний струм плавкої вставки $I_{н.в.}$ запобіжників:

– для захисту магістральної лінії

$$I_{н.в.} \geq I_{п.мах}/(1,6 \dots 2,5) + \sum_{i=1}^{K=n} I_{н.i} \quad (2.22)$$

– для захисту відгалуджень:

з асинхронним короткозамкненням двигуном:

$$I_{н.в.} \geq I_{п.н}/(1,6 \dots 2,5); \quad (2.23)$$

з освітлювальним навантаженням

$$I_{н.в.} \geq I_{р.о}; \quad (2.24)$$

Для встановлення в запобіжник приймають плавку вставку з номінальним струмом, найбільш близьким до розрахункового. Надійність спрацювання плавкої вставки при мінімальних струмах КЗ перевіряють за умовою:

$$I_{кз}^{(2)} / I_{н.в.} \geq (4 \dots 7); \quad (2.25)$$

Для захисту магістральних кабелів застосовуємо кінцеві вимикачі серії БВП. Вибрані запобіжники зводимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Вибір запобіжників та кінцевих вимикачів.

Споживач електроенергії	I_p , А	I_n , А	$I_{кз}^{(2)}$, А	$I_{н.п.}$, А	$I_{н.в.}$, А	Тип Запоб.
1	2	3	4	5	6	7
Лебідки лісоспуску	72	144	1018,3	160	125	ППН-35
Механізми естакад	88	160	1530,2	160	125	ППН-35
Трансформатор освітлення ствола	9	-	1339,6	160	125	ППН-35
Блокоукладач	74	134,5	265,6	160	160	ППН-35
Лебідки	45	75	729,1	160	120	ППН-35
Насос місцевого водовідливу	16,5	55	729,1	120	63	ППР-35
Вентилятор місцевого провітрювання	22,7	75,7	684,4	120	80	ППР-35
Вентилятор (склад цементу)	13,2	44	777,3	120	40	ППН-35
Механічна майстерня	101,2	168,7	777,3	160	160	ППР-35
Трансформатор освітлення будмайданчика	9	-	774,6	120	25	ППН-35
Електроопалення вагончиків	9,4	15,7	720,5	120	25	ППН-35
Споживач	I_p , А	I_n , А	$I_{кз}^{(2)}$, А	$I_{н.п.}$, А	Тип апарату	
1	2	3	4	5	6	
Магістральний кабель Збірка№1	123,8	-	1602,6	300	БВП-4	
Магістральний кабель Збірка№2	274,1	-	779,1	400	БВП-4	
Магістральний кабель Збірка№3	134,4	-	910,7	200	БВП-2	
Магістральний кабель електровозна відкатка	142	-	1855,3	250	БВП-4	
Магістральний кабель електроосвітлення тунелів	38	-	1277,1	100	БВП-2	
Магістральний кабель машина підйома	301	627,1	1755,3	400	БВП-4	
Магістральний кабель насос гол.вод.	140	467	1876,2	400	БВП-4	
Магістральний кабель вентилятор гол.пров.	152	506,7	1876,2	600	БВП-6	

2.4.4. Вибір розподільчих шкафів.

Розподільчі шкафи вибирають по вхідному стуму зборки, а також по кількості виходів.

Збірка № 1 (комплекс). Вибираємо силову зборку типу СПУ62-3/1: номінальний струм входу $I_{вх} = 250$ А, кількість запобіжників ППН – 35 5 х 100.

Збірка № 2 (в електрокамері). Вибираємо силову зборку типу 2СПУ62-3/1: номінальний струм входу $I_{вх} = 250$ А, кількість запобіжників ППН – 35 5 х 100.

Збірка № 3 (на поверхні). Вибираємо силову зборку типу СПУ62-3/1): номінальний струм входу $I_{вх} = 250$ А, кількість запобіжників ППН – 35 5 х 100.

2.5 Основні енергетичні показники підприємства та компенсація реактивної потужності

Наближені втрати активної і реактивної потужності в трансформаторі (ТМ 630/10) підстанції:

$$\Delta P_T \approx 0,02 \cdot S_{\text{НОМ.Т}} = 0.02 \cdot 630 = 12,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T \approx 0,1 \cdot S_{\text{НОМ.Т}} = 0.1 \cdot 630 = 643 \text{ КВАр};$$

Визначення річних втрат активної енергії в трансформаторі за формулою з врахування постійних втрат і втрат від завантаження:

$$\Delta W_{\text{ТР}} = \Delta P_X \cdot T_p + \beta^2 \cdot P_K \cdot t; \quad (2.26)$$

де $P_{\text{ХХ}}$, P_K – задані в параметрах трансформатора ТМ 630 (табл. 2.3); T_p – кількість роботи днів трансформатора у році; t – кількість годин використання втрат. T_p – час (годин) роботи підприємства в рік.

У період військового стану будівельна промисловість значно змінила свій графік роботи як і її умови. З одної сторони – з'явилися випадкова величина – час простою під час повітряних робіт, а з іншої зменшилась кількість інвестицій. Проте будівництво тунелів метрополітену Києва продовжується і зараз, хоч і терміни робіт значно зсунуті.

Крім цього, у період локдаунів 2020-2021 років, а також першої половини 2022 року підприємство простоювало, що мало відгук на енергетичних

показниках підприємства – низька завантаженість підстанцій, не виконання корисної роботи. Тому відповідно до цих умов приймаємо $T_M = 2700$ годин.

$$t = 8760 \cdot (0,124 + T_M \cdot 10^{-4}) = 8760 \cdot (0,124 + 2700 \cdot 10^{-4}) = 3351,4 \text{ год};$$

Коефіцієнт завантаженості трансформатора КТПН №1 (електровоз, Вентилятор головного провітрювання, насос головного водовідливу, освітлення, збірка №1 та секція 1 збірки №2), а КТПН №2 (Машина підйомна, секція 2 збірки №2, збірки №3) відповідно:

$$\beta_{T1} = \frac{S_p}{S_{н.т.}} = \frac{379,96}{630} = 0,6031$$

$$\beta_{T2} = \frac{S_p}{S_{н.т.}} = \frac{298,98}{630} = 0,47456$$

$$\Delta W_{TP1} = 1,31 \cdot 8760 + 0,6031^2 \cdot 8,5 \cdot 3351,4 = 21837,13 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_{TP2} = 1,31 \cdot 8760 + 0,47456^2 \cdot 8,5 \cdot 3351,4 = 17891,1 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Річні втрат реактивної потужності в трансформаторі за формулою:

$$\Delta V_{TP} = \Delta Q_\mu \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta Q_K \cdot t; \quad (2.27)$$

Втрати в контурі намагнічення:

$$\Delta Q_\mu = I_{X\%} \cdot \frac{S_{н.т.}}{100} = 2 \cdot \frac{630}{100} = 12,6 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_K = U_{K\%} \cdot \frac{S_{н.т.}}{100} = 5,5 \cdot \frac{630}{100} = 34,65 \text{ кВАр};$$

$$\Delta V_{TP1} = 12,6 \cdot 8760 + 0,6031^2 \cdot 34,65 \cdot 3351,4 = 152614,5 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

$$\Delta V_{TP2} = 12,6 \cdot 8760 + 0,47456^2 \cdot 34,65 \cdot 3351,4 = 136528,4 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

Втрати в кабелях ліній електропередач розраховуються за формулами:

$$\Delta W_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot R_{Li} \cdot t}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (2.28)$$

$$\Delta V_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot X_{Li} \cdot t}{1000}, \text{ кВАр} \cdot \text{год}; \quad (2.29)$$

Кількість переданої через трансформатори активної енергії за рік з врахуванням втрат в трансформаторі та лініях:

$$W_{річне} = S_p \cdot \cos \varphi \cdot T_M + \Delta W_{TP1-2} + \sum \Delta W_L \quad (2.30)$$

$$V_{річне} = S_p \cdot t g \varphi \cdot T_M + \Delta V_{TP1-2} + \sum \Delta V_L. \quad (2.31)$$

Результати зводяться в таблицю 2.10.

$$W_{\text{річне}} = 678,94 \cdot 0,674 \cdot 2700 + 21837,13 + 17891,1 + 64345,11 = 1339,6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$V_{\text{річне}} = 678,94 \cdot 0,702 \cdot 2700 + 14563,56 + 152614,5 + 136528,4 = 1590,57 \text{ МВАр} \cdot \text{год}$$

Таблиця 2.10 - Розрахунки річних витрат електроенергії

Призначення кабелю	Дов- жина L, м	I _p , А	S мм ²	R _л	X _л	ΔW _p , кВт·год	ΔV _p , квар·год
1	2	3	4	5	6	7	8
Збірка №1 (комплекс)							
Магістральний	70	123,8	50	0,04375	0,0049	6741,66	755,066
Трансформатор освітлення ствола Механізми естакад	20	1,8	6	0,104167	0,0014	3,393293	0,045606
	10	73,6	25	0,0125	0,0007	680,79	38,12424
Лебідки лісоспуску	20	48,4	10	0,0625	0,0014	1472,035	32,97359
Збірка №2 (в електрокамері)							
Магістральний	125	274,1	120	0,032552	0,00875	24589,2	6609,577
Блокоукладач	300	125	120	0,078125	0,021	12273,19	3299,034
Лебідки	10	38	10	0,03125	0,0007	453,6958	10,16279
Насос місцевого водовідливу	10	25,9	10	0,03125	0,0007	210,7643	4,721121
Вентилятор місцевого прівітрювання	20	20,7	10	0,0625	0,0014	269,2578	6,031374
Збірка №3 (на поверхні)							
Магістральний	70	134,4	95	0,023026	0,0049	4181,87	889,9019
Трансформатор електроосвітлення будмайданчика	10	13,7	6	0,052083	0,0007	98,28504	1,320951
Вентилятор (склад цементу)	10	23,1	6	0,052083	0,0007	279,4282	3,755515
Механічна майстерня	20	192,4	95	0,006579	0,0014	2448,579	521,0575
Електроопалення вагончиків	15	38	6	0,078125	0,00105	1134,239	15,24418
Магістральний	300	38	50	0,1875	0,021	2722,175	304,8836
Трансформатор освітлення тунелів	100	38	50	0,0625	0,007	907,3916	101,6279
Збірка електроосвітлення тунелів							
Магістральний	30	282,6	185	0,005068	0,0021	4069,035	1686,208
Трансформатор жи- влення електровоза	20	142	70	0,008929	0,0014	1810,115	283,826
Сума						64345,11	14563,56

Відсоток втрат за рік:

$$W_{\text{річне}\%} = \frac{\Delta W_{\text{втрат}}}{W_{\text{річне}}} \cdot 100\% = \frac{104,07}{1339,6} \cdot 100\% = 7,77\%;$$

$$V_{\text{річне}\%} = \frac{\Delta V_{\text{втрат}}}{V_{\text{річне}}} \cdot 100\% = \frac{303,71}{1590,57} \cdot 100\% = 19,1\%;$$

Висновки за розділом

1. Розробка метрополітену потребує підвищених стандартів електропостачання. При будівництві промислових електромереж враховують категорію електроприймачів для прийняття оптимальних рішень. На практиці розглядають декілька варіантів, вибираючи той, що забезпечує необхідну надійність електропостачання з мінімальними витратами. Критерії включають якість енергії для приймачів, зручність і безпеку обслуговування, а також можливість розвитку мережі для підключення нових споживачів.

2. Проведено розрахунки освітлення підземних виробок, освітлення камери головної водовідливної установки, розрахунок потужності на освітлення, вибрано освітлювальні трансформатори. За результатами розрахунків електричних навантажень було вибрано два трансформатори ТМ-630/10/0.4 У1.

3. Проведено розрахунки дільничної кабельної мережі, струмів короткого замикання. Здійснено перевірку електричної мережі за пусковим режимом, вибір апаратури керування і захисту за значеннями робочого струму і струмами короткого замикання.

4. Підприємство характеризується наступними техніко-економічними показниками: коефіцієнт потужності – 0.702, втрати активної енергії (трансформатор та лінії) - 104,07 МВт·год, реактивної - 303,71 МВАр·год, а річні витрати активної енергії становлять 1339.6 МВт·год. Також було пораховано втрати енергії в лініях, що наведені в табл. 6.3.

5. Аналізуючи розраховані показники, нижче наведена інформація та рекомендації щодо їх покращення.

5.1 Основними споживачами будмайданчику є електродвигуни асинхронні, то маємо значні показники споживання реактивної енергії. Тому рекомендується встановити компенсатори реактивної потужності – на базі конденсаторних батареї або синхронних компенсаторів. Дане рішення дозволить зменшити потужність трансформаторів з 630 до 400 кВА і збільшить їх коефіцієнт завантаження разом коефіцієнтом потужності.

5.2 Втрати потужності у лініях становлять понад 64 МВт*год, тому є доцільним змінити кабельні лінії з алюмінію на мідні кабелі, які мають кращі показники провідності і як наслідок менші втрати потужності.

5.3 Заміна релейних схем на мікропроцесорні пристрої управління, сигналізації та захисту: REST.01-101, РЗА РС80-М2-5, РС80М2-5і, що в свою чергу підвищить безпеку, дозволить програмне налаштування процесів захисту і розподілу.

5.4 Встановлення енергоефективніших двигунів (Стандарт ІЕ2 і вище) в застосуванні з частотнорегульованим проводом чи іншими адаптивними системами *Пристрій плавного пуску, тощо) дозволить знизити енерговитрати, особливо в насосних та вентиляторних установках.

5.5 Заміна світильників з люмінесцентними лампами та лампами накаливання на енергоефективні світлодіодні в корпусі з спеціальним захистом від вологи та пилу (шахтне виконання).

3 Обґрунтування параметрів адаптивного термоподатчика гідромолота з ефектом пам'яті форми

3.1 Аналіз джерел інформації щодо матеріалів з ефектом пам'яті форми

Ефект пам'яті форми (ЕПФ) – це фізичне явище, при якому пластично деформований метал відновлює його попередню форму при нагріванні [9].

Це явище обумовлено зміною структури кристалічної решітки від початкової батьківської до мартенситної. Цей перехід схематично зображено на рисунку 3.1. Такі переходи не зв'язані із дифузією чи зміною хімічного складу та являються основою високотемпературних методів обробки багатьох металів.

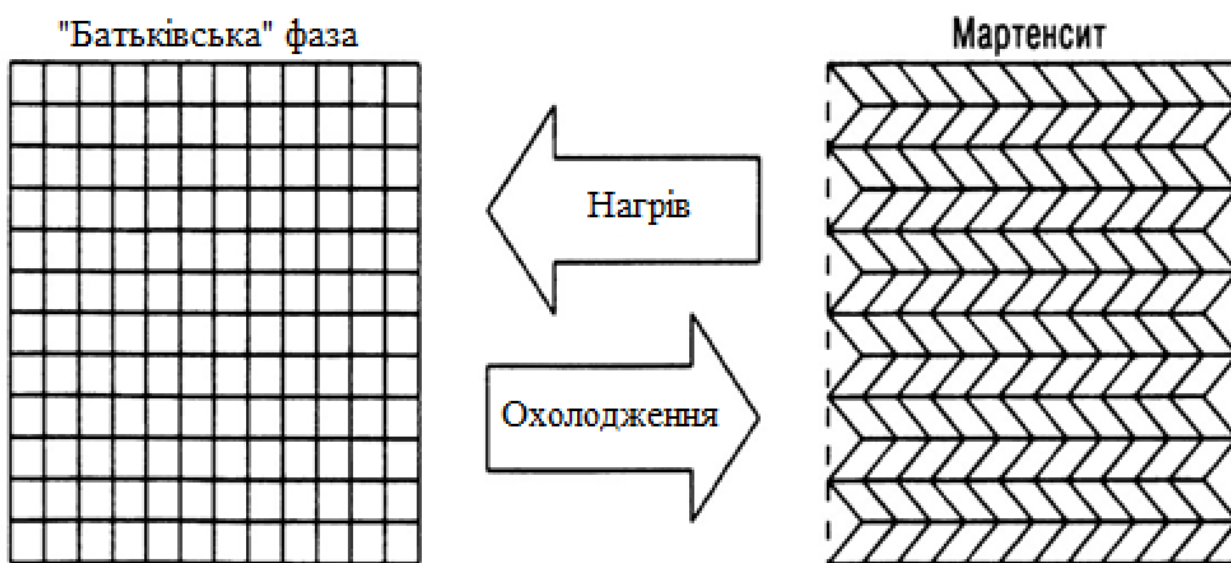


Рисунок 3.1 - Перехід сплаву з ЕПФ від початкової фази до мартенситної

Термічно ініційований перехід в мартенситну фазу відбувається при зниженні температури (рисунок 3.2). Поступове перетворення починається при температурі M_s (температурі ініціації мартенситного перетворення), та доля мартенситної фази збільшується при зниженні температури до повного завершення переходу при температурі M_f . При нагріванні мартенситні зерна, сформовані останніми, першими повертаються до початкової фази, та зворотній

перехід продовжується до температури A_f , за якої повністю відновлюється початкова фаза. Ширина гістерезисної кривої між прямим та зворотнім переходом у сплавах з ефектом пам'яті форми знаходиться між 10 та 50 $^{\circ}\text{C}$.

