

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет  
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство  
(повне найменування кафедри )

## **Пояснювальна записка**

до дипломного проєкту (роботи)

магістр  
(ступінь вищої освіти)

на тему ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЖАРОМІЦНОЇ СТАЛІ-ЗАМІННИКА  
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ ВЕРХНЬОЇ ПІДТРИМКИ В УМОВАХ  
ПРАТ "ПОЛТАВСКИЙ ГЗК"

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-610м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Термічна обробка металів

Федоряченко С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Ольшанецький В.Є.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет  
Кафедра Фізичного матеріалознавства  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) Термічна обробка  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**  
Федоряченко Сергія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Обґрунтування вибору жароміцної сталі-замінника для виготовлення валів верхньої підтримки в умовах ПрАТ "Полтавський ГЗК"

керівник проєкту (роботи) Ольшанецький В.Є., доцент каф.ФМ, к.т.н  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) дані SCADA теплового режиму експлуатації печі прожарювання окатишів, зразок валу верхньої підтримки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз умов експлуатації деталі. Встановлення основних причин виходу із ладу.

2. Обґрунтування методів дослідження, метрологічного забезпечення тощо. Визначення теплових режимів експлуатації матеріалу, із якого виготовленого деталей.

3. Дослідження фізико-механічних характеристик матеріалу та деталі методом скінчених елементів. Визначення фізико-механічних характеристик матеріалу, його хімічного складу та області застосування.

4. Обґрунтування вимог з охорони праці, поведження у надзвичайних ситуаціях, правил роботи із обладнанням

5. Обґрунтування базових економічних показників. SWOT-аналіз

;

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ             | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|--------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|                    |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1                  | <u>Ольшанецький В.Є</u>                   |                |                           |
| 2                  | <u>Ольшанецький В.Є</u>                   |                |                           |
| 3                  | <u>Ольшанецький В.Є</u>                   |                |                           |
| Охорона праці      | Нестеров О.В.                             |                |                           |
| Економічний розділ | Круглікова В.В.                           |                |                           |
| НК                 | Ткач Д.В.                                 |                |                           |

7. Дата видачі завдання « 10 » вересня 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи)          | Строк виконання етапів проєкту ( роботи ) | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний огляд                                 | 10.10.2023                                |          |
|       |                                                   |                                           |          |
| 2     | Матеріали та методики досліджень                  | 26.11.2023                                |          |
|       |                                                   |                                           |          |
| 3     | Експериментальна частина                          | 05.12.2023                                |          |
|       |                                                   |                                           |          |
| 4     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 16.12.2023                                |          |
|       |                                                   |                                           |          |
| 5     | Економіко-організаційна робота                    | 10.01.2024                                |          |
|       |                                                   |                                           |          |
|       |                                                   |                                           |          |
|       |                                                   |                                           |          |
|       |                                                   |                                           |          |
|       |                                                   |                                           |          |

Студент(ка) \_\_\_\_\_ ( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) \_\_\_\_\_ ( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 103 с., 36 рис., 15 табл., 44 джерела, 2 додаток

Мета роботи: обґрунтування вибору жароміцної сталі-замінника, як матеріалу виготовлення валів верхньої підтримки для підвищення терміну експлуатації деталі у складі прожарювальної печі.

Об'єкт дослідження – експлуатація валів верхньої підтримки за поточних експлуатаційних режимів охолодження.

В процесі дослідження експериментально визначено теплові режими експлуатації валів верхньої підтримки та встановлено основні причини виходу їх з ладу, що супроводжується зупинкою технологічної лінії. Визначено, що втрата стійкості циліндричних стрижневих тіл обертання на ряду із високими експлуатаційними температурами призводить до розвитку міжкристалітної корозії сталі 15X28, втомної крихкості та руйнуванню як елементів валу, так самого тіла деталі. Проаналізовані теплові режими експлуатації матеріалу дозволили провести моделювання достатніх умов охолодження. Встановлено, що циклічні коливання температури призводять до поверхневого гартування металу, та є неоднорідним за поперечним перерізом. Як результат – фізико-механічні характеристики сталі значно змінюються у масиві деталі та призводять до невідповідності умовам міцності за температури експлуатації 600-700 °С. В результаті досліджень було рекомендовано мікролеговану сталь-замінник, яка задовольняє умовам експлуатації технологічної лінії – прожарювальної печі.

Розглянуто основні принципи охорони праці на металургійному підприємстві та виконано індикативну оцінку витрат на реалізацію проектного рішення із заміни матеріалу валів верхньої підтримки.

РЕЖИМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЖАРОСТІЙКА СТАЛЬ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН, МІКРОЛЕГУВАННЯ, ТЕРМООБРОБКА

## ЗМІСТ

|     |                                                                                                                                   |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....                                                                                                           | 7  |
| 1.1 | Аналіз технологічного процесу виготовлення окатишів в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК».....                                          | 7  |
| 1.2 | Аналіз умов експлуатації термонавантажених вузлів піч-решітки .....                                                               | 16 |
| 1.3 | Аналіз матеріалів, які використовуються для виготовлення жароміцних деталей обжарювальних агрегатів.....                          | 23 |
| 2   | МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                                             | 28 |
| 2.1 | Фізико-механічні характеристики матеріалів .....                                                                                  | 28 |
| 2.2 | Методи дослідження режимів експлуатації валів верхньої підтримки. ....                                                            | 36 |
| 2.3 | Вибір мірних перерізів системи охолодження. Формування вихідних даних розрахунку теплового режиму експлуатації матеріалу ВВП .... | 39 |
| 2.4 | Результати вимірювань об'ємних витрат і параметрів потоку охолоджуючого повітря.....                                              | 43 |
| 2.5 | Розрахунок витрат повітря на ВВП без вимірювальних отворів .....                                                                  | 46 |
| 3   | ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                                                                    | 49 |
| 3.1 | Визначення ефективності існуючої системи примусового повітряного охолодження ВВП.....                                             | 49 |
| 3.2 | Розрахунок температури ВВП методом скінчених елементів .....                                                                      | 52 |
| 3.3 | Оцінка необхідного діапазону розширення матеріалу.....                                                                            | 55 |
| 3.4 | Аналіз хімічного складу зразка та дефектоскопія відпрацьованого ВВП.....                                                          | 58 |
| 4   | ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                                                           | 64 |
| 4.1 | Аналіз потенційних небезпек.....                                                                                                  | 64 |
| 4.2 | Заходи щодо забезпечення безпеки.....                                                                                             | 64 |
| 4.4 | Заходи з пожежної безпеки .....                                                                                                   | 74 |
| 4.5 | Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.....                                                | 75 |
| 4.6 | Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях .....                                                                                     | 77 |
| 5   | ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА РОБОТА .....                                                                                              | 79 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Оцінка готовності технічного рішення.....                  | 79  |
| 5.2 SWOT-аналіз.....                                           | 81  |
| 5.3 Оцінка ступеня готовності проекту до комерціалізації ..... | 83  |
| 5.4 Планування управління проектом.....                        | 86  |
| 5.5 Бюджет проекту.....                                        | 90  |
| ВИСНОВКИ.....                                                  | 95  |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                         | 97  |
| ДОДАТОК А.....                                                 | 99  |
| ДОДАТОК Б .....                                                | 103 |

## **1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **1.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення окатишів в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК»**

Створення економічних високопродуктивних машин та агрегатів високої надійності та довговічності, збільшення виробництва засобів механізації та автоматизації основних та допоміжних робіт – основна мета перспективного розвитку промислових підприємств при значному скороченні сфери застосування ручної, малокваліфікованої та важкої фізичної праці.

Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат (Полтавський ГЗК) – гірничо-збагачувальний комбінат в Україні, виробник та експортер залізорудних окатишів, що застосовуються у чорній металургії та виробництві сталі.

Окатиші – залізорудний матеріал, виконаний із дрібнодисперсної руди або подрібнених концентратів, у вигляді гранул округлої форми (рис. 1.1). Залізорудні окатиші відомі як матеріал для прямого завантаження, що означає, що їх можна розміщувати безпосередньо в доменних печах і не потрібно спікання, на відміну від 63% залізної руди, що споживалася у всьому світі в 2021 році [1].

Окатиші з високоякісної залізної руди є шлях до «зеленої сталі» (тобто сталі, що виробляється без будь-яких викидів вуглецю).



Рисунок 1.1 – Залізорудні окатиші

Технологічна схема виробництва окатишів не має принципових відмінностей від схожої схеми отримання агломерату. Однак окатиші, в порівнянні з агломератами, мають ряд переваг, такі як більш висока холодна міцність, що дозволяє перевозити їх на великі відстані з низькими втратами, незалежно від пори року. Також їх можна довго зберігати на відкритих складах доменних цехів без значних втрат міцності.

Основні операції технологічного процесу виробництва окатишів наступні [2, 3]:

- подача пульпи концентрату із збагачувальної фабрики;
- згущення та усереднення концентрату у рідкому вигляді;
- фільтрація концентрату;
- подрібнення вапняку;
- бункерування;
- дозування компонентів шихти;
- змішування компонентів шихти;
- окомкування шихти (отримання сирих котунів);
- гуркіт сирих окатишів;
- сушіння та попередній нагрівання сирих окатишів;
- випалювання окатишів;

- гуркіт обпалених окатишів;
- охолодження обпалених окатишів;
- складування та відвантаження готових окатишів.

Сирі окатиші формуються при окочуванні тонкодисперсного залізорудного матеріалу, зволоженого до певної міри. Будь-який подрібнений матеріал, що має дуже велику поверхню і, отже, поверхневу енергію, відрізняється термодинамічною потребою до укрупнення частинок. Зволожений залізорудний порошок відноситься до гідрофільних дисперсних систем, що характеризується інтенсивною взаємодією з водою. У такій системі прагнення зменшення енергії реалізується як за рахунок зниження величини поверхневого натягу на межі розділу фаз, так і за рахунок укрупнення частинок. Таким чином, система «дисперсний залізорудний матеріал – вода» має прагнення до окомкування.

Важливим фактором, що визначає зчеплення частинок і міцність сирих окатишів, є величина вихідної питомої поверхні залізорудного концентрату. Остання більшою мірою пов'язана з гранулометричним складом концентрату. Чим більша частка дрібних фракцій, тим вища величина питомої поверхні концентрату. В даний час прийнято, що частка фракції розміром менше 74 мкм повинна становити більше 25%, фракції менше 44 мкм – більше 75-90%, а фракції менше 28 мкм – понад 60-80%. Іншим фактором, що надає великий вплив на обгорткування, є вологість шихти, причому залежність міцності сирих окатишів від кількості води в шихті носить екстремальний характер. Оптимальна вологість шихти залежить від властивостей залізорудного концентрату. У промисловості окатиші виготовляють в окомкователях барабанного (рис. 1.2) або тарілчастого типу [4].



Рисунок 1.2 – Окомковувач барабанний

Окомкователь барабанний призначений для зволоження та оздоблення агломераційної шихти перед подачею на агломераційну машину для спікання. Окомкователь складається з барабана, опорних котків, завантажувальної воронки, установки для зволоження шихти, розвантажувальної камери, рами під розвантажувальну камеру та системи змащування.

Барабан є звареним з листової сталі порожнистим циліндром, футерованим усередині зносостійким матеріалом, один з торців якого має вікно під завантажувальну воронку, а другий входить у розвантажувальну камеру.

Сирі окатиші повинні мати достатню механічну міцність, щоб не зруйнуватися при транспортуванні до випалювальних агрегатів.

У промислових умовах випал ведуть у 4 стадії: сушіння окатишів, нагрівання їх до температури випалу, витримка при температурі випалу (1200-1400 °C), охолодження.

Випалювальна машина – металургійний агрегат для виробництва окатишів. В даний час експлуатуються, як правило, випалювальні машини конвеєрного типу (рис. 1.3) [4, 5].

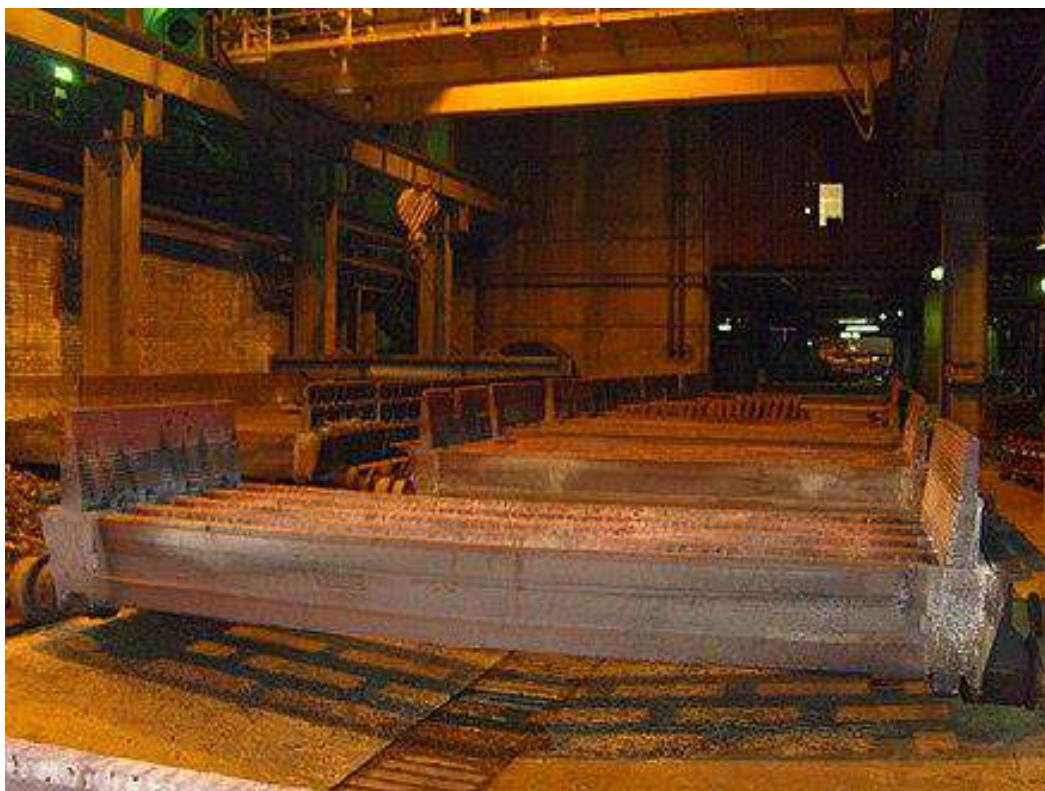


Рисунок 1.3 – Обпалювальний візок (палета) (ПрАТ «Північний ГЗК»)

Принцип дії конвеєрної випалювальної машини з пристроєм аналогічна агломераційним машинам стрічкового типу, але пристосована для роботи при більш високих температурах. Гази, що відходять, відсмоктуються не одним ексгаустером, як при агломерації, а декількома. Відповідно до технології процесу випалу для кращого використання тепла машина розділена на технологічні зони, перекриті зверху спеціальними секціями горна. Тепловий режим кожної секції встановлюють, як правило, незалежно від режиму інших секцій. Гази з кожної зони відсмоктуються окремими димососами. Зазвичай конвеєрна машина складається з наступних зон: сушіння (одна або дві секції), підігріву, випалу (від однієї до трьох секцій), рекуперації та охолодження.

Для підігріву до температури випалу на конвеєрних машинах застосовується газоподібне або рідке паливо. Спалювання може здійснюватися як у шарі окатишів, так і над ним. По довжині машина розділена на зони сушіння, підігріву, випалу та охолодження. Пальники, як правило, встановлюються над зонами сушіння, підігріву та випалу.

Рекуперація здійснюється таким чином, що холодне повітря, що нагнітається вентилятором, проходить знизу через зону охолодження, де підігрівається приблизно до  $400^{\circ}\text{C}$ , а потім вентилятором нагнітається в зони підігріву і випалу. У цих зонах повітря просмоктується через шар зверху та випускається в атмосферу. Оскільки розподіл температур по висоті шару сирих окатишів є нерівномірним, то над першими камерами може відбуватися конденсація водяної пари з газової фази. Перезволожені окатиші мають низьку міцність, деформуються і руйнуються, тобто погіршують газопроникність шару і, як наслідок, якість окатишів. У цьому випадку на випалювальній машині організується зона попереднього сушіння (рис. 1.4).

При висоті шару окатишів 300-500 мм сушіння проводиться протягом 4-7 хв при температурах  $175-400^{\circ}$  з потоком газу, що підводиться знизу. Витрата газу на сушіння становить  $90-120 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . Якщо сушіння здійснюється потоком газу, що підводиться зверху, температуру сушіння підтримують на рівні  $150-340^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 1.4 – Роликовий живильник для завантаження сирих окатишів на випалювальні візки

При збільшенні діаметра окатишів збільшується його термічна масивність, внаслідок чого за однакових умов нагрівання окатиші більшого

розміру мають велику різницю температур по перерізу і меншу середньомасову температуру. При короткій витримці окатишів при оптимальній температурі випалу утворюється нерівномірне температурне поле, яке є причиною неоднакового ступеня закінчення процесу зміцнення. Підвищення якості окатишів при незмінному обсязі виробництва досягають розподілом матеріалу на стрічці: розмір окатишів повинен зменшуватися від верхнього шару до нижнього.

Залежно від особливостей виробництва комплекс обпалювальної машини конвеєрного типу можуть входити [6, 7]:

- гуркіт сирих окатишів;
- випалювальні візки (палети);
- опалювальний горн;
- охолоджувач;
- вакуум-камери;
- тяго-дугтєве обладнання.

Усе це устаткування працює у складних умовах, відчуває різні типи навантажень [7, 8]: динамічні, статичні, технологічні, ударні. Усе це спричиняє зниження показників працездатності.

Додатково на ці показники впливає висока температура технологічного процесу, запиленість повітряного середовища, яка в більшості випадків містить абразивний компонент (у вигляді дрібнодисперсної руди або подрібнених концентратів), загальна вібрація, пов'язана з технологією виробництва окатишів та ін. Все це формує несприятливі умови роботи виробничого обладнання та його вузлів. Тому необхідно розробити технічні (технологічні) рішення, що дозволяють знизити вплив цих факторів на показники працездатності обладнання.

*Сушіння та попередній нагрівання окатишів.* Здійснюється на колосникових решітках, що рухаються. Окатиші проходять три зони: сушіння у висхідному потоці, сушіння у низхідному потоці та попередній підігрів у низхідному потоці. При сушінні у висхідному потоці гарячі гази з

температурою 400°C нагнітаються в шар окатишів знизу, випарюють з окатишів вологу і нагрівають шар до середньої температури приблизно 230°C. Зволожені гази, що залишають шар після сушіння у висхідному потоці, охолоджуються в шарі приблизно до 93°C та після очищення пилу до санітарних норм викидаються в атмосферу. При сушінні в низхідному потоці гази з 400°C просмоктуються через шар зверху донизу. Метою цієї операції є забезпечення видалення вологи з верхнього шару окатишів для запобігання руйнування їх у зоні попереднього нагріву. При попередньому нагріванні гази з температурою 1040...1050°C просмоктуються через шар зверху донизу. Метою цієї операції є отримання необхідної міцності окатишів, при якій вони можуть бути піддані випалу в печі, що обертається без помітного руйнування. Середня температура окатишів після решітки 980°C. Теплова обробка окатишів на решітці здійснюється гарячими газами, що відходять з печі, що обертається. Перекачування газів по зоні решітки здійснюється трьома технологічними вентиляторами, з яких два просмоктують газ зверху вниз через шар окатишів в зоні попереднього нагріву, сушіння низхідним потоком і подають його в зону сушіння висхідним потоком і один вентилятор відсмоктує газ з ковпака зазначеної зони. Схемою передбачена можливість скидання надлишків газу, що надходить з печі, що обертається, в зону попереднього нагріву і подається в зону висхідним потоком (байпасна система).

Решітка оснащена проміжним сухим газоочищенням, встановленим перед вентиляторами зони попереднього нагріву (циклони), мокрого очищення (скруббер) перед скидним вентилятором зони сушіння висхідним потоком.

Випалювання окатишів здійснюється в обертовій печі діаметром – 6700 мм, довжиною – 45720 мм. Для випалу застосовується природний газ, який спалюється в торцевому пальнику, який встановлено на розвантажувальному кінці печі. Випалювання окатишів у печі відбувається за рахунок випромінювання факела пальника та розпеченої футеровки печі, а також

конвекційного теплообміну між газовим потоком циркулюючим протипотоком, через піч, вогнетривким футуруванням і поверхнею шару окатишів. Піч обладнана вентилятором для подачі повітря на спалювання газу та газорегуляторною станцією, що забезпечує тиск газу перед пальником не більше  $2\text{кг/см}^2$ . Окатиші переміщуються вздовж печі за рахунок її обертання, при цьому відбувається постійне пересипання шару котунів і рівномірний їх випал при оптимальній температурі  $1260 + 15\text{--}30^\circ\text{C}$ .

*Охолодження окатишів.* Після печі окатиші потрапляють на станційний охолоджений грохот, за допомогою якого видаляються спіки окатишів або настили з печі крупністю, що обертається 200мм та більше. Після гуркотіння окатиші подаються на охолодження в кільцевий охолоджувач. Кільцевий охолоджувач є решіткою у формі кільця шириною 3111,5мм та середній діаметр (напівсумою зовнішнього та внутрішнього діаметрів) 20116,8мм. У завантажувальній частині охолоджувача встановлена стінка, що розрівнює, для формування рівномірного шару окатишів заввишки 762мм. Охолоджувач має привід безступінчастого регулювання швидкості, за рахунок чого здійснюється автоматичне регулювання висоти шару окатишів. Охолоджувач обертається в горизонтальній площині та конструктивно розділений на три зони: робоча зона, де відбувається охолодження окатишів, становить 303 градуси кола; завантажувальна зона – дуга у 25 градусів, розвантажувальна зона – дуга у 32 градуси.

Охолодження окатишів здійснюється продувом холодного повітря знизу вгору. Робоча зона підрозділяється, у свою чергу, на дві зони: зона рекупераційного охолодження, в якій від окатишів відбирається 70...80 % тепла та зона остаточного охолодження, в якій температура окатишів доводиться до  $120^\circ\text{C}$ . Із зони рекупераційного охолодження нагріте повітря передається в піч, що обертається, частково через завантажувальний жолоб охолоджувача і частково по окремому газопроводу, що з'єднує звід рекупераційної зони охолодження з розвантажувальною частиною печі. Із зони остаточного охолодження газу скидаються в атмосферу без попереднього

очищення з вмістом пилу не більше  $60 \text{ мг/м}^3$ . Забір повітря, що охолоджує, здійснюється з атмосфери. Роботу кільцевого охолоджувача забезпечують два охолодні вентилятори, по одному на кожну зону охолодження.

Охолоджені окатиші подаються на віброживитель-грохот, де виробляється відділення класу плюс 50мм, який забирається пластинчастим конвеєром через спеціальний жолоб, за межі цеху у відкритий штабель. Клас мінус 50мм (кондиційні окатиші), системою стрічкових конвеєрів транспортується на склад або на відвантаження. Схемою вантажопотоків передбачається можливість подачі окатишів на склад, безпосередньо на навантаження в баржі або в залізничні вагони, а також одночасне подання окатишів на навантаження безпосередньо з фабрики та зі складу в залізничні вагони або баржі. Укладання готових окатишів на склад і відвантаження його зі складу здійснюється відповідно одноконсольним штабелеукладачем і роторним парканом підлогового типу на рейковому ході [3].

Таким чином, висока температура, при якій працює більшість технологічного обладнання лінії з виробництва окатишів, а також загальна вібрація, пов'язана з технологією виробництва, формують несприятливі умови роботи виробничого обладнання та його вузлів. Тому необхідно розробити технічні (технологічні) рішення, що дозволяють знизити вплив цих факторів на показники працездатності обладнання.

## **1.2 Аналіз умов експлуатації термонавантажених вузлів піч-решітки**

На ПрАТ «Полтавський ГЗК» застосовується рухома решітка фірми “Allis-Chalmers”, яка призначена для сушіння та попереднього нагріву сирих окатишів з окису заліза та інших добавок до тих меж фізичної якості, які потрібні для подальшої обробки у трубчастій печі (рис. 1.5).



На стрічку спочатку укладається донна та бортова ліжка. Випалювання окатишів проводиться продуктами згоряння газу, що спалюється за допомогою пальників, що встановлюються в укриттях – камерах зон підігріву та випалювання [4, 5].

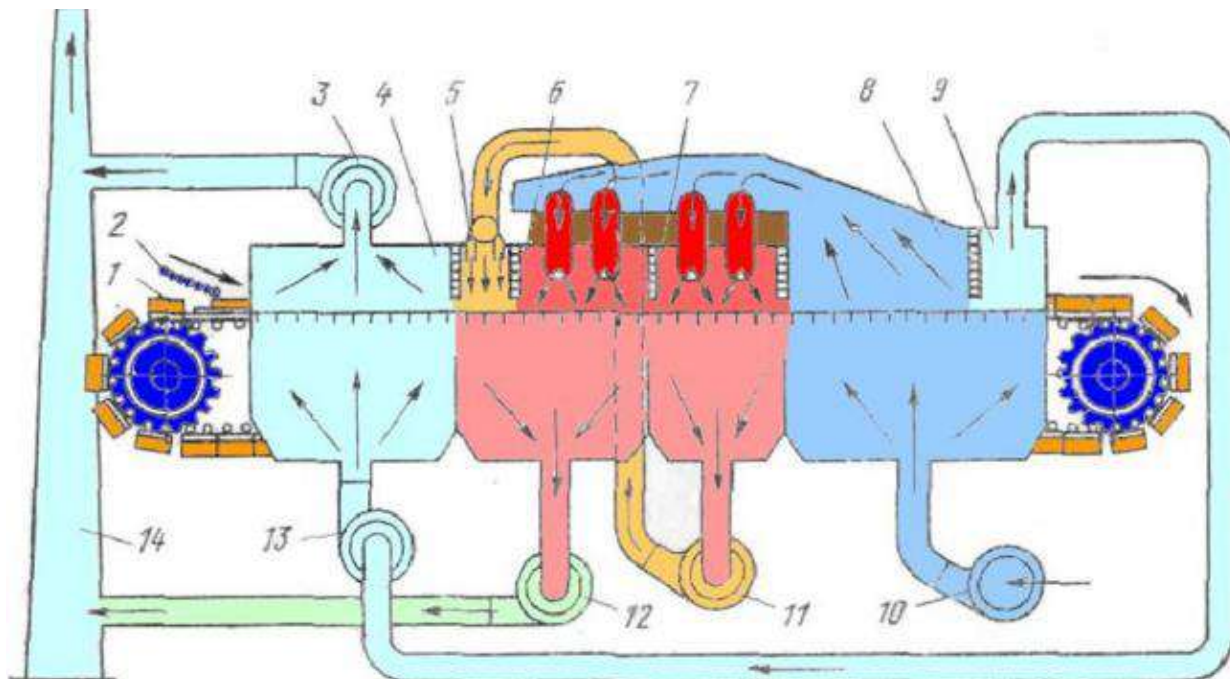


Рисунок 1.6 – Схема конвеєрної машини для випалу окатишів (стрілками показані газо-повітряні потоки)

На відміну від агломераційних машин випалювальні машини мають нижчий вакуум під решіткою через високу газопроникність шару окатишів, що дозволяє замість ексгаустерів використовувати високотемпературні вентилятори 3, 10-13. Продукти згоряння відводяться в трубу 14.

