

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Розроблення конструкції поворотного трекера
сонячної електростанції потужністю 3 кВт.

Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва спеціальності

Назва

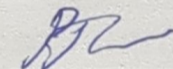
Освітня програма «технології машинобудування»

Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.22.10.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм- 23-1


Шифр


Підпис

Роман ГУМЕННИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Керівник д.т.н. професор

Науковий ступінь, звання


Підпис

Микола МАЗУР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент



Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри
технології машинобудування

Назва


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата «24» 12 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва

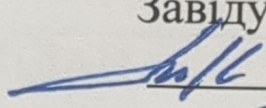
Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

 Віталій ТКАЧУК

2 . 09 .2024

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гуменному Роману Григоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Розроблення конструкції поворотного трекера сонячної електростанції потужністю 3 кВт

керівник роботи Мазур Микола Петрович, д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 серпня 2024 р.
№ 30

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2024

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) Мобільний сонячний трекер ХНУ

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Конструкторський розділ
3. Технологічний розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик аналогів поворотних трекерів (1 лист А1); кресленик проєкту поворотного трекера (1 лист А1); кресленик схема розгортання трекера (1 лист А1) кресленик трекера ХНУ(1 лист А1); кресленик поворотного механізму (1 лист А2); кресленик черв'ячного редуктора (1 лист А2); кресленик деталей черв'ячного редуктора (2 лист А2); кресленик САМ spindle (1 лист А1);

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

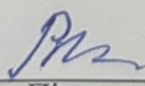
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання
3.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

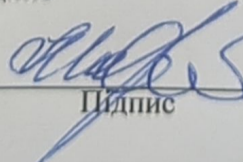
Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2024	
2 Технологічний розділ	01.11.2024	
3 Конструкторський розділ	20.11.2024	
4 Дослідницький розділ	10.12.2024	
5 Охорона праці	15.11.2023	

Студент


Підпис

Роман Гуменний
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Микола МАЗУР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ технології машинобудування

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Розроблення конструкції поворотного трекера СС
 Автор Вішач ГІМЕНЯНИ ЗКБ

Освітня програма технології машинобудування
 Спеціальність: 131 Прикварка механіка

Науковий керівник: Микола МАЗУР

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	✓
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

.....

Дата

Завідувач кафедри Вішач Віталь ТКАЧУК
 Підпис Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми Вішач Віталь ТКАЧУК
 Підпис Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи Микола МАЗУР
 Підпис Ім'я, прізвище

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну магістерську роботу
Гуменний Роман Григорович

на тему Розроблення конструкції поворотного трекера сонячної електростанції
потужністю 3 кВт

Тема роботи є актуальною і цікаво для сучасного виробництва. Робота скерована на вдосконалення конструкції поворотного трекера сонячної електростанції

У цій магістерській роботі автор запропонував та вирішив наступні задачі:
запропоновано конструкція поворотного трекера сонячної електростанції.

Графічна частина виконана на високому рівні із застосуванням SolidWorks.
Креслення та пояснювальна записка повністю відповідають вимогам ДСТУ.

Також у дослідному розділі проведено аналіз конструкції трекера у середовищі SolidWorks. Встановлено що трекер буде працювати при робочому навантаженні та має достатню жорсткість і не потребуватиме додаткових конструкторських модернізацій, та зміни окремих її параметрів.

В розділі охорона праці приведено вимоги для продуктивної роботи.

Загальний висновок та оцінка

Робота виконана відповідно до завдання на високому науковому та інженерному рівні.

Рекомендується до захисту та в цілому робота заслуговує оцінки «відмінно»

Рецензент К.Т.Н., доц. каф. АМ Лашовська Н.С.

«20» грудня 2024р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Гуменний Роман Григорович на захист дипломного проекту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Розроблення конструкції поворотного трекера сонячної електростанції потужністю 3 кВт

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Гуменний Р. Г. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 0,00 %, задовільно 100,00. шкалою ЄКТС: А 6,25 %, В 0,00 %, С 18,75 %, D 31,25 %, Е 43,75 %.