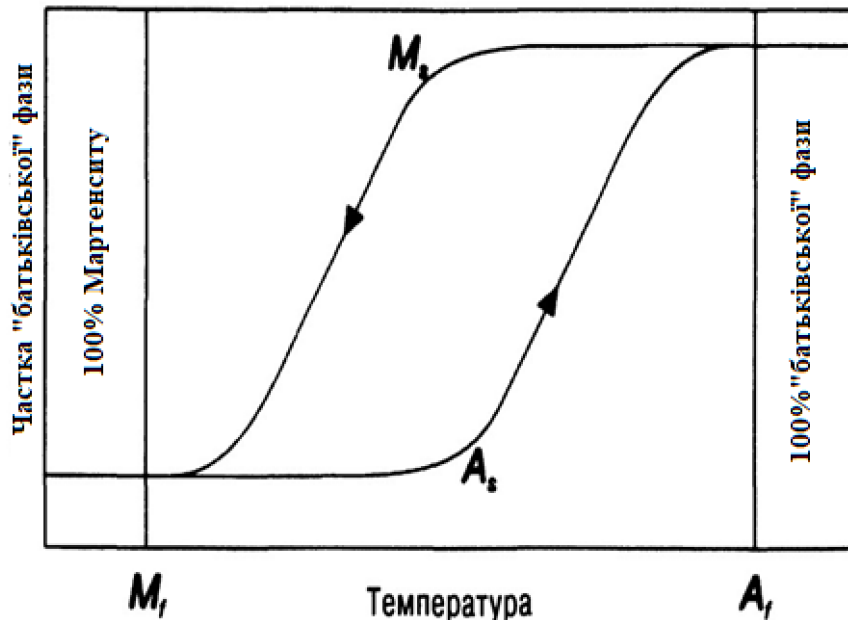


Рисунок 3.2 - Термічно ініційований перехід в мартенситну фазу

Розрізняють сплави з ефектом односторонньої пам'яті та двосторонньої пам'яті. На рисунку 3.3 схематично зображена діаграма деформування, що демонструє макроскопічне поведіння металів з одностороннім ефектом пам'яті форми. Якщо такий сплав деформують в мартенситному стані, після розвантаження залишиться значна пластична деформація. Якщо сплав нагріти до температури, що перевищує температуру мартенситного переходу, то залишкова деформація повністю відновиться, та зразок поверне свою первинну форму. Тобто, сплави з ефектом односторонньої пам'яті запам'ятовують лише одну «гарячу» форму початкової фази.

Проте метали з ефектом пам'яті форми можна обробити так, щоб вони відновлювали форму і в гарячому, і в холодному стані. Це явище називають ефектом двосторонньої пам'яті, при цьому деталь може циклічно змінювати свою форму без прикладання зовнішнього навантаження.

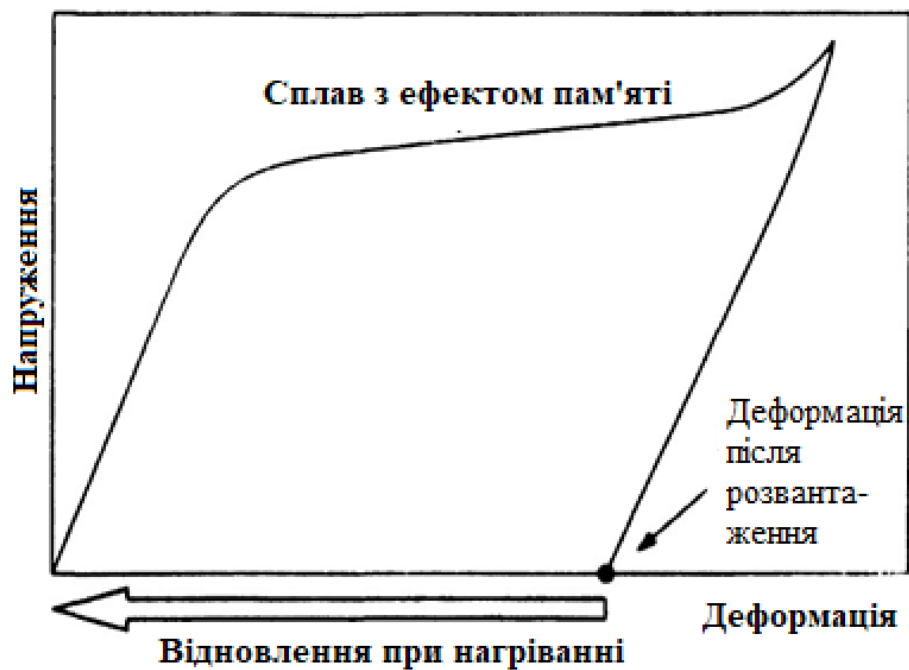


Рисунок 3.3 - Діаграма деформування

Вперше суперпружна поведінка, яка є основою ефекту пам'яті форми, в сплаві Au-Cd спостерігав у 1932 році Оландер, який назвав його каучукоподібною поведінкою. Але визначення ефекту пам'яті як властивість матеріалу впровадили у 1963 році Бюлер із співавторами, при дослідженні сплавів NiTi [10].

Не дивлячись на велику кількість сплавів, в яких спостерігається ефект пам'яті форми, на практиці частіше за все використовується сплав NiTi. Це обумовлено великою кількістю відновлюваної деформації та чудовою корозійною стійкістю, так як навколо них утворюється захисна поверхнева плівка діоксиду титану TiO_2 , яка забезпечує корозійну стійкість, зрівняну із нержавіючою сталлю. Ретельне дотримання технології отримання NiTi дозволяє контролювати температуру фазового переходу, створюване напруження та величину виконуваної роботи .

Сплави NiTi мають найбільшу відновлювану деформацію (до 10%), температуру фазового перетворення від -200 до +100 С, низьку електричну провідність, що дозволяє використовувати їх у безпосередній близькості від електричного струму.

Явище пам'яті форми сплаву NiTi було відкрито Бюлером із співавторами в Військово-морській артилерійській лабораторії США, і цей сплав часто називають нітінолом. Ефект пам'яті форми спостерігається в сплавах NiTi у вузькому інтервалі концентрації, що відповідає 50 атомних відсотків нікелю і 50% титану. Зміна складу хоча б на 0,1 атомний відсоток може змінити температуру переходу на 20 і більше градусів. Для забезпечення однорідності сплаву використовують індукційне плавлення металу.

Щодо механічних властивостей сплаву NiTi [11], то вони залежать від температури, фазового складу сплаву та температури переходу із одного стану в інший (рисунок 3.4).

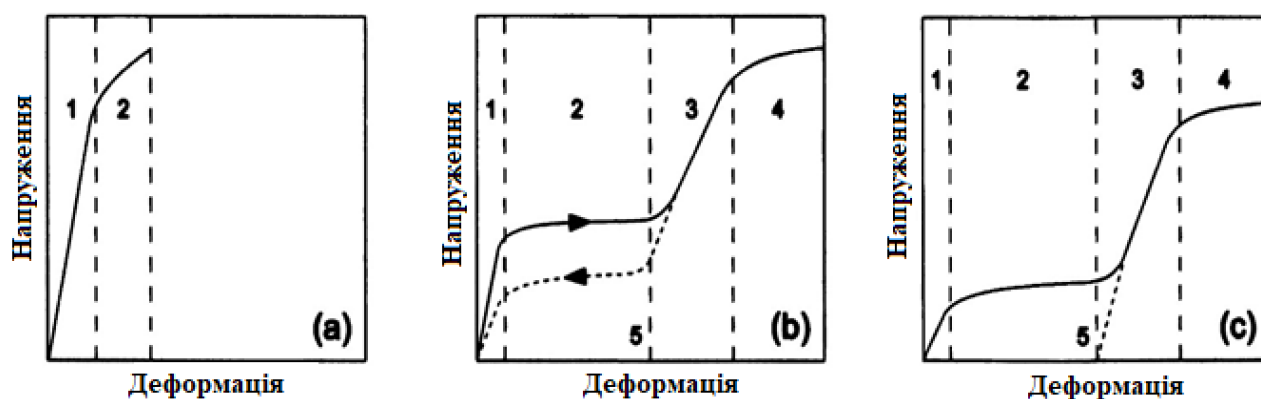


Рисунок 3.4 - Механічні властивості сплаву NiTi

Рисунок 3.4.а демонструє поведінку сплаву NiTi за температури, вищої від M_d , коли всі кристаліти знаходяться в первинній фазі, і вимушений мартенситний перехід не відбувається навіть під напругою. Сплав деформується лінійно-пружно до деформації 0,5% (ділянка 1), після чого починається пластичний рух (ділянка 2). Така поведінка притаманна звичайним металам.

При температурі вище A_f , але нижче M_d (рисунок 3.4.б) на ділянці 1 метал знаходиться в первинній фазі та поводить себе пружньо. При деякому напруженні починається вимушений мартенситний перехід, та подальша деформація супроводжується збільшенням частки мартенситної фази. Якщо сплав розвантажити, то відбудеться суперпружне відновлення форми,

зображене штриховою лінією. Проте, якщо його деформувати й надалі, то мартенситна фаза починає деформуватися спочатку пружньо (ділянка 3), а потім пластично на ділянці 4.

На рисунку 3.4.в зображено діаграму деформування сплаву при температурі нижче M_f , коли він знаходиться в мартенситному стані. Після пружнього деформування (ділянка 1) мартенситні варіанти починають переорієнтовуватись за постійного напруження (ділянка 2). Подальше навантаження призводить до пружньої деформації мартенситної фази (ділянка 3), після чого почнеться пластична деформація (ділянка 4). Якщо сплав розвантажити в області 3, матеріал збереже залишкову деформацію (ділянка 5), яка може бути відновлена шляхом нагрівання.

Головний напрям використання сплавів з пам'яттю форми – приводи, що перетворюють теплову енергію в рух чи механічну роботу.

Силові приводи із сплавів пам'яті форми мають ряд переваг: високу діючу силу; великі відновлювані деформації; різні види деформацій (розтягнення, стиснення, згинаючі, крутні); велику питому величину роботи у розрахунку на одиницю маси.

Ефект пам'яті форми в сплаві TiNi, стимульований нейтронним опроміненням Ефект пам'яті форми (ЕПФ) в попередньо деформованих сплавах реалізується в процесі нагрівання через інтервал температур A_s - A_f , де A_s - температура початку зворотного мартенситного перетворення, A_f - температура його закінчення. При цьому непружна деформація в залежності від величини попередньої деформації і властивостей матеріалу повністю або частково відновлюється. ЕПФ можна ініціювати і в ізотермічних умовах, якщо за рахунок якого-небудь фізичного впливу на матеріал знижувати температури зворотного мартенситного переходу так, щоб вони досягли температури випробування.

В якості прикладу можна навести гідростатичний тиск, яке, знижує температури перетворень в сплаві TiNi з темпом 0.03 К/МПа. За певних умов поступове підвищення тиску супроводжується синхронним поверненням

непружної деформації.

Ще одним фактором, що призводить до зменшення температур мартенситних перетворень в сплаві TiNi, є нейтронне опромінення. В цілому ряді робіт встановлено, що опромінення сплаву TiNi в атомному реакторі при температурах, менших $0.3T_m$ (T_m - температура плавлення), призводить до зниження температур перетворень з ростом флюенса нейтронів. Це зниження тим значніше, чим менше температура опромінення. Очевидно, що цей ефект вказує на можливість реалізації радіаційно стимульованого ЕПФ в сплавах на основі TiNi за умови опромінення в низькотемпературному (мартенситном) стані ($T_{irr} < A_s$) з набором флюенса, достатнього для зсуву температури перетворень на величину $\Delta T = A_f - T_{irr}$, где A_f - температура закінчення зворотного мартенситного переходу.

Однак необхідно мати на увазі, що дія нейтронного опромінення не зводиться тільки лише до зміни характеристичних температур структурних перетворень. При опроміненні відбувається аморфізація кристала TiNi. Якщо аморфна фаза буде займати значну об'ємну частку матеріалу до того моменту, коли відбудеться зсув точок переходу на $1T$, то ЕПФ може бути в значній мірі пригнічений або взагалі не буде спостерігатися.

Мета цієї роботи полягала в тому, щоб експериментально перевірити і підтвердити можливість реалізації ЕПФ, стимульованого нейтронним опроміненням, в сплаві TiNi.

Для досліджень був обраний сплав TiNi еквіатомного складу. Зразки відпалювали при температурі 500°C протягом 2 h. Мартенситні перетворення в сплаві вивчали за допомогою диференціального скануючого калориметра Mettler Toledo 882e при швидкості зміни температури 10 K/хв . Калориметричні криві сплаву у вихідному неопромінених стані представлені на рис.3.5. Аналіз показує, що за основними теплофізичних характеристиках (Температурний гістерезис, величина ентальпії) перетворення відповідає $B2 \leftrightarrow B19'$ переходу в нікелідатитану. [9]

Як можна бачити з малюнка, перетворення розвивається за складною

двухстадійної кінетики. Пряме перетворення (в ході охолодження) починається при температурі $M_s = 67 \pm 2^\circ\text{C}$, пік спостерігається при температурі $T_p = 57^\circ\text{C}$, перша стадія закінчується після досягнення $M_{1f} = 44 \pm 2^\circ\text{C}$ і друга – при $M_{2f} = 29 \pm 2^\circ\text{C}$. Перша стадія зворотного перетворення (в ході нагрівання) починається при температурі $A_{1s} = 64 \pm 2^\circ\text{C}$, друга - при $A_{2s} = 75 \pm 2^\circ\text{C}$, температура піку $T_p = 91^\circ\text{C}$, закінчується перетворення при температурі $A_f = 98 \pm 2^\circ\text{C}$. [9]

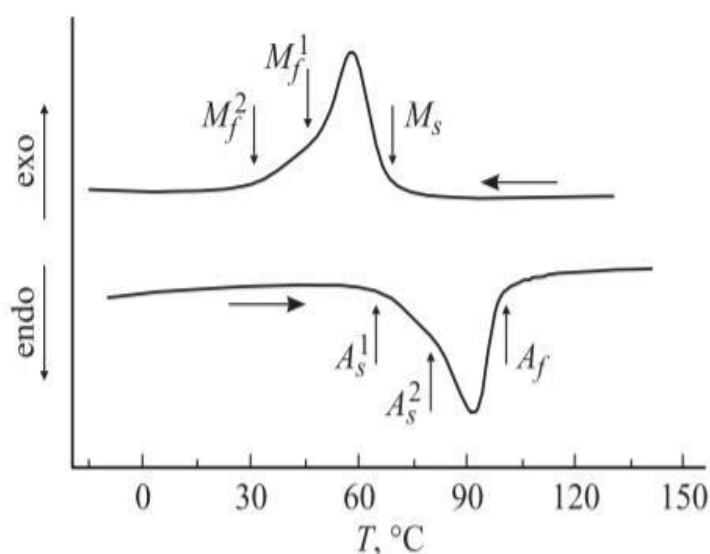


Рисунок 3.5 - Калориметричні криві досліджуваного сплаву TiNi.

Зразки мали циліндричну форму діаметром 14 mm і довжиною 59mm. Їх піддавали стиску при кімнатній температурі (в мартенситних стані) на 3-6% залишкової деформації, після чого частина зразків опромінювали в реакторі ВВР-М Петербурзького інституту ядерної фізики РАН, а інша їх частина перебувала в неопромінених стані при кімнатній температурі. Опромінення проводили в ампулі, конструкція якої забезпечувала контакт поверхні зразка з теплоносієм (водою) в процесі опромінення. Температура теплоносія при роботі реактора на номінальній потужності не перевищувала 45°C . Таким чином, умова $T_{irr} < A_s$ в експерименті було виконано. Зразки опромінювали флюенсом швидких ($E \geq 1 \text{ MeV}$) нейтронів $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ [10].

Для дослідження функціонально механічних властивостей опромінених

зразків було сконструйовано спеціальне вимірювальне обладнання, що дозволяє дистанційно проводити встановлення та витяг зразків в умовах "гарячої" камери, а також здійснювати зміну їх температури в діапазоні від -100 до $+200^{\circ}\text{C}$ з безперервним вимірюванням довжини зразка. Довжину вимірювали з точністю $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$. [11]

Експерименти показали, що неопромінені зразки сплаву TiNi демонструють ЕПФ, як, наприклад, показано на рис. 2.6. Попередньо стислий на 1.94 mm (3.29% залишкової деформації) зразок в процесі нагрівання починає різко збільшуватися при температурі $\approx 75^{\circ}\text{C}$, що збігається з початком другої стадії мартенситного перетворення (рис. 3.5). Подовження закінчується при температурі $\approx 100^{\circ}\text{C}$, що відповідає температурі закінчення перетворення, а поза температурного інтервалу перетворення спостерігається звичайний тепловий розширення матеріалу.