Технічна характеристика конвеєрних машин для випалу окатишів представлена в табл. 1.1.

*Ланцюгові решітки, що рухаються* (рис. 1.7) являє собою конвеєр, що складається з нескінченного багаторядного ланцюга з колосниковим полем, приводного валу з приводом та натяжного пристрою. Каркас ланцюгової решітки виконаний у вигляді просторової металоконструкції, що складається з вертикальних колон, поздовжніх та поперечних балок. На поздовжніх балках встановлені приводний вал із зірочками, натяжний пристрій та роликоопори

ланцюга решітки. У завантажувальній зоні решітки встановлено пристрій для укладання окатишів на колосникове поле, а в розвантажувальній зоні до каркаса прикріплена рама приводу, очисний пристрій та жолоб для перевантаження окатишів у трубчасту піч [6]. Колосники підтримуються валами нижньої та верхньої (рис. 1.8) підтримки.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика конвеєрних машин

| Модель                               | ОК6-Ю8    | ОК 1-306     | ОК-520    |
|--------------------------------------|-----------|--------------|-----------|
| Активна робоча площа, м <sup>2</sup> | 108       | 306          | 520       |
| Ширина робочої поверхні, м           | 2         | 3            | 4         |
| Число візків, шт.                    | 136       | 189          | 204       |
| Швидкість руху візків, м/с           | 0,5...3,0 | 0,63... 3,78 | 1,8...5,6 |
| Товщина шару окатишів, мм            | 250       | 350          | 350       |
| Електродвигун приводу візків:        |           |              |           |
| потужність, кВт                      | 20        | 32x2         | —         |
| частота обертів, об/хв               | 580       | 730          | —         |
| Продуктивність, млн. т/рік           | 0,7...0,8 | 2,15...2,22  | 3,1...3,5 |

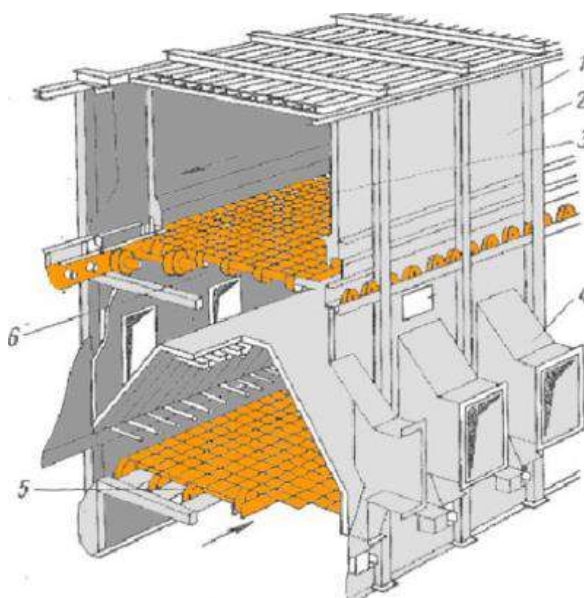


Рисунок 1.7 – Ланцюгова решітка (ПрАТ «Полтавський ГЗК»)

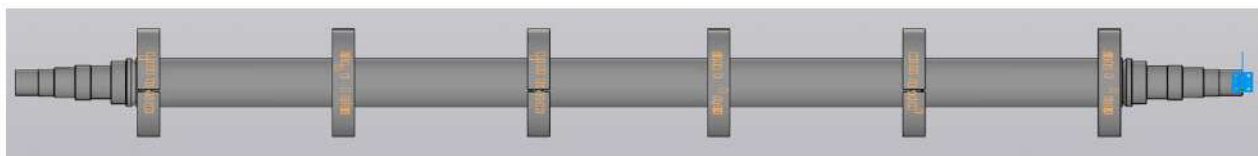


Рисунок 1.8 – Вал верхньої підтримки колосників піч-решітки

Ланцюги складаються з цільних (рис. 1.9, а) або складових (рис. 1.9, б) ланок, відлитих з легованої сталі. Всі ланки одного поперечного ряду насаджені на загальний стрижень 2, який служить опорою для колосникових плиток 3, що встановлюються групами по три штуки між сусідніми рядами ланцюга.

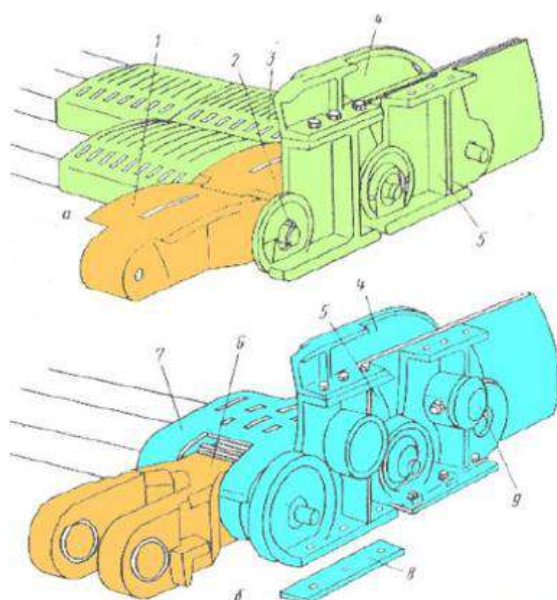


Рисунок 1.9 – Елементи ланок ланцюгової решітки

Привід ланцюгової решітки (рис. 1.10) розташований у розвантажувальному кінці машини. Привідний вал 3 встановлений на підшипниках кочення 5, винесених за межі кожуха, завдяки чому вони не піддаються впливу високих температур та абразивного пилу. На приводному валу встановлено кілька зірочок 4, число яких залежить від ширини решітки і дорівнює кількості рядів ланцюга. Привід решітки включає зубчасте колесо 1, встановлене на приводному валу за допомогою клинової шпонки 2, редуктор 6, розташований нижче зубчастого колеса, електродвигун приводний 7, з'єднаний з редуктором карданним валом 8.

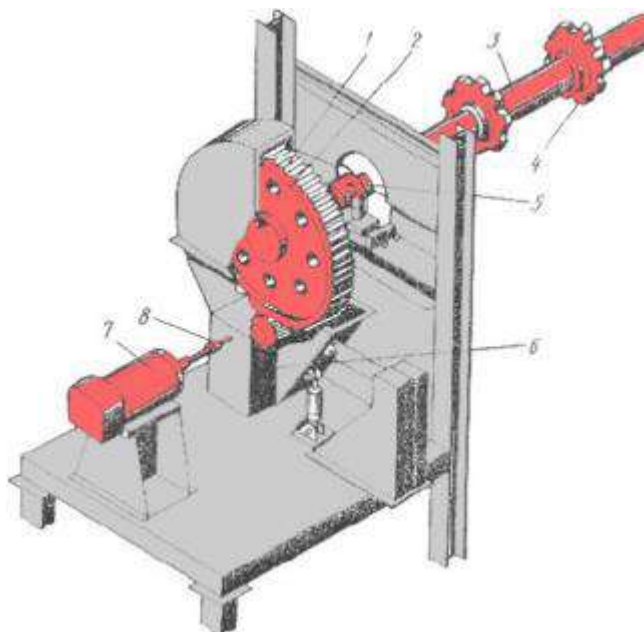


Рисунок 1.10 – Привід решітки

Конструювання обладнання для випалення сирих окатишів в цілому повинно вестися з таким розрахунком, щоб кількість ланок і кінематичних пар було мінімальною, а зусилля між ними розподілялися рівномірно. У схемах повинна передбачатися додаткова рухливість елементів, яка необхідна для компенсації перекосів, зносу і теплових деформацій. При цьому необхідно зводити до мінімуму можливість небезпечних пошкоджень обладнання, можливість яких повністю не усувається. У цьому плані воно має задовольняти такі основні вимоги: при відмові в роботі окремих частин і вузлів не повинна виникати небезпека для обслуговуючого персоналу або для інших машин технологічної лінії; конструкція вузлів має допускати можливість монтажу в неправильному положенні; вузли та агрегати повинні забезпечувати його роботу в заданих умовах експлуатації. Недостатня надійність вузлів може бути підвищена збільшенням запасів міцності. Підвищенню надійності механізмів та систем управління сприяють застосування сучасних методів розрахунку та експериментальні дослідження.

Таким чином, вузли та деталі такого обладнання з часом виходять з ладу, що пов'язане з простом техніки, необхідністю дорогого ремонту та, відповідно, збитками для її власника. Мінімізувати витрати, пов'язані з

ремонтними роботами, допоможе своєчасний технічний огляд та обслуговування, а також вміння вчасно розпізнати поломку та визначити причини її виникнення.

### **1.3 Аналіз матеріалів, які використовуються для виготовлення жароміцних деталей обжарювальних агрегатів**

При чинних умовах експлуатації валів верхньої підтримки печі обжарювання для виробництва окатишів, режими температурного впливу призводять до змін механічних властивостей поверхневого шару матеріалів валів верхньої підтримки.

Деформований метал знаходиться в нерівноважному стані. Перехід до рівноважного стану пов'язаний із зменшенням спотворень у кристалічній решітці – зняттям напруги, що визначається можливістю переміщення атомів. При підвищенні температури металу в процесі нагрівання після пластичної деформації дифузія атомів збільшується, і починають діяти процеси розуміщення, що приводять метал більш рівноважний стан.

При нагріванні до досить високих температур рухливість атомів зростає та відбувається рекристалізація – процес зародження та зростання нових недеформованих зерен вихідної фази при нагріванні металу до певної температури.

Температура початку рекристалізації пов'язана з температурою плавлення:

$$T_{\text{рек}} = \alpha T_{\text{рек}},$$

де для металів високої чистоти  $\alpha = 0,1 \dots 0,2$ ; для технічно чистих металів  $\alpha = 0,4$ ; для твердих розчинів  $\alpha = 0,5 \dots 0,8$ .

Нагрів металу до температур рекристалізації супроводжується різкою зміною як мікроструктури, так і властивостей. Нагрів призводить до різкого зниження міцності при одночасному зростанні пластичності.

На властивості металу великий вплив надає розмір зерен, що виникає при рекристалізації.

Найбільші зерна утворюються після незначної попередньої деформації 3...10%. Таку деформацію називають критичною (рис. 4.1). І така деформація небажана.

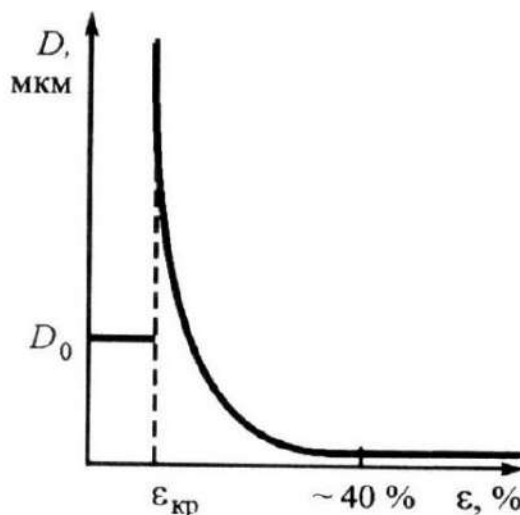


Рисунок 1.11 – Вплив попереднього ступеня деформації металу на величину зерна після рекристалізації

Практично рекристалізований відпал проводять для маловуглецевих сталей при температурі 600...700 °С, для алюмінієвих сплавів - 350 ... 450 ° С, для титанових сплавів - 550...750 °С, для латунів та бронз – 560...700 °С.

Деформація, що здійснюється за температури нижче температури рекристалізації називається холодною деформацією. Холодна деформація супроводжується наклепом металу.

Якщо деформування металу відбувається при температурі вище за температуру рекристалізації, то наклеп після деформації не виникає. Така деформація називається гарячою деформацією.

Зміна властивостей поверхневого шару матеріалу призводить до зміни показників твердості, які важливо контролювати, щоб прогнозувати можливі виходи з ладу обладнання або вносити зміни до вимог щодо контролю температурних коливань і матеріалів валів.

На основі аналізу доступних на ринку України жароміцних сталей, які використовуються для виготовлення силових деталей, можна виділити наступні (табл. 1.2).

На основі зазначеного у таблиці 1.2, можна стверджувати, що допустимим марками сталей для виготовлення валів верхньої підтримки є сталь 15Х28 (застосовується у даний момент у зв'язку із відсутністю динамічних ударних навантажень при експлуатації), 15Х25Т, 30Х25Н19С2Л, 20Х25Н20С2, 10Х18Н18Ю4Д та 10Х23Н18.

Однак, враховуючи конструктивні особливості, а саме з'єднання фланців та катків із валом (рис. 1.11), – методом зварювання, тому використання сталей із обмеженою зварюваністю або схильністю до високої відпускнуї крихкості може призвести до скорочення терміну експлуатації агрегату.

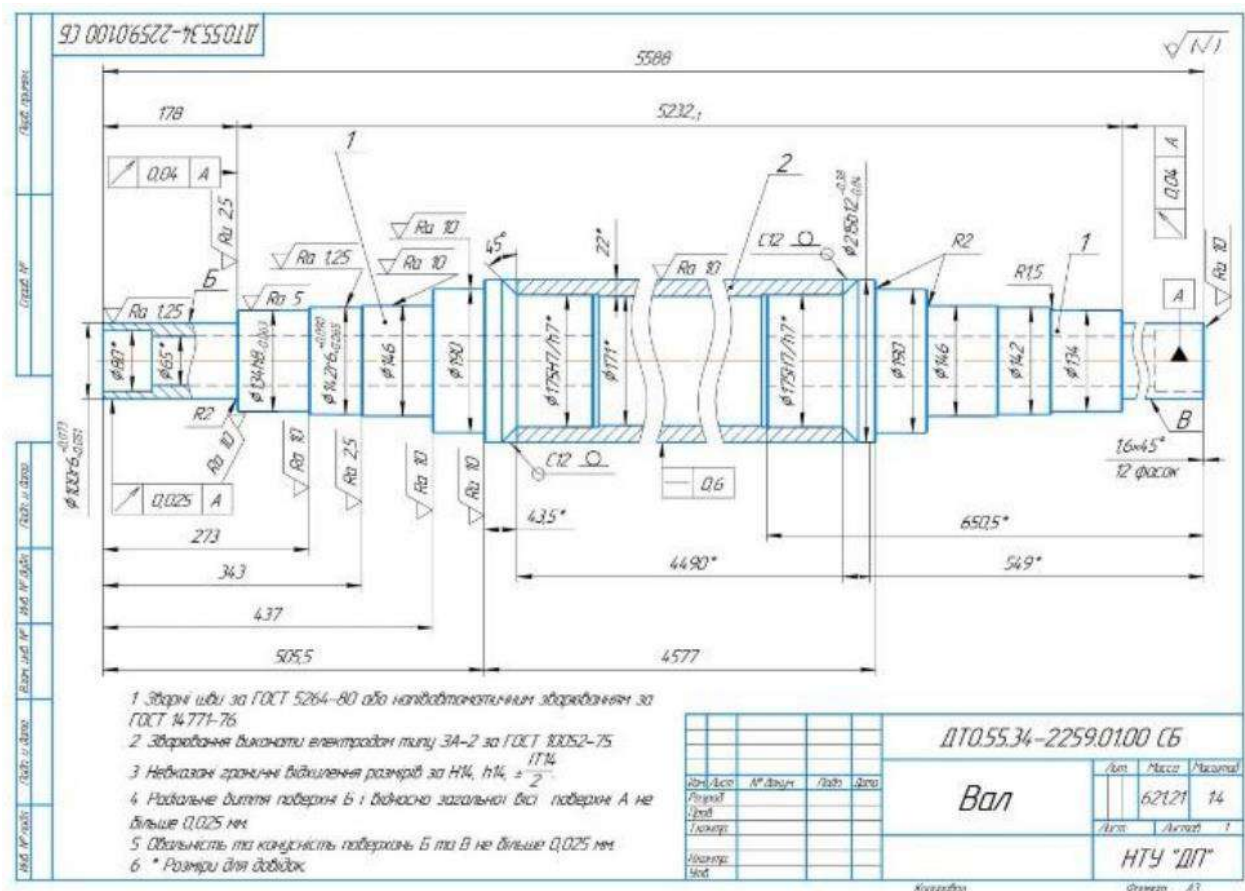


Рисунок 1.11 – Зборочне креслення валу верхньої підтримки

Таблиця 1.2 – Марки застосовуваних жароміцних сталей

| №  | Марка сталі | Робоча температура,<br>°C | Зварювання                 | Використання при<br>навантаженнях                                             | сігма-фаза в інтервалі<br>600-800 °C | Коефіцієнт лінійного<br>подовження $\alpha \times 10^{-6}$<br>1/°C(при 700°C) |
|----|-------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 30XH2МФА    | 400                       | Без обмежень               | Так                                                                           |                                      | 13,7                                                                          |
| 2  | 15X28       | 1050                      | Обмежено<br>зварювана      | Не<br>використовується                                                        |                                      | 11                                                                            |
| 3  | 20X25H20C2  | 1100                      | Без обмежень               | Так                                                                           | Так                                  | <b>17,8</b>                                                                   |
| 4  | 30X25H19C2Л | ~ 1000                    | -                          | -                                                                             | Так                                  | 15,6                                                                          |
| 5  | 20X23H18    | 650-700                   | Обмежено<br>зварювана      | Так                                                                           | Так                                  | <b>17,9</b>                                                                   |
| 6  | 38XH3МФА    | До 400                    | Обмежено<br>зварювана      | Так                                                                           |                                      | 10,5                                                                          |
| 7  | 10X23H18    | до 1000<br>°C             | Важко<br>зварюється        | за відсутності<br>ударного<br>навантаження, при<br>понижених<br>навантаженнях | Так                                  | 13,5                                                                          |
| 8  | 15X25T      | до 1100<br>°C             | Важко<br>зварюється        | за відсутності<br>ударного<br>навантаження                                    | Так                                  | 11,6                                                                          |
| 9  | 18X12ВМБФР  | 620                       | Не<br>використовує<br>ться | -                                                                             |                                      | 12,2                                                                          |
| 10 | 10X18H18Ю4Д | 1100                      | Задовільно<br>зварювана    | Так                                                                           |                                      | <b>18,4</b>                                                                   |
| 11 | 12X12М1БФР  | 630                       | -                          | -                                                                             |                                      | 12,15                                                                         |
| 12 | 15X12ВНМФ   | 780                       | Важко<br>зварюється        | -                                                                             |                                      | 11,9                                                                          |

Наразі використовується сталь 15X28, недоліком якої є виникнення міжкристалітної корозії при температурі експлуатації вище 500 °С, перемінна за глибиною твердість, що є результатом термічної обробки у процесі експлуатації – нагрів до 700 °С та охолодження до 20 °С під час проведення планових ремонтних робіт. Як результат зміни градієнту твердості, пружності та ударної в'язкості у процесі експлуатації, лінійне подовження валу, яке виходить за межі встановлених теплових зазорів, відбувається втрата стійкості циліндричної деталі та руйнування валу.

На основі зазначеного необхідно обґрунтувати такий матеріал для виготовлення валів, який буде задовольняти умови міцності та відповідати експлуатаційним умовам.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Встановити діючі режими охолодження валів технологічної лінії;
2. Визначити діапазон теплового розширення сталі з метою попередження втрати стійкості циліндричної стрижневої деталі.
3. Обґрунтувати конструкцію вузла підшипникового для запобігання виникнення додаткових вісьових навантажень на вал при його теплового розширенні;
4. Обґрунтувати вибір матеріалу-замінника для виготовлення валу із урахуванням визначених експлуатаційних умов.

## 2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Фізико-механічні характеристики матеріалів

За наданими даними у якості матеріалу для виготовлення валів було використано сталь 15X28.

Згідно довідкових даних сталь 15X28 це корозійне-стійка жароміцна сталь феритного класу, яку призначено для використання в зварних конструкціях, які не повинні експлуатуватися в умовах ударного навантаження та при температурах нижче  $-20^{\circ}\text{C}$  та вище  $600^{\circ}\text{C}$  [1]. Хімічний склад сталі наведено у таблиці 3.6, комплекс механічних властивостей (при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ ) у стані постачання – в таблиці 3.7. Основні технологічні властивості: сталь обмежено зварювальна; сталь має схильність до крихкого руйнування [2].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 15X28 (%) [2]

| C       | Si   | Mn     | S        | P        | Cr    | Fe    |
|---------|------|--------|----------|----------|-------|-------|
| до 0,15 | до 1 | до 0,8 | до 0,025 | до 0,035 | 27-30 | залиш |

Таблиця 3.7 – Механічні властивості сталі 15X28 (при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ ) [2]

| Границя міцності,<br>МПа | Границя плинності,<br>МПа | Відносне<br>видовження, % | Відносне<br>подовження, % |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 440                      | 295                       | 20                        | 45                        |

Жаростійкість даної сталі забезпечується додаванням хрому (Cr) і кремнію (Si). Обидва елементи у структурі сталі знаходяться у вигляді твердого розчину та/або карбідної фази [3]. При експлуатації за температур, вищих за  $600^{\circ}\text{C}$  (згідно проведеного аналізу температура експлуатації матеріалу складала  $708...734^{\circ}\text{C}$ ) зовнішнє навантаження може призвести до повільного пластичного деформування структури матеріалу і, як наслідок, до втрати конструкційних властивостей, зокрема міцності. За даними [1] втрата

міцності сталі 15X28 при випробуваннях за температури 700°C складає 20% (порівняно з випробуваннями за температури 20°C).

З урахуванням схильності даної марки сталі до крихкого руйнування та умов циклічного температурного навантаження, тривала експлуатація матеріалу при температурах понад 600°C може призвести до крихкого руйнування виробу (валу). При цьому, детальні дослідження змін структурного стану матеріалу внаслідок впливу підвищених температур експлуатації можливо визначити лише на підставі експериментальних даних. Теоретично можливо припустити, що втрата міцносних властивостей відбувається внаслідок процесів рекристалізації, які відбуваються у структурі матеріалу під час експлуатації при температурах понад 600°C.

На підставі проведеного аналізу деформаційних умов (навантаження, які сприйматиме матеріал) та температур експлуатації можливо рекомендувати у якості матеріалу для виготовлення валів сталі на основі комбінації хрому та нікелю аустенітного класу.

Механічні властивості металу змінюються в залежності від його температурного стану. У процесі офлюсування продукту метал ВВП піддається нагріванню до високих температур, зміна яких відбувається в широких межах.

Цапфи валів (втулки) виготовляються із сталей 40ХГ та сталі 45, які не являються жаростійкими.

Механічні характеристики металу за високих температур не можна вважати дослідженими за причини відсутності зразка валу верхньої підтримки для проведення металографічних досліджень. Більш ґрунтовно вивчені механічні властивості металу в області пружних змін. На рис. 2.1 представлено зміну механічних характеристик сталі залежно від температури при нагріванні до 500-600°C.

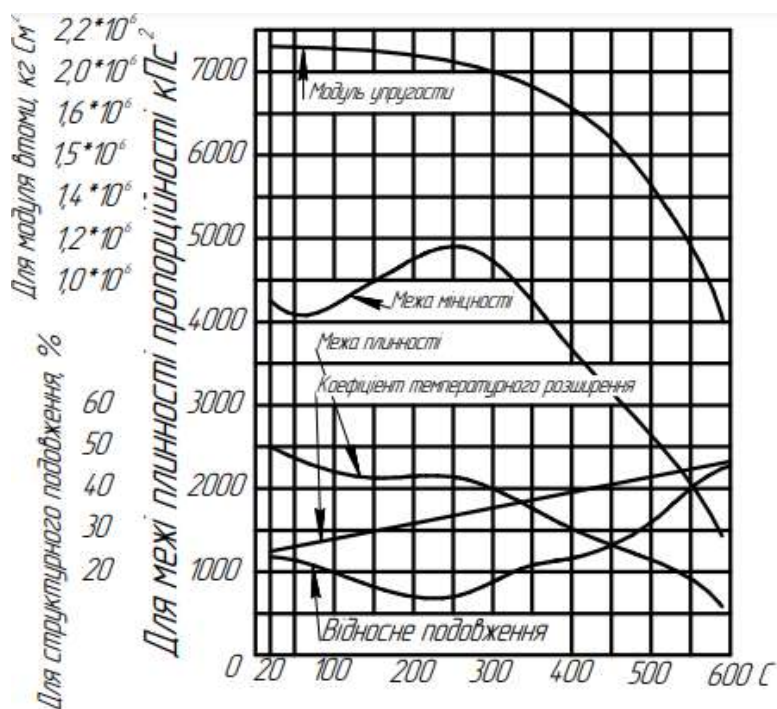
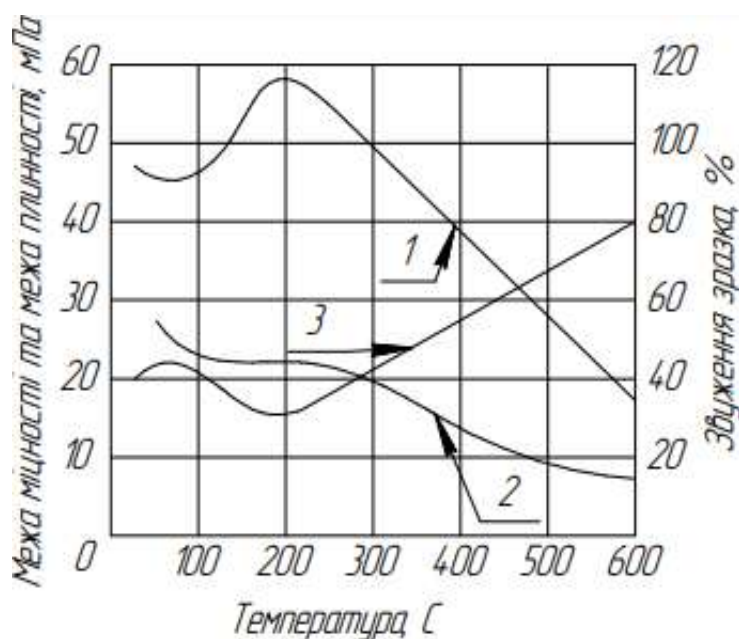


Рисунок 2.1 – Залежність механічних властивостей сталі від температури

Модуль пружності сталі  $E$  при нагріванні поступово знижується, а коефіцієнт теплового розширення зростає. В області температур пружних змін сталі  $\alpha E = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 25$  Па).