Методист факультету

[Signature]

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Роман Гуменний, під час роботи

мав кваліфікаційною роботою проявив себе з позитивної сторони. Робота

виконана в зрозумілій формі та

вернулася до встановлених вимог.

Студент Роман Гуменний заслуговує

оцінку "добре"

Оцінка дипломного проекту (роботи) добре

Керівник дипломного проекту

[Signature]

(підпис)

Владислав МТ.

(ім'я, прізвище)

" 30 " 12 2024 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Гуменний Р. Г. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

" 24 " 12 2024 р.

[Signature] В. Гагук

(підпис, ім'я, прізвище)

Завідувачу кафедри ТМ

Гнатюк А.П.

здобувача вищої освіти (студента
ПІБ, факультет, «курс», «група»)

Гумаченко Р.

ЗАЯВА

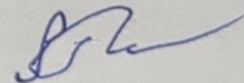
З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

24.12.24

дата



підпис

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Розроблення конструкції поворотного трекера сонячної електростанції потужністю 3 кВт

Пояснювальна записка включає 101 сторінки та додатки зі розрахунками креслеників, технологічною документацією та програмою для верстата з ЧПК. Графічна складова роботи складається з 10 аркушів формату А1. Відповідно до завдання розроблена конструкція мобільної сонячної станції потужністю 3 кВт.(дослідний мобільний трекер ХНУ) і вдосконалений аналогічний трекер.

У пояснювальній записці містяться всі необхідні розрахунки та розділи, відповідні вимогам роботи. Загальний розділ аналізує технічні умови, базуючись на функціональному призначенні виробу, технологічних процесах та останніх досягненнях у виготовленні подібних виробів. Це утворює початкові завдання, що детально розглядаються в подальших частинах проекту.

Проведено дослідження на статичну міцність і стійкість вузлів конструкції.

Розроблено заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

Автор роботи: Роман Гуменний

2024 р.

/Підпис/

Дата

ABSTRACT

Subject of work: Development of the design of a rotary tracker of a solar power plant with a capacity of 3 kW

The explanatory note includes 101 pages and appendices with calculations of drawings, technological documentation and a program for a CNC machine. The graphic component of the work consists of 10 sheets of A1 format. In accordance with the task, the design of a mobile solar station with a capacity of 3 kW was developed. (experimental mobile tracker of KhNU) and an improved similar tracker.

The explanatory note contains all the necessary calculations and sections that meet the requirements of the work. The general section analyzes the technical conditions based on the functional purpose of the product, technological processes and the latest achievements in the manufacture of similar products. This forms the initial tasks, which are discussed in detail in the later parts of the project.

A study was carried out on static strength and stability of structural components.

Measures for labor protection and the environment have been developed.

Author of the work: Roman Humennyi

2024

/Signature/ Date

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ	8
1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи	8
1.2 Аналіз аналогів конструкцій	8
1.3 Обґрунтування вибору конструкції	18
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	22
2.1 Макетне проектування трекера	22
2.1.1 Розрахунок вітрової стійкості трекера	36
2.1.2 Розрахунок поворотно-піднімального пристрою	38
2.2 Проектування поворотного пристрою	41
2.2.1 Призначення та опис роботи черв'ячного редуктора	41
2.2.2 Розрахунок і проектування черв'ячного редуктора	45
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	57
3.1 Вибір виду і способу отримання заготовки черв'яка	57
3.2 Розрахунок припусків під обробку	58
3.3 Вибір технологічних баз	61
3.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	64
3.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі	64
3.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення	65
3.5 Нормування технологічного процесу механічної обробки	71
3.6 Розроблення в САМ ESPRIT програми оброблення на верстат	72
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ	79
4.1 Дослідження елементів конструкції трекера на статичну стійкість в середовищі solidworks simulation	79
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	89
5.1 Заходи по забезпеченню безпечних умов праці при роботі з електрообладнанням	89
5.2 Загальні вимоги безпеки при експлуатації мобільного трекера	95

ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	101
ДОДАТКИ	102
A1 Аналоги мобільних трекерів	
A1 Мобільний поворотний трекер сонячної електростанції на 3 кВт.	
A1 Схеми розгортання мобільного трекера	
A1 Мобільний трекер ХНУ	
A2 Поворотний механізм трекера СБ	
A2 Черв'ячний редуктор СБ	
A2 Черв'ячний вал	
A2 Черв'ячне колесо	
A1 САМ Spindel	
A1 Дослідження вітрової стійкості.	

ВСТУП

В сучасних умовах, коли вплив змін клімату та виклики у галузі енергетики набувають все більшої актуальності, сонячні трекери виступають важливим інструментом, який сприяє максималізації виробництва сонячної енергії підвищує конкурентоспроможність сонячних електростанцій.

Однією з ключових переваг сонячних трекерів є їхній потенціал з підвищення ефективності використання сонячних панелей. За допомогою автоматичного стеження за рухом Сонця, трекери забезпечують панелям протягом дня кут нахилу близько 90° до падаючого сонячного випромінювання. Це дозволяє максимально використовувати сонячне випромінювання навіть в умовах змінного кута світлового потоку, що є особливо важливим в зонах з великими коливаннями рівня освітленості або високими широтами.

До інших переваг використання сонячних трекерів відноситься підвищення ефективності фотоелектричних модулів (ФМ). Переважна більшість сонячних трекерів оснащена датчиками та системами відстеження, які не тільки коригують положення панелей у відповідності до напрямку сонячного світла, але й аналізують їхню продуктивність, погодні умови, а також інші показники. Це дозволяє оперативно виявляти будь-які несправності або забруднення, перемикати трекер у безпечний режим експлуатації при складних погодних умовах з метою підвищення надійності та тривалості експлуатації системи.

Таким чином, сонячні трекери, завдяки своїм технічним характеристикам, стають важливою частиною розвитку надійної та високоефективної сонячної енергетики.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи

Тенденції у сфері розвитку енергетики сприяють розвитку мобільних сонячних електростанцій (СЕС), що є ефективним рішенням для забезпечення автономного проживання в умовах, де є обмежений доступ до централізованого електропостачання, або, відсутній такий.

Постановка завдань

Розробка проекту мобільної сонячної електростанції (СЕС) на 3 кВт має поетапний підхід, який включає аналіз, проектування, вибір обладнання

Аналіз

Розрахунок енергетичного балансу.

Основний метод на цьому етапі – знайти, скільки енергії потрібно генерувати, накопичувати та віддавати споживачам.

Аналіз регіону експлуатації:

Вказано середню сонячну потужність ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ на день) для основного місця проживання. Наприклад, для центральної України в середньому значення стає більше 3-4 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в літній період в режимі очікування та 1-2 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ взимку..

Розрахунок генерації:

- Для систем потужності 3 кВт сонячна активність за день зарядки, генерація складає 12 кВт·г

Споживання енергії:

- Базові характеристики споживання: освітлення (500 Вт·год), холодильник (1 кВт·год), зарядка електроніки (200 Вт·год)
- Добова потреба

Розрахунок акумуляторної ємності:

- Для забезпечення активного живлення необхідна споживана акумуляторна система на 6-10 кВт·год (із запасу

Вибір обладнання

Сонячні панелі:

- Тип: монокристалічні (велика ефективність, компактність).
- Потенціал одної панелі: 450-600 Вт.
- Кількість панелей: 6-8 шт. для збільшення 3 кВт загальної

потужності

Інвертор :

- Потужність інвертора: не менше 3 кВт із-за можливості підключення резервних споживачів.
- Тип: гібридний (частково сонячна енергія і акумулятори).