Зразок не повністю відновлює деформацію, подовжуючи лише на 1.50 mm , що відповідає 2.54% деформації. Коефіцієнт повернення деформації, який визначається як відношення величини попередньої залишкової деформації до деформації, підлягає поверненню при нагріванні, становить 77.3%. при наступному термоциклюванні через інтервал температур перетворень матеріал мимовільно стискається під час охолодження і подовжується в процесі нагрівання (рис. 3.6). [9]

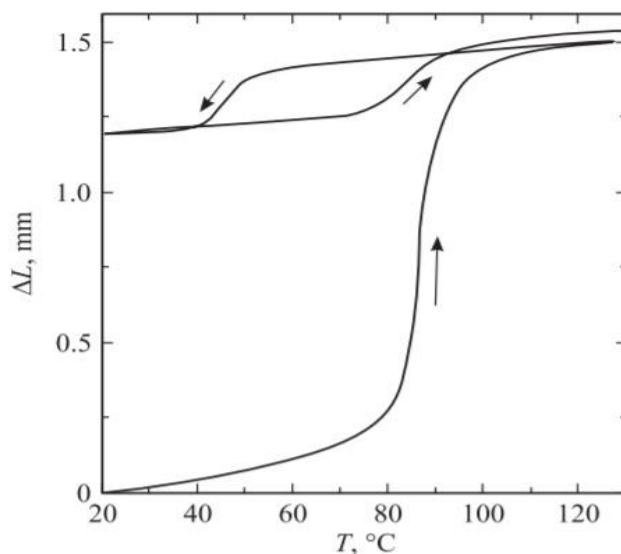


Рисунок 3.6 - Зміна довжини зразка сплаву TiNi при зміні температури.

Попередня залишкова деформація стиску становить 3.29%. Таке формозміна проявляється багаторазово при повторюваних зміни температури, і його називають оборотною пам'яттю форми. Величина деформації при реалізації ефекту оборотної пам'яті форми невелика і в даному випадку становить 0.5%. У реакторі опромінювали як зразки, деформовані до різних ступенів деформації, так і зразки, одноразово нагріті після деформації і проявляють ефект оборотної пам'яті форми при теплосмінах в інтервалі температур мартенситних переходів.

Оскільки опромінення в реакторі супроводжується радіаційним розігрівом металу, були виконані розрахунки температурного поля в зразку стосовно до умов опромінення, реалізованим в експерименті. При цьому вважалось, що температура поверхні зразка дорівнює 50°C , питома потужність тепловиділення складає 4 W / g , а коефіцієнт теплопровідності дорівнює $10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Було встановлено, що на осі циліндра температура досягає 84°C і внутрішня частина зразка приблизно до середини радіусу нагрівається до температур, кілька перевищують температуру початку повернення деформації (75°C), і, отже, знаходиться в двофазному (мартенсит + аустеніт) стані (рис.3.7).

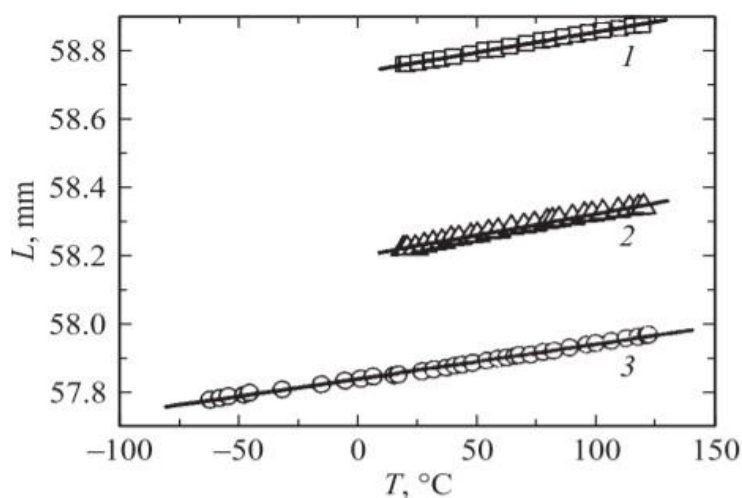


Рисунок 3.7 - Зміна довжини при нагріванні опромінених зразків, попередньо деформованих до залишкової деформації 3.26, 5.24%, і зразка, що демонстрував перед опроміненням ефект оборотної пам'яті форми.

У той же час зовнішні шари знаходяться в мартенситних станах. Важливо, однак, що, згідно з розрахунками, в поперечному перерізі зразка температура ніде не досягає температури закінчення зворотного мартенситного перетворення (100°C).

Вимірювання довжини зразків, витягнутих з реактора, показало, що під час опромінення відбувається повернення деформації. Як і при нагріванні неопроміненого сплаву, відновлення деформації після нейтронного опромінення виявляється неповним. У таблиці наведено порівняльні дані, що характеризують ЕПФ для опромінених і неопромінених зразків, попередньо деформованих до однакової деформації.

Відновлення деформації в ході опромінення при інших рівних умовах відбувається навіть з дещо більшим коефіцієнтом повернення в порівнянні з нагріванням. При термоцикуванні через інтервал температур мартенситних перетворень довжина опромінених зразків змінюється за лінійним законом, як показано на рис. 3.7. Коефіцієнт термічного лінійного розширення становить $(1.9 \pm 0.3) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Зміни деформації, які могли б бути пов'язані з реалізацією ЕПФ або оборотної пам'яті форми, не виявлені.

З отриманих результатів з очевидністю випливає, що опромінення флюенсом $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^2$ стимулює ЕПФ в сплаві TiNi. У цьому сенсі дія опромінення виявляється аналогічним дії температури. Відмінність полягає в тому, що після опромінення при зміні температури сплав не проявляє ефект оборотної пам'яті форми. Всі ці результати є наслідком зменшення температур мартенситних перетворень в міру збільшення флюенса нейтронів. Відсутність оборотної пам'яті форми вказує або на зміщення характеристичних точок перетворення в область температур, менших -100°C , або на аморфізацію зразків внаслідок накопичення критичної концентрації радіаційних дефектів [9].

Застосування сплавів з пам'яттю форми в світовій практиці та перспективи їх використання в Україні: за минулі десятиліття нові матеріали знайшли широке застосування в різних областях науки і техніки; аерокосмічної, машинобудівної, гірської промисловості; електротехніці і світлотехніці;

побутовому і науковому приладобудуванні; розробці нових типів озброєння та ін.

Хоча фундаментальні роботи українських учених по фізиці фазових перетворень у твердих тілах, до яких відносяться і бездифузійні (мартенситні) перетворення, високо оцінюються світовою науковою громадськістю, а конкретні розробки знаходять свого споживача, серйозне практичне використання нових перспективних матеріалів безпосередньо в Україні стримується відсутністю їхнього промислового виробництва і переділу в напівфабрикати, а також недостатньою затребуваністю принципово нових технічних рішень конкретними виробниками товарів різного призначення в Україні в силу недостатнього інформування і знову ж через відсутність на ринку нових матеріалів з ефектом пам'яті форми.

У промислово розвинутих країнах (США, Японія, Бельгія, ФРН, Франція та ін.) у рік виробляється до 5 тонн напівфабрикатів і виробів з металевих матеріалів з ефектом пам'яті форми (в основному, зі сплавів типу NiTi), що є цілком досяжним і для України, але поставлену задачу необхідно вирішувати з урахуванням наявності (чи розробки) нових технологічних процесів одержання і, особливо, переділу сплавів з ефектом пам'яті форми .

В останні роки вченими розроблений принципово новий клас матеріалів, що поєднує в собі функції датчика впливу і виконавчого механізму (реакція на вплив), так званих "smart and intelligence materials". Однак, необхідно врахувати, що без виробництва функціональних металів старого типу (сплави з ефектом пам'яті форми), неможливо вирішувати проблеми виробництва і використання в техніці і медицині нових функціональних систем [10].

Нижче буде наведений перелік тих задач, рішення яких у досить короткий проміжок часу може принести істотний економічний ефект від їхньої реалізації [9]. Як приклад можна відзначити наступне. У сучасних військових і цивільних літаках (США) як елементи для з'єднання різних трубопроводів використовуються муфти зі сплавів типу NiTi у кількості декількох тисяч штук на кожному об'єкті при ціні одного кріофітингу не менш 50 дол. США. При

технічному використанні муфт виникають проблеми, пов'язані з негомогенністю матеріалу (через технологію виробництва злитків), труднощами виготовлення муфт, низькими температурами спрацьовування ($\sim -80 \div -100^\circ\text{C}$). Усі ці проблеми можуть бути успішно вирішені при використанні нових технологічних рішень, запропонованих у ІМФ НАН України.

Ще один приклад – замість універсальних запалюючих пристроїв (складний і дорогий радіотехнічний виріб) для запуску газорозрядних ламп пропонується використовувати наші пристрої на основі невеликого зразка сплаву з ЕПФ і спеціального механічного оснащення [10].

Проблема безпечної роботи вугільних шахт може бути вирішена при використанні різних пристроїв, запропонованих ІМФ НАН України. Деякі ділові зв'язки по практичному використанню сплавів з ЕПФ є (АНТК ім. О. К. Антонова, Полтавський завод газорозрядних ламп, Васильківський завод електропобутової техніки, Тернопільський завод "Ватра" та ін.), але вони носять випадковий, необов'язковий характер. Без зацікавлених і постійних зусиль всіх учасників процесу впровадження у виробництво вкрай важко.

Одна з основних задач виробництва нових функціональних матеріалів пов'язана зі створенням нового технологічного обладнання – індукційних плавильних печей, що забезпечують надійне перемішування розплаву, наявність у них пристроїв для додаткового легування по ходу плавки, а також пристосування для добору проб металу по ходу плавки з метою корекції складу одержаного сплаву. Справа в тім, що сплави з ЕПФ відносяться до прецизійних матеріалів, у яких зміна складу всього лише на 0,1 % ваги (деяких компонентів сплаву) драматичним чином змінює їхні робочі характеристики. Така проблема має місце у всіх країнах. Через відсутність надійного технічного рішення до 50 % напівфабрикатів ідуть у брак, що природно позначається на ціні готового продукту.

Розробка нових технологій виробництва сплавів з ЕПФ і особливо технологічних прийомів одержання з них напівфабрикатів, наприклад, дроту

безпосередньо з розплаву або з'єднувальних муфт ливарними методами зроблять продукцію затребуваною не тільки в Україні, але й у всьому світі.

Сплави на основі NiTi є найбільш розповсюдженими комерційними сплавами завдяки своїм унікальним характеристикам, а саме ефекту пам'яті форми, суперпластичності, високим тріщиностійкості, корозійній стійкості та біосумісності. Фітінги, медичний інструментарій, імплантанти, вироби для побутової техніки, телефонні антени, термочутливі датчики – ось далеко не повний перелік застосувань таких сплавів. Розробка і дослідження цих сплавів не один рік становили один із пріоритетних напрямків наукового пошуку вчених НАН України, зокрема Інституту металофізики.

Накопичено багатий досвід експериментальних досліджень, лабораторного приготування сплавів, термічної обробки, формовки, тренінга, застосування виробів із нітинолу в окремих галузях народного господарства. Багато в чому цей досвід є унікальним і досі не використовувався в світовій практиці. Використання нітинолу в масштабах більших, ніж лабораторне виробництво, є справжнім викликом з огляду на надзвичайну чутливість властивостей сплаву до хімічного складу, термомеханічної обробки та інших технологічних етапів, необхідних для виробництва кінцевого продукту.

Власне, основні етапи дослідно-промислового виробництва є стандартними. Для виробництва основних форм, таких як дріт, прутки, трубка, стрічка, прокат, нітинол має бути виплавлявненою, оброблено нагарячо, нагартровано і термооброблено для отримання бажаних властивостей. Подальші етапи, що включають розрізання, поліровку, формовку, лазерну обробку, сварку, обробку поверхні, виготовлення тонких стрічок, порошків, фольги, покриттів суттєво залежать від вимог до кінцевого продукту і будуть розглянуті лише побіжно, хоча і в цих аспектах працівники Інституту мають значних досвід.

3.2 Патентний пошук за темою досліджень

В результаті патентного пошуку було винайдено 8 аналогів, поєднання ідей

двох із яких є найбільш схожим до розробленої технічної моделі.

В пристрої [12] застосований матеріал на основі нікеліду титану з ефектом пам'яті форми. Винахід відноситься до матеріалів із пам'яттю форми з модифікованою поверхнею, які можуть бути використані в якості імплантатів в медицині, в якості елементів та виробів, що працюють в агресивному середовищі. Матеріал на основі нікеліду титану з ефектом пам'яті форми з поверхневим прошарком модифікований шляхом іонної імплантації легованими елементами, в якості яких використовують кисень (25-75 атомних відсотків), водень (5-10%), титан (20-50%), нікель (0-20%), має глибину модифікованого слою 50-300 нм. Крім того в якості основи вибрано нікелід титану наступного складу: нікелю 49-51%, решта – титан.

Даний матеріал має високу корозійну стійкість як у початковому стані, так і після багаторазових циклів деформування.

Управляючий пристрій до інструменту з ефектом пам'яті форми [13]. Винахід відноситься до інструментальної техніки та призначений для керування роботою інструменту, який містить деталі із матеріалу з ефектом пам'яті форми. Технічний результат полягає в підвищенні експлуатаційних характеристик та досягається за рахунок того, що виконавчий пристрій розміщено в каналі, виконаному в деталі інструмента, що виконана із матеріалу з ефектом пам'яті форми. Воно являє собою термобатарей з перерізом у вигляді замкнутої фігури (коло, квадрат), при чому її парні та непарні спаї розташовані з зовнішнього та з внутрішнього боків. Подаючи на термобатарей електричний струм, отримуємо на спаях або нагрів, або охолодження. Це забезпечує перехід деталі в гарячу форму та навпаки. Через термобатарей проходить теплова труба, кінець якої виходить за межі інструменту і контактує з повітрям. Теплова труба слугує для передачі тепла чи холоду від внутрішніх спаїв термобатарей до атмосфери. Термобатарей складається із модулів, оточених пружною гофрованою оболонкою, у широких частинах якої закріплені модулі. Гофрована оболонка закріплена на кінцях каналу та при зміні довжини деталі з ефектом пам'яті форми то розширюється, то

стискається, утримуючи модулі на рівній відстані. Керування інструментом здійснюється шляхом зміни напрямку струму.

До недоліків аналога матеріалу на основі нікелиду титану з ефектом пам'яті форми слід віднести:

- а) складність отримання точного запропонованого складу сплаву;
- б) недостатньо чіткий опис галузей застосування винаходу;
- в) великі розбіжності у формулі матеріалу.

3.3. Конструктивна та функціональна схема керування механізмом подачі гідромолота

На рис. 1.2 наведена схема розташування маніпулятора з гідромолотом в складі комплексу механізованого КМ-15Гп-пс. На важелі укладчика замість противаги розташоване обладнання з механізмом повороту та маніпулятом, який обладнаний гідромолотом, що має термосистему регулювання сили подачі застосуванням пружини з нікелиду титану, яка має властивість пам'яті форми (рис. 3.8).

Гідравлічна система маніпулятора реалізує необхідне зусилля подачі, яке впливає на величину реакції породи Nm , з осьовою складовою Np . Проте характеристики вибою мають статистичний характер і швидко змінюються. Для адекватної реакції системи на швидкі зміни запропонована термосистема податчика з застосуванням матеріалу, що має властивість змінювати зусилля подачі в залежності від температури і доповнює вплив на енергетичні і силові параметри гідромолота гідропривод маніпулятора.

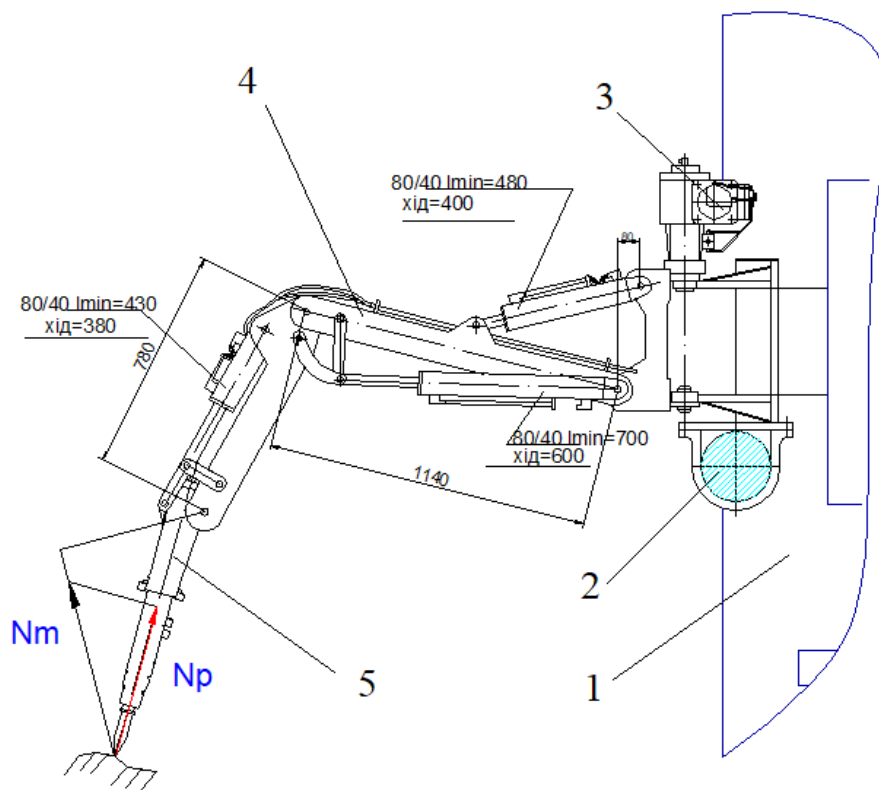


Рисунок 3.8 – Конструктивна схема агрегування гідромолота з термоподатчиком в комплексі КМ-15Гп-пс: 1 – комплекс, 2 – важіль тьюбінгоукладчика, 3 – механізм повороту, 4 – маніпулятор, 5 – гідромолот з термоподатчиком

На рис. 3.9. наведена схема системи адаптації гідромолота до умов робочого середовища.