Межа міцності сталі з підвищенням температури до  $100^\circ\text{C}$  дещо знижується, потім при подальшому нагріванні підвищується і має найбільше значення в області температур  $200\text{--}300^\circ\text{C}$ . При нагріванні від  $300$  до  $500^\circ\text{C}$  межа міцності сталей 45 та 40ХГ поступово знижується. При температурі вище  $500^\circ\text{C}$  межа міцності сталі різко знижується, приймаючи при  $600^\circ\text{C}$  дуже низькі значення проти міцності при звичайних температурах.



1 - межа міцності; 2 - межа плинності; 3 – пластичність

Рисунок 2.2 – Вплив температури на механічні властивості сталі

Пластичні властивості сталі (рис. 2.2), що характеризуються відносним подовженням і поперечним звуженням при розриві, трохи знижуються в області температур 150-300°C. Зі збільшенням температури вище 300°C пластичні властивості сталі зростають. Такий характер зміни пластичних властивостей сталі показує, що при великій швидкості охолодження закріпленого сталевого елемента його розрив при температурах 150-300°C дуже ймовірний.

За результатами розрахунку температури втулок валів, діапазон температурних коливань складає 200-300°C, що відповідає межам локального зростання межі міцності (рис. 2.1).

Використання постачальником сталі 15X28, як матеріалу температурною навантаженої частини валу, вимагає дотримання температурного режиму експлуатації.

Межа плинності сталі  $\sigma_T$  з підвищенням температури до 500°C дещо знижується, а потім при подальшому підвищенні температури (понад 500°C) різко знижується при досяганні температури 600°C.

Насправді межа плинності сталі трохи підвищується в області температур 150-300°C, потім поступово знижується при нагріванні до 500°C, а після цього різко падає. Зважаючи на малі значення межі плинності сталі при температурі 600°C і вище, приймемо припущення, що межа плинності сталі при температурі 600°C значно знижена.

Результатом недостатнього охолодження валу та фланців кріплення катків підтримки решітки є пластичне руйнування провущин катків (рис. 2.3) та розтріскування валу.



Рисунок 2.3 – Результат пластичного руйнування фланцю валу при недостатній тепловіддачі

При чинних умовах експлуатації валів, режими температурного впливу призводять до поверхневого гартування. Результати вимірювань поверхневої твердості нових та відпрацьованих валів технологічної лінії демонструють збільшення твердості на 20-25HRC.

На рис. 2.3 приведено результати вимірювання твердості відпрацьованого валу, твердість якого в зоні впливу високотемпературних газів складає 41HRC-

50HRC із глибиною шару зазначеної твердості 2-3 мм, що підтверджено вимірювання поверхневої твердості ділянки валу, яка була зрізана решіткою печі (рис. 2.4). Різні температурні градієнти у перерізі валу викликають різні за величиною об'ємні розширення на всій довжині виробу, а також відмінні структури металу, послаблюючи його механічну міцність.

Результати вимірювань поверхневої твердості нових та відпрацьованих валів технологічної лінії демонструють збільшення твердості на 20-25HRC. На рис. 2.4-2.5 приведено вимірювання твердості поверхні нового валу, що становило 23HRC. При чинних умовах експлуатації валів, режими температурного впливу призводять до поверхневого гартування.



твердість 41HRC



твердість 50HRC

Рисунок 2.4— Вимірювання твердості відпрацьованого валу



Рисунок 2.5 – Вимірювання твердості ділянки валу, яка була зрізана решіткою печі. Твердість 23HRC



Рисунок 2.6 – Вимірювання твердості нового валу. Твердість 26 HRC

Результати вимірювання твердості відпрацьованих і нових валів наведений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати вимірювання твердості відпрацьованих і нових валів

| Стан валу                 | Твердість,<br>HRC | Поверхня вимірювання                                  |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Новий                     | 26,0              | Зовнішня поверхня                                     |
| Демонтований,<br>вживаний | 23,0              | Зовнішня поверхня, глибина зносу 2-3 мм               |
|                           | 50,0              | Зовнішня поверхня, середина валу                      |
|                           | ≈ 41,0            | Область крайнього фланцю перед підшипниковою галтеллю |

Відповідно до паспортних характеристик сталі 15X28, із якої виготовлені вали верхньої підтримки, жаростійкість забезпечується для температур

1050°C. Фізико-механічні властивості сталі 15X28 в залежності від температури представлені на рис. 2.7-2.8.

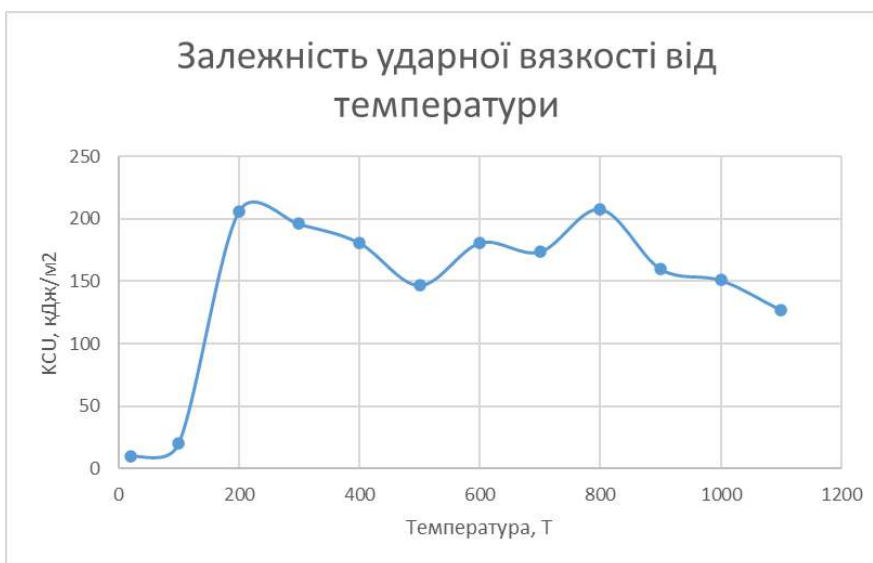


Рисунок 2.7 – Залежність ударної в'язкості від температури сталі 15X28

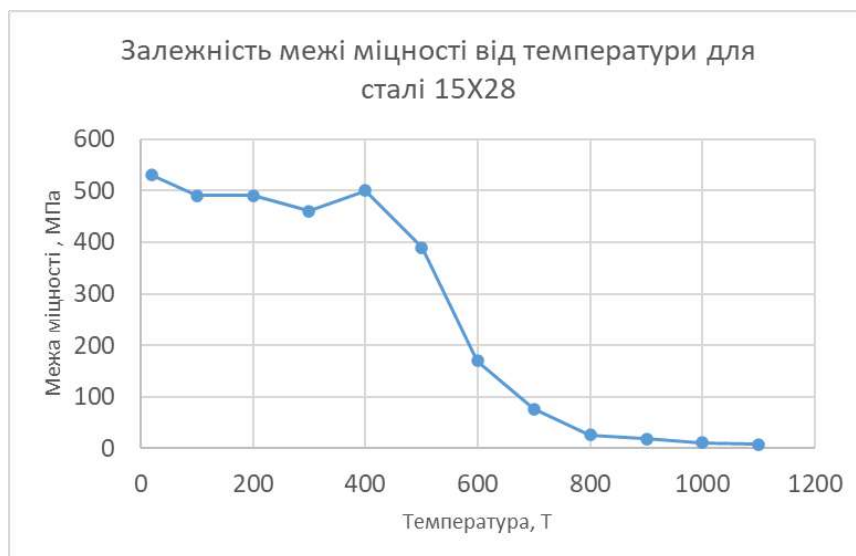


Рисунок 2.8 – Залежність межі міцності від температури сталі 15X28

Проте, відпалювання сталі проводиться при температурах 680-720°C. Температури відпуску 740-780°C із схильністю до відпускнуї крихкості, що може бути одною з причин передчасного руйнування валів. Також, різна температура у перерізі валу призводить до різного об'ємного розширення

металу, що може створювати локальні зони напруження із зміною міцнісних показників.

## **2.2 Методи дослідження режимів експлуатації валів верхньої підтримки**

Тепловий стан деталей впливає не тільки на умови їх змащування, тертя, зносу робочих поверхонь, а й на характеристики міцності матеріалів, з яких вони виготовлені, а також на напруги в них.

Амплітуда зміни напруг від зовнішніх сил, що діють на вал, іноді менше, ніж амплітуда термічної напруги. Тому вони можуть відігравати істотну роль у втомному руйнуванні деталі. Для ряду деталей визначальну роль відіграють саме термічні напруги, і при критичному рівні деталь витримує недостатню кількість теплових впливів, що обмежує термін її служби.

Методи управління тепловою напруженістю валів природно пов'язані з факторами, які є визначальними.

До конструкцій деталей, застосовуваних матеріалів та умов охолодження відповідають конкретні допустимі рівні діючих навантажень:

1. Сили та моменти, що навантажують деталі машин та механізмів.
2. Температурні напруження та деформації.
3. Температурний стан деталей.
4. Теплові навантаження на деталі машин та механізмів та їх теплова напруженість.

Нагрів деталей та вузлів машин, що застосовуються у металургійному виробництві, є наслідком здійснення у ньому робочих процесів за умов високих температур. Якщо деталі або вузли при змінах температури позбавлені можливості вільно розширюватися або стискатися, то в них виникає теплова напруга.

При переході в область температур, при яких починають змінюватись показники міцності, пружності, лінійного розширення, теплопровідність звичайних матеріалів, що застосовуються для виготовлення деталей, слід

користуватися поняттями жароміцності та жаростійкості. Перше характеризує здатність довго витримувати навантаження в умовах високих температур, друге - здатність чинити опір корозії при цих температурах.

Теплові деформації змінюють взаємне розташування деталей у вузлах, що мають різну робочу температуру або виготовлені з різних матеріалів. Часто це призводить до виникнення термічних проміжків або натягів у поєднаннях, що враховують при холодному складанні механізмів в основному або ремонтному виробництві. Зазвичай термічна напруга поєднується з напругою від зовнішніх силових навантажень. Теплову деформацію елемента деталі оцінюють за залежностями виду:

$$\Delta l_0 = \alpha(l_1 - l_0),$$

що враховує її конструкцію, коефіцієнт лінійного розширення матеріалу та її температури в робочому та неробочому стані.

Для забезпечення достатньої довговічності і надійності роботи деталей необхідно, щоб абсолютні значення їх температур не перевищували допустимих величин, а розподіл температури по тілу деталі не викликав виникнення великої температурної напруги і порушення геометрії поверхонь, що сполучаються.

Висока температура деталі також може призвести до значного погіршення фізико-механічних властивостей матеріалу, зміни його структури. Зі зростанням температури зазвичай спостерігається зменшення межі міцності металів, модуля пружності, значно змінюється коефіцієнт лінійного подовження, коефіцієнт теплопровідності та інші параметри. Високий нагрів призводить до зміни твердості матеріалу.

На ряд властивостей матеріалу впливає циклічність теплових та механічних навантажень. Таким чином, оцінка граничних температур для деталей повинна здійснюватися на підставі багатостороннього аналізу умов роботи деталі та властивостей її матеріалу.

У даному розділі представлені результати вимірювань об'ємної витрати потоку охолоджуючого повітря в системі охолодження ВВП, виконаних в умовах підприємства. Відповідність значень об'ємних витрат охолоджуючого повітря умовам експлуатації ВВП є одним із найважливіших факторів, які впливають на надійність і термін експлуатації ВВП.

Проведення вимірювань швидкості та об'ємної витрати охолоджуючого повітря проводилися з урахуванням вимог наступних експлуатаційних та нормативних документів:

1. «Трубки напірні модифікацій НДІОГАЗ та Піто. Інструкція з експлуатації. ПР 2.601.014 РЄ»;
2. Мановакуумметр цифровий ММЦ-200. Інструкція з експлуатації;
3. «Прилад для вимірювання тиску та швидкості потоку TESTO 512. Посібник з експлуатації»;
4. ДСТУ 8725:2017 «Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та обсягу витрати газопилових потоків»;

Для виконання робіт з вимірювання швидкості та об'ємної витрати потоку охолоджуючого повітря використовувалася наступна апаратура:

1. Комбінований цифровий манометр з температурною компенсацією для вимірювання тиску, розрядження та диференціального тиску газів Testo 512;
2. Мановакуумметр цифровий ММЦ-200
3. Трубка Піто;
4. Вимірювач температури газів «ИТ-1».

Для виконання робіт із дефектоскопії та визначення хімічного складу зразка відпрацьованого ВВП використовувалася наступна апаратура:

5. Дефектоскоп УД4-76, зав. № 150, свід. про калібрування №154-21, дійсне до 29.12.2023р.
6. Перетворювач малогабаритний ABC-04,45-TruSonic ( $f=4\text{MHz}$ ;  $\alpha^\circ=45^\circ$ ), зав.№0816.

7. Комплект стандартних зразків КОУ-2, свід. про калібрування №728-20, дійсне до 07.10.2023р.
8. Стандартний зразок 20-3,0х2,0, зав.№44, свід. про калібрування №150-20, дійсне до 06.03.2023.
9. Пристрій намагнічуючий типу МАГЕКС-1, зав.№206, свід. про калібрування №750-20, дійсне до 23.10.2022.
10. Стандартний зразок МД, зав.№22-08, свід. про калібрування №122-21, дійсне до 08.02.2025
11. Масляна суспензія магнітного порошку ARDROX 8032, № партії: С232126650; дата поставки: 04.2020р.; термін придатності: 04.2023р.
12. Фонова фарба Nr.104A № партії: DL30335 дата поставки: 04.05.2019р. термін придатності: 05.2025р.
13. Прецезійний аналізатор Expert 4L W206U

### **2.3 Вибір мірних перерізів системи охолодження. Формування вихідних даних розрахунку теплового режиму експлуатації матеріалу ВВП**

Вибір мірних перерізів та точок для вимірювання тиску та швидкостей руху потоку повітря в повітроводах системи охолодження ВВП здійснювався відповідно до вимог ДСТУ 8725-2017 з урахуванням існуючої геометрії газоходів, доступу до точок вимірювання та забезпечення умов для безпечного виконання вимірювань:

1. в напірному повітропроводі вентиляторів технологічної лінії на відстані приблизно 4 м від вентиляторів;
2. в системі охолодження безпосередньо перед і за валами верхньої підтримки зони попереднього нагріву (відм. 23,800 м);
3. у відгалуженнях системи охолодження валів верхньої підтримки для охолодження балки ножів сколювання, головного валу та електродвигуна приводу решітки (відм. 16,300 м).

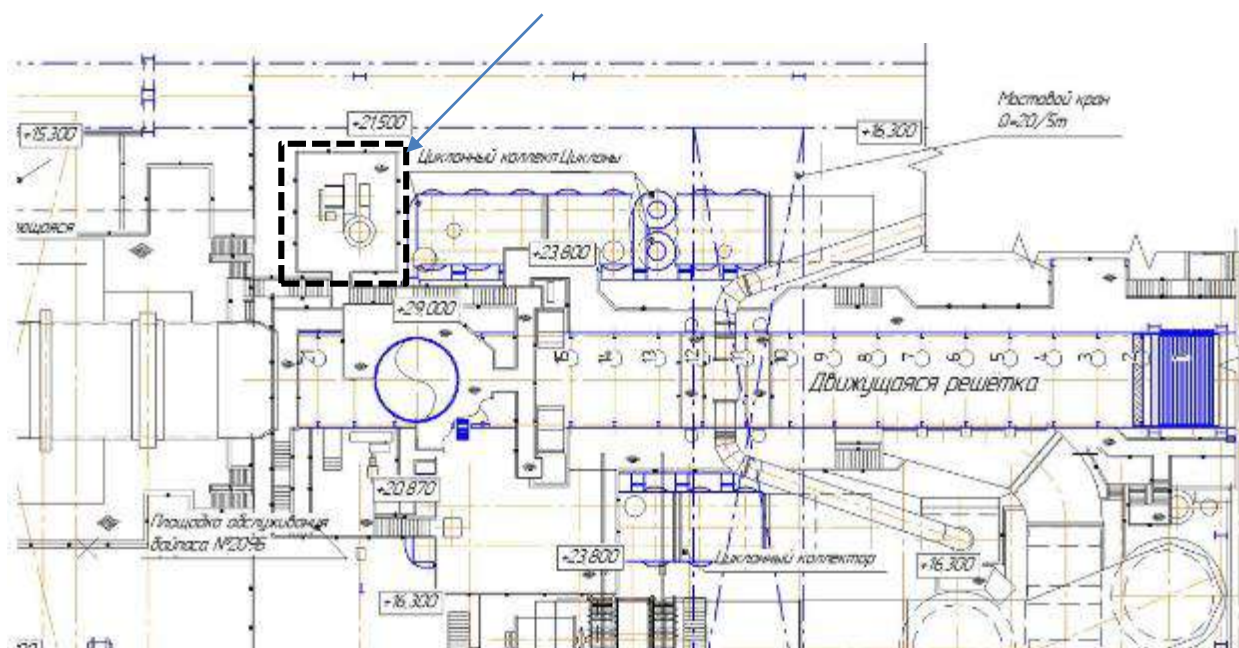


Рисунок 2.9 – Розташування місця проведення вимірювань на повітропроводі вентилятора головного провітрювання.



Рисунок 2.10– Розташування місця проведення вимірювань на повітропроводі вентилятора головного провітрювання

З метою визначення витрат охолоджуючого повітря на валах, в яких не були зроблені вимірювальні порти, були виконані вимірювання об'ємних витрат повітря в загальному повітроводі в системі охолодження перед ВВП. Результати цих вимірювань числено дорівнюють об'ємним витратам повітря, що надходять до всіх ВВП. Маючи значення балансу витрат повітря в системі охолодження, математичним методом визначаються витрати повітря на валах, що не мають вимірювальних отворів, за умови, що вони не мають пошкодження (свищів, тріщин).

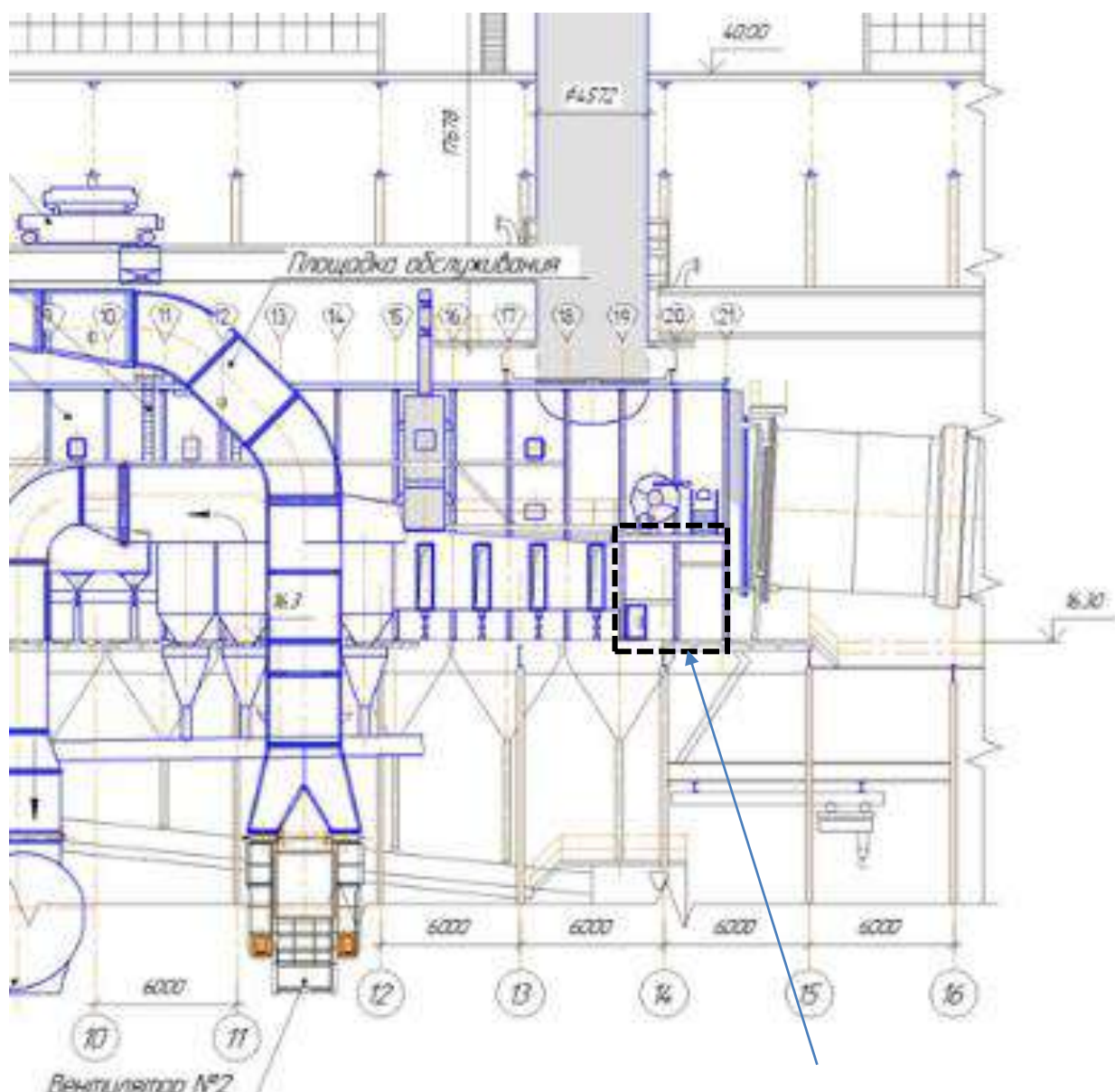


Рисунок 2.11 – Розташування місця проведення вимірювань у відгалуженнях системи охолодження валів верхньої підтримки для охолодження балки ножів сколювання, головного валу та електродвигуна приводу ґрат.

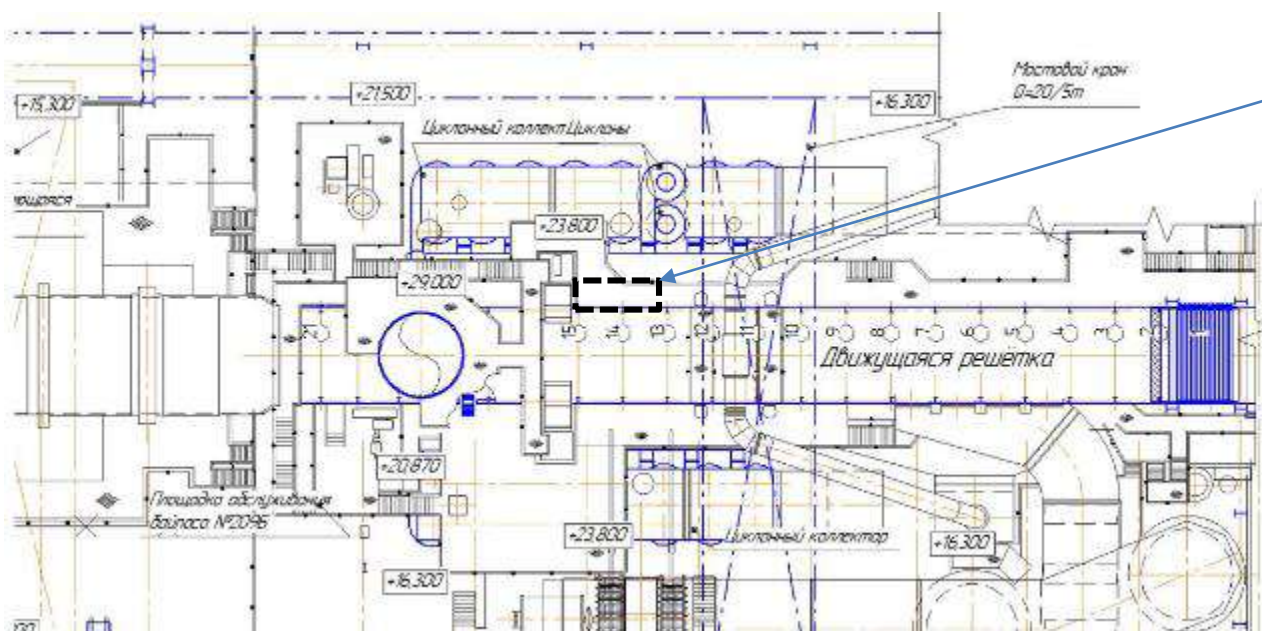


Рисунок 2.12– Розташування місця проведення вимірювань у відгалуженнях системи охолодження валів верхньої підтримки для охолодження балки ножів сколювання, головного валу та електродвигуна приводу ґрат.

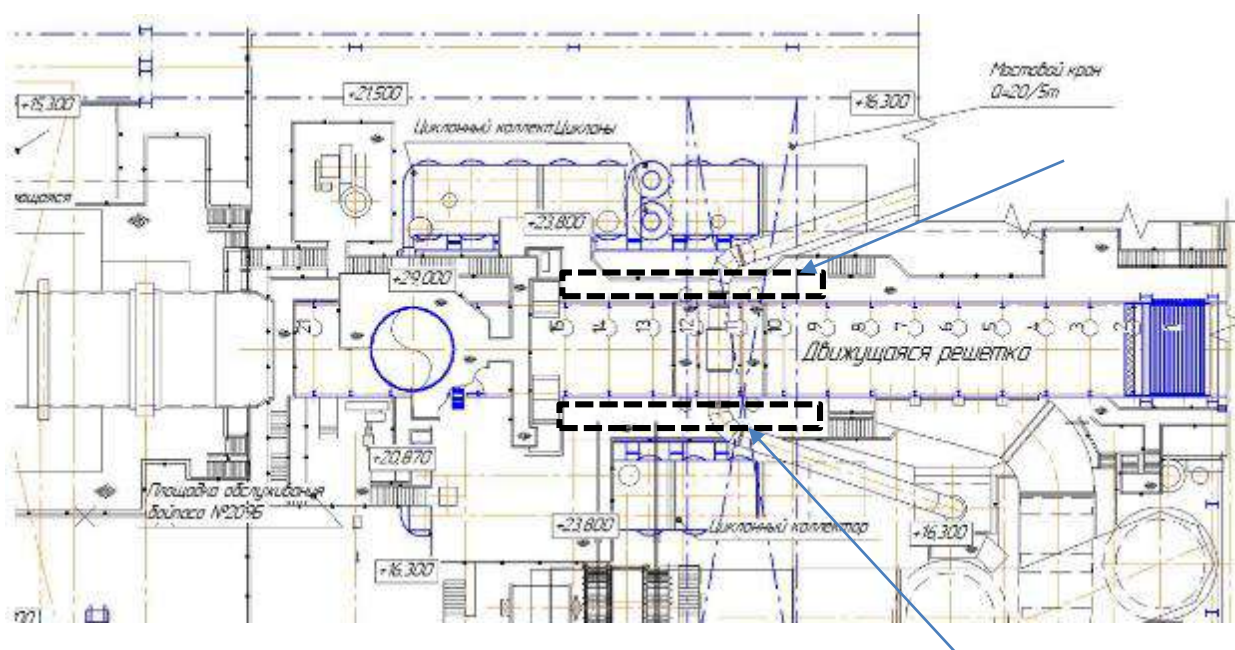


Рисунок 2.13 – Розташування місця проведення вимірювань безпосередньо перед та після валів верхньої підтримки зони попереднього нагріву.