Акумулятори:

- Тип: літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄) для безпечної довгострокової роботи.
- Потужність: 6-10 кВт

Контролер заряду:

- Тип: МРРТ (відслідкування точки максимальної потужності) для максимальної потужності
- Потенціальність: точність параметрів панелей (запас 20-30%).

Додаткове обладнання:

- Кабелі с УФ-захистом
- Закриті розетки, автоматичні перемикачі.

3. Проектування конструкцій

Мобільна платформа:

- Розробка на базі автомобільного причіпа або оригінальної мобільної платформи.

- Можливості: точність, легкість, можливість складання панелей.

Рама для сонячних панелей:

- Матеріал: профіль сталевий або алюміній
- Поворотно-піднімальний механізм: ручне або автоматичне керування.

ня.

Транспортабельність:

- Розміри установки в складеному вигляді — не більше 2.5 x 1.5 x 2.0

м.

- Вага: до 1200 кг для переміщення

Економічна оцінка

Вартість обладнання:

- Сонячні панелі: 700 – 900 \$ (вартість уточнити)
- Акумулятори: 500 – 2000
- Інвертор і контролер: 250
- Конструкція: 2 000 – 3 000 \$.
- Загальна сума: наближена 4 500 \$

5. Розробка систем керування.

Моніторинг:

- Наявність мобільного телефону для забезпечення продуктивності, постійного заряду і стану акумуляторних батарей.

Автоматизація:

- Автоматичний перехід між режимами (генерація, заряд акумуляторів, робота від зовнішнього джерела електроенергії).

Резерв живлення:

- Підключення зовнішнього генератора або електромережі до загальних споживачів.

Екологічний і соціальний аспект

6-1. Викиди шкідливих речовин в атмосферу:

- відсутність шкідливих викидів в атмосферу
- акустична екологічність (безшумна робота)
- відсутність шкідливих речовин при обслуговуванні (мастила, технічні рідини).

6-2. Соціальні переваги:

- Безпечна енергетика
- Підтримка зеленої енергетики.

1.2. Аналіз аналогів конструкцій.

Одновісні трекери (1-axis):

- Особливості конструкції:
 - Основа рухається вздовж однієї осі (горизонтальної чи вертикальної).
 - Використовуються в регіонах із високою прямою сонячною радіацією (наприклад, південні області України).
 - Часто встановлюються на платформах із колесами, що забезпечує мобільність.
- Переваги:
 - Легкість конструкції.
 - Менше енергоспоживання в порівнянні з двовісними системами.
 - Простота у виготовленні та обслуговуванні.
- Недоліки:
 - Зниження ефективності на ранкових і вечірніх годинах.

Двовісні трекери (2-axis):

- Особливості конструкції:
 - Оснащені механізмами, що дозволяють змінювати нахил панелей як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах.
 - Використовують складні електромеханічні системи (наприклад, серводвигуни чи датчики освітлення).
- Переваги:
 - Максимальне уловлювання сонячної енергії за будь-яких умов.
 - Більш тривалий робочий час протягом дня.
- Недоліки:
 - Складність конструкції, вища вартість.
 - Велика маса, що ускладнює мобільність.
 - Підвищена вразливість до сильних вітрів.

Сфери застосування мобільних сонячних трекерів

Мобільні трекери у сільському господарстві

- Застосування:

- Живлення насосів для крапельного зрошення.
- Заряджання електричної техніки.

- Переваги:

- Зменшення залежності від мережевого живлення в польових умовах.
- Адаптація до змінних умов розташування (сезонні роботи).

Військове використання:

- Живлення мобільних баз, радіостанцій, медичних польових госпіталів.

- Переваги:

- Непомітність для радарів у порівнянні зі стаціонарними генераторами.

- Простота транспортування.

Екстрене реагування:

- Застосування:

- Під час стихійних лих для забезпечення енергії в рятувальних операціях.

- Електрифікація польових шпиталів чи пунктів допомоги.

- Переваги:

- Незалежність від інфраструктури.
- Можливість швидкого розгортання.