Система працює наступним чином. При зменшенні опору вибою переміщення x інструмента збільшується, а сила підтискування гідромолота, яка генерується гідравлікою, реалізується з запізненням, що призводить до зупинки роботи гідромолота. Цей недолік усуває термосистема ТС податчика, яка за показником датчика переміщення ДП, керуючого сигналу ПЛК здійснює підігрів пружини з нікеліду титану, яка адекватно розширюється і збільшує силу подачі. При зворотніх показниках датчика переміщення охолодження пружини термоподатчика здійснюється вентиляційною пневмосистемою і сила подачі зменшується.

Конструкція термоподатчика (рис.3.9) дозволяє гідромолоту вільно переміщуватись в циліндричному корпусі податчика по чотирьом фторопластовим направляючим, які мають форму типу «ластівкін хвіст» для запобігання випаданням.

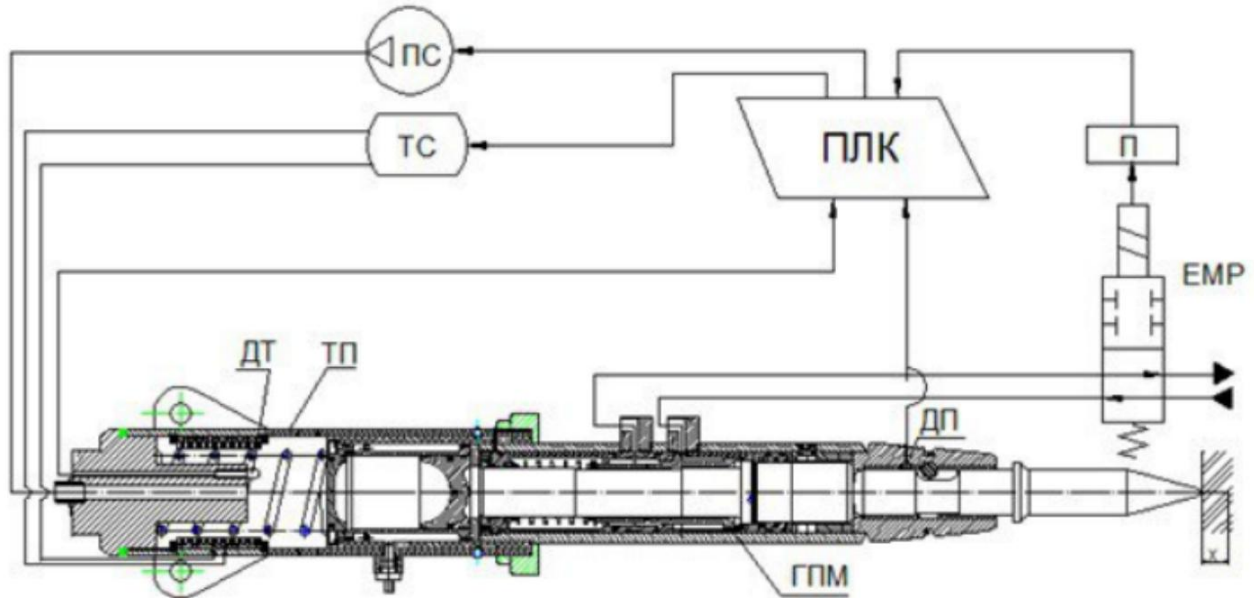


Рисунок 3.9 - Конструктивна схема адаптивного податчика гідромолота з системою керування

Умовні позначення до рисунку 3.9: ГПМ – гідропневмомолот, ТП – термоподатчик, ПС – пневмосистема, ТС – термосистема, ПЛК – програмований логічний контролер, ЕМР – електромагнітний розподільник, П – підсилювач (пропорційний, сигналу), ДТ – датчик температури, тиску, ДП – датчик переміщення інструменту.

В основу виконавчого елементу запропонованого термоподатчика, в якості якого виступає пружина, покладена властивість матеріалів з ефектом пам'яті форми перетворювати теплову енергію в силову дію, при цьому спостерігається явище розтягуючої деформації.

Метою даного термоподатчика гідромолота є можливість його використання при розробці вибою, як допоміжного пристрою до гідроприводу, а також створення регульованого зусилля без участі гідравлічних циліндрів внаслідок однієї лише дії манжетного нагрівача. Це корисно використовувати

при складності проходки вибою у випадку зміни коефіцієнта міцності породи та для миттєвого пристосування робочого органу під конкретні умови будь-якого вибою.

Гідромолот входить в корпус податчика і опирається на пружину, виготовлену із сплаву нікеліду титану, що має властивість ефекту пам'яті форми. Навколо пружини розташований манжетний нагрівач, який впритул прилягає до стінок корпусу податчика та кріпиться на двох стопорних кільцях. Температура в корпусі податчика контролюється термopарою (датчиком температури) і дані передаються на програмований логічний контролер (ПЛК), який, враховуючи показання датчика переміщення, передає керуючу інформацію в термосистему, яка регулює температуру нагрівача і, відповідно подачу гідромолта.

При відсутності подачі електричного струму до нагрівача (температура в камері термоподатчика дорівнює температурі навколишнього середовища) виконується звичайна робота маніпулятора, на якому кріпиться податчик з гідромолотом. Пружина дезактивована, сплав нікеліду титану перебуває в мартенситному стані. При подачі струму до манжетного нагрівача температура в камері термоподатчика починає збільшуватись і при потужності нагрівача 905 Вт пружина нагрівається до температури $+105^{\circ}\text{C}$ за 90-120 с. Оскільки верхня границя первинної фази сплаву нікеліду титану знаходиться на межі $+100^{\circ}\text{C}$, то пружина почнає самостійно видовжуватись на 10% від своєї довжини і тиснути на гідромолот, тим самим забезпечуючи, наприклад, необхідну силу подачі гідромолта 2069 Н.

Сплав набуває властивостей початкової або «батьківської» фази. При припиненні подачі електричного струму пружина охолоджується і при досягненні температури нижньої границі мартенситної фази ($+20^{\circ}\text{C}$) пружина повертається у своє первинне положення. При повторному нагріванні цикл повторюється. Охолодження спроектованого пристрою здійснюється через контактування пристрою із навколишнім середовищем через паз в корпусі податчика.

Термоподатчик обладнано десятима прокладками, змінюючи кількість яких можна регулювати зусилля подачі. Так зменшення кожної із прокладок еквівалентне зусиллю у 22,25 Н.

При повторному нагріванні цикл повторюється. Охолодження спроектованого пристрою здійснюється через контактування пристрою із навколишнім середовищем через отвори в корпусі, але для кращих динамічних показників охолодження рекомендується встановити вимушене охолодження вентиляторною установкою.

Отже, адаптивна функція податчика реалізується через передачу інформації на ПЛК від датчика переміщення, а ПЛК обробляє інформацію і передає керуючий сигнал в термосистему, в якій формується визначений контрольний рівень температури за показником термопари і формуються зворотній зв'язок з ПЛК, де визначається потрібний температурний режим, а отже і необхідна сила подачі для забезпечення ефективного руйнування гірської породи.

Використання запропонованого термоподатчика дозволить:

- а) розвантажити гідросистему маніпулятора;
- б) знизити зношування робочих гідроциліндрів;
- в) створити регульовану силу подачі у розмірі 2069Н для кращого підтискання виконавчого органу до вибою;
- г) знизити енерговитрати на нагнітання робочої рідини в гідроциліндри, так як основне зусилля буде здійснювати пружина з нікеліду титану;
- д) збільшити амортизаційні здібності маніпулятора.

Манжетні нагріваючі елементи (рисунок 3.10) виготовлені у ізоляції із микатину чи кераміки, покриті латунною металічною оболонкою або нержавіючою сталлю. Бандажні керамічні нагріваючі елементи відрізняються високою ізоляційною здатністю та довготривалим строком роботи. Вибір манжетного нагрівача варіюється в широких рамках: внутрішній діаметр 25-1000мм, ширина 25-1000мм, напруга 220В або 380В, максимальна температура нагрівача 550°C та таке інше [14].

Враховуючи геометричні параметри податчика для гідромолоту ГПМ-35, обираємо манжетний нагрівач із наступними параметрами: тип нагрівача – манжетний; ізоляція – керамічна; внутрішній діаметр – 64мм; висота – 60мм; потужність – $7,5 \text{ Вт/см}^2$; корпус – нержавіюча сталь.



Рисунок 3.10– Зовнішній вигляд манжетний нагрівача

3.4 Алгоритм роботи системи автоматичного керування пристроєм

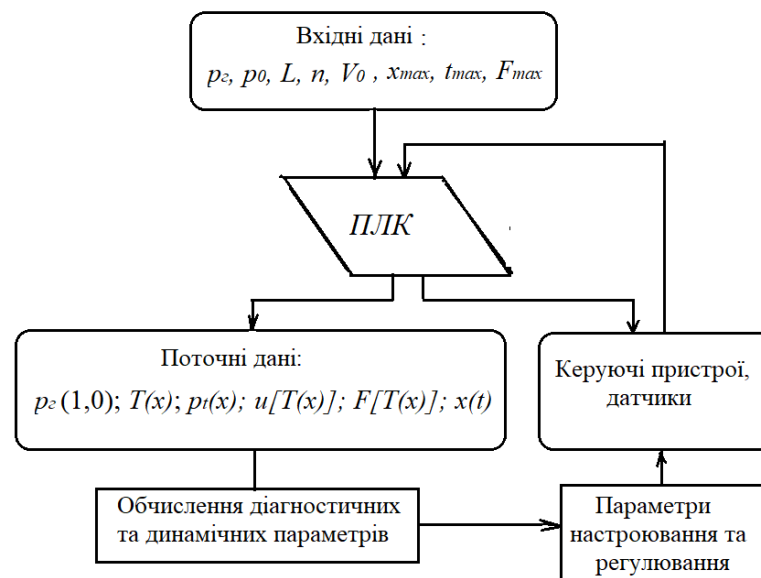


Рисунок 3.11 – Схема взаємодії даних та параметрів впливових на функціонування пристроїв адаптації гідромолота до умов робочого середовища

На рис.3.12 наведена конструктивна схема гідромолота з термоподатчиком.

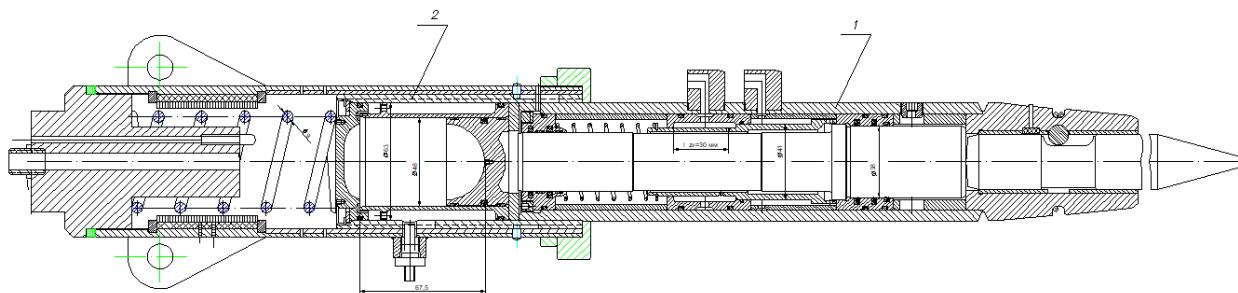


Рисунок 3.12 - Конструктивна схема гідромолота 1 з термоподатчиком 2

Відповідно до запропонованої конструкції адаптивного пристрою гідромолоту необхідно розробити чіткі алгоритм керування та обрати необхідне обладнання та датчики.

Основою пристрою є ПЛК, який виконує функції регулювання, обробки даних та взаємодію з користувачем. Сам контролер знаходиться в кабіні оператора і повинен мати як і дисплей для виводу даних, так і відповідати технологічним умовам гірничотехнічних робіт (пилозахист). Також має забезпечуватись ручне керування процесом. Процесор обробляє данні від датчиків переміщення бойка, тиску в камері, та температури нітилової пружини податчика, і на основі даних регулює наступні параметри: нагрів і охолодження пружини, подачу робочої рідини до гідромолоту.

Відповідно для поставлених задач обираємо панель оператора з ПЛК TP04P-22XA1R від «Delta Electronics» [15], які має наступні параметри: чотири рядки виведення інформації, монохромний дисплей типу STN LCD 128x64 пікселя (3"), 17 функціональних клавіш, 256Кб флеш-пам'яті, вбудований програмований логічний контролер, підсвічування, що відключається, термін служби ламп підсвічування – до 50000 годин, світлодіоди стану, 2 COM-порти, можуть працювати з різними протоколами одночасно, слот для картки копіювання, підтримка виведення на екран повідомлень різними мовами (включаючи кирилицю), виведення на екран різних графічних об'єктів - графіків, кнопок, малюнків тощо. захист паролем інформації, що вводиться

годинник реального часу, вбудований порт RS-485 (MODBUS ASCII/RTU), Вбудований порт USB для завантаження програм, Інтегроване в панель ядро ПЛК серії SS2:, пам'ять програми - 8К кроків, реєстрова пам'ять - 5К слів, пам'ять програми - 8К кроків, реєстрова пам'ять - 5К слів, Дискретні, аналогові входи/виходи, входи температурних датчиків PT, Високошвидкісні імпульсні входи: 2 x 10кГц, Прикладні команди ПЛК, 8000 кроків SRAM для програмування, Модулі цифрового введення/виводу та аналогові модулі (конвертація A/D, D/A та одиниць вимірювання температури), ступінь захисту IP65



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд панелі оператора з ПЛК

Для програмування цієї панелі використовується безкоштовний програмний пакет «TPEditor» (для програмування роботи панелі) і «WPLSoft» для програмування вбудованого ПЛК, обидві програми, що працюють під керуванням операційної системи Windows. Створена користувачем програма компілюється, а потім завантажується в пам'ять панелі. До інформації, що виводиться на панель, можна включати слова та літери на кирилиці, латиниці, цифри, статичні та динамічні малюнки, графіки та діаграми. «TPEditor» надає користувачеві безліч заготовок для випадків, що часто застосовуються, це спрощує створення графічних образів і скорочує час написання програми.

Рівень аналогового сигналу стандартний 0...20мА.

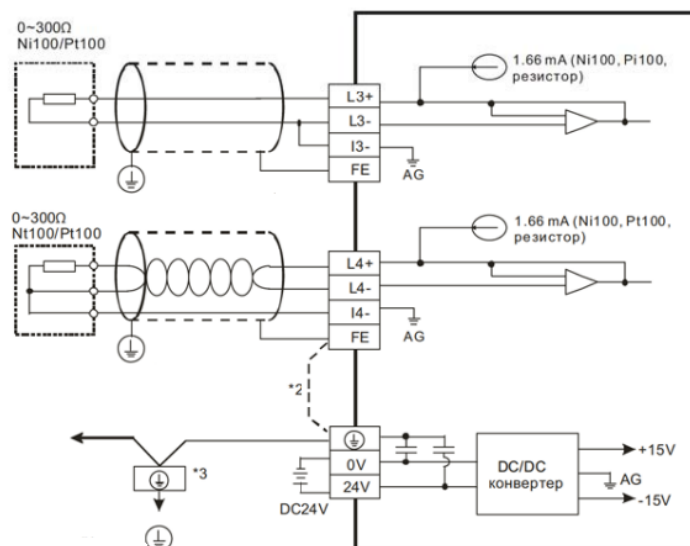


Рисунок 3.14 – Схема підключення датчиків температури до контролеру

Датчик температури обирається в першу чергу від меж вимірювання (у нашому випадку це $-20 \dots 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$) температури та характеристики середовища. Крім цього система має два датчика температури – внутрішній, який вимірює температуру в камері термоподатчика, та зовнішній, який визначає температуру зовнішнього повітря. Відповідно до зазначених умов обираємо термодатчик NT-PT100 (рисунок 3.15) з межами вимірювань -60 до $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ у виконанні з сутпеню захисту IP68 (захист від пилу і вологи), показник теплової інерції – 15-16 с (процес нагріву пружини становить 120 с, тому швидкодія достатня).

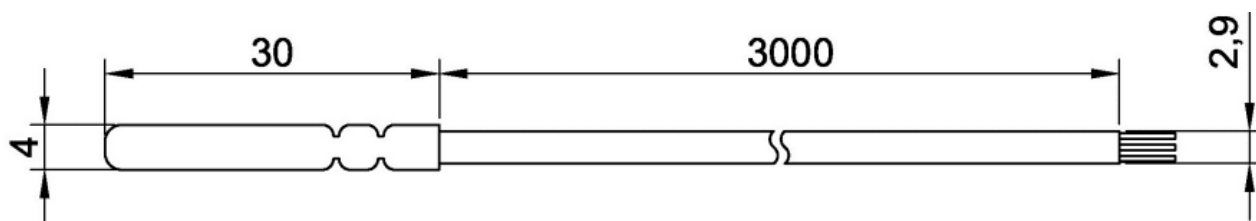


Рисунок 3.15 – Габаритні розміри термодатчику.