Використовуючи зазначене обладнання біло проведено визначення параметрів витрати охолоджуючого повітря, що в подальшому буде слугувати вихідними даними для визначення теплового режиму експлуатації кожного із 28 валів.

## 2.4 Результати вимірювань об'ємних витрат і параметрів потоку охолоджуючого повітря

У Додатку А наведені результати вимірів об'ємних витрат і параметрів потоку охолоджуючого повітря в системі охолодження безпосередньо перед і після ВВП №№1-4, №№22-28.

В табл. 2.3 наведені результати вимірів об'ємних витрат і параметрів потоку охолоджуючого повітря в напірному повітропроводі вентиляторів 42102-1 (42102-2) ТЛ2 і у відгалуженнях системи охолодження ВВП.

Таблиця 2.3 – Результати вимірювання об'ємних витрат охолоджуючого повітря

| № | Найменування параметру                            | Позна-чення | Од. вимір.         | Нагні-таючий | Обдув балки | Обдув вала | Обдув ЕД |
|---|---------------------------------------------------|-------------|--------------------|--------------|-------------|------------|----------|
|   | Площа перерізу повітроводу в мірному перерізі     | F           | м <sup>2</sup>     | 0,345        | 0,004       | 0,004      | 0,004    |
|   | Динамічне тиск потоку повітря в мірному перерізі  | pdv         | Па                 | 262          | 900         | 705        | 2 756    |
|   | Повний тиск потоку в мірному перерізі             | pm          | Па                 | 8 692        | 7 800       | 1 130      | 4 950    |
|   | Статичний тиск потоку в мірному перерізі          | psm         | Па                 | 8 430        | 6 900       | 425        | 2 150    |
|   | Середня швидкість руху повітря в мірному перерізі | vm          | м/с                | 19,75        | 36,81       | 33,61      | 65,56    |
|   | Об'ємна витрата, повітря                          | Q           | м <sup>3</sup> /с  | 6,81         | 0,14        | 0,13       | 0,25     |
|   | Об'ємна витрата, повітря                          | Q           | м <sup>3</sup> /хв | 408,47       | 8,50        | 7,76       | 15,14    |

В результаті аналізу даних вимірювань було виявлено суттєву різницю (більше 10%) в значенні об'ємних витрат повітря між входом та виходом на ВВП №№28, 26, 21, 2.

Результати аналізу різниці наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Аналіз режиму охолодження валів

| №  | Найменування параметру                   | Од. вимір | ВВП 28 | ВВП 27 | ВВП 26 | ВВП 24 | ВВП 23 | ВВП 22 | ВВП 21 | ВВП 4 | ВВП 3 | ВВП 2 | ВВП 1 |
|----|------------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1. | Різниця за швидкістю (ВХ-ВИХ)            | м/с       | 4,80   | 0,24   | 8,36   | 0,19   | 0,47   | 2,31   | 10,41  | 0,36  | 1,75  | 13,02 | 0,28  |
| 2. | Різниця за об'ємною витратою (ВХ-ВИХ)    | м3/хв     | 2,26   | 0,11   | 3,94   | 0,09   | 0,22   | 1,09   | 4,91   | 0,17  | 0,83  | 6,13  | 0,13  |
| 3. | Різниця за об'ємною витратою (ВХ-ВИХ)/ВХ | %         | 26%    | 1%     | 40%    | 1%     | 2%     | 8%     | 46%    | 1%    | 5%    | 41%   | 1%    |

На рисунках 2.14 і 2.15 графічно відображено значення витрат охолоджуючого повітря на вході і виході ВВП та значення їх різниці в абсолютних одиницях вимірювання та відносних.

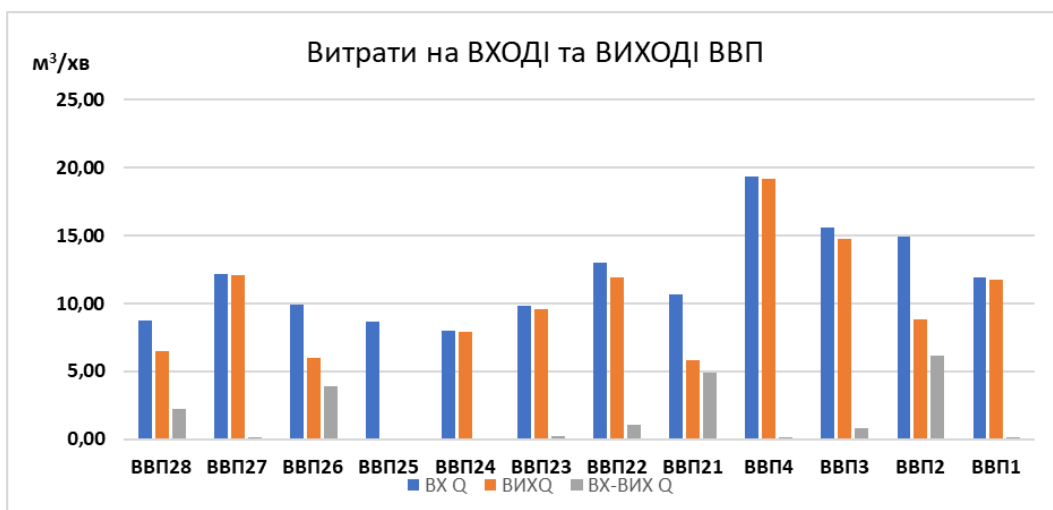


Рисунок 2.14– Співвідношення витрат на вході і виході ВВП та різниці

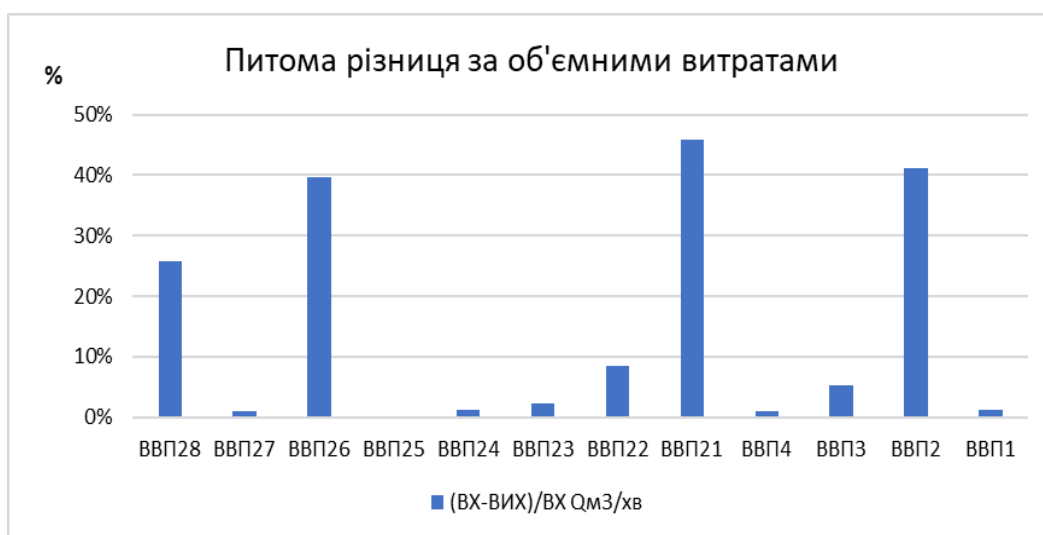


Рисунок 2.15– Значення питомої різниці витрат на вході і виході ВВП

Найбільш вірогідним поясненням різниці значень витрат повітря на вході і виході ВВП є пошкодження цілісності валу, тобто наявність отворів в корпусі ВВП, через які виходить охолоджуюче повітря, що погіршує процес охолодження ВВП і прискорює його руйнування.

Вищезазначена ознака може бути використана для діагностування пошкоджень ВВП з подальшим використанням цих даних для планування ремонтів піч-решітки.

## 2.5 Розрахунок витрат повітря на ВВП без вимірювальних отворів

Приймаючи допущення, що на ВВП без вимірювальних портів значення об'ємних витрат лінійно зменшується в залежності від віддаленості ВВП від головного колектора, використовуючи математичний апарат лінійного тренду було розраховано значення витрат повітря на вході ВВП №№5-20.

Враховуючи наявність суттєвої різниці значень об'ємних витрат повітря між входом і виходом на деяких ВВП, яка, найвірогідніше, пов'язана з наявністю пошкоджень, використати вищевказаний метод лінійного тренду для розрахунку витрат повітря на виході ВВП не має можливості.

Результати моделювання, виконані із використанням математичного апарату та оброблені у Microsoft Excel, приведені на рисунку 2.16 та в таблиці 2.5.

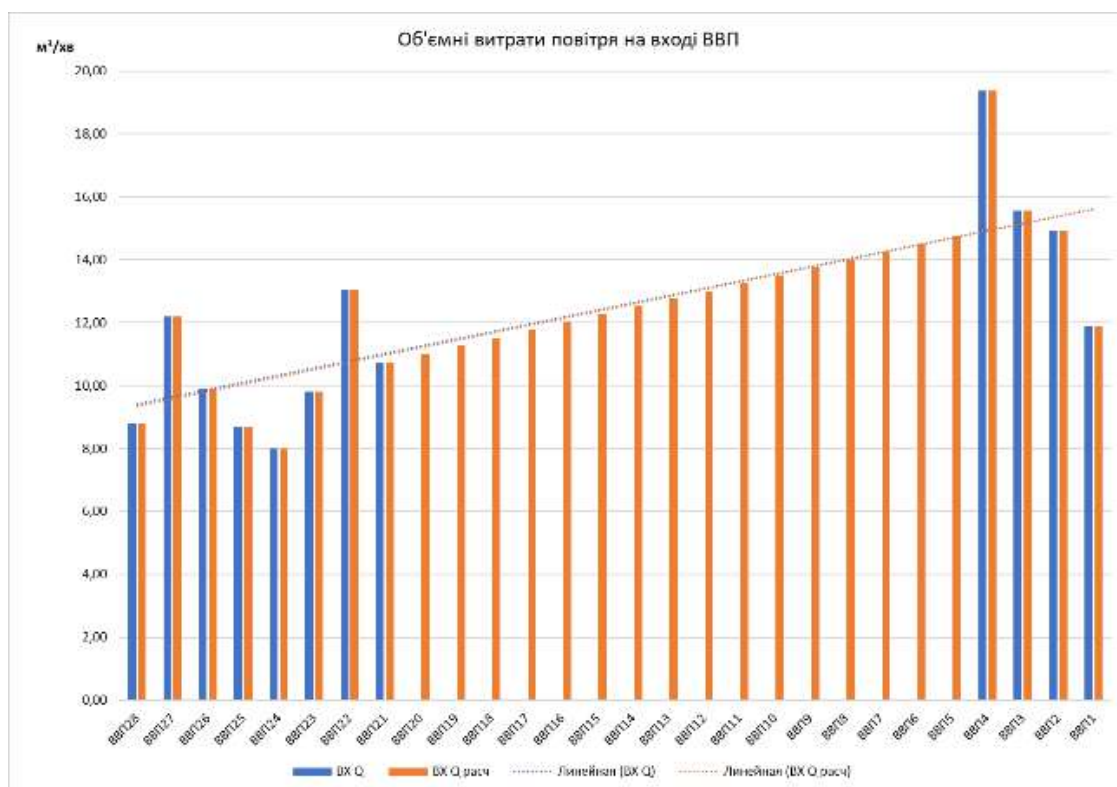


Рисунок 2.16– Результати моделювання значень об'ємних витрат повітря на вході ВВП без вимірювальних отворів

Таблиця 2.5 – Результати моделювання витрат повітря

| № ВВП | Виміряна об'ємна витрата повітря, м <sup>3</sup> /хв |
|-------|------------------------------------------------------|
| ВВП28 | 8,79                                                 |
| ВВП27 | 12,20                                                |
| ВВП26 | 9,92                                                 |
| ВВП25 | 8,69                                                 |
| ВВП24 | 8,00                                                 |
| ВВП23 | 9,80                                                 |
| ВВП22 | 13,02                                                |
| ВВП21 | 10,71                                                |
| ВВП4  | 19,37                                                |
| ВВП3  | 15,56                                                |
| ВВП2  | 14,94                                                |
| ВВП1  | 11,89                                                |

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку витрат повітря

| № ВВП | Розрахована об'ємна витрата повітря, м <sup>3</sup> /хв |
|-------|---------------------------------------------------------|
| ВВП20 | 11,00                                                   |
| ВВП19 | 11,30                                                   |
| ВВП18 | 11,50                                                   |
| ВВП17 | 11,77                                                   |
| ВВП16 | 12,02                                                   |
| ВВП15 | 12,27                                                   |
| ВВП14 | 12,52                                                   |
| ВВП13 | 12,77                                                   |
| ВВП12 | 13,02                                                   |
| ВВП11 | 13,27                                                   |
| ВВП10 | 13,52                                                   |
| ВВП9  | 13,77                                                   |
| ВВП8  | 14,02                                                   |
| ВВП7  | 14,27                                                   |
| ВВП6  | 14,52                                                   |
| ВВП5  | 14,77                                                   |

Розрахунок витрат повітря на ВВП без вимірювальних отворів був перевірений через баланс об'ємних витрат в системі охолодження виміряних на різних ділянках. Результат перевірки представлений в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Перевірка балансу об'ємних витрат повітря

| № | Місце мірного перерізу                                                      | Од.виміру          | Значення |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|
| 1 | Нагнітаючий повітропровід вентилятора 41102 (відразу за вентилятором)       | м <sup>3</sup> /хв | 408,47   |
| 2 | Обдув балки ножів сколювання                                                |                    | 8,50     |
| 3 | Обдув головного валу                                                        |                    | 7,76     |
| 4 | Обдув електродвигуна приводу піч-решітки                                    |                    | 15,14    |
| 5 | Вхідні повітропроводи валів нижньої підтримки (сумарна витрата на 28 валах) |                    | 349,16   |
| 6 | Перевірка балансу об'ємної витрати повітря (п.1-пп.2-5)                     |                    | 27,91    |
| 7 | Відносна похибка                                                            | %                  | 7        |

Отримане значення відносної похибки задовільне для інженерних розрахунків.

Таким чином, було отримано вихідні дані для визначення режимів охолодження валів під час експлуатації, що буде використано у експериментальній частині для моделювання чисельним методом теплового розширення по експлуатаційних температур валу, визначення відповідності характеристик матеріалів умовам міцності та експлуатаційному середовищу.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення ефективності існуючої системи примусового повітряного охолодження ВВП

В даному розділі виконаний розрахунок необхідної кількості повітря для оцінки існуючої системи примусового повітряного охолодження ВВП у розрізі визначення необхідного (достатнього) обсягу охолоджуючого повітря в одиницю часу для забезпечення надійної роботи обладнання.

За результатами вимірювання об'ємних витрат охолоджуючого повітря (таблиця 3.1) має місце наявність дефектів у ВВП №№28, 26, 21 і 2.

Таблиця 3.1 – Розподіл потоку повітря охолодження між ВВП

| №ВВП                                               |                        | 28   | 27    | 26   | 25   | 24   | 23   | 22    | 21    | 4     | 3     | 2     | 1     |
|----------------------------------------------------|------------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Температура вхідного потоку охолоджуючого повітря  | $t_1, ^\circ\text{C}$  | 14,3 | 14,3  | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3  | 14,3  | 14,3  | 14,3  | 14,3  | 14,3  |
| Температура вихідного потоку охолоджуючого повітря | $t_2, ^\circ\text{C}$  | 181  | 178   | 202  | 203  | 184  | 175  | 175   | 175   | 93    | 105   | 116   | 90    |
| Об'ємна витрата повітря (на вході),                | $\text{м}^3/\text{хв}$ | 8,79 | 12,2  | 9,92 | 8,69 | 8    | 9,8  | 13,02 | 10,71 | 19,37 | 15,56 | 14,94 | 11,89 |
| Об'ємна витрата повітря (на виході)                | $\text{м}^3/\text{хв}$ | 6,53 | 12,08 | 5,98 | *    | 7,91 | 9,58 | 11,93 | 5,8   | 19,2  | 14,73 | 8,81  | 11,76 |
| Відносна різниця об'ємної витрати повітря          | %                      | 26   | 1     | 40   | *    | 1    | 2    | 8     | 46    | 1     | 5     | 41    | 1     |

\* – дані відсутні через неможливість доступу до трубопроводу

У зв'язку з чим, подальший розрахунок проведено за параметрами витрати повітря на вхідному вимірювальному порту валу, а для валів, які мають суттєву втрату охолоджуючого потоку відносно входу припускається, що витрата повітря відбуваються в середній площині валу, як найвірогідніше місце локалізації дефектів та свищів, а нагрів повітря відбувається миттєво.

Потужність теплового потоку охолодження всередині валу:

$$Q = G \cdot C_p(T) \cdot (t_1 - t_2), \text{ кВт}$$

де  $G$  – масова витрата повітря, кг/с.

$C_p(T)$  – питома теплоємність повітря, кДж/(кг×К) (табл. 2.2);

$t_2$  – температура на виході валу. (табл. 2.1);

$t_1$  – температура на вході валу. (табл. 2.1).

$$G = V_o \cdot \rho(T) / 60$$

де  $V_o$  – об'ємна витрата повітря, м<sup>3</sup>/хв.

$\rho(T)$  – густина повітря в залежності від температури, кг/м<sup>3</sup>.

Так, для ВВП №28 за параметром витрати повітря на вході валу:

$$Q_{ввп28вх} = 8,79 \cdot 0,79 / 60 \cdot 1,022 \cdot (14,3 - 181) = |19,71| \text{ кВт}$$

Для ВВП №28 за параметром втрати повітря у серединній площині валу:

$$Q_{ввп28вих} = 6,53 \cdot 0,79 / 60 \cdot 1,022 \cdot (14,3 - 181) = |14,6| \text{ кВт}$$

Результати розрахунку потужності охолодження ВВП зведено в таблицю 3.3.

Таблиця 3.2 – Питома теплоємність повітря  $C_p$  ( $T$ ) в залежності від температури

| $t, ^\circ\text{C}$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\times\text{K})$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\times\text{K})$ |
|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| 10-60               | 1,005                                       | 170                 | 1,02                                        |
| 70-120              | 1,009                                       | 180                 | 1,022                                       |
| 130                 | 1,011                                       | 190                 | 1,024                                       |
| 140                 | 0,013                                       | 200                 | 1,026                                       |
| 150                 | 1,015                                       | 250                 | 1,037                                       |
| 160                 | 1,017                                       | 300                 | 1,047                                       |

Таблиця 3.3 – Температури валу верхньої підтримки за показниками вхідного потоку

| №ВВП                                                      |                 | 28    | 27   | 26    | 25    | 24   | 23   | 22   | 21    | 4    | 3    | 2    | 1    |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Потужність охолодження валу за вхідним потоком            | $Q, \text{кВт}$ | 19,71 |      | 25,13 |       |      |      |      | 23,15 |      |      | 24,5 |      |
| Потужність охолодження валу за вихідним потоком           | $Q, \text{кВт}$ | 14,6  |      | 15,2  |       |      |      |      | 12,5  |      |      | 13,1 |      |
| Потужність охолодження валів із незначною втратою повітря | $Q, \text{кВт}$ |       | 25,4 |       | 20,7* | 19,9 | 21,2 | 28,1 |       | 24,0 | 22,3 |      | 14,7 |

\* - для розрахунку використано параметр витрати повітря на вході валу через технічну неможливість виконати вимірювання на вихідному повітропроводі.

Таблиця 3.4 – Зміна питомої густини повітря в залежності від температури

| Параметр                                              | Од.<br>вимір      | ВВП   |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
|                                                       |                   | 28    | 27    | 26    | 25    | 24    | 23    | 22    | 21    | 4    | 3     | 2     | 1    |
| Температура                                           | °C                | 181,0 | 178,0 | 202,0 | 203,0 | 184,0 | 175,0 | 175,0 | 175,0 | 93,0 | 105,0 | 116,0 | 90,0 |
| Густина<br>повітря в<br>залежності від<br>температури | кг/м <sup>3</sup> | 0,78  | 0,79  | 0,74  | 0,74  | 0,77  | 0,79  | 0,79  | 0,79  | 0,97 | 0,93  | 0,91  | 0,97 |

### 3.2 Розрахунок температури ВВП методом скінчених елементів

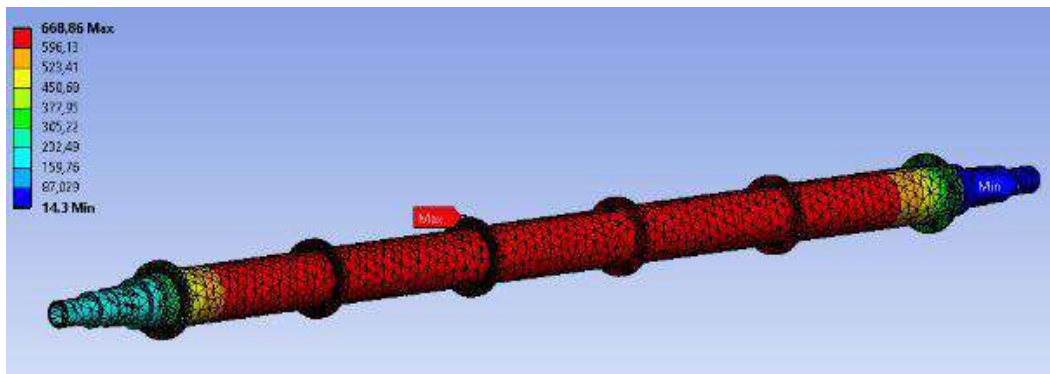
Для визначення температур ВВП, зокрема температури поверхні валу, було застосовано Ansys R18.1 та модуль State-State Thermal для визначення розподілу температурного потоку та параметрів теплової деформації.

Моделювання виконано для трьох схем розподілу повітря. ВВП із відносною різницею втрати охолоджуючого повітря 1-8% (ВВП №№ 27, 25, 24, 23, 22, 4, 3, 1) охолоджуються потоком, потужність якого визначено за вхідною витратою повітря. Вали із відносною різницею витрати повітря 26-46% (ВВП № 28, 26, 21, 2) розраховуються для двох випадків:

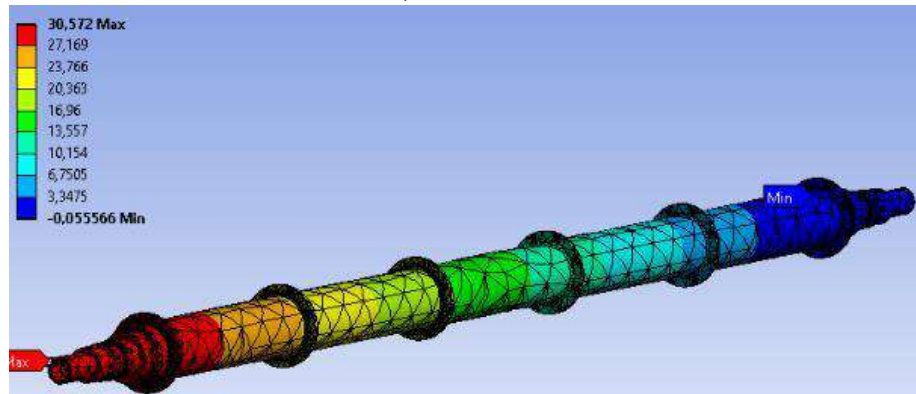
1. Витрата повітря на вхідному з'єднанні повітропроводу та валу;
2. Витрата повітря у середній площині.

Для цього на 3D модель валу накладено умови нагріву (табл. 3.1-3.4) та потужності охолодження відповідного ВВП.

Результати розрахунку температури та теплового розширення ВВП №28, 26, 21, 4 у випадку втрати охолоджуючого повітря на вході у вали представлені на рисунках 3.1-3.2. Результати моделювання за рештою валів приведена у Додатку Б.