Промислові проєкти:

- Використання для живлення мобільних інструментів на будівельних майданчиках чи видобувних платформах.

Інноваційні підходи у конструкції мобільних трекерів

1. Автономні системи стеження:

- Вбудовані фотодатчики для автоматичного визначення найкращого кута нахилу.

- Інтеграція з метеостанціями для прогнозування погодних умов.

2. Зменшення енергоспоживання:

- Перехід на пасивні трекери (використання біметалів чи геліостатів).

3. Оптимізація мобільності:

- Складані конструкції з телескопічними ніжками.

- Зменшення ваги за рахунок використання легких композитів.

4. Захист від погодних умов:

- Вітрозахисні механізми, які автоматично складають панелі у сильний вітер.

- Захист від ультрафіолетового випромінювання та корозії.

Перспективи розвитку мобільних сонячних трекерів

- Удосконалення автономності: Використання штучного інтелекту для прогнозування положення Сонця та мінімізації руху трекера.

- Доступність: Масове виробництво для здешевлення компонентів.

- Модульність: Можливість швидкої заміни частин конструкції у разі поломки.

- Поєднання з іншими джерелами енергії: Інтеграція із системами зберігання енергії (акумуляторами) чи вітряками.

1.2-4. Рекомендації для створення ефективного мобільного сонячного трекера

1. Вибір матеріалів:

- Використання алюмінію чи полімерів для зменшення ваги.

- Захист матеріалів від корозії.

2. Оптимізація конструкції:

- Забезпечення можливості складання для зручного транспортування.

- Встановлення датчиків для автоматизації.

3. Збалансування вартості:

- Застосування простих механізмів у малих мобільних системах для зниження ціни.

4. Екологічність:

- Упор на тривалість використання та легкість переробки конструктивних елементів.

1.2-5. Детальні конструктивні аспекти

Стабільність конструкції

Для мобільних систем важливо, щоб конструкція залишалась стабільною навіть у складних умовах, таких як вітер або нерівний рельєф.

- Стабілізуючі елементи:
 - Телескопічні ніжки з регульованою висотою.
 - Баластні системи (наприклад, ємності, які можна заповнювати водою або піском).
- Захист від перевантажень:
 - Вбудовані датчики вітрового навантаження, які автоматично складають панелі при сильному вітрі.
 - Розподіл маси для забезпечення низького центру ваги.

Джерела живлення для трекера

Для функціонування приводу та контролерів мобільний трекер потребує автономного джерела енергії:

- Сонячна панель для живлення трекера (відокремлена від основних панелей).
- Акумулятори:
 - Літій-іонні батареї для високої енергоємності.
 - Системи зарядки від зовнішнього джерела у випадках зниженої сонячної активності.

Приводи механізму повороту:

1. Електромеханічні приводи:

- Використання моторів постійного струму з низьким споживанням енергії.

- Використання черв'ячних передач для підвищення точності.

2. Гідравлічні приводи:

- Використовуються для великих систем.

- Висока стійкість до навантажень, але потребують складного обслуговування.

3. Пасивні приводи:

- Основані на властивостях біметалів чи термічної розширюваності матеріалів.

1.2-6. Інновації у програмному забезпеченні

1. Системи керування:

- Встановлення програмованих логічних контролерів (PLC), які аналізують положення сонця, вологість і швидкість вітру.

- Інтеграція трекера в системи "розумного будинку".

2. Алгоритми оптимізації руху:

- Використання штучного інтелекту для прогнозування руху Сонця навіть у похмурі дні.

- Автоматичний режим паркування вночі або під час штормів.

3. Віддалене управління:

- Застосування мобільних додатків для моніторингу стану трекера та управління ним у реальному часі.

- Зв'язок через Wi-Fi або GSM-модулі.

Порівняння економічної ефективності

Вартість мобільних трекерів

1. Одновісні системи:

- Орієнтовна вартість: \$500-\$2000 (залежно від потужності та матеріалів).

- Встановлення потребує мінімальних витрат.