Датчик переміщення відіграє ключову роль у системі керування, адже на основі його показників ПЛК дає сигнал на нагрів нітилові пружини і регулювання подачі робочої рідини. При зворотньо-поступальному русі, характеристика сигналу від датчика буде нагадувати синусоїду, але для

регулювання важливий час між точками максимального (мінімального) рівня сигналу, а також відстань яку проходить бойок при зворотньо-поступальному русі. У випадку, коли гідромолот натрапляє на породу з великою міцністю, хід бойка дещо зменшується (неповна амплітуда) і тому необхідно збільшити зусилля, тобто енергію удару гідромолоту. Крім вимог до ступеню захисту обладнання, заявляється й вимога до швидкодії, адже хід бойка гідромолота (частота ударів) є значною, і за секунду відбувається декілька ударів.

На основі даних обираємо датчик переміщення ZX-EV04T виробника Omron, які працюють на основі методу вихрових струмів. Межі вимірювань 0..4 мм, діапазон робочої температури -20 до 70 градусів, матеріал корпусу – цинк, ступінь захисту IP67, рівень вихідного сигналу – 4...20 мА, швидкодія вимірювань – 150 мікросекунд.

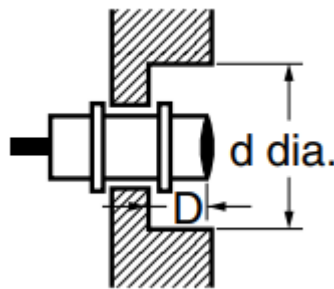


Рисунок 3.16 – Монтаж датчика положення в корпус

Далі опишемо стани роботи системи: 1) номінальний, тобто стандартний; 2) регулювання – коли необхідно збільшити зусилля удару гідромолота.

Перехід між станами здійснюється за показниками датчика переміщення ДТ, що оброблені за допомогою ПЛК, якщо ряд послідовних рухів бойка були не на повну (номінальну) амплітуду або збільшився тиску в робочій камері (датчик Тиску) то необхідно дати сигнал на ввімкнення манжетного нагрівача. При цьому він вмикається на максимальну потужність 905 Вт.

Процес нагріву має великий час перехідних процесів, час нагріву пружини до необхідної температури 105 градусів триває до 120 с, датчик температури у камері податчика дає зворотній зв'язок по температури до ПЛК.

Якщо температура середовища у податчику перевищує 105 градусів, то відбувається ступінчате зменшення напруги живлення нагрівача і як наслідок зменшення потужності останнього. Причому ПЛК розраховує систему так, аби стабілізувати рух бойка і мінімізувати енергетичні втрати. Використовується ступінчатий (кроковий) метод: поступово зменшується потужність нагрівача і подача робочої рідини до значень, коли бойок вже не рухається на повну амплітуду. У такому разі робоча точка залишається, але якщо необхідні зусилля збільшуються, то температура і подача знову ступінчато зростає, і так до того часу, коли уже достатньо зусиль на вибір породу в номінальному режимі (без впливу пружини термоподатчика). Крім цього оператор може в ручному режимі керувати процесом нагріву/подачі.

Охолодження пружини відбувається через контакт з зовнішнім повітрям, через відповідний паз в корпусі податчика. Хоч таке рішення призводить до збільшення постійних втрат на нагрів, але це рішення буде економічно вигіднішим у порівнянні з штучною вентиляцією, адже вона значно ускладнює конструкцію і охолодження займає незначний час робочого циклу всього пристрою.

Проте така система має недолік, а саме швидкодію процесу нагріву і охолодження. В умовах нестабільності значення міцності гірських порід, пристрій не зможе працювати у найбільш енергоефективному режимі – синхронному, коли зусилля удару збільшуються відразу після недостатньої енергії минулого, без перерегулювання.

3.5 Дослідження функціонування пристрою

Залежність температури нагрівання пружини від потужності зображеного нагрівача зображена на рисунку 3.17. Спостерігаємо лінійну залежність.

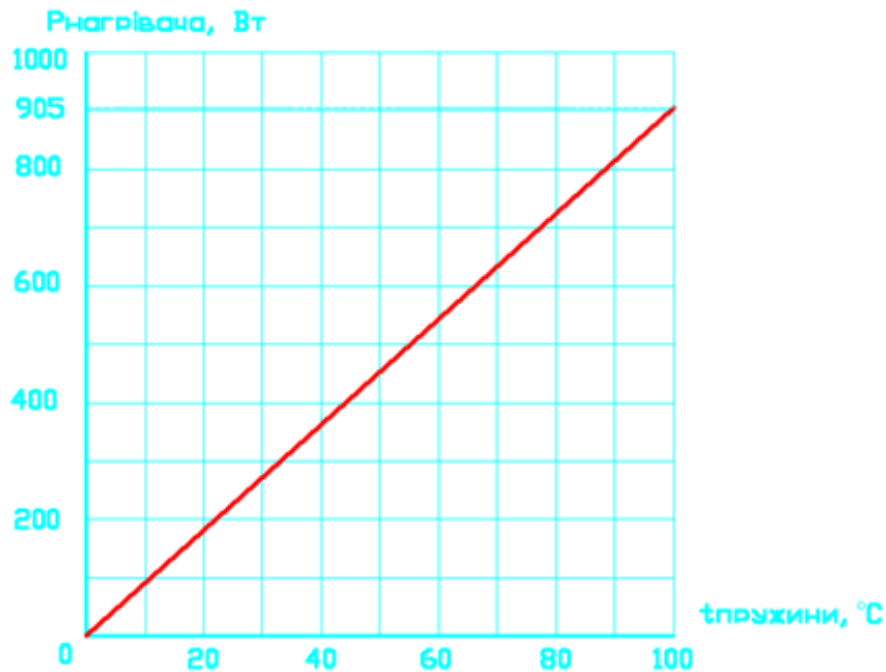


Рисунок 3.17 – Залежність температури нагрівання пружини від потужності манжетного нагрівача

Для виготовлення втулок використовують матеріал фторопласт-4. В машинобудуванні вироби із фторопласта-4 використовують у вузлах тертя механізмів машин та приладів, в якості опор підшипників ковзання. Використання фторопласту-4 у вузлах тертя підвищує надійність та довговічність механізмів, забезпечує стабільну експлуатацію в умовах агресивних середовищ. Фторопласт-4 характеризується малою пористістю, хорошими електричними та механічними властивостями. Механічну стійкість фторопласт-4 зберігає в області температур від -190°C до $+250^{\circ}\text{C}$.

Сплав нікеліду титану має нижню границю мартенситної фази, що дорівнює $+20^{\circ}\text{C}$, при якій деформація не відбувається, та границю початкової фази, рівну $+100^{\circ}\text{C}$, при якій деформація досягає 10%.

Відомо, що температурна характеристика сплавів з ефектом пам'яті форми являє собою петлю гістерезису, ширина якої складає 20°C [11]. Описана вище залежність зображена на рисунку 3.18. При температурі нижче 40°C деформація дорівнює нулю. При підвищенні температури спостерігаємо

збільшення деформації за петлею гістерезису. При досяганні температурою значення 100°C деформація досягає своєї максимальної величини і дорівнює 10%. При зниженні температури сплав нікеліду титану повертає свою первинну форму за тим же законом, але при цьому крива гістерезису проходить на двадцять градусів нижче, ніж при нагріванні, і при 20°C форма сплаву повністю відновлюється.

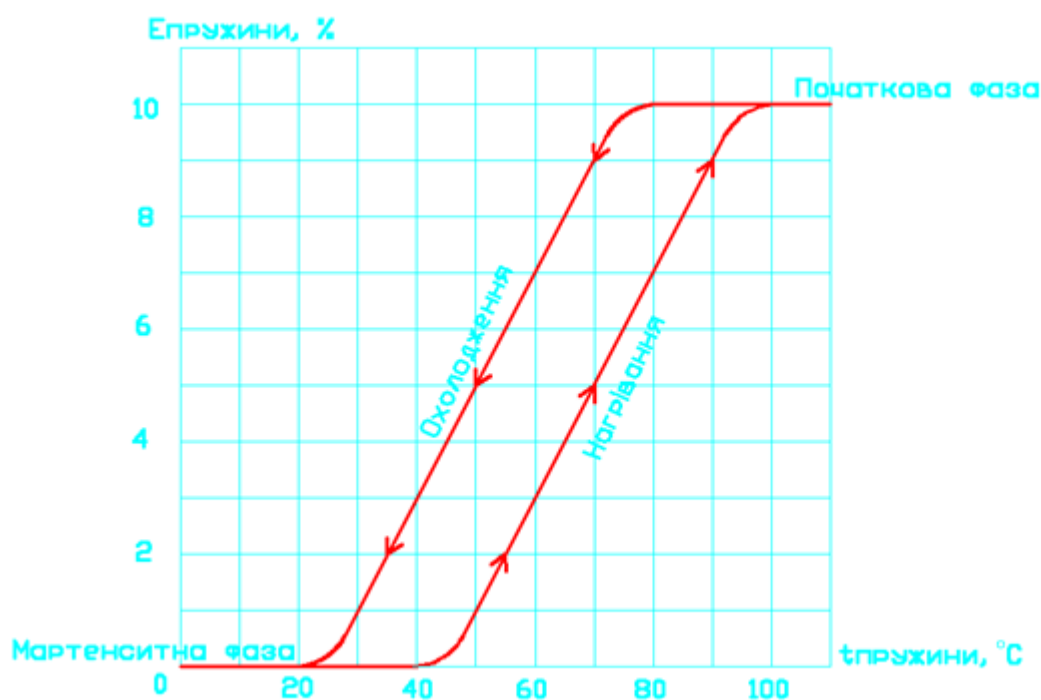


Рисунок 3.18— Залежність деформації від температури нагрівання пружини

Знаючи характер залежності температури нагріву пружини від потужності нагрівача та деформації, побудуємо графік залежності потужності нагрівача від деформації пружини (рисунок 3.19). На даному графіку спостерігаємо деформацію сплаву при потужності нагрівача 362 Вт. При підвищенні потужності деформація збільшується за кривою.

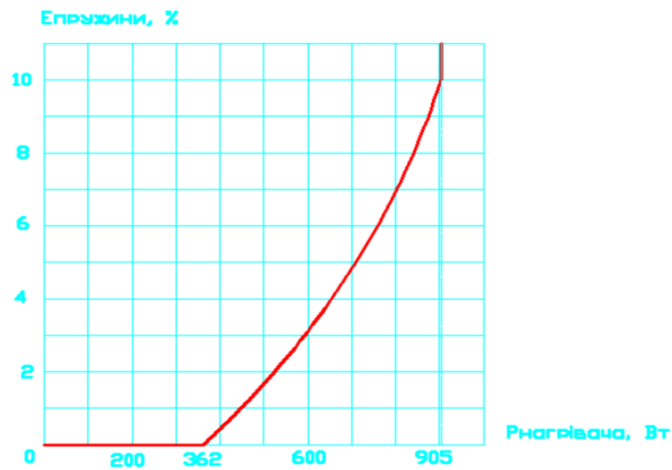


Рисунок 3.19 – Залежність деформації пружини від потужності манжетного нагрівача.

Знаючи, що властивості ефекту пам'яті форми проявляються при підвищенні температури до $+40^{\circ}\text{C}$ і закінчуються при температурі $+100^{\circ}\text{C}$, побудуємо графік залежності сили подачі від потужності нагрівача (рисунок 3.20). При потужності нагрівача менше 362 Вт температура пружини не достатня для того, щоб відбулась деформація, і тому зусилля подачі залишається постійним і дорівнює 1802 Н. При подальшому підвищенні потужності сила подачі починає збільшуватись, і при досяганні потужністю значення 905Вт зусилля дорівнює 2069 Н. Дане значення зусилля на виконавчому органі на 15% більше, ніж при використанні пружини зі звичайного металу з тими самими геометричними параметрами.

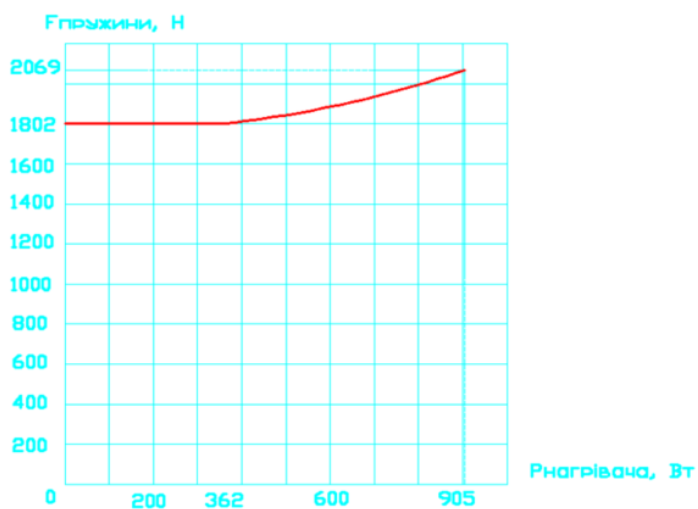


Рисунок 3.20 – Залежність сили подачі від потужності манжетного нагрівача.

На рис. 3.21. наведена конструктивна схема термодатчика 1 з гідромолотом 2. Пневмоаккумуляторна частина гідромолота є енергетичним вузлом, в якій поршнем 3, що рухається при зведенні бойка збільшується тиск газу, що поступає через клапан 4 в камеру 5 пневмоаккумулятора.

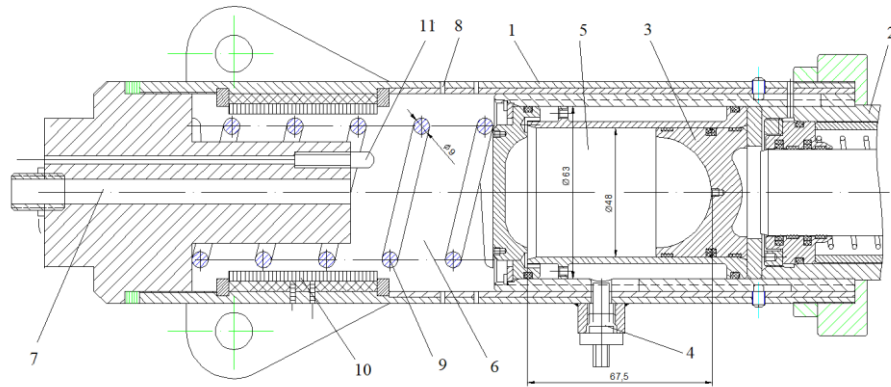


Рисунок 3.21 – Конструктивна схема термодатчика, який агрегатується з гідромолотом: 1 – термодатчик, 2 – гідромолот, 3 – поршень, 4 – зарядний пристрій (зарядний клапан), 5 – камера пневмоаккумулятора, 6 – термокамера, 7 – вентиляційний канал, 8 – вентиляційні отвори, 9 – пружина з матеріалу нікеліду титану, 10 – обігрівач, 11 – датчик температури

Енергетичні та силові параметри при зарядці пневмоаккумулятора визначаються залежностями [3], причому сама зарядка пневмоаккумулятора (рис.4.1) пов'язана з політропічним стисненням газу в аккумуляторі за рахунок зменшення об'єму аккумулятора:

$$p_0 \cdot V_0^n = p_t \cdot V_t^n = \text{const} ,$$

звідки

$$p_t = p_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V_t} \right)^n ,$$

де p_0 , V_0 - відповідно початковий тиск зарядки пневмоаккумулятора та початковий об'єм камери пневмоаккумулятора; p_t , V_t – відповідно кінцевий тиск газу та кінцевий об'єм камери пневмоаккумулятора; n - показник політропи ($n = 1.2...1.5$ - для зарядки, $n = 1.3...1.6$ - для розрядки пневмоаккумулятора).

Енергія зарядки пневмоакумулятора:

$$L = \frac{p_0 \cdot V_0}{n-1} \left(e^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right), \quad (3.1)$$

e - ступінь стиснення газу в пневмоакумуляторі,

$$e = p_t / p_0 = \left(\frac{V_0}{V_0 - F_n \cdot z} \right)^n \quad (3.2)$$

де z - переміщення поршня пневмоакумулятора при зведенні, конструктивно (рис.4.1) $F_n = \pi \cdot d_n^2 / 4$, де $d_n = 48$ мм; $V_0 = 3,464 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $p_0 = 1,0$ МПа; $n = 1,3$.

Тоді при зведенні бойка в межах $z = (0, \dots, 0,03)$ м за формулами (3.1) та (3.2) проведені розрахунки та побудовані графіки (рис.3.22).