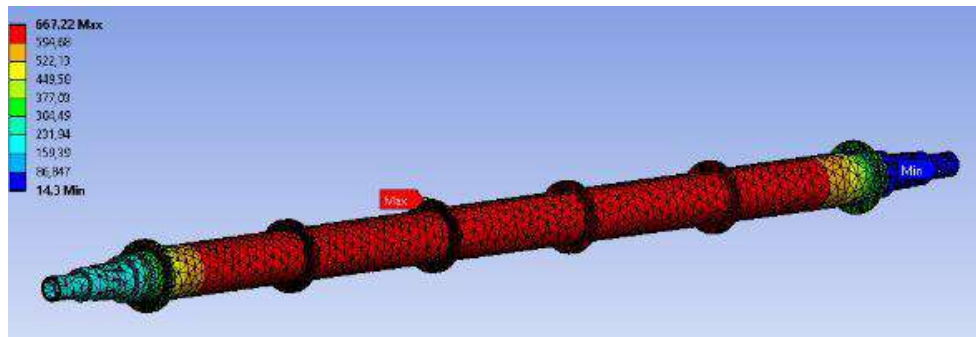


а)

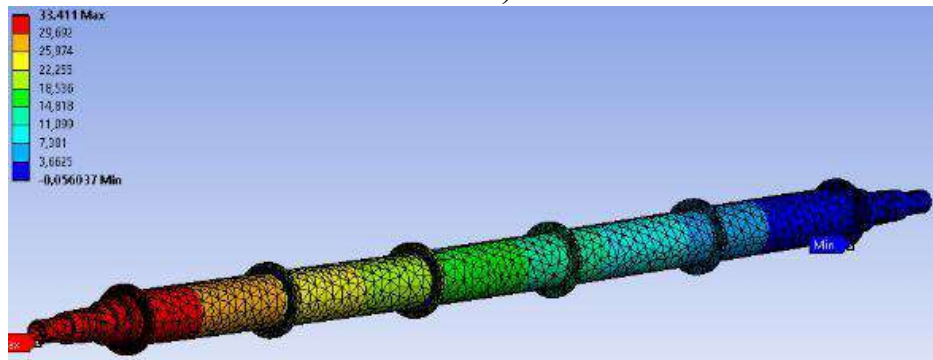


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 3.1– Вал верхньої підтримки № 28



а)



б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 3.2– Вал верхньої підтримки № 26

Результати розрахунку температур валів для зазначених умов термонавантаження зведено у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку температур валів

| №ВВП                                  |                                                 |                                    |    | 28    | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 22    | 21  | 4   | 3   | 2   | 1   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Температура решітки                   |                                                 |                                    | °C | 708,8 |     |     |     |     |     | 642,0 |     |     |     |     |     |
| Розрахункова температура валу (макс.) | ВВП з відносною різницею витрати повітря 26-46% | Втрата повітря на вході у вал      | °C | 668   |     | 667 |     |     |     |       | 674 |     |     | 606 |     |
|                                       |                                                 | Втрата повітря у середній площині* | °C | 636   |     | 633 |     |     |     |       | 647 |     |     | 578 |     |
|                                       | ВВП з відносною різницею витрати повітря 1-8%   | -                                  | °C |       | 639 |     | 652 | 654 | 650 | 623   |     | 576 | 581 |     | 602 |

\*- випадок втрати охолоджуючого повітря всередині валу може бути індикатором механічного руйнування із відповідним зменшенням міцності виробу як результат

Зменшення температур валів при умові втрати охолоджуючого повітря обумовлюється збільшеною площею ефективного охолодження недефектної частини валу із збільшеною поверхнею теплопередачі.

Незважаючи на це, наявність локальних дефектів знижує механічну міцність та є наслідком роботи валу у граничних температурних режимах.

Відповідно, одним із можливих шляхів діагностування технічного стану валів верхньої підтримки є контроль витрати повітря на входному та вихідному трубопроводах, а збільшення відносної різниці об'ємної витрати повітря по відношенню до обсягів витрати на входному повітропроводі >10% може бути

індикатором втрати герметичності у системі подачі або розвитку дефектів всередині валів гарячої секції.

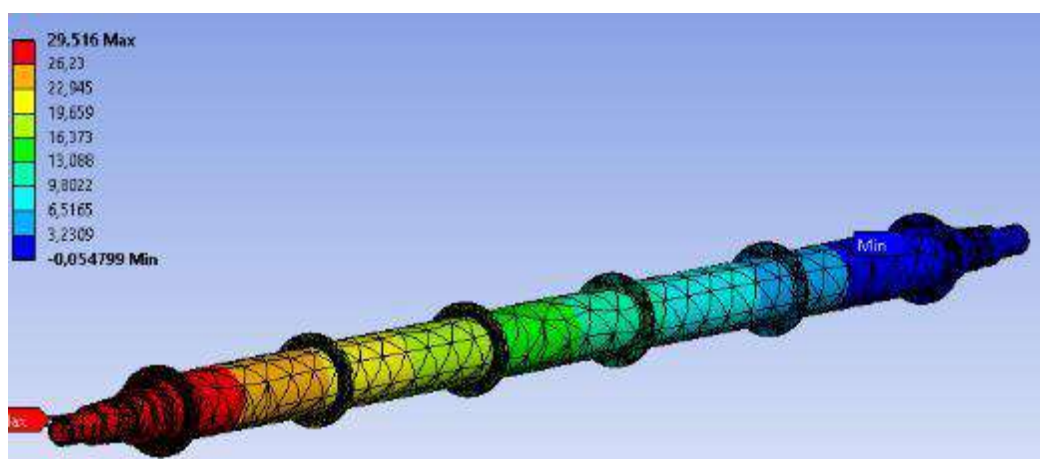
Відповідно до отриманих результатів (відносна похибка 10%), вали верхньої підтримки працюють в умовах граничних температурних режимів, при яких відбуваються процеси зміни фізико-механічних властивостей матеріалу, окрім ВВП № 3, 4, що свідчить про неефективність існуючої системи охолодження.

### 3.3 Оцінка необхідного діапазону розширення матеріалу

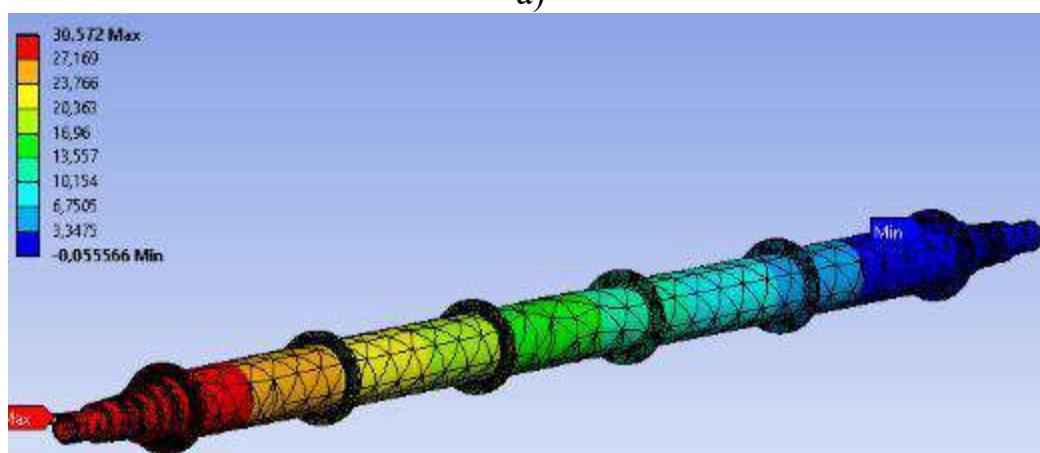
Для найбільш термонавантаженого валу (ВВП №28) визначено величину його теплового розширення  $\Delta$  при коефіцієнті температурного розширення сталі 15X28  $\alpha=11 \times 10^{-6} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$  (рисунок 3.3):

1. при умові втрати охолоджуючого повітря всередині валу  $\Delta=29,5$  мм;
2. при умові втрати повітря на вході ВВП  $\Delta=30,6$  мм;
3. при відсутній втраті повітря відповідно проведеним вимірюванням  $\Delta=28,5$  мм;

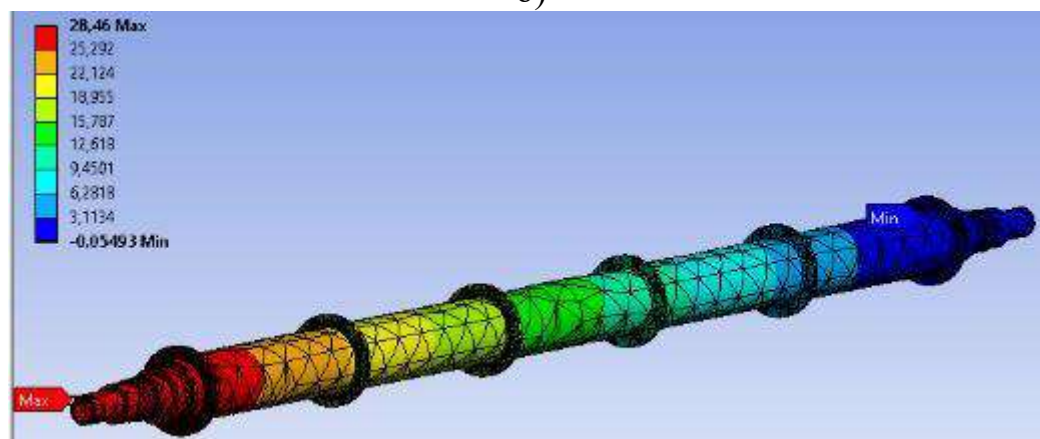
Відповідно, зазор теплового розширення, який наразі встановлюється 20 мм, є недостатнім як при умові втрати повітря в системі охолодження валів (пошкодження ВВП чи порушення герметичності системи охолодження), так і при умові відсутності втрат повітря (новий ВВП, герметична система охолодження).



а)

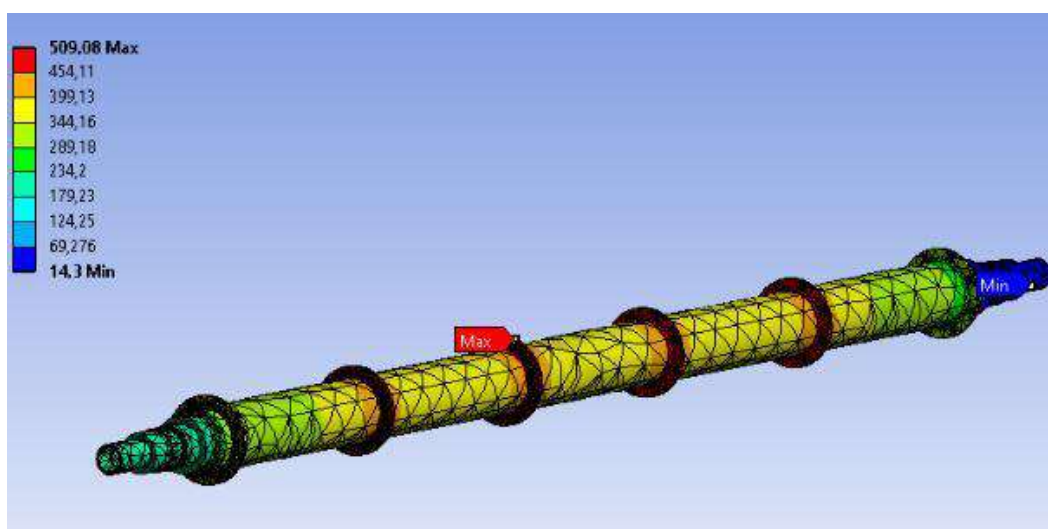


б)

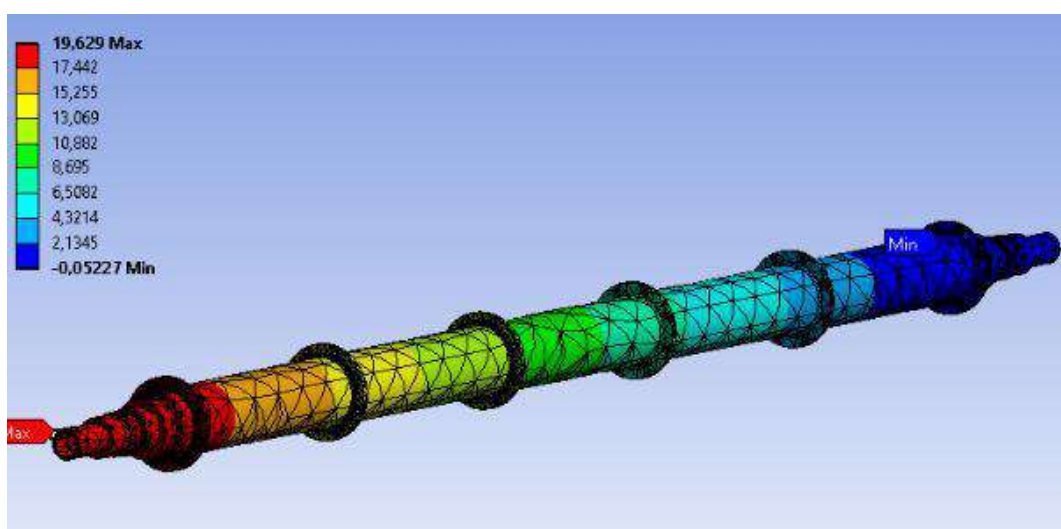


в)

Рисунок 3.3 – Теплове розширення ВВП №28: а) при втраті повітря по середині валу; б) при втраті повітря на вході валу; в) при відсутності втрати повітря



а)



б)

а) розподіл температури на валу; б) теплове розширення валу  
Рисунок 3.4 – Тепловий режим роботи ВВП №28 при обсязі витрати охолоджуючого повітря 18,3 м<sup>3</sup>/хв

За результатами розрахункового випадку ВВП №26 на рис. 3.3, при недостатньому обсягу повітря теплове розширення може досягти 33,4 мм.

Збільшення потоку охолоджуючого повітря до 18,3 м<sup>3</sup>/хв забезпечить температуру валу на рівні 509°С та теплове розширення за паспортними характеристиками  $\Delta=19,6$  мм (рис. 3.4).

### 3.4 Аналіз хімічного складу зразка та дефектоскопія відпрацьованого ВВП

З метою визначення відповідності застосованої сталі заявленій, було проведено визначення хімічного складу зразка ВВП методом спектрального аналізу, вмісту легуючих елементів та проведено визначення вмісту вуглецю. Для встановлення наявних дефектів наданого зразка проведено дослідження методом неруйнівного контролю якості.

Результати визначення хімічного складу матеріалу зразка наведені на рисунку 3.6-3.7 та зведено у таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати хімічного аналізу матеріалу валу

| Хімічний елемент | Назва деталі   |         |
|------------------|----------------|---------|
|                  | Вал            | Фланець |
|                  | Масова доля, % |         |
| C                | 0,12           | 0,12    |
| Si               | 0,686          | 0,674   |
| P                | 0,029          | -       |
| S                | 0,028          | 0,032   |
| V                | 0,041          | -       |
| Cr               | 27,196         | 28,578  |
| Mn               | 0,444          | 0,561   |
| Fe               | 69,34          | 67,856  |
| Ni               | 2,098          | 2,203   |
| Cu               | 0,058          | 0,071   |
| Mo               | 0,076          | 0,025   |

**C - 0,12 %**

ЕКРАНАЖ: 10060  
ОБ'ЄКТИ ДАННЬ:  
Дані про зразки матеріалу  
номерів:  
19-05-2022(12-12-22)  
\*\*\*\*\*  
Ім'я: ВОЖОВА  
СПЛАВ: сталевий  
виробник (матеріал)  
Образец: тиснотний матеріал  
Послідовність: 1001  
Без галок  
\*\*\*\*\*  
Результати обробки:  
КОЕФІЦІЄНТ СОСТАВ  
Обробку виконав:  
ВОЖОВА 19-05-22  
\*\*\*\*\*  
РЕЗУЛЬТАТИ  
Коментарі: 10692-фланець

| Зразок | Мас. доль. % |
|--------|--------------|
| 14Si   | 0.686±0.036  |
| 15P    | 0.024±0.006  |
| 16S    | 0.028±0.003  |
| 23V    | 0.043±0.006  |
| 24Cr   | 27.196±0.040 |
| 25Mn   | 0.444±0.025  |
| 26Fe   | 69.344±0.049 |
| 28Ni   | 0.098±0.015  |
| 29Cu   | 0.059±0.006  |
| 42Mo   | 0.076±0.003  |

**C - 0,12 %**

ЕКРАНАЖ: 10060  
ОБ'ЄКТИ ДАННЬ:  
Дані про зразки матеріалу  
номерів:  
19-05-2022(12-12-22)  
\*\*\*\*\*  
Ім'я: ВОЖОВА  
СПЛАВ: сталевий  
виробник (матеріал)  
Образец: тиснотний матеріал  
Послідовність: 1001  
Без галок  
\*\*\*\*\*  
Результати обробки:  
ПОИСКОВАЯ  
Обработку выполнил:  
ВОЖОВА 19-05-22  
\*\*\*\*\*  
РЕЗУЛЬТАТЫ  
Комментарий:  
10692-фланець

| Зразок | Мас. доль. % |
|--------|--------------|
| 14Si   | 0.674±0.037  |
| 16S    | 0.032±0.004  |
| 24Cr   | 28.578±0.058 |
| 25Mn   | 0.561±0.036  |
| 26Fe   | 67.854±0.088 |
| 28Ni   | 0.103±0.022  |
| 29Cu   | 0.071±0.005  |
| 42Mo   | 0.075±0.002  |

а) б)

Рисунок 3.6– Результати визначення хімічного складу матеріалу зразка: а) – матеріал ВВП, б) – матеріал фланцю

Заявлений хімічний склад приведено на рис. 3.28.

ТОБ «НВО «ТРУБОСТАЛ»  
пр. Трубохата, 56/91  
Київська, Україна, 51201  
Тел./факс: (+380 566) 630-400

**ТУ**  
100

від «01» лютого 2022р.

**СЕРТИФІКАТ ЯКОСТІ № 63**

Замовник: ПрАТ «ПОЛТАВСЬКИЙ ПРИНЦІПАЛЬНО-ЗАБАГОЧУВАЛЬНИЙ КОМПАНІ»  
Адреса замовника: м. Горішні Плавні  
Договір: № 1793 від 18.07.2018р.  
Транспортний засіб: Автомобіль

| Наименование продукции     | Маркировка | Стандарты ГОСТ | Единица |
|----------------------------|------------|----------------|---------|
| Вал ДТО 55.34.2259.00.00СБ |            |                |         |
| Заводской № 22-40219-2     | 15X28      | ГОСТ 5632      | 1       |
| Заводской № 23-40225-1     | 4000       | ГОСТ 4543      | 1       |
| Заводской № 24-40225-2     | 45         | ГОСТ 1060      | 1       |
| Заводской № 25-40221-2     |            |                | 1       |
| Заводской № 26-40224-3     |            |                | 1       |
|                            |            | Всего          | 5       |

**Показатели качества**

| Гомогенизированный материал | № материала          | Марка материала | Номер партии | C    | Mn  | P   | S     | Si    | Al   | Cr  | Ni   | Cu |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|--------------|------|-----|-----|-------|-------|------|-----|------|----|
| Гильза № 22                 | ДТО 55.34.2259.01.02 | 15X28           | 40219-2      | 0.11 | 0.4 | 0.4 | 0.019 | 0.019 | 27.5 | 0.8 | 0.05 |    |
| Гильза № 23                 | ДТО 55.34.2259.01.02 | 15X28           | 40225-1      | 0.10 | 0.5 | 0.7 | 0.020 | 0.019 | 27.8 | 0.9 | 0.05 |    |
| Гильза № 24                 | ДТО 55.34.2259.01.02 | 15X28           | 40225-2      | 0.14 | 0.5 | 0.6 | 0.018 | 0.022 | 27.9 | 0.9 | 0.05 |    |
| Гильза № 25                 | ДТО 55.34.2259.01.02 | 15X28           | 40221-2      | 0.12 | 0.5 | 0.6 | 0.017 | 0.020 | 28.1 | 0.8 | 0.05 |    |
| Гильза № 26                 | ДТО 55.34.2259.01.02 | 15X28           | 40224-3      | 0.13 | 0.4 | 0.6 | 0.018 | 0.019 | 27.4 | 0.8 | 0.05 |    |
|                             |                      |                 | 40219-1      | 0.11 | 0.4 | 0.4 | 0.021 | 0.018 | 27.4 | 0.8 | 0.05 |    |
|                             |                      |                 | 40220-1      | 0.15 | 0.4 | 0.4 | 0.018 | 0.020 | 27.6 | 0.5 | 0.05 |    |
|                             |                      |                 | 40221-1      | 0.12 | 0.5 | 0.3 | 0.020 | 0.017 | 28.1 | 0.9 | 0.06 |    |
|                             |                      |                 | 40222-1      | 0.13 | 0.4 | 0.3 | 0.022 | 0.016 | 27.3 | 0.8 | 0.07 |    |
|                             |                      |                 | 40236-01.01  | 0.11 | 0.4 | 0.6 | 0.024 | 0.022 | 28.1 | 0.9 | 0.05 |    |
| Цанга                       | ДТО 55.34.2259.01.01 | 15X28           | 40217-2      | 0.11 | 0.4 | 0.4 | 0.020 | 0.018 | 27.4 | 0.8 | 0.05 |    |
| Фланец                      | ДТО 55.34.2259.00.01 | 15X28           | 40236-01.01  | 0.11 | 0.4 | 0.6 | 0.024 | 0.022 | 28.1 | 0.9 | 0.05 |    |
| Втулка                      | 04.0538.010.0036     | 40X7            |              |      |     |     |       |       |      |     |      |    |
| Втулка                      | 04.0538.010.0034     | 45              |              |      |     |     |       |       |      |     |      |    |

Зам-НИМ ОБНД, журнал ГОСТ 4543

Рисунок 3.7– Заявлений хімічний склад матеріалу ВВП

За результатами проведеного аналізу, хімічний елемент №28 Ni має перевищення вмісту на 1,2-1,4% (похибка вимірювання становить  $\pm 0,015\%$ ). Дослідження проведено двократно із ідентичними результатами.

Проте, у зазначеній концентрації даний елемент не призводить до зміни фізико-механічних властивостей сталі. Довідковий аналог сталі 15X28, сталь 20X23H18, має вміст нікелю 17-20% та відноситься до високолігованих нержавіючих сплавів.

Для контролю якості металу та зварних з'єднань проведено магнітний та ультразвуковий неруйнівний контроль (рис. 3.8) для визначення поверхневих та внутрішніх дефектів.

Магнітна дефектоскопія не виявила поверхневих дефектів.

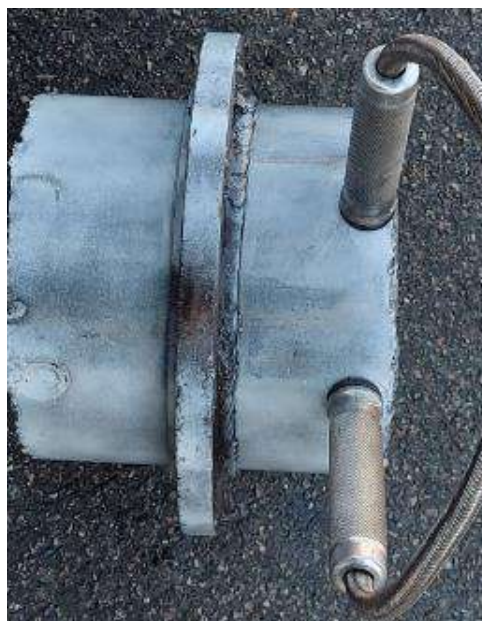
Ультразвуковий контроль проводився на зразку для визначення внутрішніх дефектів: тріщин, раковин, непроварів тощо. Застосований прилад – ультразвуковий дефектоскоп УД4-76 (рис. 3.9).

Ультразвукова дефектоскопія не виявила внутрішніх дефектів у металі зразка.

Зварна конструкція ВВП схильна до утворення термічних напружень у зоні зварювання. Проте, температурні режими роботи технологічної лінії забезпечують зняття цих напружень. Для визначення внутрішніх дефектів зварювання було застосовано ультразвукову дефектоскопію. В зонах зварювання скритих дефектів не виявлено.



а)



б)

а) – підготовлений зразок, б) – магнітна дефектоскопія феромагнітною рідиною

Рисунок 3.8 – Магнітна дефектоскопія зразка валу



Рисунок 3.9– Ультразвукова дефектоскопія

Підтвердженням вище приведених припущень про причини руйнування валів є результати проведених досліджень. Так, недостатнє охолодження, при якому температурні режими металу знаходяться в режимах термообробки та схильні до утворення втомної крихкості, недостатні теплові зазори

підшипникових вузлів при тепловому розширенні сталі 15X28 призводять до можливості передчасного руйнування.

Експлуатація валів із сталі 15X28 при достатньому обсязі витрати охолоджуючого повітря забезпечить температурний діапазон валів на рівні достатніх фізико-механічних властивостей.

Процес виробництва окатишів супроводжується утворенням середовища, в якому процеси окислювання протікають дуже активно, що може ослабити конструкцію. Проте, вміст легуючих елементів у зазначеній сталі забезпечує стійкість до корозійних процесів.

Отже, вибір сталі 15X28 як матеріалу для виготовлення ВВП є обґрунтованим та доцільним при забезпеченні режимів охолодження та теплових зазорів у підшипникових вузлах. Однак, в умовах військового стану, відсутності водопостачання промислових об'єктів-виробників сталі 15X28 необхідно провести обґрунтування та вибір матеріалу-замінника, який має забезпечувати високі експлуатаційні характеристики, мати мінімальну схильність до міжкристалітної корозії та мінімальний коефіцієнт теплового розширення, що слугуватиме додатковою конкурентною перевагою та корелюється із перспективним проектом реконструкції.

На валах, які експлуатуються в діапазоні температур 550-700 °С, може бути доцільним використання жароміцної сталі 30X25N19C2Л (або 20X25N19C2Л), яка використовується для виготовлення деталей, які працюють за високих температур при високих навантаженнях. Зазначена сталь має високі міцнісні характеристики при температурах до 800 °С, що гарантовано дозволяє забезпечити достатню міцність валів при експлуатації на будь-якій ділянці технологічної лінії. Матеріал не схильний до відпускнуї крихкості, міжкристалітної корозії та має низьку швидкість утворення окалини при робочих температурах. Вміст вуглецю до 0,3% підвищує міцнісні характеристики сталі із забезпеченням задовільної зварюваності та оброблюваності. Мікролегування ніобієм, бором та церієм підвищує

довготривалу жароміцність, що позитивно впливає на експлуатаційний ресурс деталі при коефіцієнті теплового розширення  $\alpha=15 \times 10^{-6}$

Хімічний склад сталі 30X25H19C2Л приведено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Хімічний склад сталі 30X25H19C2Л, %

| Fe            | C      | Si    | Mn        | Ni      | S       | P        | Cr      |
|---------------|--------|-------|-----------|---------|---------|----------|---------|
| 47.935 - 56.5 | до 0.3 | 2 - 3 | 0.5 - 1.5 | 18 - 20 | до 0.03 | до 0.035 | 23 - 27 |

На основі проведеного дослідження теплових режимів експлуатації матеріалу та деталі, моделювання режимів експлуатаційних температур, встановлено, що використання 30X25H19C2Л, яка не схильна до відпускнуї крихкості та виникненню міжкристалітної корозії, використовується, у тому числі, для виготовлення електро-газорозрядних труб, є доцільним та рекомендується до впровадження у виробництво при виготовленні нових валів верхньої підтримки печі прожарювання. Спосіб отримання деталі – лиття.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

В розділі надані основні заходи із охорони праці, при дослідженні впливу легувальних елементів на отримання різних зміцнювальних фаз у сплавах із дисперсійним твердінням.