2. Двовісні системи:

- Орієнтовна вартість: \$2000-\$5000.

- Додаткові витрати на обслуговування через складність конструкції.

3. Пасивні системи:

- Орієнтовна вартість: \$300-\$1000.

- Найдешевші у виготовленні, але менш ефективні.

Економія енергії

- Двовісні трекери збільшують виробництво енергії до 35-40% у порівнянні з нерухомими панелями.

- Одноосьові забезпечують приріст у 20-30%.

- У мобільних системах економічна вигода залежить від частоти переміщень та умов експлуатації

Екологічний аспект

- Мобільні трекери сприяють зменшенню залежності від дизельних генераторів у польових умовах, що знижує викиди CO₂.

- Матеріали конструкцій (алюміній, полімери) легко піддаються переробці.

- Виробництво та обслуговування таких систем мають значно менший вуглецевий слід, ніж використання викопного палива.

Прогнозовані тенденції розвитку

1. Інтеграція з іншими відновлюваними джерелами:

- Комбінація сонячних трекерів із вітровими турбінами чи міні-гідроелектричними станціями.

2. Зменшення розмірів та маси:

- Введення наноматеріалів для підвищення міцності конструкцій.

3. Розширення функціоналу:

- Трекери майбутнього можуть стати частиною багатофункціональних платформ (наприклад, зарядні станції для дронів чи електромобілів).

1.3 Обґрунтування вибору конструкції мобільного сонячного трекера

Сонячний трекер – це пристрій, який забезпечує орієнтацію сонячних панелей у напрямку до сонця для максимального збору сонячної енергії. У разі мобільної сонячної електростанції трекер є важливим елементом для підвищення ефективності роботи системи при обмеженій площі.

Проектуючи мобільний сонячний трекер, необхідно враховувати низку технічних, економічних і конструктивних аспектів, щоб забезпечити його надійність, компактність, транспортабельність і ефективність.

Переваги використання трекера

1. Збільшення ефективності генерації:

- Завдяки слідуванню за рухом Сонця трекер може підвищити генерацію енергії на 20-40% порівняно зі статичними панелями, залежно від географічного регіону та типу трекера.

2. Оптимальне використання обмеженої площі:

- Мобільні установки часто мають невелику площу для розміщення сонячних панелей. Використання трекера дозволяє отримати більше енергії з меншої кількості панелей.

3. Автономність та зручність:

- Більшість сучасних трекерів обладнані автоматичними системами управління, які не потребують втручання користувача.

4. Рентабельність:

- Незважаючи на початкові витрати на трекер, його використання окупається завдяки збільшенню продуктивності сонячної електростанції.

1.3-2. Критерії вибору конструкції

При виборі конструкції мобільного сонячного трекара необхідно врахувати такі фактори:

1.3-2.1. Тип трекара

1. Одновісний трекара (Single-axis tracker):

- Орієнтує панелі у напрямку сходу-заходу, забезпечуючи постійний кут нахилу.

- Простий у конструкції та дешевший у порівнянні з двовісним трекаром.

- Оптимальний вибір для мобільних установок, де важлива компактність.

2. Двовісний трекара (Dual-axis tracker):

- Забезпечує точне слідування за Сонцем у двох площинах (азимут та зеніт).

- Дозволяє досягти максимальної генерації енергії, особливо у зимовий період.

- Складніший і дорожчий у конструкції, що може бути недоліком для мобільних систем.

1.3-2.2. Механізм руху

1. Електромеханічний:

- Приводиться в дію за допомогою моторів та редукторів.

- Потребує живлення, що збільшує споживання енергії системи.

- Висока точність, але більш складне обслуговування.

2. Гідравлічний:

- Використовує гідравлічні циліндри для руху панелей.

- Більш стійкий до механічного зносу, але менш популярний у мобільних установках.

3. Пасивний:

- Використовує термодинамічні елементи або противаги для зміщення положення панелей, фізичну силу оператора.