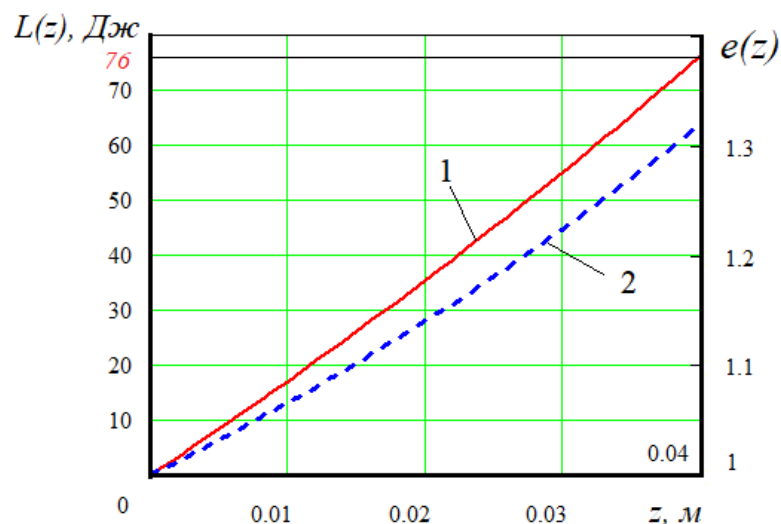


Рисунок 3.22 – Графіки залежностей від величини зведення бойка z : 1 – енергії зарядки, 2 – ступеню стиснення газу в камері пневмоакумулятора

Сила реакції віддачі визначається залежністю:

$$N_6 = p(z) \cdot F_n. \quad (3.3)$$

На рис. 3.23 наведений графік залежності сили віддачі від величини зведення бойка.

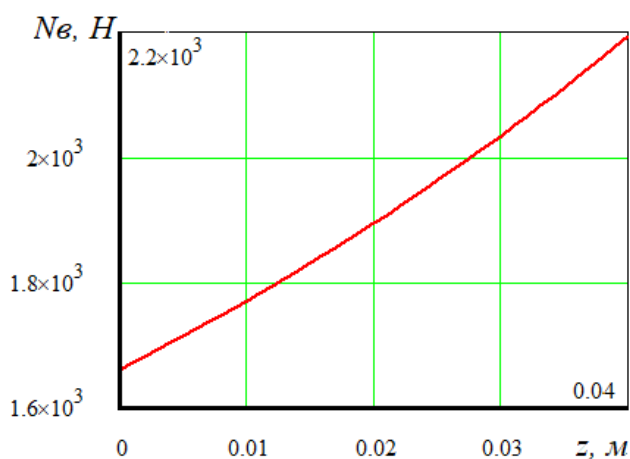


Рисунок 3.23 – Залежність сили віддачі від величини зведення бойка

3.6. Встановлення параметрів пружного елемента з матеріалу нікеліду титанувід конструктивних параметрів термоподатчика

Виходячи з конструктивних параметрів термоподатчика (рис.3.21) визначені конструктивні параметри пружини 9 з застосуванням оболонки Mathcad і урахуванням позначень параметрів пружини (рис.3.24): D_1 – зовнішній діаметр, $D_1 = 58$ мм; d – діаметр дроту, $d = 9$ мм; i – число робочих витків, $n = 4$. Тоді середній діаметр пружини буде $D = D_1 - d = 49$ мм. З урахуванням модулю пружності зсуву $G = 82 \cdot 10^9$ Па, жорсткість пружини

$$\text{визначається відомою залежністю } c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i}. \quad c = 1.429 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$$

Силова характеристика пружини відповідно запишеться $F(x) = c \cdot x$.

Виходячи з конструктивних параметрів пружини (рис.3.24) максимальне стиснення витків допустиме в межах $x = (0, \dots, 0.06)$ м отримані залежності $F(x)$ та потенціальної енергії деформації пружини $\Pi(x) = c \cdot x^2 / 2$ від деформації (рис.3.25).

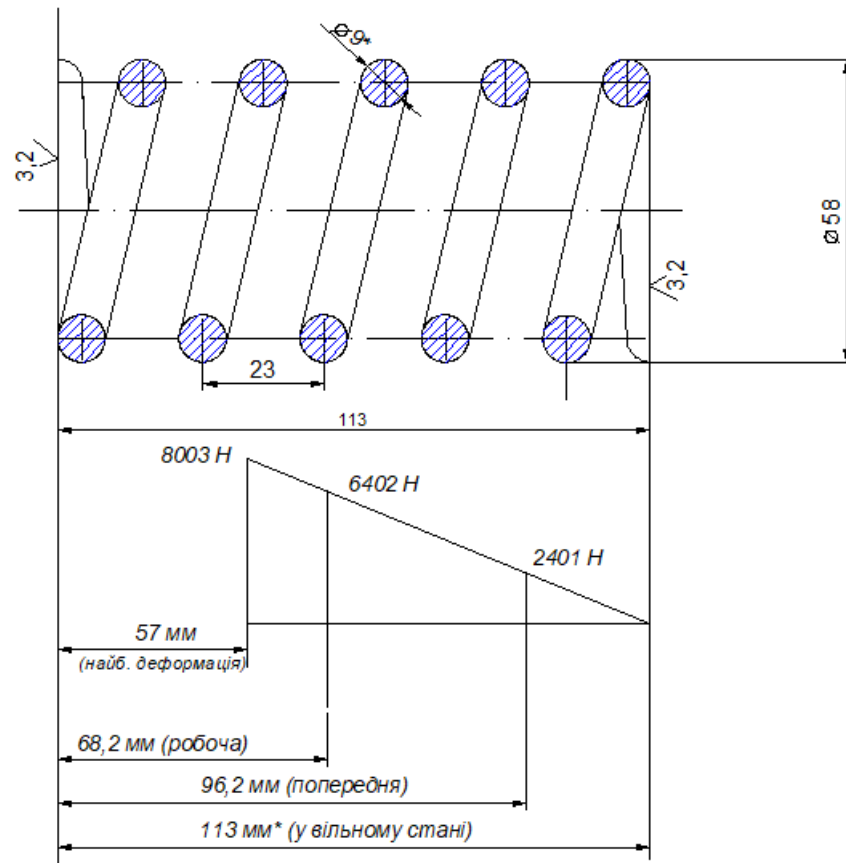


Рисунок 3.24 – Конструктивні та силові параметри пружини з матеріалу нікеліду титану

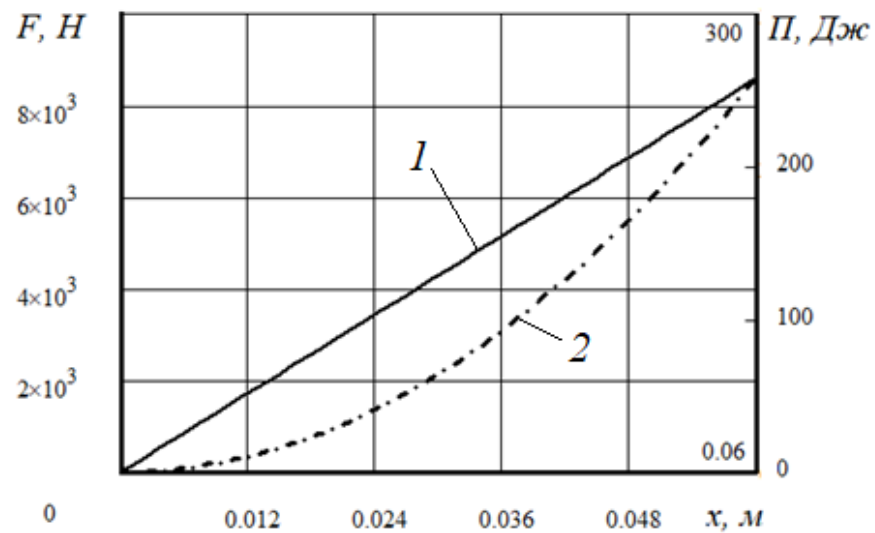


Рисунок 3.25 – Силова (1) та енергетична (2) характеристика пружини

Висновки за розділом

1. Використання гідравлічної енергії та матеріали з пам'яттю форми (нітінол) в декілька раз економніше та вигідніше, ніж використання механічної та пневматичної енергії.
2. Головний напрям використання сплавів з пам'яттю форми – приводи, що перетворюють теплову енергію в рух чи механічну роботу.
3. Силкові приводи із сплавів пам'яті форми мають ряд переваг: велике значення діючої сили; велике значення відновлювальної деформації та інших видів деформацій (розтягнення, стиснення, згинаючі, крутні); велику питому величину роботи у розрахунку на одиницю маси.
4. До недоліків слід віднести дороговизну виготовлення сплаву через складність технології і вартості матеріалів, а також необхідність застосування додаткового нагрівального пристрою, що ускладнює конструкцію механізму.
5. Розроблена конструктивна та функціональні схеми системи агрегування гідромолота з термоподатчиком в складі прохідницького універсального комплексу КМ-15Гп-пс . Впровадження такої системи дозволить зменшити затрати енергії на прохідницькі операції з заміною ручної праці (робітників з відбійними молотками на автоматичний маніпулятор) та підвищити продуктивність в зведенні станційного тунелю в метробудуванні.
6. Встановлені енергетичні та силкові параметри гідромолота з термоподатчиком. Максимальна енергія удару склала 76 Дж, а сила віддачі відповідно $2,2 \cdot 10^3$ Н.
7. Виходячи з конструктивних параметрів термоподатчика визначені конструктивні параметри пружини механізму подачі: зовнішній діаметр 58 мм; діаметр дроту з нікеліду титану 9 мм; число робочих витків 4, жорсткість пружини $1,429 \cdot 10^5$ Н/м. Максимальна сила опору пружини склала $8 \cdot 10^3$ Н, що перевищує силу віддачі $2,2 \cdot 10^3$ Н і підтверджує працездатність пружної системи податчика.

4 СТАРТАП-ПРОЄКТ

Стартап-проект – це коротка фаза між плануванням та виконанням проекту – вона відповідає за успішний перехід проекту від стану основних концепцій і планів до стану практичного виконання. Іншими словами, цей невеликий, але дуже важливий етап означає завершення та перевірку концептуалізації проекту та планування для отримання стійких підстав для успішного виконання проекту (проект матиме міцну основу для запуску) [16, 17].

Загалом стартап-проект охоплює такі дії:

- Завершення та підписання основних планів проекту (графік, бюджет і прогнози).
- Доопрацювання та підписання допоміжних планів (кадрове забезпечення, зв'язок, комунікації тощо).
- Мобілізація та координація ресурсів.
- Реалізація планів спонсорства та створення комітету спонсорів.
- Перевірка всієї первинної та вторинної проектної документації.
- Проведення стартової зустрічі проекту.

Життєвий цикл - це шлях, який описує етапи розвитку стартапу, починаючи від ідеї та закінчуючи його повною окупністю. Весь комплекс робіт виконують строго у певній послідовності, проте кількість стадій та їх тривалість можуть відрізнятись. У стартапу буває від чотирьох до восьми етапів.

4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

Мета роботи – створення проекту, діяльність якого направлена на модернізацію, обслуговування гідравлічних промислових механізмів, а саме гідромолотів маніпулятора як і комплексів спорудження станційного метрополітену так і будь якого процесу будівництва/демонтажних робіт.

Ціль - стартап прагне завоювати ринок продукції та послуг. Для нього

важливе масштабування та розвиток для повернення отриманих інвестицій та якнайшвидшого отримання прибутку. Ідея стартапу - це інноваційний продукт чи послуга, якої ще немає на ринку

На початку розроблення стартап-проекту необхідно обґрунтувати цілі етапів його реалізації (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап	Дослідження потреб та запитів споживачів – компаній та підприємців гріничовидобуваної та будівельної сфери, суперечностей та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища – за рахунок чого можна знайти місце на ринку збуту
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Задоволення нових потреб споживачів (підвищення енергоефективності), подолання певних суперечностей поточних технологічних процесів (недостатня миттєва потужність агрегату), вдосконалення діючих технологій та устаткування, а також адаптивних клієнтоорієнтованих послуги
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників або постачальників послуг, які пропонують схожі технології та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї.
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проекту	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів, ключових процесів, технології, обладнання та реалізації проекту в часі і просторі
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості послуги та ціни для споживача реалізації інноваційної ідеї
Інвестиційний етап реалізації стартап-проекту	Пошук потенційних інвесторів та/або спонсорів фінансування стартап-проекту, цільових проектів.
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту продукту/послуг стартап-проекту, залучення потенційних споживачів, формування необхідних сегментів ринку, створення медіаконтенту та таргетованих рекламних матеріалів

4.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідея проекту полягає у тому, що пропонується змінити конструкцію гідромолота змонтувавши у ній дві складові: механічну – нитілову пружину з ефектом пам'яті для підвищення сили удару бойка, електротехнічну – термодатчик для виміру температури пружини, манжетовий нагрівач, датчик тиску в камері демпфера ходу бойка, датчик тиску подачі гідромолота та ПІД-регулятор технологічного процесу нагріву з вбудованим програмованим логічним контролером, комутаційне обладнання.

Використання даної технології дозволить споживачеві підвищити енергію удару бойка в умовах нерівномірного технологічного навантаження (під час виконання робіт виявляються породи з великою механічною міцністю) на подолання якого, при незмінній конструкції гідромолота, необхідно підвищити витрати робочої рідини, збільшити час виконання робіт або використовувати потужніше обладнання, що в свою чергу збільшує рівень споживання електроенергії/палива та зменшує термін експлуатації.

Новизною інноваційного проекту є використання у даній модернізованій системі з пружиною з нитінолу системи автоматичного регулювання процесу нагріву пружини для отримання оптимальних значень моменту.

Оптимізація енерговитрат є актуальною задачею для промисловості України з ряду причин – росту цін на електроенергію та обмеження енергоресурсів в енергосистемі. Також пропонована технологія дозволяє скоротити час виконання робіт і підвищити експлуатаційний термін установки, що має позитивний ефект при оцінці вартості виконаної роботи споживачем.

Області застосування технології – підземне і наземне будівництво: тунелі, дороги, житлові та нежитлові будівлі, бомбосховища та підземні укриття, підземне прокладання різноманітних комунікацій – систем електро-, водо, газопостачання, видобуток корисних копалин.

У спроектованому термоподатчику можна виділити ряд переваг,

основними з яких є:

- а) розвантаження гідросистеми маніпулятора;
- б) зниження зношування робочих гідроциліндрів;
- в) створення регульованої сили подачі у розмірі 2069Н для кращого підтискання виконавчого органу до вибою;
- г) зниження енерговитрат на нагнітання робочої рідини в гідроциліндри, так як основне зусилля буде здійснювати пружина з нікеліду титану;
- д) збільшення амортизаційних здібностей маніпулятора.

В послуги компанії буде входити: діагностування гідравлічних та електромеханічних систем гідравлічних агрегатів, проєктування (конструювання) модернізованої установки, монтажні та ремонтні роботи, консультаційні послуги. Також можливе використання розглянутих технологій окремо.

Результати аналізу актуальності та новизни ідеї стартап-проекту зведені у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Проектування адаптивної оптимальної за показниками енергоефективності установки гідромолоту	Підземне та наземне будівництво, гірничовидобувана промисловість, демонтажні роботи	Використання технології дозволить збільшити тимчасово потужність установки, підвищити енергетичні показники та термін експлуатації. Також буде скорочено термін виконання запланованих робіт та зменшено затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію

4.3 Аналіз конкурентного середовища та SWOT – аналіз

Найближчий конкурент, технології якого вже доступні на ринку, є розробка КПП ім. Ігоря Сікорського за патентом №102864 «Гідропневмомолот з антирезонансним пристроєм», принцип винаходу полягає в тому, що динамічний гасник коливань виконаний у вигляді рухомої маси стиснутої між двома пружинами дає змогу підбирати необхідні за силою стиснення пружини.

Також конкурентами проекту є всі постачальники більш потужного обладнання, адже у споживача є можливість не модернізувати свою установку, а придбати нову більшої потужності.

Результати аналізу узагальнюються в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Переваги ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап-проект	Конкурент 1: Гідропневмомолот з антирезонансним пристроєм
1.	Підвищене значення енергії удару	Можливість регулювання значення шляхом нагрівання робочого органу - пружини	Стале значення підвищеного значення енергії удару
2.	Час виконання запланованих робіт	Зводиться до мінімуму незалежно від параметрів гірських порід	Зводиться до мінімуму незалежно від параметрів гірських порід
3.	Показник витрат енергії	Завдяки регулювання температури нагрівання залежно від навантаження механізму зменшується загальна кількість витрат за час експлуатації	Має сталі втрати енергії в пристрої
4.	Зменшення вібраційної віддачі пристрою	Частково знижує значення вібраційної віддачі	Повністю скомпенсовує відбрації робочого механізму

SWOT-аналіз – один із найпоширеніших аналітичних методів, який дозволяє в комплексі оцінити сильні та слабкі сторони компанії, а також можливості та загрози, що впливають на неї.

Матриця SWOT включає:

S (strengths) – сильні сторони. Характеристики бізнесу, що відрізняють його на тлі конкурентів. Наприклад: найкращий клієнтський сервіс на ринку, доступніші ціни.

W (weaknesses) – слабкі сторони. Ознаки, які роблять компанію вразливою над ринком. Наприклад: неефективна реклама, недостатньо співробітників.

О (opportunities) – можливості. Їхня компанія може використовувати для розвитку свого бізнесу. Наприклад: правильне розташування виробництва.

Т (threats) – загрози. Вони можуть завдати збитки компанії.