### **4.1 Аналіз потенційних небезпек:**

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідів в приміщенні дослідницької лабораторії;

б) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків, зокрема можливості отримання механічних травм;

г) небезпеки які пов'язані із дослідженням структури на оптичному мікроскопі МИМ-8, зокрема пошкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів;

д) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі;

е) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

ж) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

и) небезпеки які пов'язані із умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

### **4.2 Заходи щодо забезпечення безпеки:**

а) Згідно ГОСТ 12.2.032-78. «СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400 мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, що можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора. б) З метою забезпечення електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом. Організаційні заходи – до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ ( правовий устрій з електроустанов). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал. Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті ( до 1000 В ), не менше 3,5 м ( більше 1000 В – 6 м ). Всі не ізольовані

струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Відкриття яких можливий тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

Обов'язковим є захисне заземлення або занурення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини. Блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

в) При випробуванні на механічні властивості дослідницьких зразків негативно на стан працездатності людини впливають різні шуми. Шум – сукупність звуків різної частоти та інтенсивності. Негативно впливає на організм людини, викликає психологічні та фізіологічні порушення, знижує працездатність та сприйнятливості зовнішньої інформації. Шум підвищує ступінь ризику травматизму та нещасних випадків пов'язаних з порушенням сприйняття людиною попереджувальних сигналів, змін в роботі обладнання та технологічного процесу. Шум нормується ГОСТом 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки», ДСТУ 2325-93 «Шум. Терміни та визначення» та ДСН 3.3.6-037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на людину протягом робочої зміни значеннями, безпечними для її здоров'я і працездатності. Методи захисту від шуму:

Зниження шуму в джерелі виникнення:

- підвищення якості балансування обертових деталей, класу точності їх виготовлення;

- недопущення перекосів деталей і вузлів, люфтів і зазорів;

Зниження шуму на шляху його поширення.

Досягається будівельно-акустичними заходами, за рахунок застосування звукоізолюючих облицювань.

Акустична обробка приміщень (ефективна в зоні відбитого звуку).

Передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальними матеріалами. Ефективність методу незначна (зниження шуму на 4-7 дБ) і проводиться в поєднанні з іншими методами.

#### Звукоізоляція.

Застосовується для захисту від шуму, що проникає зовні. Досягається створенням герметичних перепон, стін, кожухів, екранів. Застосовують матеріали, що мають високий коефіцієнт відбиття, наприклад: метал, скло, залізобетон, бетон та інші. В залежності від герметичності, товщини та властивостей матеріалів звукоізоляція дає можливість зменшити шум на 30-50 дБ.

#### Звукопоглинання.

Застосовують пористі матеріали з великим коефіцієнтом поглинання, наприклад: паропласт, войлок, базальтове волокно та інші.

Для попередження механічних травм, зони випробувань повинні огорожувати спеціальними прозорими екранами з триплексу.

г) Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч дифузійного насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч дифузійного насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності.

При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і

вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками. В цьому випадку найнебезпечнішим для мікроскопа випадком може з'явитися тріщина в керамічному ізоляторі високовольтного введення. Тому найкраще буде якомога швидше усунути протікання. Електронний мікроскоп «Tesla BS 540», має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. Зовнішнє опромінення – це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання. Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

д) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин

2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї парці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- локальне стомлення, загальна втома.

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності. Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б – робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу.

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

- для групи А – по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

- для групи Б – по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;

- для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають анти блокове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного

заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21° С, допустимі 18-22 °С, відносна вологість повітря 62-55 %. Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБ. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення. 5.3

Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці:

е) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби по забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна вентиляція. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери. Розрахунок надходження теплоти у приміщення, та визначення кондиціонера. Визначаємо надходження теплоти в приміщення о 18 год. Орієнтування будівлі на ПівдЗ. Площа приміщення складає 35 м<sup>2</sup>, висота 4 м. Розміри вікна 2х1,2 м<sup>2</sup>, площа тіні 0,33 м<sup>2</sup>, подвійне скління. Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена. Кількість робочих місць 6: 4 жінки та 2 чоловіки. Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп, загальна потужність яких в приміщенні складає 1,75 кВт. Температура в приміщенні складає 38° С.

За таблицею 5.3.1 визначаємо значення прямої ( $q_{в.п.}$ ) та розсіяної ( $q_{в.р.}$ ) сонячної радіації о 18 годині:  $q_{в.п.} = 344$  ккал/(год·м<sup>2</sup>)  $q_{в.р.} = 95$  ккал/(год·м<sup>2</sup>)

Таблиця 4.1 – Максимальні значення кількості теплоти прямої ( $q_{в.п.}$ ) та розсіяної ( $q_{в.р.}$ ) сонячної радіації

| Показник   | Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год*м <sup>2</sup> ) |       |     |       |      |       |    |       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|------|-------|----|-------|
|            | До полудня                                                                                                                                    |       |     |       |      |       |    |       |
|            | Пі                                                                                                                                            | ПівнС | Сх  | ПівдС | Пів  | ПівдЗ | З  | ПівнЗ |
|            | Після полудня                                                                                                                                 |       |     |       |      |       |    |       |
|            | Пів                                                                                                                                           | ПівнЗ | З   | ПівдЗ | Півд | Півд  | Сх | Півн  |
| $q_{в.п.}$ | 80                                                                                                                                            | 426   | 423 | 344   | 257  | 96    | -  | -     |
| $q_{в.р.}$ | 64                                                                                                                                            | 93    | 112 | 95    | 75   | 66    | 56 | 54    |

Кількість теплоти, що знаходиться до приміщення через подвійне скління для розрахункової години розраховуємо:

$$Q_{с.пр.} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{відн} \text{ ккал/год} \quad (5.1)$$

де  $q_0$  та  $q_1$  – кількість теплоти, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією;

$F_n$  та  $F_p$  – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, м<sup>2</sup>;

$K_{відн}$  – коефіцієнт відносного проникнення сонячною радіації через заповнення світлового прорізу.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт  $K_1$ , який враховує затінення скління світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери

|  | Значення коефіцієнту для світлових прорізів $K_1$ та атмосфери |                                   |
|--|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  |                                                                | Забруднений в промислових районах |

| Скління                     | Незабрудненої<br>(незалежно від<br>опромінення) | Які опромінюються<br>сонцем в<br>розрахункову годину | Які в розрахункову<br>годину перебувають в<br>тіні |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Одинарне без<br>перепльотів | 1                                               | 0,75                                                 | 1,75                                               |
| Подвійне без<br>перепльотів | 0,9                                             | 0,68                                                 | 1,58                                               |

Таблиця 4.3 – Коефіцієнт  $K_2$ , який враховує забруднення скла

| Забруднення скла | Значення коефіцієнту |
|------------------|----------------------|
| Значне           | 0,85                 |
| Помірне          | 0,9                  |
| Незначне         | 0,95                 |
| Чисте скло       | 1                    |

$$q_0 = (q_{в.п.} + q_{в.р.}) K_1 K_2, \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2)$$

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

$$F_{np} = F_{o.c.} - F_p \text{ (м}^2\text{)}$$

Загальна кількість теплоти, яка надходить до приміщень через віконний проріз, визначається формулою:

$$Q_{с.пр.} = (q_o F_n + q_1 F_p) K_{відн} \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2)$$

$K_{відн}$  - коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу.

При одинарному склінні  $K_{відн} = 0,9 \dots 1,0$ ; при подвійному  $K_{відн} = 0,8 \dots 0,9$ .

Виділення теплоти від штучного освітлення розраховують за формулою:

$$Q_{осв} = 860 \cdot n \cdot N_{осв}, \text{ ккал/год}$$

де  $n$  – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінесцентних ламп  $n = 0,5$ ;

$N_{осв}$  – сумарна потужність джерел освітлення, кВт. При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць: 1 кВт = 860 ккал/год; 1 ккал/год = 1,163 Вт; 1 Вт = Дж/с.

Розрахунок виділеної теплоти людьми, відповідно до табл.5.3.4, за умовою, що в приміщенні знаходяться 2 чоловіки, та 4 жінки, температура в приміщенні 38°C.

Таблиця 4.4 – Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми (чоловіками).

| Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, °C |     |    |    |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|
| 10                                                                                                   | 15  | 20 | 25 | 30 | 35 |
| 130                                                                                                  | 105 | 85 | 55 | 35 | 5  |

$$Q_l = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 4 \cdot 0,85 = 27 \text{ ккал/год}$$

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину в липні, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження:

$$Q_{заг} = Q_{сnp} + Q_{осв} + Q_l = 642,4 + 752,5 + 27 = 1421 \text{ ккал/год}$$

Оскільки площа приміщення складає 35 м<sup>2</sup>, то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу COOPER&HUNTER CH-S12LHA з холодопродуктивністю 3100 ккал/год. Тоді, за формулою знаходимо час, який необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\tau = C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}} = 1000 \cdot 1,2 \cdot 140 \cdot (27-22) / 3600 \cdot 1,163 \cdot 3100 = 0,0647 \text{ год.}$$

де  $C$  – масова теплоємність припливного повітря (складає 1000 Дж/кг°C);

$\gamma$  – густина припливного повітря (складає 1,2 кг/м<sup>3</sup>);

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$t_{\text{вид}}$  – температура повітря, що складається з приміщення, °C;

$t_{\text{норм}}$  – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти ріною 22 °C);

є) З метою організації нормованого освітлення виробничого приміщення доцільним є використовувати систему загального штучного освітлення, що поєднане із природним освітленням. Нормоване освітлення складає 300 люкс. До складу системи входять люмінесцентні лампи моделі ЛД 40-60, встановлені у світильники типу ЛПП.

#### 4.4 Заходи з пожежної безпеки:

ж) Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро за вибухопожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д. Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежонебезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків. Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймисті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях. Визначення класу пожежі залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;

- клас С – пожежі газів;

- клас D – пожежі металів та їх сплавів;

- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

#### **4.5 Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння**

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок. Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок. Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння є наступними.

- Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м<sup>2</sup>. До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2×2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; ломы – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше 0,1 м<sup>3</sup> та виключати потрапляння в нього опадів. Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищуваному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати: 20 м – для громадських будівель та споруд; 30 м – для

приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини); 40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д. Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітрянопінного гасіння.

#### **4.6 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях:**

к) Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі. Ударною хвилею називається область різкого стиску середовища, що поширюється у вигляді сферичного шару від місця вибуху з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі класифікуються в залежності від середовища поширення. Ударна хвиля в повітрі виникає за рахунок передачі стиснення і розширення шарів повітря. Зі збільшенням відстані від місця вибуху хвиля слабшає і перетворюється на звичайну акустичну. Хвиля при проходженні через дану точку простору викликає зміни в тиску, що характеризуються наявністю двох фаз: стиснення та розширення. Період стиснення настає відразу і триває порівняно невеликий час в порівнянні з періодом розширення. Руйнівна дія ударної хвилі характеризують надлишковий тиск у її фронті (передній межі), тиск швидкісного напору, тривалість фази стиснення. Вражаюче дія ударної хвилі характеризується величиною надлишкового тиску. Надмірний тиск – це різниця між максимальним тиском у фронті ударної хвилі і нормальним атмосферним тиском перед ним. При надлишковому тиску 20-40 кПа незахищені люди можуть одержати легкі поразки (легкі забиті місця і контузії). Вплив ударної хвилі з надлишковим тиском 40-60 кПа призводить до поразок середньої важкості: втраті свідомості, ушкодженню органів слуху, сильним вивихів кінцівок, кровотечі з носа і вух. Важкі травми виникають при надлишковому тиску понад 60 кПа. Вкрай важкі поразки спостерігаються при надлишковому тиску понад 100 кПа. Ударна хвиля ядерного вибуху може на значній відстані від центра вибуху завдавати поразки людям, руйнувати споруди і ушкоджувати бойову техніку. Ударна хвиля являє собою область

сильного стиснення повітря, що розповсюджується з великою швидкістю у всі сторони від центра вибуху.

Швидкість поширення її залежить від тиску повітря у фронті ударної хвилі; поблизу центра вибуху вона в декілька разів перевищує швидкість звуку, але із збільшенням відстані від місця вибуху різко падає вражаюча дія ударної хвилі на людей і руйнуючу дію на бойову техніку, інженерні споруди і матеріальні кошти передусім визначаються надмірним тиском і швидкістю рушення повітря в її фронті. Незахищені люди можуть, крім того поранитися осколками скла, що летять з величезною швидкістю і обломками будівель, що руйнуються, падаючими деревами, а також частинами бойової техніки, що розкидаються, камінням і іншими предметами, що приводяться в рушення швидкісним натиском ударної хвилі.

Найбільші непрямі поразки будуть спостерігатися в населених пунктах і в лісі; в цих випадках втрати військ можуть виявитися більшими, ніж від безпосередньої дії ударної хвилі. Ударна хвиля здатна завдавати поразки і в закритих приміщеннях, проникаючи туди через щілини і отвори. Поразки, що наносяться ударною хвилею, поділяються на легкі, середні, важкі і надто важкі. Легкі поразки характеризуються тимчасовим пошкодженням органів слуху, загальною легкою контузією, ударами і вивихами кінцівок. Важкі поразки характеризуються сильною контузією всього організму; при цьому можуть спостерігатися пошкодження головного мозку і органів черевної порожнини, сильна кровотеча з носа і вух, важкі переломи і вивихи кінцівок.

Механічне вплив ударної хвилі оцінюється за ступенем руйнувань, викликаних дією хвилі (виділяються слабке, середнє, сильне і повне руйнування). Енергетичне, промислове і комунальне обладнання в результаті дії ударної хвилі може отримати пошкодження, також оцінюються за їх тяжкості (слабкі, середні і сильні). Вплив ударної хвилі може призвести також до пошкоджень транспортних засобів, гідровузлів, лісових масивів. Як правило, шкода, яка завдається впливом ударної хвилі, дуже великий, він наноситься як здоров'ю людей, так і різним спорудам, устаткуванню і т.д.

## 5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА РОБОТА

### 5.1 Оцінка готовності технічного рішення

У даному розділі проводиться визначення техніко-економічних факторів на кожній стадії проекту, оцінюється ефективність розробки, аналізуються можливі способи виконання процесу виготовлення валів роликового укладача, а також розраховується ефективність виробництва за одним із способів.

Результати проекту можуть бути застосовані на об'єктах видобувної та переробної промисловостей:

За допомогою аналізу конкурентних технічних рішень, проведемо оцінку порівняльної ефективності запропонованого технічного рішення.

Позиція розробки і конкурентів оцінюється за кожним показником експертним шляхом за п'ятибальною шкалою, де 1 - найбільш слабка позиція, а 5- найбільш сильна. Ваги показників, що визначаються експертним шляхом, в сумі повинні складати 1.

Основними конкурентами технічного рішення зміни матеріалу валу (БК1) є вдосконалення технології механообробки та з'єднання фланців, та зниження об'ємного і лінійного розширення валу при експлуатації (БК2). Критерії для порівняння та оцінки ресурсоефективності та ресурсозбереження, наведені в табл. 5.1, підбиралися, виходячи з обраних об'єктів порівняння з урахуванням їх технічних і економічних особливостей розробки, створення і експлуатації. Основними критеріями оцінки матеріалів будуть: ефективність в експлуатації, витрати на виробництво, а також простота і швидкість виготовлення.

Аналіз конкурентних технічних рішень визначається за формулою:

$$K = \sum B_i \cdot b_i$$



Спираючись на отримані дані, можна сказати, що запропоноване технічне рішення, розглянуте в даній роботі, ефективніше, ніж конкурентні варіанти.

## 5.2 SWOT-аналіз

Метою SWOT-аналізу є визначення всіх сильних і слабких сторін технічного рішення, які розглядаються як внутрішні чинники, а також вивчення зовнішніх чинників, якими є ринкові можливості і загрози, для отримання чіткого уявлення основних напрямків розвитку підприємства. На основі такого дослідження організація повинна максимально використовувати свої сильні сторони, спробувати подолати слабкості, скористатися сприятливими можливостями і захиститися від потенційних загроз.

Сильні сторони проекту. Зміна матеріалу валу шляхом та застосування сталі-замінник є технічним рішенням, орієнтованим на довгострокову перспективу, що забезпечує більшу механічну міцність деталі та зменшує вірогідність простою технологічної лінії. При цьому витрати на обладнання нижче, ніж у устаткування аналогічних виробників.

Слабкі сторони проекту. Одним з істотних мінусів є збільшення вартості виробу через зміну технології лиття та термообробки. В даний час складно скласти конкуренцію на ринку, у зв'язку з великою кількістю підприємств, які пропонують послуги механообробки, проте застаріле обладнання більшості з них не може гарантувати високу якість продукції.

Можливості. Дане технічне рішення цілком може задовольнити попит українського ринку при достатньому фінансуванні. В даний час технологія лиття мікролегованої сталі може бути впроваджена на підприємствах за умови мінімального економічного замовлення.

Загрози. Головною загрозою даного технічного рішення є скорочення попиту на продукцію металургійних підприємств. Спираючись на це, фінансування проекту може бути зменшено, що в свою чергу значно вплине на процес розвитку вітчизняної продукції. Так само однією із загроз є виведення з ладу технічного обладнання.

Згідно з висновками складена підсумкова матриця SWOT-аналізу, яка наводиться в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - SWOT-аналіз

|                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Сильні сторони проекту</b>                                                                                                                                                                                               | <b>Слабкі сторони проекту</b>                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                         | <p>С1. Більш низька вартість в порівнянні з іншими технологіями;</p> <p>С2. Екологічність технології;</p> <p>С3. Не потребує високої кваліфікації;</p> <p>С4. Отримання виробу, який відповідає заявленим властивостям.</p> | <p>Сл1. відсутність достатньої фінансової підтримки;</p> <p>Сл2. Використання застарілої техніки для дослідження;</p> <p>Сл3. Відсутність інтересу з боку потенційних споживачів</p> |
| <p>можливості:</p> <p>В 1. стабільно зростаюча потреба українського і світового виробництва в зниженні витрат і підвищенні якості зварювання;</p> <p>В 2. вигідне поєднання властивостей стабільність / вартість / універсальність;</p> | <p>Використовуючи отримані досягнення в області дослідження можна створити конкурентоспроможну продукцію.</p>                                                                                                               | <p>Науково-дослідницька база підприємства може бути використана при відсутності необхідного обладнання та нестачі фінансування.</p>                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                   |                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| загрози:<br>У1. Поява інших наукових розробок з поліпшеними властивостями і характеристиками;<br>У2. Відсутність інтересу керівництва до даного дослідження з огляду на високу вартість обладнання для дослідження. | Проведення додаткових досліджень дозволить поліпшити якість і механічні властивості валу укладача | Розвиток використання інших видів зварювання (лазерної, плазмової і ін.). |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|

Результати SWOT-аналізу враховуються при розробці структури робіт, виконуваних в рамках кваліфікаційної роботи.

### 5.3 Оцінка ступеня готовності проекту до комерціалізації

На якій би стадії життєвого циклу не перебувала розробка доцільно оцінити ступінь її готовності до комерціалізації і з'ясувати рівень готовності для її проведення (або завершення).

Оцінка готовності проекту до комерціалізації (або рівень наявних знань) визначається за формулою:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

де  $B_{\text{сум}}$  - сумарна кількість балів по кожному напрямку;  $B_i$  - бал по  $i$ -му показнику.

Значення  $B_{\text{сум}}$  дозволяє говорити про міру готовності технічного рішення її розробника до комерціалізації.

Оцінка ступеня готовності наукового проекту до комерціалізації представлена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Оцінка ступеня готовності наукового проекту до комерціалізації

| № п / п     | Найменування                                                                      | Ступінь опрацьованості проекту | Рівень наявних знань |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 1.          | Визначено наявні науково-технічні напрацювання                                    | 5                              | 5                    |
| 2.          | Визначено перспективні напрямки комерціалізації науково-технічного доробку        | 5                              | 5                    |
| 3.          | Визначено галузі і технології (товари, послуги) для пропозиції на ринку           | 5                              | 5                    |
| 4.          | Визначено товарна форма науково-технічного доробку для подання на ринок           | 5                              | 5                    |
| 5.          | Визначено авторів і здійснена охорона їх прав                                     | 3                              | 3                    |
| 6.          | Проведено оцінку вартості інтелектуальної власності                               | 2                              | 2                    |
| 7.          | Проведено маркетингові дослідження ринків збуту                                   | 5                              | 5                    |
| 8.          | Розроблено бізнес план комерціалізації технічного рішення                         | 2                              | 2                    |
| 9.          | Визначено шляху просування розробки на ринок                                      | 4                              | 4                    |
| 10.         | Розроблено стратегію (Форма) реалізації технічного рішення                        | 5                              | 5                    |
| 11.         | Опрацьовані питання міжнародного співробітництва та виходу на інші ринки          | 3                              | 3                    |
| 12.         | Опрацьовані питання використання послуг інфраструктури підтримки, отримання пільг | 3                              | 3                    |
| 13.         | Опрацьовано питання фінансування комерціалізації технічного рішення               | 4                              | 3                    |
| 14.         | Сформована команда для комерціалізації технічного рішення                         | 4                              | 4                    |
| 15.         | Опрацьовано механізм реалізації проекту                                           | 5                              | 4                    |
| РАЗОМ БАЛІВ |                                                                                   | 60                             | 57                   |

Таким чином, розробка вважається перспективною, а знання розробника вище середнього. Можливе залучення в роботу експерта з проведення процедури оцінки рівня професійних компетенцій співробітників, які здійснюють контрольні-наглядові заходи.

Група процесів початку процесу складається з процесів, які виконуються для визначення нового проекту або нової фази існуючого. В рамках процесів ініціації визначаються початкові цілі і зміст і фіксуються початкові фінансові ресурси. Визначаються внутрішні і зовнішні зацікавлені сторони проекту, які будуть взаємодіяти і впливати на загальний результат наукового проекту.

Статут проекту документує бізнес-потреби, поточне розуміння потреб замовника проекту, а також новий продукт, послугу або результат, який планується створити.

Статут проекту має структуру, представлену нижче.

- 1) Цілі і результат проекту. Інформацію по зацікавленим сторонам проекту представлена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Зацікавлені сторони проекту

| Зацікавлені сторони проекту | Очікування зацікавлених сторін                                                |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Переробна промисловість     | Зменшення періоду простою технологічних ліній, скорочення операційних витрат. |
| Металургія                  |                                                                               |

В таблиці 5.5 представлена інформація про ієрархії цілей проекту та критерії досягнення цілей.

Таблиця 5.5 - Цілі і результат проекту

|                               |                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цілі проекту:                 | Мета даної роботи полягає, в пошуку можливих способів підвищення терміну експлуатації валів технологічної лінії, збільшити обсяг виробництва продукту, знизити собівартість і накладні витрати на одиницю продукції. |
| Очікувані результати проекту: | Підвищення ефективності технологічної лінії.                                                                                                                                                                         |
| вимоги до результату проекту: | Виконання поставлених завдань<br>Наукове та економічне обґрунтування результатів проекту                                                                                                                             |

2) Обмеження і допущення проекту. Обмеження проекту - це всі фактори, які можуть послужити обмеженням ступеня свободи учасників команди проекту, а також «межі проекту» - параметри проекту або його продукту, які не будуть реалізовані в рамках даного проекту.

В рамках процесів ініціації проекту визначаються початкові цілі та передбачувані результати проекту. Зафіксовані початкові фінансові ресурси. Визначено внутрішні та зовнішні зацікавлені сторони проекту, які будуть взаємодіяти і впливати на загальний результат наукового проекту.

#### 5.4 Планування управління проектом

При створенні нового технологічного процесу підприємству необхідно правильно планувати терміни виконання окремих етапів робіт, враховувати витрати на матеріали, зарплату. А також оцінювати найбільш правильний варіант розробки процесу.

В першу чергу визначається повний перелік робіт, що проводяться, а також тривалість на кожному етапі. В результаті планування діяльності банківської реалізації проекту. Для побудови робіт необхідно співвіднести відповідні роботи кожного виконавця.

Щоб скласти стрічковий графік проведення проектних робіт (на основі діаграми Ганта), спочатку складається таблиця часових показників проведення проектної роботи.

Трудомісткість виконання проекту оцінюється експертним шляхом в людино-днях і носить імовірнісний характер, тому що залежить від безлічі важко прогнозованих факторів.

Для визначення очікуваного (середнього) значення трудомісткості  $t_{ожі}$  використовується наступна формула [31]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}$$

де  $t_{min\ i}$  - мінімально можлива трудомісткість виконання заданої  $i$ -ой роботи (оптимістична оцінка: в припущенні найбільш сприятливого збігу обставин), люд.-дн. ;

$t_{max\ i}$  - максимально можлива трудомісткість виконання заданої  $i$ -ой роботи (песимістична оцінка: в припущенні найбільш несприятливого збігу обставин), люд.-дн.

Виходячи з очікуваної трудомісткості робіт, визначається тривалість кожної роботи в робочих днях, враховує паралельність виконання робіт декількома виконавцями, за формулою [31]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

де  $T_{pi}$  - тривалість однієї роботи, раб. дн .;

$Ч_i$  - чисельність виконавців, що виконують одночасно одну і ту ж роботу на даному етапі, чол.

Діаграма Ганта - горизонтальний стрічковий графік, на якому роботи по представляються протяжними в часі відрізками, що характеризуються датами початку і закінчення виконання даних робіт.

Графік будується з розбивкою по місяцях і декадах (10 днів) за період часу виконання наукового проекту. При цьому роботи на графіку виділені різної штрихуванням в залежності від виконавців.

Для зручності побудови такого графіка, тривалість кожного з етапів робіт з робочих днів слід перевести в календарні дні. Для цього необхідно скористатися наступною формулою:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

де  $T_{ki}$  - тривалість виконання і-ї роботи в календарних днях;

$T_{pi}$ - тривалість виконання і-ї роботи в робочих днях;

$k_{\text{кал}}$  - коефіцієнт календарності.

Коефіцієнт календарності визначається за такою формулою [31]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{пр}}}$$

де  $T_{\text{кал}}$  - кількість календарних днів в році;

$T_{\text{вих}}$ - кількість вихідних днів на рік;

$t_{\text{пр}}$  -кількість святкових днів на рік.

Згідно з виробничим календарем на 2024 рік:

- кількість календарних днів - 366;
- кількість робочих днів - 249;
- кількість вихідних і святкових днів – 116.