- Простий у реалізації, не потребує електроенергії, але менш точний.

1.3-2.3. Конструктивні вимоги

1. Компактність та транспортабельність:

- У складеному вигляді трекер не повинен перевищувати габаритів стандартного причепа чи контейнера (2.5 x 1.5 x 2,5 м).
- Вага (до 1200 кг) для зручного транспортування та монтажу.

2. Матеріали:

- Рама трекера повинна бути виготовлена з легких, але міцних матеріалів (алюміній або оцинкована сталь).
- Стійкість до корозії для використання в будь-яких погодних умовах.

3. Стійкість до вітрових навантажень:

- Передбачення системи автоматичного складання панелей у разі сильного вітру.
- Використання амортизаторів для стабілізації конструкції.

1.3-2.4. Автономність та управління

1. Система управління:

- Автоматичний контролер із датчиками сонячного світла для точного орієнтування.
- Інтеграція з акумуляторною системою для мінімізації енергоспоживання.
- Можливість ручного режиму управління у разі технічних збоїв.

2. Джерело живлення:

- Використання частини енергії, виробленої сонячними панелями, для живлення механізму трекера.

1.3- 3. Рекомендована конструкція

На основі аналізу найбільш підходящим для мобільної сонячної електростанції потужністю 3 кВт є двовісний трекер із електромеханічним приводом.

Причини вибору:

1. Ефективність:
 - Підвищення генерації енергії до 40% при невеликих додаткових витратах.
2. Компактність:
 - Легше транспортувати та встановлювати.
3. Міцність та довговічність:
 - Двовісні трекери витримують вітрові навантаження завдяки простішій конструкції.

1.3-4. Вартісний аналіз

1. Одновісний трекер:
 - Орієнтовна вартість: 1000–1500 \$.
 - Простота у виготовленні та зниження витрат на обслуговування.
2. Двовісний трекер:
 - Вартість: 3000–5000 \$.
 - Високий приріст енергії, але значно складніший у реалізації та обслуговуванні.

Висновок:

Проект мобільної сонячної електростанції на 3 кВт забезпечить безпечну енергетичну незалежність, екологічність і зручність транспортування.

Рекомендована конструкція мобільного сонячного трекера для установки на 3 кВт – це **двовісний трекер із електромеханічним приводом**, який поєднує в собі компактність, транспортабельність та високу ефективність. Цей трекер забезпечує оптимальне використання сонячної енергії в умовах обмеженої площі мобільної станції, підвищуючи продуктивність і знижуючи терміни окупності.