Результати SWOT-аналізу зведено у матричному вигляді в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Матриця SWOT

	S (strength) – Сильні сторони S1. Інноваційність S2. Універсальність та гнучкість послуг S3. Енергоефективність S4. Автоматизованість процесу S5. Надійність	W (weaknesses) – Слабкі сторони W1. Результати дослідження потребують експериментального підтвердження; W2. Значна вартість модернізованого обладнання; W3. Частина обладнання імпортується, що підвищує вартість і час очікування послуг
О (opportunities) – Можливості O1. Проведення досліджень на будь-якому комп'ютері O2. Входження в ринок конструкторських розробок та консультацій щодо вибору обладнання O3. Залучення інвестицій в енергоефективні технології	O2S2 Універсальність послуг з проектування електромеханічного та гідравлічного обладнання дозволяє розширювати сферу діяльності. O3S3S4S5 Інвестори зацікавлені в підтримці найкращої технології з огляду на енергоефективність технологічного процесу, можливості повної автоматизації та підвищення надійності системи в цілому	O1W1. Необхідно провести практичні дослідження ефективності установки. Необхідна модернізована установка, а обладнання для діагностики та обробки даних уже наявні, що мінімізує вартість досліджень. O3W2W3 Держава та іноземні інвестори зацікавлені в зменшенні рівня енергоспоживання і попри велику вартість технологій сприяють розвитку розробок і їх впровадженню.
Т (threats) – Загрози T1. Нестабільна політично-економічна ситуація в Україні. T2. Підвищення цін на обладнання T3. Значна кількість конкурентів на внутрішньому та зовнішньому ринках.	T2T3S2S3 Технологія дає значну економію електроенергії, а також є універсальною і адаптується під потреби клієнта, що може привабити споживача попри її вартість відносно конкурентів.	T1T2T3W3W3. Залежність від закупівель імпортного обладнання для модернізації підвищує ризик на відмову споживача від послуг внаслідок значного часу очікування, а також можливе значне завищення цін на послуги, внаслідок чого конкуренти матимуть кращу позицію на ринку. Власне виробництво обладнання дозволить підвищити стабільність діяльності, але вимагає додаткових інвестицій.

Застосування технології частотного-регулювання в установках

електроприводу при перекачуванні води є доцільним. Переваги перевершують недоліки, до того ж є можливості щодо поліпшення проєкту.

4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту

Таблиця 4.4 – Капіталовкладення на втілення проєкту

Статті капіталовкладень	Витрати, тис.грн./міс	Витрати, тис.грн./рік
Прямі матеріальні затрати		
- витрати на купівлю обладнання (ноутбуків, інструментів, автомобіля) (одноразово)		465,4
- витрати на оренду офісу, складу, транспорту	12,8	153,6
- витрати палива й енергії	7,4	88,4
Прямі затрати на оплату праці виробничих працівників		
- заробітна плата (за ставками) персоналу, що займається монтажем і доставкою	34,2	410,4
- премії, заохочення, компенсаційні виплати виробничих працівників	2,5	30
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду – 22% по заробітній платі виробничих працівників	7,524	90,3
Інші прямі витрати:		
- витрати на дослідження та розробку інноваційних продуктів (одноразово)	-	20
- витрати на послуги сторонніх підприємств (охорона, реклама тощо)	44,8	537,6
- витрати на оплату комунальних послуг	2,5	30
Загальновиробничі витрати		
- витрати на управління виробництвом	130,3	1563,6
Всього одноразових капіталовкладень на реалізацію проєкту	-	485,412
Всього капіталовкладень на реалізацію проєкту	-+	4155905,3

4.5 Ключові види діяльності

Ключовими видами діяльності, необхідними для реалізації послуг з модернізації конструкції гідромолота є: діагностування, проєктування, виробництво, закупівля, монтаж, сервіс

Детальний опис видів діяльності наведений у таблиці 4.5.

Таблиця 4.6 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Діагностування	Проведення вимірювань основних параметрів, визначення показників об'єкту та аналіз даних	Надання споживачу даних про технічних стан установки, а також рекомендації щодо усунення/попередження пошкоджень або аварійних станів
Проектування	Розрахунок показників робочого обладнання, визначення шляхів модернізації, вибір технологічного обладнання, створення специфікацій та складального креслення	Споживач може отримати: принципову схему, монтажні креслення, зведену специфікацію
Виробництво	Виготовлення необхідного обладнання (пружини з ефектом пам'яті) відповідно до вимог проектування	Отримання частини обладнання для подальшого монтажу
Закупівля	Придбання обладнання (датчики, регулятор, контролер) та послуг (виточка металу) відповідно до проекту	Підготовлене до монтажних робіт обладнання
Монтаж	Комплектація технологічного приміщення обладнанням, монтаж та налаштування систем регулювання продуктивності гідромолота	Готова до експлуатації установка
Сервіс	Перевірка стану обладнання, Консультація споживачів щодо продукту і його роботи, адаптація споживача до роботи за новою технологією	Безперебійна, надійна, якісна робота системи

4.6 Обґрунтування рівня рентабельності (прибутковості) інноваційної ідеї

4.6.1 Прямі матеріальні витрати

Основними засобами підприємства є комп'ютерне обладнання і програмне забезпечення до нього для роботи з обробкою даних і проектування

об'єкту. А витратами на одиницю технології будуть затрати на необхідне обладнання. Таблиця 4.7

Таблиця 4.7 - Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна, грн	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	Витрати сировини й матеріалів	грн.	-	-	49142	589 712
2	Витрати купівельних напівфабрикатів та комплектуючих виробів	грн.	-	-	305592	3667104
3	Паливо	грн./л.	51	115 л	5865	70380
4	Електроенергія	грн. за кВт*год	2.64	303 кВт*год	800	9600
5	Комунальні послуги	грн./м ²	36.7	68	2500	30000
6	МНМА	-	-	-	3000	36000
Всього, грн:					366899	3813084

Виробництво і монтаж стандартизованого гідравлічного обладнання вимагає закупівлю певної продукції – контролери, датчики, пружина, нагрівач, апаратура захисту та комунікації. Також для встановлення обладнання безпосередньо в корпус гідромолта необхідно виконати виточку і сверління металу у визначених місцях, а також георметизацію корпусу (Таблиця 4.8 та 4.9).

Таблиця 4.8 - Витрати на виготовлення однієї одиниці типової продукції (гідромолот довжиною 800 мм та потужністю удару бойка до 0,2 кДж)

№	Найменування обладнання чи послуги	Вартість, грн
1	Датчик тиску робочої камери	3256
2	Датчик температури	1350
3	Нітілова пружина	6200
4	ПІД регулятор з ПЛК	8420
5	Послуги з виточки металу	4500
6	Комутаційне обладнання	800
7	Кільцевий нагрівач	940
Всього:		25466

Таблиця 4.9 – Вартість забезпечення виробничого процесу

№	Найменування	кількість	Сумарна ціна	Тип
1	Ноутбук Acer Aspire 7 A715-76G-56U7	4	120000	одноразове
2	Комп'ютерне обладнання (монітор, клавіатура, миша)	4	20000	одноразове
3	Програмне забезпечення САПР Autodesk AutoCAD	1	74 412	одноразове
4	Програмне забезпечення ОП WN11 pro та пакет Office 365	1	16700	рік
5	Службовий автомобіль Універсал (Sckoda Oktavia A5 2012)	1	187000	одноразове
6	Паливо для власних потреб (з розрахунку 5,5л на добу, 21 робочий день в місяць)	1	5865	місяць
7	ТО автомобіля	1	18000	рік
8	Оренда приміщення 68 м2, Київ (200 грн за м2)	1	12800	місяць
9	Сплата комунальних платежів	1	2500	місяць
10	МНМА	1	3000	рік
Всього в рік, грн				693 092

4.6.2 Витрати на оплату праці

Фонд оплати праці (ФОП) це – сукупність заробітної плати працівників підприємства разом із соціальними відрахуваннями до пенсійного фонду, який визначається за формулою:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарахування до Пенсійного фонду, грн} \quad (4.2)$$

де ЗП – величина сукупної заробітної плати працівників підприємства, грн

Нарахування до Пенсійного фонду становлять 22%. Основними сучасними формами оплати праці є погодинна і відрядна.

Зазначимо, що з 1 жовтня 2022 року мінімальна заробітна плата в Україні становить 6700 в місяць, тоді мінімальна тарифна ставка оплати праці становитиме:

$$TC_{\min} = 6700 / (22/7 \cdot 40) = 40,46 \text{ грн} \quad (4.3)$$

Де 29/7 – кількість робочих днів місяця;

40 – нормативна тривалість робочого тижня, годин.

Пряма погодинна система оплати праці кількість відпрацьованого працівником часу та обчислюється за формулою:

$$ЗП_{\text{погод}}^{\text{пряма}} = TC \times t, \text{ грн} \quad (4.4)$$

t – кількість відпрацьованих працівником годин, год,

TC – тарифна ставка оплати праці, грн/год

Заробітна плата виставляється такою, аби задовільни конкурентоспроможність для м.Київ, а також відобразити передбачувальні показники індивідуального розвитку працівника КРІ. Дані структури персоналу та фонду оплати праці зводяться в таблиці 4.10

Таблиця 4.10 - Структура персоналу та ФОП.

№ П/П	Посада	Форма оплати	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)		
				за місяць	за квартал	за рік
Адміністративно-технічний персонал						
1.	Інженер-винахідник	ставка	1	24000	24000	96000
2.	Інженер-конструктор	ставка	2	19500 (за одного)	19500	78000
4.	Бухгалтер	пів-ставки	1	9800	9800	39200
5.	Менеджер	ставка	2	17000 (за одного)	17000	68000
Всього				106800	427200	1281600
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				23496	93984	281952
ФОП				130296	521184	1563552
Виробничий персонал						
1.	Слюсар-складальник	відрядна	1	16 000	64000	192000
2.	Наладчик	відрядна	1	18 200	72800	218400
Всього				34 200	136800	410400
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				7524	30096	90288
ФОП				41 724	166896	500688

Амортизація – це систематичний розподіл вартості основних засобів по різних періодам протягом стоку його використання (експлуатації). Іншими словами, це поступове списання вартості ОЗ на витрати впродовж строку експлуатації.

Прямолінійний метод передбачає рівномірний розподіл амортизаційних

відрахувань протягом корисного терміну експлуатації об'єкта основних засобів до досягнення ним ліквідаційної вартості [44]:

$$H_a = \frac{100\%}{T_{cl}}, \quad (4.5)$$

де H_a – норма амортизації; T_{cl} – термін експлуатації об'єкта основних засобів.

Таблиця 4.11 – Обґрунтування вартості амортизаційних відрахувань основних фондів підприємства на 2023 рік, тис. грн.

Назва об'єкта основних фондів	К-ть, шт.	Вартість на початок року, грн.	Річна норма амортиз, %	Амортизаційні відрахування в поточному році, грн.				
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	За рік
Ноутбуки для виробничої проєктної діяльності	4	120000	50	15000	15000	15000	15000	60000
Комп'ютерне обладнання	4	20000	20	1000	1000	1000	1000	4000
Службовий автомобіль Універсал	1	187000	29	13557,5	13557,5	13557,5	13557,5	54230
Вимірювальна та діагностична апаратура	1	64000	25	4000	4000	4000	4000	16000
Всього	-	391000	-	33557	33557	33557	33557	134230

Крім відображення фізичного/морального зносу у амортизації є інша важлива функція – правильне співставлення доходів і витрат по періодах. ОЗ використовуються декілька років, а отже, беруть участь у отриманні доходу теж декілька років. Списати одразу всю вартість ОЗ на витрати – це буде порушенням відповідності доходів і витрат по періодам, тобто бухгалтерського принципу нарахування. Після повної амортизації ОЗ залишкова (балансова) вартість ОЗ стає рівною нулю або ліквідаційній вартості, якщо така

визначалася. Надалі об'єкт може використовуватися з такою вартістю або ж бути дооцінений. Може бути й узагалі списаний з балансу, якщо його використання неможливе. Приймаємо вартість ліквідної вартості рівною нулю.

4.6.3 Інші прямі витрати

До інших прямих витрати відносяться: експериментальні дослідження та розробку технології, послуги сторонніх організацій, комунальні послуги та оренду, кредити та їх обслуговування . Збірка прямих витрати зазначені в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 -Обґрунтування прямих інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Охорона	Угода	12000	144000
2. Таргентована реклама	Угода	20000	240000
3. Оренда приміщення	Угода	12800	153600
4. Транспортні витрати	Розрахунки	7365	88380
Всього:		52 165	625 980

4.7 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проєкту та рівня рентабельності

Собівартість інноваційної ідеї складається з умовно-змінних та умовно-постійних (накладних) витрат. Умовно змінні витрати складаються з вартості обладнання на виробництво річного запасу технології (3667104 грн), ФОП виробничного персоналу (500688 грн в рік) та транспортних витрат – пальне та технічне обслуговування (88380 грн в рік). Сума – 4256172 грн/рік

Оскільки основною складовою діяльності є саме реалізація технології, то частка накладних витрат становить 80%: ФОП адміністративно-технічного персоналу (1563552 грн/рік), послуги з охорони приміщення (144000 грн), послуги з таргентованої реклами (240000 грн), оренда приміщень (153600 грн), амортизаційні нарахування (134230 грн), сплата комунальних послуг (30000 грн), МНМА (36000 грн), електроенергія (9600 грн), вартість

експериментальних досліджень (20000 грн). Загальна сума накладних витрат (80%) буде складати 1972170 грн в рік. Норма річного випуску – 144 одиниці.

Таблиця 4.13- Обґрунтування собівартості товару (послуги), грн.

Статті витрат	Витрати, грн			
	на одиницю	на місяць	на квартал	на рік
1. Умовно-змінні витрати	29557	354681	1064043	4256172
2 Умовно-постійні (накладні) витрати (80%)	13696	164348	493043	1972170
3. Собівартість	43252	519029	1557086	6228342

«Відповідно до розділу 3 «Податок на прибуток підприємства» Податкового кодексу України, прибуток – це частина валового доходу підприємства (фірми) за винятком усіх витрат на виробничу та комерційну діяльність» [9].

Рентабельність або ставка прибутковості (англ. rate of return) - застосовуваний в економіці (у фінансах) відносний показник ефективності вкладень у ті чи інші активи, фінансові інструменти, проекти чи бізнес у цілому. Прибутковість часто можна оцінити як відношення абсолютної величини доходу до деякої бази, яка представляє зазвичай суму початкових вкладень або вкладень, які необхідно здійснити для отримання цього доходу.

Відносна величина прибутку підприємства характеризується рівнем рентабельності. Рівень рентабельності визначається за формулою:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{\Pi}{ВВ} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

де Π – прибуток підприємства, $ВВ$ – валові витрати.

В умовах ринкової економіки величина прибутку повинна відображати відносини власності або інші фінансові зобов'язання, наприклад, оплату дивідендів власникам акцій або залучення кредиту, тощо.

Рекомендований розподіл прибутку підприємства за фондами такий: фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%; фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;

преміальний фонд (ПФ) – 10%; дивіденди засновникам – 15% Дані для обґрунтування необхідного рівня прибутку інноваційної ідеї, для якої розраховується ціна, узагальнюємо в табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Обґрунтування рівня рентабельності товару (послуги)

Статті витрат	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість послуги	грн./рік	6228342
Обсяг замовлень в рік (прогноз)	шт	144
2. Необхідний прибуток	грн./рік	617631,6
2.1. Кредитні засоби та їх обслуговування	грн.	245000
2.2. Засоби ФРВ	грн./рік	150000
2.3. Засоби ФСР	грн./рік	75000
2.4. Засоби ПФ	грн./рік	30000
2.5. Грошові виплати власникам підприємства	грн./рік	45000
2.6. Фінансовий резерв	грн./рік	15789
2.7. Податок на прибуток	грн./рік	56842
3. Необхідний рівень рентабельності продукції	%	9,9%

«Податок на додану вартість (ПДВ), який сплачується всіма суб'єктами господарської діяльності відповідно до розділу 5 Податкового кодексу України перетворює вартість товару (послуги) на його ціну. Величина ПДВ становить 20% доданої вартості товару (послуги)». [42]

Результати обґрунтування та визначення суми ПДВ та ціни послуги вказані в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 -Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість послуги на рік	тис.грн.	6228,342
2. Норма рентабельності	%	9,9
3. «Нормальний» питомий прибуток	тис.грн./рік	616,6

Продовження таблиці 4.15

4. Вартість виробництва одиниці продукції	тис.грн./рік	6844,9
5. ПДВ	тис.грн./рік	1369,0
6. Відпускна ціна товару (послуги)	тис.грн./рік	8213,9

Загальна ціна послуг на рік має складати 8213,9 тисяч грн, а вартість одної одиниці послуги – 57041 грн.

Точку критичного обсягу виробництва (точку беззбитковості) можна розрахувати за наступними формулами:

$$TR = FC + VC \quad (4.7)$$

$$TR = Q * P = FC + AVC * Q \quad (4.8)$$

$$Q(P - AVC) = FC \quad (4.9)$$

$$Q = FC / P - AVC = FC / MR \quad (4.10)$$

FC – постійні витрати в собівартості продукції (на весь її обсяг); VC – змінні витрати в собівартості продукції (на весь її обсяг); P – ціна продажу виробу; TR – виручка від реалізації продукції; Q – обсяг виробництва (реалізації); AVC – питомі середні змінні витрати; MR – питомий граничний прибуток.