Далі визначимо коефіцієнт календарності:  $k_{\text{кал}} = 2,83$

Таким чином, отримуємо таблицю часових показників проведення роботи (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6 – Часові показники проведення проекту

| Назва роботи                                           | трудомісткість робіт       |                            |                                  | Тривалість<br>робіт $T_{pi}$ | Тривалість<br>робіт в<br>календарних<br>днях $T_{doi}$ |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                        | $t_{\min}$ ,<br>Люд-<br>дн | $t_{\max}$ ,<br>Люд-<br>дн | $t_{\text{ожі}}$ ,<br>Люд-<br>дн |                              |                                                        |
| Складання і<br>затвердження<br>технічного<br>завдання  | 2                          | 4                          | 2,8                              | 2,8                          | 4                                                      |
| Формування<br>калькуляції                              | 1                          | 3                          | 1,8                              | 1,8                          | 3                                                      |
| Постановка<br>задачі                                   | 1                          | 2                          | 2,2                              | 2,2                          | 3                                                      |
| Визначення<br>стадій, етапів і<br>термінів<br>розробки | 2                          | 5                          | 3,2                              | 1,6                          | 2                                                      |
| Аналіз ринків<br>збуту                                 | 15                         | 30                         | 21                               | 21                           | 31                                                     |
| Аналіз<br>існуючого<br>досвіду                         | 5                          | 8                          | 6,2                              | 6,2                          | 9                                                      |
| складання і<br>затвердження<br>технічного<br>завдання  | 2                          | 4                          | 2,8                              | 2,8                          | 4                                                      |

|                                                              |    |    |     |     |    |
|--------------------------------------------------------------|----|----|-----|-----|----|
| Узгодження отриманих даних керівництвом <sup>3</sup>         | 1  | 3  | 1,8 | 0,9 | 1  |
| Розробка технологічних карт                                  | 20 | 30 | 21  | 21  | 36 |
| Оцінка ефективності отриманих результатів                    | 2  | 3  | 2,4 | 2,4 | 4  |
| Документальна робота                                         | 1  | 2  | 1,4 | 1,4 | 2  |
| Формування пакету конструкторсько-технологічної документації | 3  | 7  | 4,6 | 4,6 | 7  |

## 5.5 Бюджет проекту

Витрати на проведення проекту наведені в таблиці 5.7 Великі витрати потрібні були для проведення випробувань на установці для автоматичного зварювання.

Таблиця 5.7 - Витрати на сировину і матеріали

| Найменування                              | Витрати, грн. | Примітка                                                               |
|-------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| Матеріали                                 | 35000 ,0      | Як матеріали труба із сталі 30X25H19C2Л                                |
| Установка автоматичного приварювання цапф | 2045,0        | Наведено вартість використання установки протягом одного робочого дня. |
| Газ аргон                                 | 1460,0        |                                                                        |

|                   |         |  |
|-------------------|---------|--|
| Зварювальний дріт | 300,0   |  |
| Інші витрати (5%) | 315,0   |  |
| Разом             | 64425,0 |  |

У процесі виробництва основні фонди амортизуються, поступово переносячи свою вартість на вироблений товар, а нарахування амортизації - щомісяця проводиться процес покриття зносу, неодмінно виникає при цьому. Цей показник не є фіксованим значенням. Норма амортизації вимірюється у відсотках і встановлюється в залежності від прийнятої в компанії методики нарахування амортизації. Так при лінійному способі, відрахування здійснюються рівними частками протягом повного терміну експлуатації об'єкта.

1. Установка для автоматичного аргонодугового

зварювання:  $\frac{725000}{8 \cdot 12} \cdot 1 = 7552,0$  грн.

2. Модуль керування  $\frac{398700}{10 \cdot 12} \cdot 0,6 = 1993,5$  грн.

3. Мікроскоп:  $\frac{210783}{10 \cdot 12} \cdot 0,1 = 175,7$  грн.

В результаті планування був сформований графік реалізації проекту, враховані витрати на матеріали, зарплату. А також оцінений найбільш правильний варіант розробки процесу.

Заробітна плата визначається в відповідно до кількості відпрацьованого часу і встановленим штатно-посадовим окладом [31].

Для технолога середньомісячний оклад становить ЗБТ = 19700 грн / міс, для адміністративних працівників - ЗБП = 35000 грн. / міс.

Заробітна плата розраховується за формулою [14]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

де  $Z_{осн}$  - основна заробітна плата;

$Z_{доп}$  - додаткова заробітна плата.

Основна заробітна плата ( $Z_{осн}$ ) керівника розраховується за такою формулою:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

де  $Z_{осн}$  - основна заробітна плата одного працівника;

$T_p$  - тривалість робіт, виконуваних науково-технічним працівником, раб. дн. ;

$Z_{дн}$  - середньоденна заробітна плата працівника, грн.

Середньоденну заробітну плату можна розрахувати за формулою:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{T}$$

місячний посадовий оклад працівника, грн. .;

$T$  - кількість робочих днів у місяці. Приймаємо 6 денний робочий систему, значить  $T = 26$  днів.

Місячний посадовий оклад працівника [31]:

$$Z_m = Z_б \cdot k_p$$

де  $Z_б$  - базовий оклад, грн.;

$k_p$  - надбавка

Тепер розраховуємо місячну заробітну плату працівників проекту:

$$Z_{мт} = 19500 \cdot 1,3 = 25350,0 \text{ грн.}$$

$$Z_{мп} = 35000 \cdot 1,3 = 45500,0 \text{ грн.}$$

Визначаємо середньоденну заробітну плату:

$$З_{\text{дн т}} = \frac{25350,0}{26} = 975,0 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{дн п}} = \frac{45500,0}{26} = 1750,0 \text{ грн.}$$

Основну заробітну плату визначимо з допущенням, що на даний проект його працівники витратили 100 повних робочих днів (8 годин на день):

$$З_{\text{осн т}} = 975,0 \cdot 100 = 97500 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{осн п}} = 1750 \cdot 100 = 175000 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата розраховується виходячи з 10-15% від основної заробітної плати, працівників, які безпосередньо беруть участь у виконанні теми:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

де  $З_{\text{доп}}$  - додаткова заробітна плата, грн.;

$k_{\text{доп}}$  – коефіцієнт додаткової зарплати;

$З_{\text{осн}}$  – основна заробітна плата, грн.

Приймаємо коефіцієнт додатково зарплати дорівнює 0,1 і отримуємо:

$$З_{\text{доп т}} = 0,1 \cdot 78850 = 7885 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{доп п}} = 0,1 \cdot 70850 = 7085 \text{ грн.}$$

Отже, визначаємо повну зарплату працівників:

$$С_{\text{зпт}} = 70850 + 7885 = 78735 \text{ грн.}$$

$$С_{\text{зпп}} = 4550 + 45500 = 50050 \text{ грн.}$$

Розрахунок накладних витрат ведеться за наступною формулою:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

де  $k_{\text{накл}}$  - коефіцієнт накладних витрат.

Приймаємо  $k_{\text{накл}} = 0.8$ .

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 272500 = 218000 \text{ грн.}$$

Таким чином, на підставі отриманих даних за окремими статтями витрат складемо калькуляцію планової собівартості (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 - Розрахунок бюджету витрат

| Найменування статті                               | Сума, грн. |
|---------------------------------------------------|------------|
| Матеріальні витрати                               | 7552,0     |
| витрати по основній заробітній платі виконавців   | 272500,0   |
| Витрати по додатковій заробітній платі виконавців | 14970,0    |
| Накладні витрати                                  | 215300,8   |
| Амортизаційні витрати основних засобів            | 8500,6     |
| Разом                                             | 518823,4   |

Згідно проведеної калькуляції, бюджет проекту становить 518823,4 грн.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених аналізу експлуатаційних, розрахунків режимів охолодження та моделюванні чисельним методом режимів теплового навантаження валів верхньої підтримки отримано наступні результати:

При виконанні вимірювання об'ємних витрат охолоджуючого повітря в системі охолодження ВВП були виявлена різниця значень витрат повітря на вході і виході ВВП. Найбільш вірогідним поясненням вказаної різниці є пошкодження цілісності валу, тобто наявність отворів в корпусі ВВП, через які виходить охолоджуюче повітря, або порушення герметичності системи охолодження, що погіршує процес охолодження ВВП і прискорює його руйнування.

Різниця значень об'ємних витрат охолоджуючого повітря може бути використана для діагностування пошкоджень ВВП або його системи охолодження з подальшим використанням цих даних для планування ремонтів піч-решітки, так як експлуатація піч-решітки з пошкодженими ВВП призводить до прискореного руйнування сусідніх ВВП.

Відповідно до отриманих результатів проведених розрахунків та моделювання методом скінчених елементів встановлено, що вали верхньої підтримки працюють в умовах граничних температурних режимів, при яких відбуваються процеси зміни фізико-механічних властивостей матеріалу, окрім ВВП № 3, 4.

При моделювання теплового розширення для найбільш термонавантаженого ВВП №28 для різних умов технічного стану ВВП і системи охолодження були отримані значення в межах 28,5-30,6 мм, а для ВВП №26 – 33,4 мм.

Зазор теплового розширення, який наразі встановлюється 20 мм, є недостатнім як при умові втрати повітря в системі охолодження валів, через пошкодження ВВП чи порушення герметичності системи охолодження, так і

при умові відсутності втрат повітря (новий ВВП, герметична система охолодження).

У зв'язку із недостатнім охолодженням, температурні режими валів знаходяться в режимах термообробки та схильні до температурних розширень, утворень карбідів хрому та втомної крихкості, що знижує ресурс та викликає руйнування деталі.

Збільшення витрати повітря до  $18,3 \text{ м}^3/\text{хв}$  для ВВП №22-28 гарячої зони забезпечить максимальну поверхневу температуру валу та фланців  $509^\circ\text{C}$  та дає можливим використати сталь 30X25H19C2Л у якості матеріалу-замінника.

Проведено аналіз ризиків та нормативної бази із охорони праці на металургійному підприємстві.

Проведено оцінку витрат на реалізацію технічного рішення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Особливості формування структури і властивостей зони термічного впливу зварних з'єднань із мікролегованих будівельних сталей : монографія [Електронний ресурс] / А.Є. Щудро, К.А. Зіборов, Д.В. Лаухін, О.В. Бекетов, С.О. Федоряченко, І.М. Мацюк, Л.М. Дадіверіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Електрон. текст. дані. – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – 131 с. – Режим доступу <https://www.nmu.org.ua/ua/> – Назва з екрана
2. Victor Gryshchak, Dmytro Hryshchak, Kyrylo Ziborov, Serhii Fedoriachenko, Dmytro Harkavenko (2023), Development of Mechatronic Unmanned Cargo Delivery System Calculation Model in Terms of External Ballistics, Proceedings of the 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023
3. К. Зіборов, С. Федоряченко, С. Чеботарьов, А. Холодов (2023), Щодо обґрунтування робочих характеристик і конструктивних параметрів підшипникових вузлів валів верхньої підтримки печі офлюсування окатишів, Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.46-52>
4. О.О. Азюковський, Д.В. Гаркавенко, В.З. Гришак, К.А. Зіборов, С.О. Федоряченко, М.В. Однорал (2023), Аналітичний підхід до розв'язку задач нелінійної динаміки систем із змінними за часом параметрами за умови реакції зовнішнього середовища, Збірник наукових праць НГУ, 72, <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72>
5. С.О. Федоряченко, К.А. Зіборов, Р.В. Джур, А.П. Холодов (2022), Розрахування ефективності системи охолодження валів верхньої підтримки із застосуванням методу скінчених елементів, Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 92-92
6. О.О. Азюковський, В.З. Гришак, К.А. Зіборов, С.О. Федоряченко, Т.А. Кравчук (2022), До проблеми нелінійної динаміки оболонкової системи при дії

локального імпульсу внутрішнього тиску, Збірник наукових праць НГУ, 71, 179-185, <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.179>

7. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.

8. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.

9. Бережний М. М., Мовчан В. П. Збагачення та окискування сировини: Монографія / Під ред. М. М. Бережного. – Дніпропетровськ: Пороги, 2002. – 365 с.

## ДОДАТОК А

**Таблиця 1- Результати вимірювань об'ємних витрат і параметрів потоку  
охолоджуючого повітря**

| №   | Найменування параметру                            | Позна-чення         | Од. вимір          | ВВП 28 | ВВП 27 | ВВП 26 | ВВП 25 | ВВП 24 | ВВП 23 | ВВП 22 | ВВП 21 |
|-----|---------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.  | Площа перерізу повітроводу в мірному перерізі     | F                   | м <sup>2</sup>     | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   |
| 2.  | <b>НА ВХОДІ У ВАЛ</b>                             |                     |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3.  | Температура потоку                                | t ВХ                | °С                 | 14,30  | 14,3   | 14,30  | 14,30  | 14,30  | 14,30  | 14,30  | 14,30  |
| 4.  | Динамічний тиск потоку повітря в мірному перерізі | ВХ p <sub>dv</sub>  | Па                 | 229    | 440    | 291    | 220    | 190    | 285    | 503    | 340    |
| 5.  | Повний тиск потоку в мірному перерізі             | ВХ р <sub>м</sub>   | Па                 | 7 210  | 7 200  | 7 335  | 5 430  | 7 485  | 7 425  | 7 505  | 7 335  |
| 6.  | Статичний тиск потоку в мірному перерізі          | ВХ р <sub>см</sub>  | Па                 | 6 975  | 6 760  | 7 035  | 5 210  | 7 295  | 7 140  | 7 000  | 6 995  |
| 7.  | Середня швидкість руху повітря в мірному перерізі | ВХ v <sub>м</sub>   | м/с                | 18,66  | 25,88  | 21,05  | 18,44  | 16,97  | 20,80  | 27,64  | 22,72  |
| 8.  | Об'ємна витрата повітря                           | ВХ Q                | м <sup>3</sup> /с  | 0,15   | 0,20   | 0,17   | 0,14   | 0,13   | 0,16   | 0,22   | 0,18   |
| 9.  | Об'ємна витрата повітря                           | ВХ Q                | м <sup>3</sup> /хв | 8,79   | 12,20  | 9,92   | 8,69   | 8,00   | 9,80   | 13,02  | 10,71  |
| 10. | <b>НА ВИХОДІ З ВАЛУ</b>                           |                     |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 11. | Температура потоку                                | t ВИХ               | °С                 | 181    | 178    | 202    | 203    | 184    | 175    | 175    | 175    |
| 12. | Динамічний тиск потоку повітря в мірному перерізі | ВИХ p <sub>dv</sub> | Па                 | 75     | 260    | 60     | *      | 109    | 163    | 254    | 60     |
| 13. | Повний тиск потоку в мірному перерізі             | ВИХ р <sub>м</sub>  | Па                 | 310    | 1 010  | 240    |        | 746    | 479    | 560    | 290    |
| 14. | Статичний тиск потоку в                           | ВИХ р <sub>см</sub> | Па                 | 235    | 750    | 175    |        | 637    | 315    | 305    | 225    |

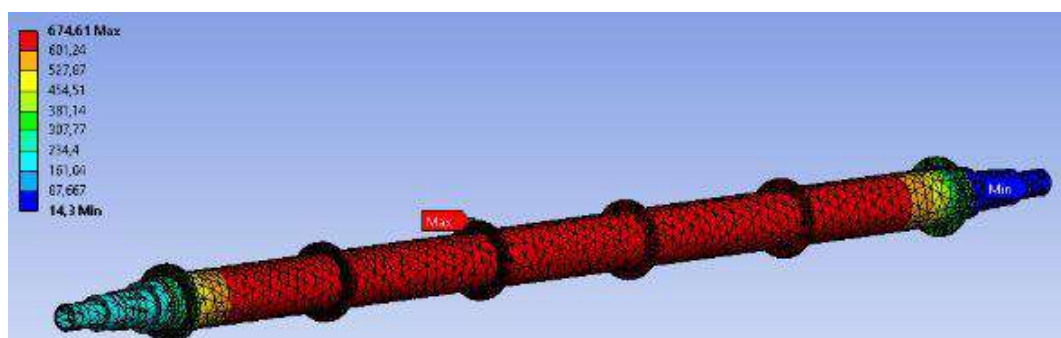
| №   | Найменування параметру                            | Позначення | Од. вимір | ВВП 28 | ВВП 27 | ВВП 26 | ВВП 25 | ВВП 24 | ВВП 23 | ВВП 22 | ВВП 21 |
|-----|---------------------------------------------------|------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | мірному перерізі                                  |            |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 15. | Середня швидкість руху повітря в мірному перерізі | ВІХ $v_m$  | м/с       | 13,86  | 25,64  | 12,68  |        | 16,78  | 20,33  | 25,33  | 12,31  |
| 16. | Об'ємна витрата повітря                           | ВІХ Q      | м³/с      | 0,11   | 0,20   | 0,10   |        | 0,13   | 0,16   | 0,20   | 0,10   |
| 17. | Об'ємна витрата повітря                           | ВІХ Q      | м³/хв     | 6,53   | 12,08  | 5,98   |        | 7,91   | 9,58   | 11,93  | 5,80   |

## Продовження таблиці 1

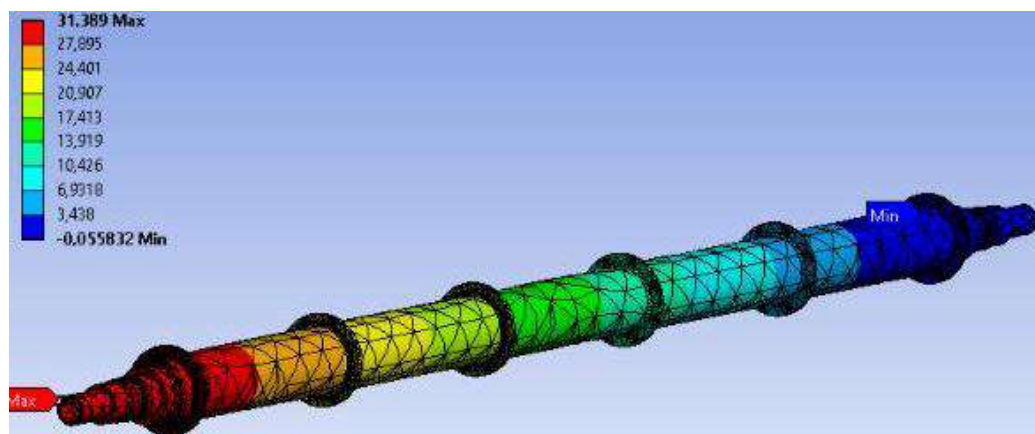
| №   | Найменування параметру                            | Позначення   | Од. вимір. | ВВП4  | ВВП3   | ВВП2   | ВВП1  |
|-----|---------------------------------------------------|--------------|------------|-------|--------|--------|-------|
| 1.  | Площа перерізу повітроводу в мірному перерізі     | F            | м²         | 0,10  | 0,10   | 0,10   | 0,10  |
| 2.  | <b>НА ВХОДІ У ВАЛ</b>                             |              |            |       |        |        |       |
| 3.  | Температура потоку                                | t ВХ         | °С         | 14,30 | 14,30  | 14,30  | 14,30 |
| 4.  | Динамічний тиск потоку повітря в мірному перерізі | ВХ $p_{dv}$  | Па         | 1 102 | 714    | 657    | 418   |
| 5.  | Повний тиск потоку в мірному перерізі             | ВХ $p_m$     | Па         | 6 815 | 6 975  | 6 845  | 7 200 |
| 6.  | Статичний тиск потоку в мірному перерізі          | ВХ $p_{sm}$  | Па         | 5 700 | 6 260  | 6 170  | 6 770 |
| 7.  | Середня швидкість руху повітря в мірному перерізі | ВХ $v_m$     | м/с        | 41,11 | 33,02  | 31,71  | 25,24 |
| 8.  | Об'ємна витрата повітря                           | ВХ Q         | м³/с       | 0,32  | 0,26   | 0,25   | 0,20  |
| 9.  | Об'ємна витрата повітря                           | ВХ Q         | м³/хв      | 19,37 | 15,56  | 14,94  | 11,89 |
| 10. | <b>НА ВИХОДІ З ВАЛУ</b>                           |              |            |       |        |        |       |
| 11. | Температура потоку                                | t ВІХ        | °С         | 93,00 | 105,00 | 116,00 | 90,00 |
| 12. | Динамічний тиск потоку повітря в мірному перерізі | ВІХ $p_{dv}$ | Па         | 806   | 459    | 159    | 304   |
| 13. | Повний тиск потоку в мірному перерізі             | ВІХ $p_m$    | Па         | 1 085 | 820    | 620    | 690   |
| 14. | Статичний тиск потоку в мірному перерізі          | ВІХ $p_{sm}$ | Па         | 279   | 360    | 460    | 385   |

| №   | Найменування параметру                            | Позначення | Од. вимір.         | ВВП4  | ВВП3  | ВВП2  | ВВП1  |
|-----|---------------------------------------------------|------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| 15. | Середня швидкість руху повітря в мірному перерізі | ВИХ $v_m$  | м/с                | 40,75 | 31,26 | 18,69 | 24,96 |
| 16. | Об'ємна витрата повітря                           | ВИХ Q      | м <sup>3</sup> /с  | 0,32  | 0,25  | 0,15  | 0,20  |
| 17. | Об'ємна витрата повітря                           | ВИХ Q      | м <sup>3</sup> /хв | 19,20 | 14,73 | 8,81  | 11,76 |

## **ДОДАТОК Б**

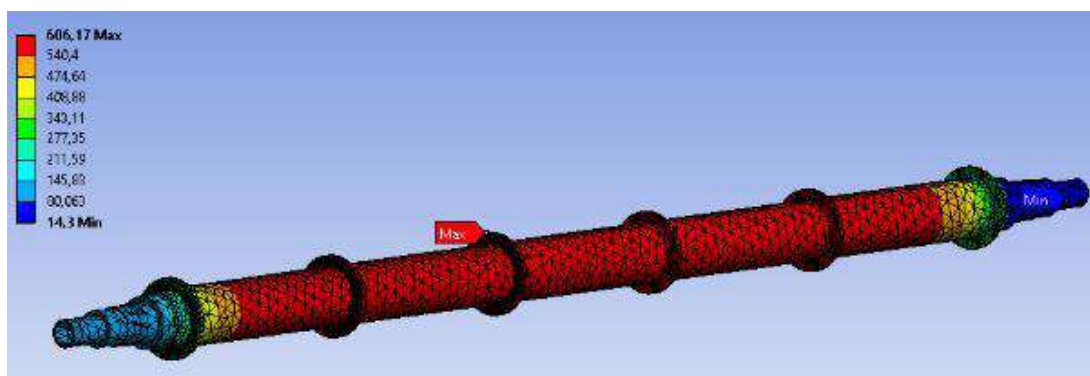


a)

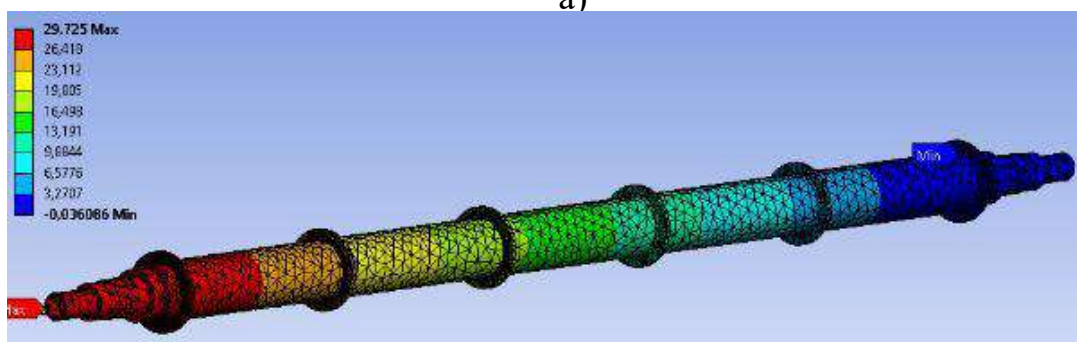


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 1– Вал верхньої підтримки № 21



а)



б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення

Рисунок 2 – Вал верхньої підтримки № 2

Результати розрахунку ВВП №28, 26, 21, 4 при втраті охолоджуючого повітря всередині валу приведено на рисунках 3-6.

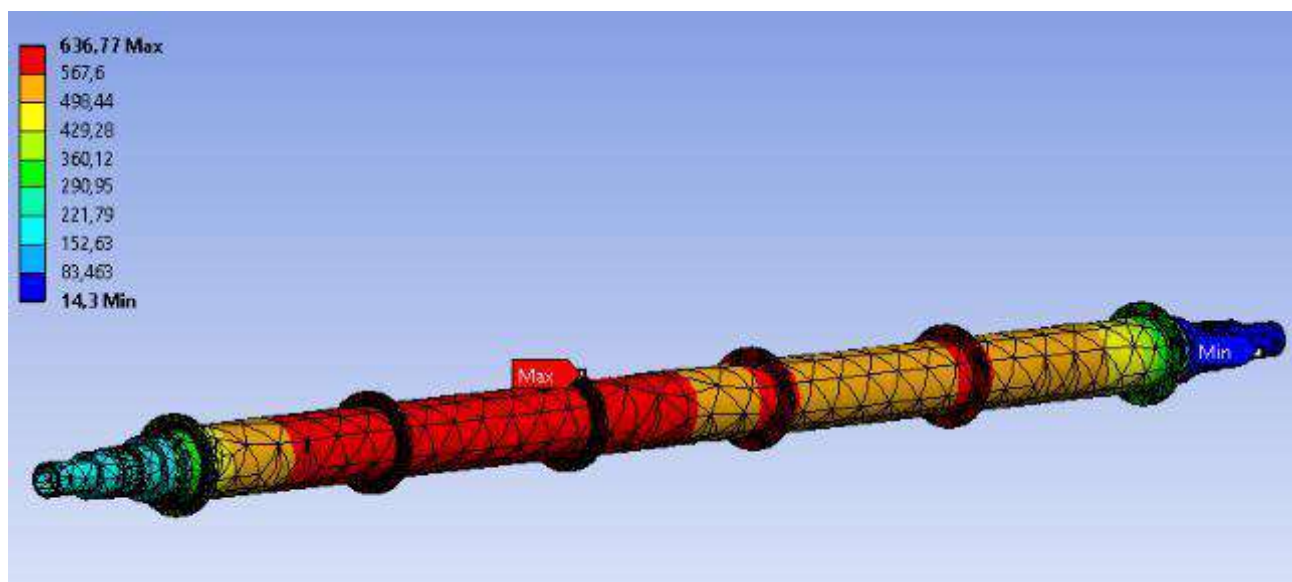


Рисунок 3 – Вал верхньої підтримки № 28. Температурний режим

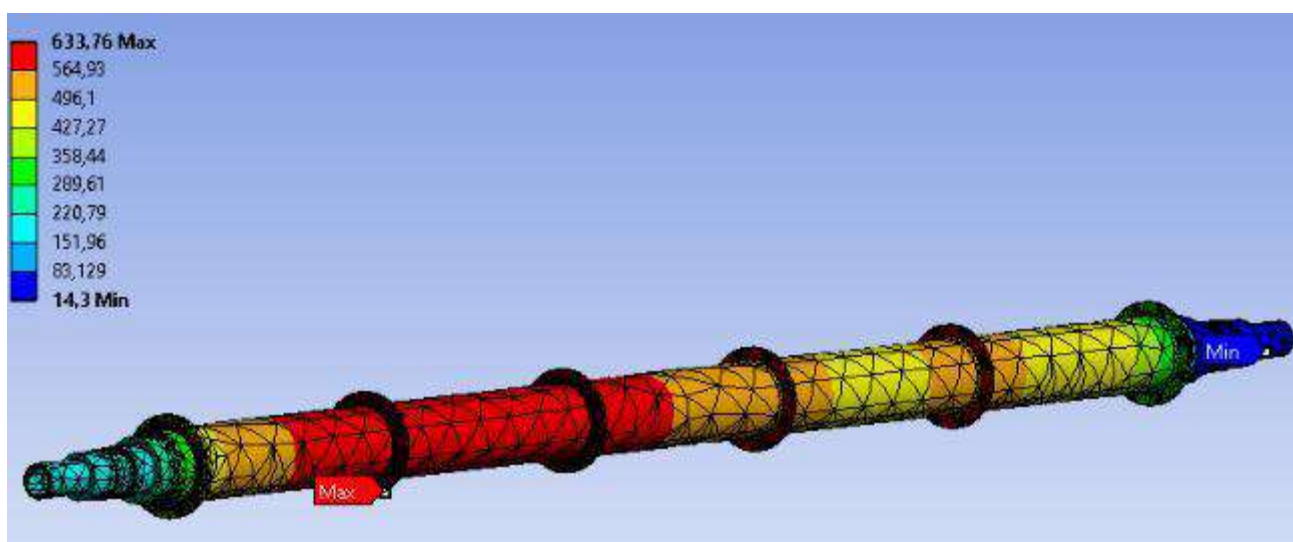


Рисунок 4 – Вал верхньої підтримки № 26. Температурний режим

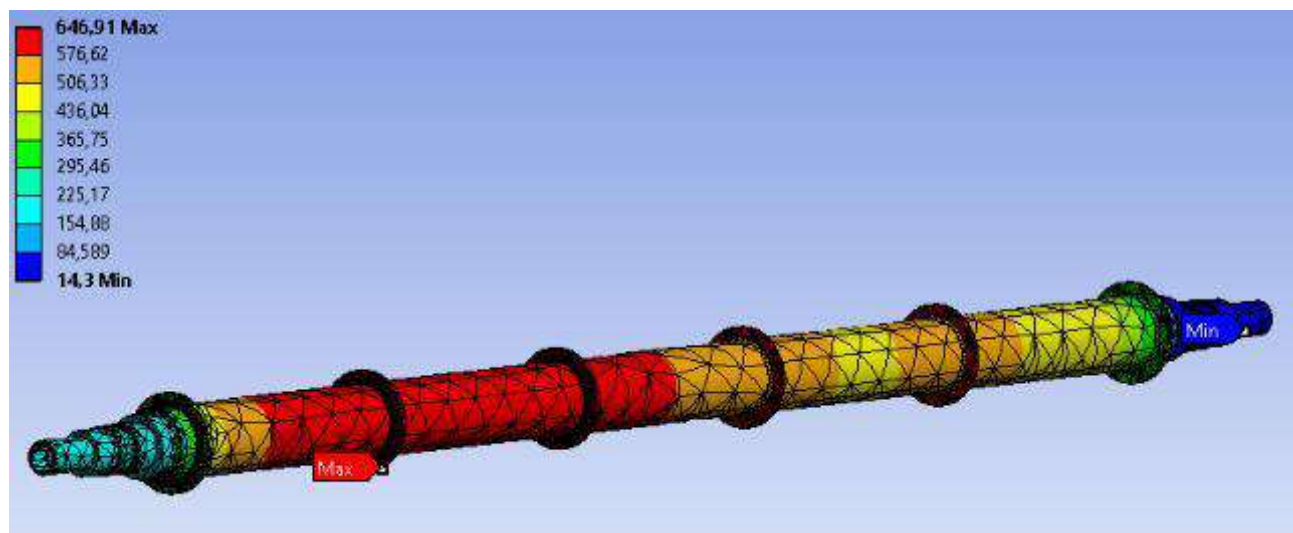


Рисунок 5– Вал верхньої підтримки № 21. Температурний режим

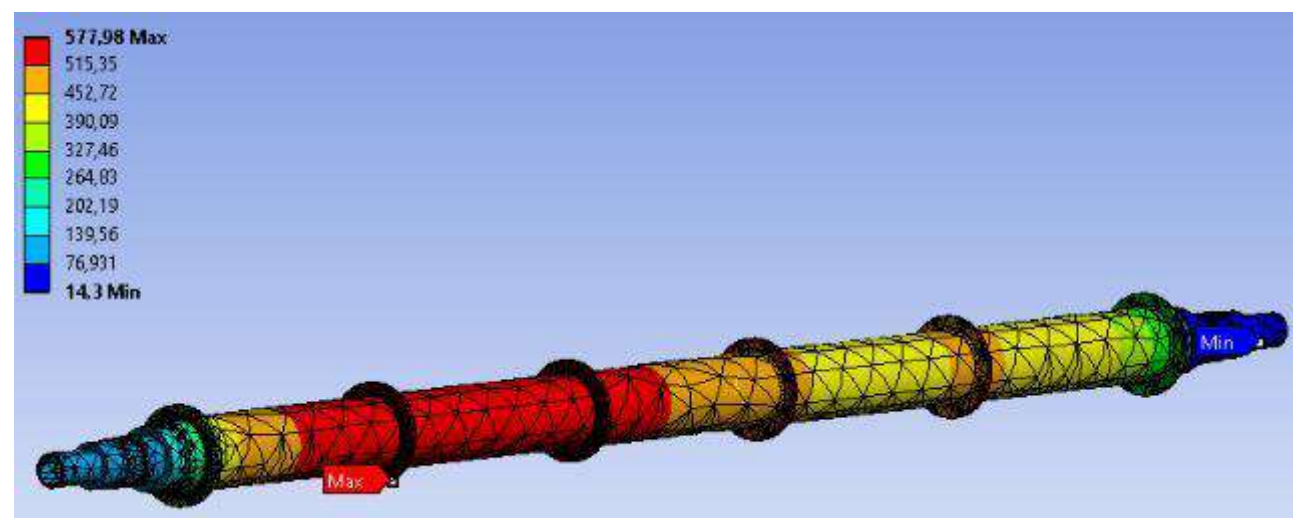
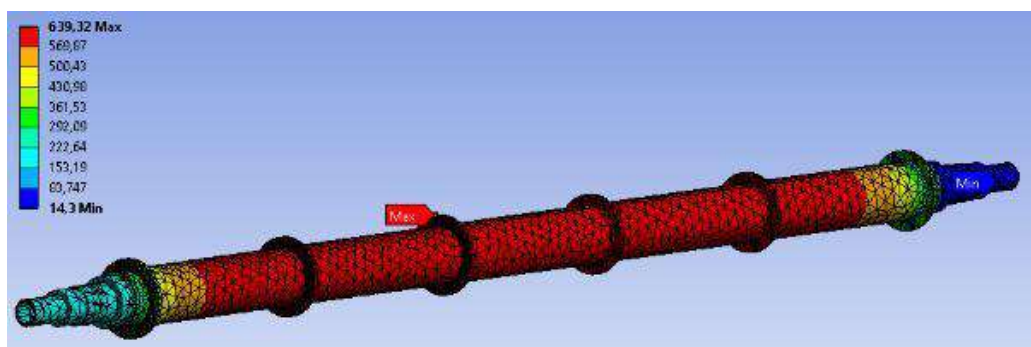
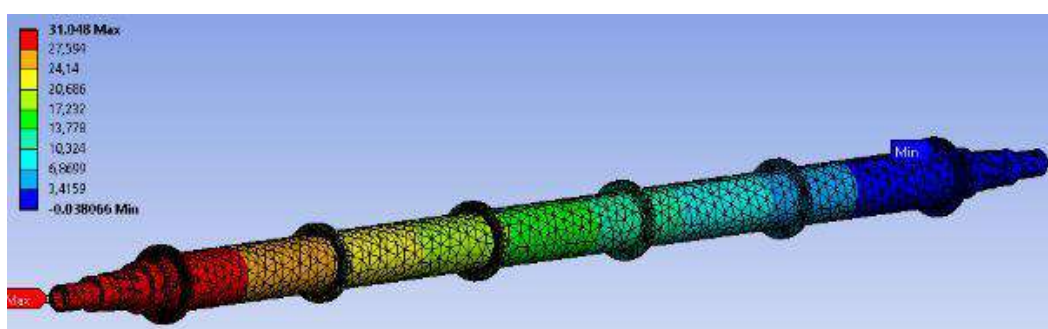


Рисунок 6 – Вал верхньої підтримки № 2. Температурний режим

Результати розрахунку теплового розширення та температурних режимів ВВП №27, 25, 24, 23, 22, 4, 3, 1 приведено на рисунках 7-14.

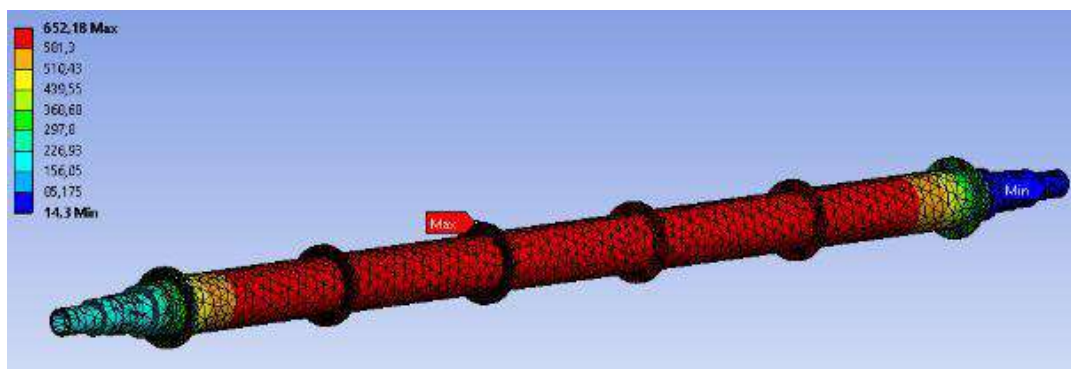


а)

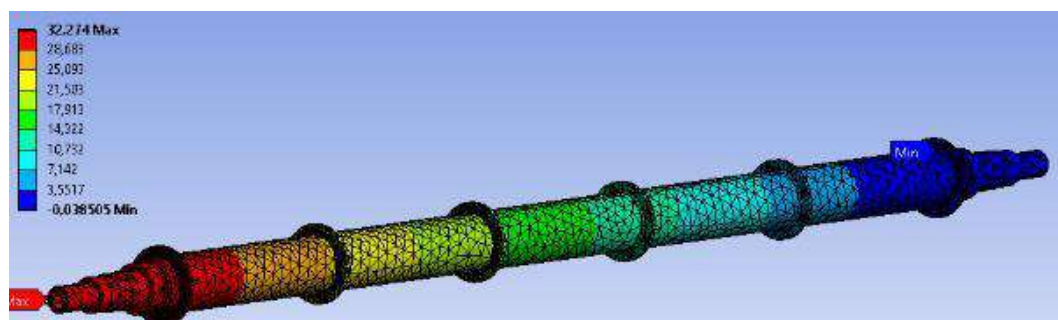


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 7– Вал верхньої підтримки № 27

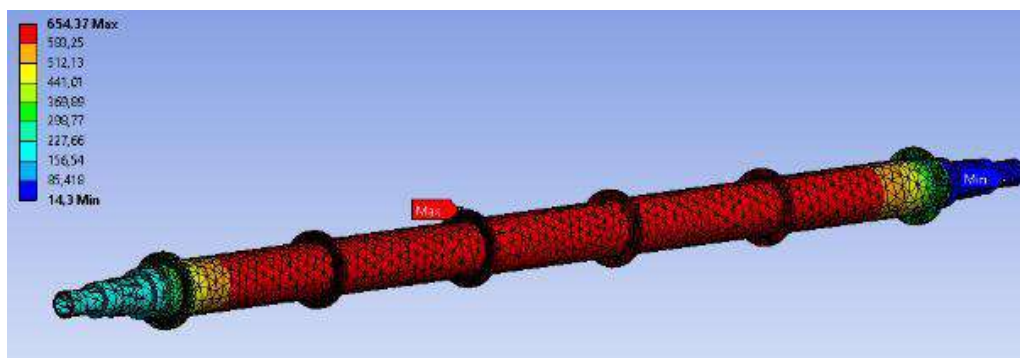


а)

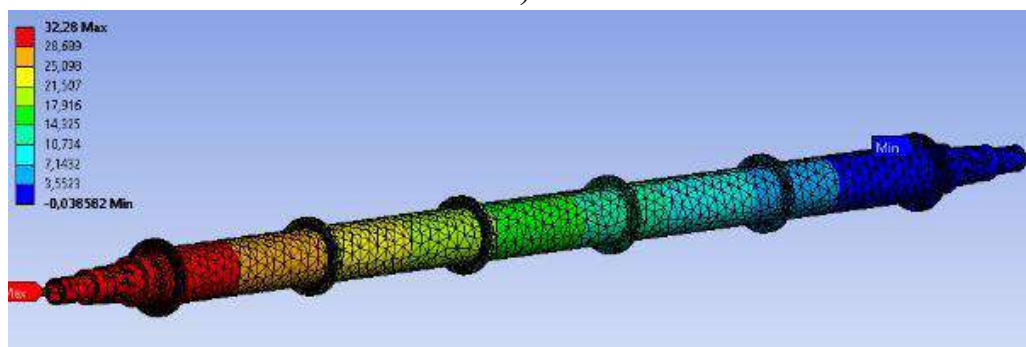


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 8 Вал верхньої підтримки № 25:

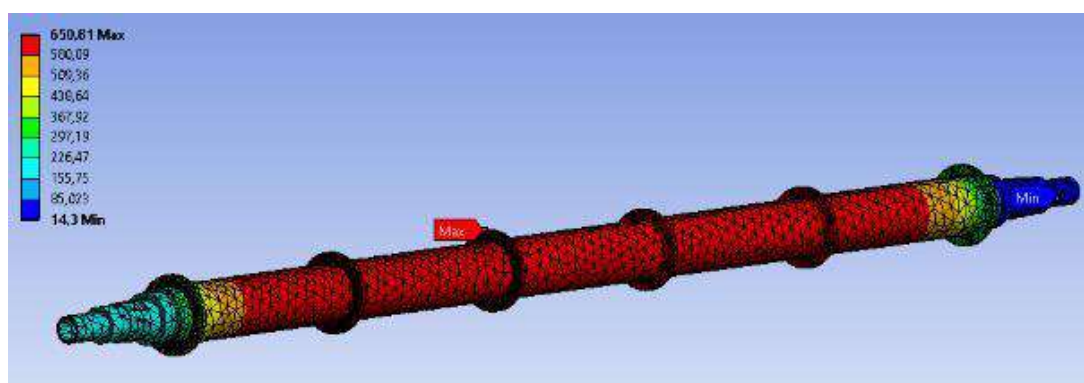


а)

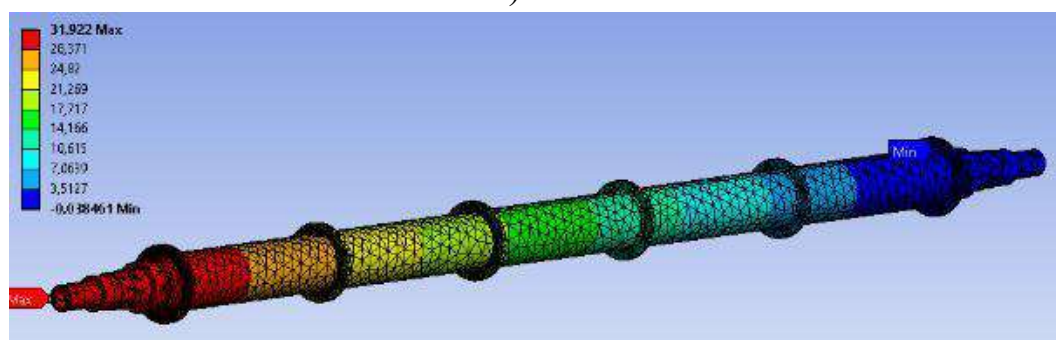


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 9- Вал верхньої підтримки № 24

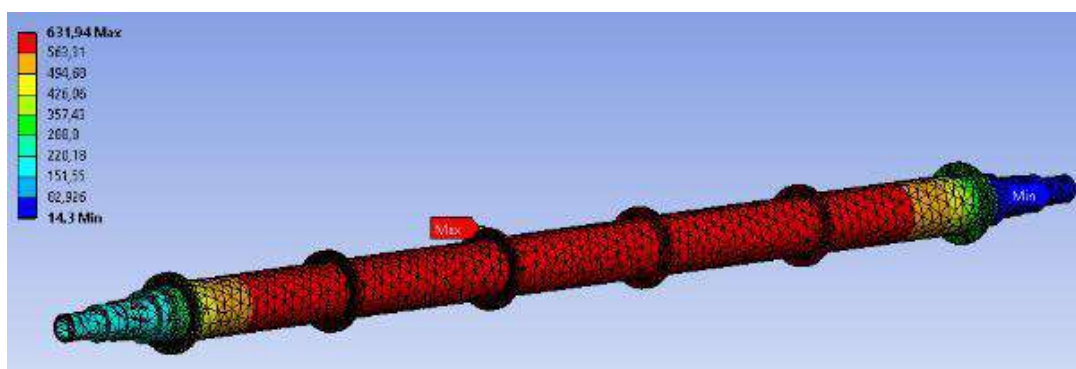


а)

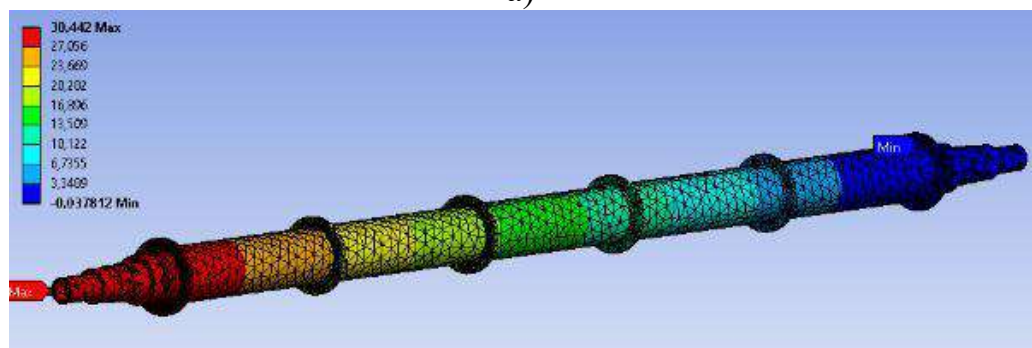


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 10– Вал верхньої підтримки № 23

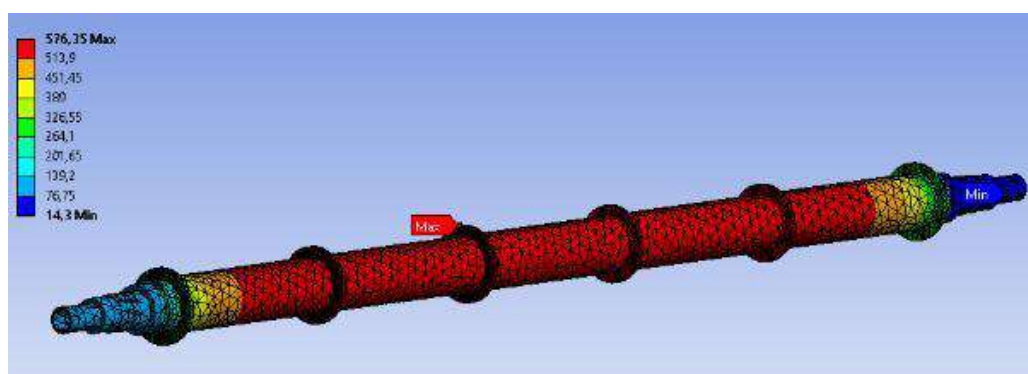


а)

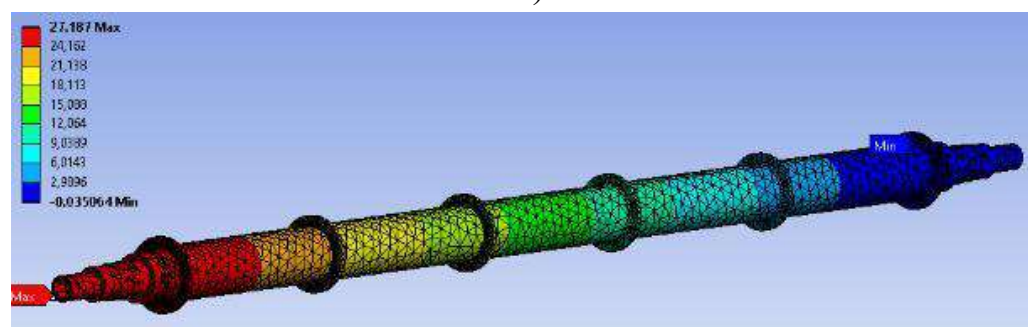


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 11– Вал верхньої підтримки № 22

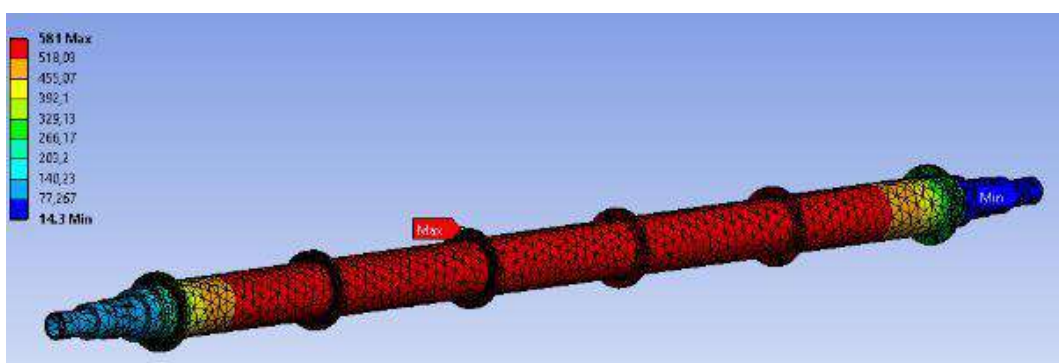


а)

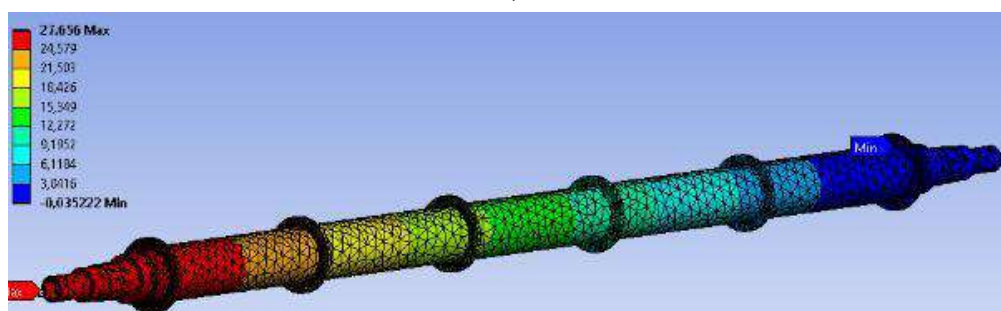


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 12–Вал верхньої підтримки № 4

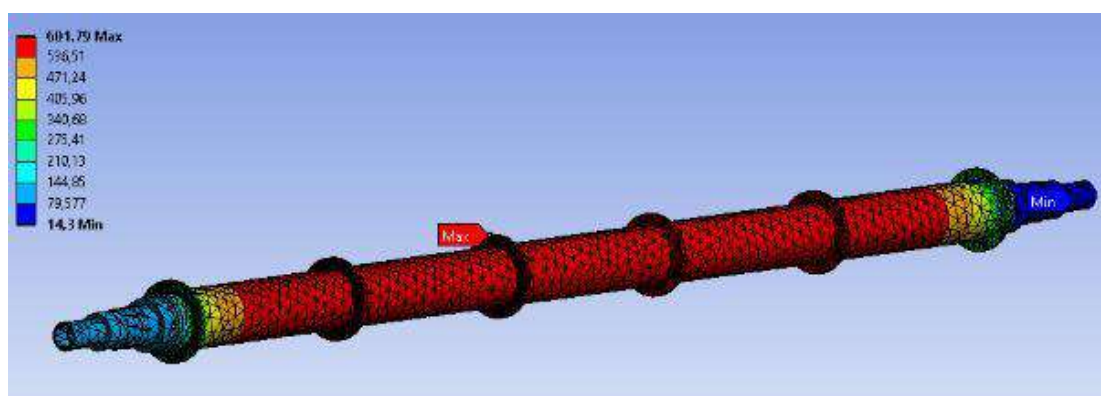


а)

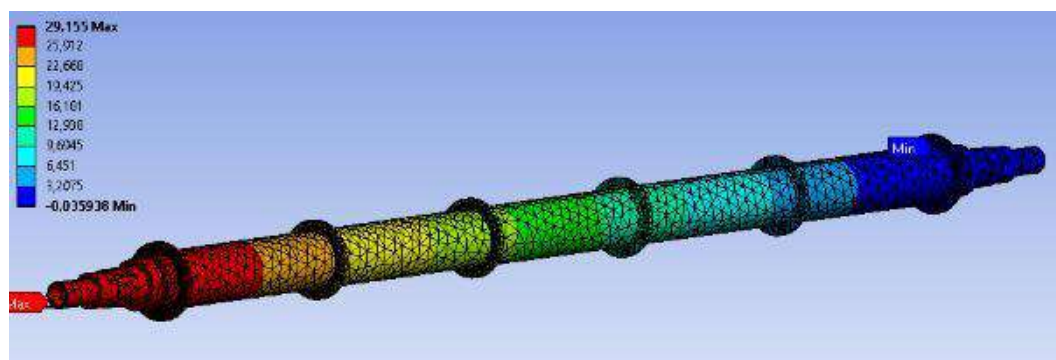


б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 13– Вал верхньої підтримки № 3:



а)



б)

а)- температурний режим; б)- теплове розширення  
Рисунок 14– Вал верхньої підтримки № 1