Критична ціна продажу (ціна реалізації), при заданому обсягу реалізації, постійних та середніх змінних витрат на одиницю товару (AVC), на рівні якої здійснюється покриття загальних витрат та обчислюється таким чином:

$$P = FC / Q + AVC \quad (4.11)$$

Величину критичної виручки від реалізації товару (послуги) доцільно обчислити за формулою:

$$TR = \frac{FC}{1 - \frac{AVC}{P}} \text{ або } TR = \frac{FC}{\frac{MR}{P}} \quad (4.12)$$

Якщо підприємство планує отримати певну величину прибутку, то

необхідний обсяг виробництва визначається з урахуванням бажаної величини прибутку (Таблиця 4.16):

$$Q_{\text{прибуток}} = \frac{FC + \Pi}{P - AVC} \quad (4.13)$$

Таблиця 4.16 - Порівняльний аналіз сформованої ціни з цінами конкурентних товарів-аналогів

Види ціни	Одиниці вимірювання	Показники
1. Розрахункова ціна послуг з ПДВ	грн	57041
2. Ринкові ціни товарів-аналогів на ринку (вартість потужнішого обладнання)		
Мінімальна	грн	47000
Максимальна	грн	79000
Середня	грн	63000
3. Скоригована ціна реалізації	грн	58000 (+1,68%)

4.8 Цільові групи потенційних споживачів

Серед потенційних споживачів було виявлено групи, яким запропоновано створені обладнання або технології, а також визначено відповідну стратегію охоплення ринку - масового маркетингу, оскільки пропонується стандартизована програма її впровадження для всіх суб'єктів ринку.

Гідромолоти знайшли широке використання в будівельній промисловості і навіть у період військового стану послуги і виробництв продовжуються, а на деяких ділянках тільки набирають інтенсивність.

Крім будівництва, також є послуги з демонтажу діляниць, а також гірничивидобувна сфера. Але там виконання апаратури в особливих умовах – з підвищеним вибухо та пилозахистом, що підвищує ціну обладнання. Значна кількість такого обладнання в підприємств державної форми власності є застарілим і потребує модернізації.

Таблиця 4.17 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Забудовники житлових комплексів - Юридичні та фізичні особи	Помірний попит у межах групи, оскільки відсутня необхідність в модернізації обладнання	Висока	Складна
2	Підземне будівництво станій, тунелів та бомбосховищ – великі будівельні та інженерні підприємства	Зростаючий великий попит особливо при будівництву сховищ, оскільки необхідно зменшувати строки виконання робіт та глибинні розробки вимагають потужного обладнання	Низька	Середня
3	Гірничновидобувна галузь	Мінливий попит, зв'язаний з нестійкою політично-економічною ситуацією в державі, хоча підприємства зацікавлені в впровадженні подібних технологій	Низька	Складна

Обраний сегмент ринку передбачає розроблення базової стратегії розвитку (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції відповідно до обраної стратегії	Базова стратегія розвитку
Діагностування та модернізація гідравлічного промислового обладнання	Масовий маркетинг	Використання адаптивної енергоефективної та автоматизованої системи з підвищеною надійністю.	Стратегія концентрації

«Канали збуту — це сукупність фірм або окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо фізичного переміщення товарів і перебирають на себе або сприяють переданню права власності на товари на шляху їх просування від виробника до споживача». Незважаючи на те, що при використанні послуг посередників виробник певною мірою втрачає контроль за реалізацією товарів, більшість підприємців вважає вигідним залучення посередників/

Таблиця 4.19 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуг	Оптимальна система збуту
1	Проектна робота	Підтримка сервісу –зворотного зв'язку з клієнтами як в дистанційній так і в безпосередній формі. Проектування установки відповідно до вказаних умов, закупівля деталей та створення програмного забезпечення системи.	Прийняття замовлень на проекти через веб-сайт, соціальні мережі або через вказані контакти на розміщеній рекламі.
2	Виробництво обладнання	Відповідно до спроектованих параметрів системи виготовити необхідне обладнання	Персональна зустріч (онлайн також можливо) замовника та виконавця
3	Діагностичні та монтажні роботи	Налагодження та обслуговування системи впродовж періоду її експлуатації.	Прийняття замовлень на проекти через веб-сайт, соціальні мережі або через вказані контакти на розміщеній рекламі.

4.9 Бізнес-модель проекту

«Розробка стартап-проекту - це створення бізнес-моделі комерціалізації науково-технічних розробок» [16]. В табл. 4.20 представлено структуру бізнес-моделі інноваційного обладнання або технології.

Таблиця 4.20 - Структура бізнес моделі обладнання (технології)

Ключові партнери: АТ "Київметробуд" , ПрАТ «ХК «Київміськбуд»	Ключові види діяльності Проектування, Діагностування, Модернізація промислових гідромолотів	Цінність пропозиції: Система зменшує енерговитрати, час виконання робіт при розробленні нерівномірного вибою.	Взаємовідносини з клієнтами Зворотний зв'язок через веб-сайт та контакти реламної компанії	Споживчі сегменти Метрополітен, наземне і підземне будівництв
	Ключові ресурси: Програмне забезпечення для технологічного розрахунку та створенні монтажних креслень, веб-сайт, електромеханічне обладнання модернізації		Канали збуту Прийняття замовлень на веб-сайт та контакти рекамної компанії	
Структура собівартості 1.Витрати разові (капітальні): 485 тис.грн. 2.Витрати постійні 1972,2 тис.грн. 3. Витрати змінні: 4256,2 тис. грн 4. Собівартість одної технології: 43,2 тис.грн.			Потоки надходження доходу Надання послуг з діагностування, проектування, монтажу та сервісу.	

Період окупності інвестицій (додаткових капіталовкладень):

$$T_{ок} = K / ГП = 485 \text{ тис. тис грн} / 150, \text{ тис. грн} = 3.23 \text{ років}, \quad (28)$$

де ГП – середньорічна величина грошового потоку (економія експлуатаційних витрат) за певний період, грн.

Для короткострокових інвестицій період вимірюється в місяцях, для довгострокових - в роках.

Висновки з розділу

Загалом, можна зробити висновок про відносно нормальну стартап-проекту, лише за рахунок низького рівня необхідних капіталовкладень. Натомість проєкт має відносно великий термін окупності (3.23 роки), значну

ціну на надання послуг з модернізації та має ряд ризиків реалізації – висока конкуренція та нестабільна економічно-політична ситуація. Загальні результати зведені у таблицю 4.21

Таблиця 4.21 - Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск технології, од	144
Капіталовкладення, тис. грн.	485
Собівартість послуг, тис. грн./рік	6228,342
Ціна послуг, тис. грн.	8213,9
Прибуток, тис. грн.	616,6
Рентабельність, %	9.9
Коефіцієнт економічної ефективності	1,04
Період повернення капіталовкладень, років	3.23

Висновки за розділом

В розробленому стартапі запропоновано іноваційну ідею щодо виробництва і надання послуг з модернізації установок гідромолотів для ряду будівельних та гірничовидобувних підприємств. З позитивних чинників для проєкту слід відмітити підвищений попит на підземне будівництво (укриттів). Проте ризиками проєкту в першу чергу є залежність виробництва від іноземних поставок сировини – нітилових пружин, які є основою процесу модернізації. Спектр послуги компанії доволі широка в межах галузі інженерії: діагностування установок і комплексів, проєктування і розробка складальних креслень, налаштування і обслуговування обладнання, онлайн консультації. Очікуваний рівень рентабельності 9.9% при випуску продукції орієнтовно 144 одиниці. Термін окупності інвестицій становить 3.3 роки. Ціна послуг становить 8213,9 тисяч грн

УЗАГАЛЬНЕНІ ВИСНОВКИ

1. Використання гідравлічної енергії та матеріалів з пам'яттю форми (нітинолу) в декілька раз економніше та вигідніше, ніж використання механічної та пневматичної енергії. Головний напрям використання сплавів з пам'яттю форми – приводи, що перетворюють теплову енергію в рух чи механічну роботу. До недоліків слід віднести дороговизну виготовлення сплаву через складність технології і вартості матеріалів, а також необхідність застосування додаткового нагрівального пристрою, що ускладнює конструкцію механізму..

2. За результатами розрахунків електричних навантажень будмайданчику №215 подовження Сирецько-Печерської лінії метрополітену та з врахуванням умов проєктування було вибрано два трансформатори ТМ-630/10/0.4 У1. Загальний рівень споживання активної потужності становить 704 кВт. Для електропостачання всіх апаратів обрано кабелі типу АВБбШнг та ВБбШв. Вибрані проводи перевірені за допустимими втратами напруги. Підприємство характеризується наступними техніко-економічними показниками: коефіцієнт потужності – 0.702, втрати активної енергії (трансформатор та лінії) - 104,07 МВт·год, реактивної - 303,71 МВАр·год, а річні витрати активної енергії становлять 1339.6 МВт·год. Також було пораховано втрати енергії в лініях, що наведені в табл. 6.3.

3. Аналізом інформації щодо матеріалів з ефектом пам'яті форми і їх основних характеристик виявлено, що перспективним сплавом для застосування у галузі гірничодобувної промисловості є нікелід титану або нітинол.

4. Розроблена конструктивна схема адаптивного пристрою і описано основні його елементи та їх роботу з проведенням порівняльного розрахунку пружини зі звичайної сталі та зі сплаву нікеліду титану. Встановлено, що у пружини з нікеліду титану при тих самих геометричних параметрах максимальна сила подачі на вибій становить 2069,02 Н, в той час як у звичайної

пружини 1802,05 Н, що на 15% менше.

5. Розрахунком теплових процесів отримано значення потужності нагрівача (905 Вт), а також розраховане значення річних енерговитрат на нагрів пружини (4751,25 кВт*год/рік).

6. Розрахунком основних параметрів гідромолота визначені маса бойка 2,27кг; маса клапану 0,374кг; маса поршня акумулятора 0,312 кг; тиск в акумуляторі 3,0 МПа; енергія зарядки акумулятора 0,142 кДж.

7. Розроблено алгоритм керування адаптивним пристроєм термоподатчика, основними елементами якого є панель оператора з ПЛК, датчики тиску, температури і положення, манжетний нагрівач і електромагнітний розподільювач як виконавчі органи. Ступінчате регулювання характеристики дозволяє визначити найбільш кращу робочу точку, з точки зору енергоефективності. Але недоліком системи є її швидкодія – процес нагріву та охолодження пружини запропонованим способом має великі значення часу перехідних процесів.

8. В розробленому стартапі запропоновано інноваційну ідею щодо виробництва і надання послуг з модернізації установок гідромолотів для ряду будівельних та гірничовидобувних підприємств. З позитивних чинників для проєкту слід відмітити підвищений попит на підземне будівництво (укриттів). Проте ризиками проєкту в першу чергу є залежність виробництва від іноземних поставок сировини – нітилових пружин, які є основою процесу модернізації. Спектр послуги компанії доволі широка в межах галузі інженерії: діагностування установок і комплексів, проєктування і розробка складальних креслень, налаштування і обслуговування обладнання, онлайн консультації. Очікуваний рівень рентабельності 9.9% при випуску продукції орієнтовно 144 одиниці. Термін окупності інвестицій становить 3.3 роки. Ціна послуг становить 8213,9 тисяч грн

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Київметробуд: веб-сайт: URL: <https://hromadske.radio/tags/kyivmetrobud> (дата звернення 12.10.2023).
2. Київський метрополітен: URL: <https://uk.wikipedia.org/> (дата звернення: 15.11.23)
3. Минерально-сырьевая база строительных материалов Украинской ССР. Киевская область. Министерство Геологии ССР. К.: 1989г.-596с.
4. Комплекс механічний КМ-15Гп - А – ПС .Технічний паспорт. К: 1995/
5. Лысиков Б.А., Розенвассер Г.Р, Шаталов В.Ф. Строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях. Донецк: Норд-Пресс, 2003. 286 с.
6. Навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. – Електронні текстові дані.
7. Методичні вказівки до виконання курсової та розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств» Кононцов В.М. Київ, НТУУ «КПІ», 2003р.
8. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 244 с.
9. Коваль Ю. Н. Эффект памяти формы // Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. – К.: "Наукова думка", 1998, с. 11–12
10. Сплавы с эффектом пам'яті форми – потужний клас функціональних матеріалів / Ю.М. Коваль // Науково-практичний журнал “Наука та інновації” НАН України. 2005. Т. 1, № 2. , С. 80-95.
11. Шаповалов С.В. Матеріалознавство. Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017.
12. Пат.2137176 С1. Управляющий пристрій до інструменту з ефектом

пам'яті форми/ М.В. Тян; заявник - Тян Михайло Владиславович; заявл. 1997.11.04; опубл. 1999.09.10.

13. Пат. 2266973 С1. Спосіб отримання ультрадрібнозернистих сплавів титан-нікель з ефектом пам'яті форми./ В.В. Столяров, Р.З. Валиев, Г.І. Рааб; заявник - Уфимський державний авіаційний технічний університет; заявл. 2004.06.07; опубл. 2005.12.27.

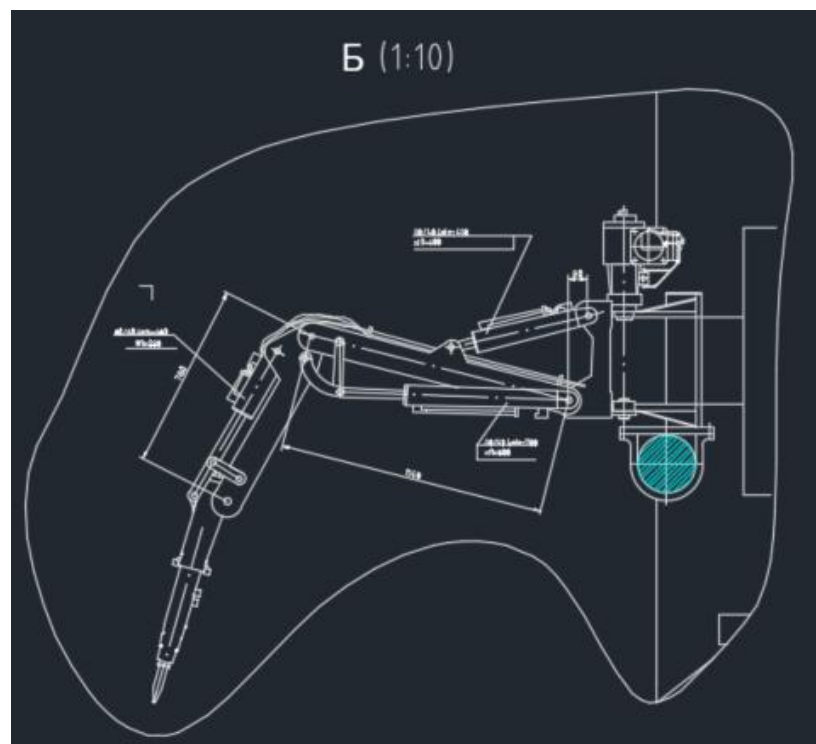
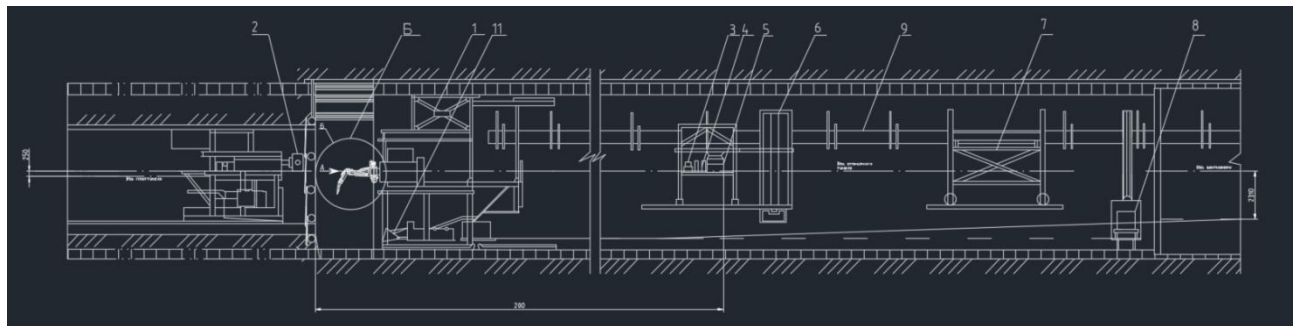
14. Металеві кільцеві нагрівачі: веб-сайт: URL <https://intmax.com.ua/promislovi-nagrivachi/kilcevi-nagrivachi/metalevi-kilcevi-nagrivachi-mikanit> (дата звернення 12.10.2023).

15. Краткое руководство по эксплуатации панелей ПЛК: [https://eleksun.com.ua > download > file > fid](https://eleksun.com.ua/download/file/fid) (дата звернення 12.10.2023).

16. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

17. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 – річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», м. Київ, 17-18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.

6,3 ✓



A (1:50) (маніпулятор повернутий)