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

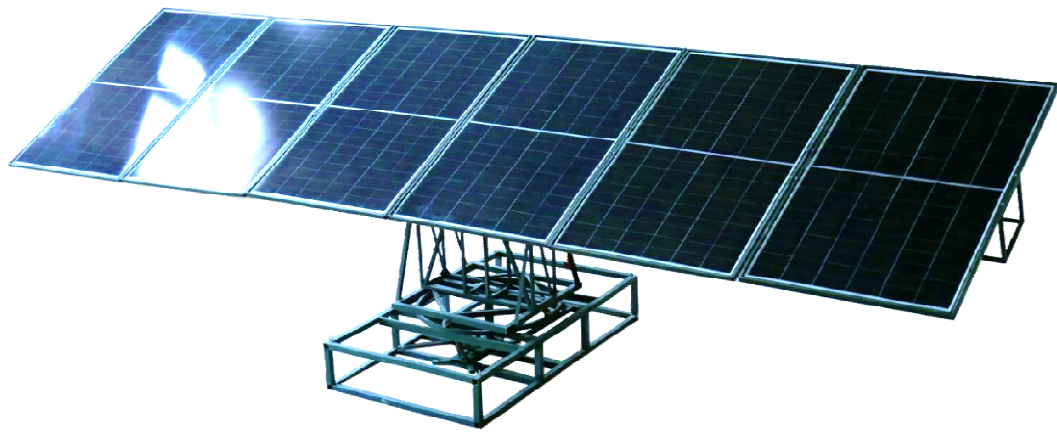
2.1 Макетне проектування трекера

Розроблено макет експериментального зразка мобільного двовісєвого трекера ФМ, який забезпечує позиціонування робочої поверхні за азимутом та зенітом з метою відстежування напрямку, що відповідає максимальній енергії сонячного випромінювання, та може транспортуватися автомобільним причіпом. Розроблено схему управління трекера ФМ на базі кіберфізичної системи з цифровим двійником трекера для позиціонування робочої поверхні ФМ на основі даних з відеокамери, давача освітленості та давача швидкості вітру. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для позиціонування робочої поверхні ФМ під кутом 90° до падаючого сонячного випромінювання із застосуванням вдосконалених методів оброблення даних про позицію трекера та погодні умови на основі згорткових функцій.

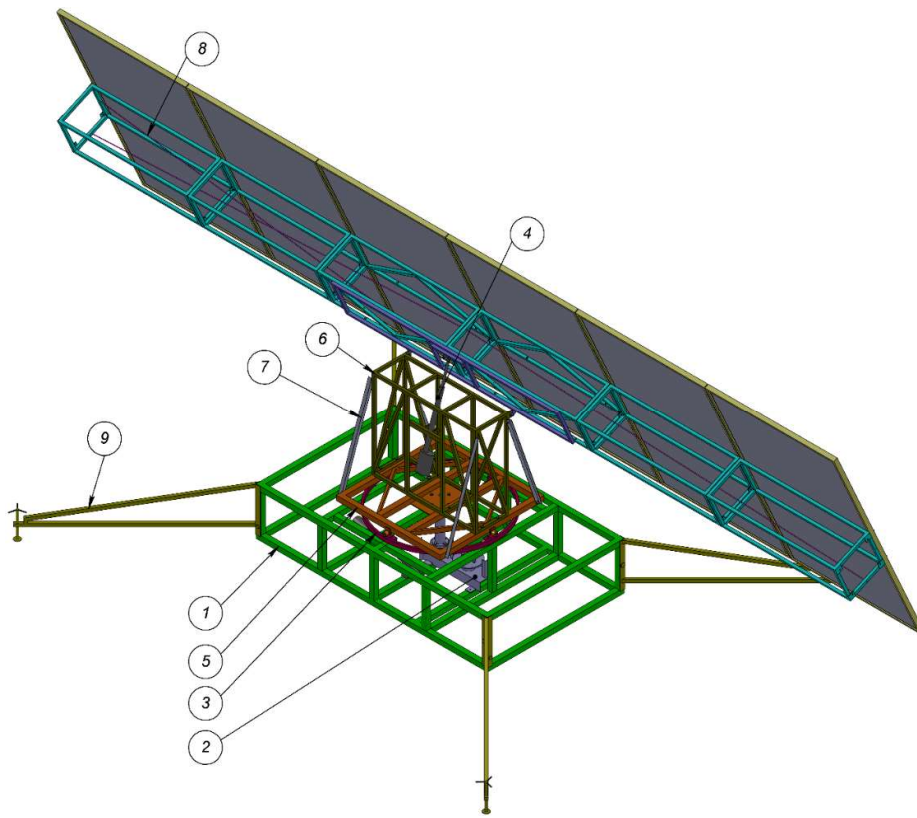
Отримані наукові результати можуть використовуватися для створення високоефективної мобільної сонячної електростанції, для покращення характеристик автономного режиму її роботи та зниження шкідливого впливу на довкілля, а також з метою дослідження і вдосконалення процесів керування поворотними механізмами трекера ФМ і розвитку теорії та методів автоматизованого керування із застосуванням цифрових двійників.

2.1-1 Експериментальний зразок трекера ФМ

Експериментальний зразок трекера ФМ зображено на рис. 2.1.



а)



б)

а) – фото виготовленого експериментального зразка; б) – схема з позначеннями

Рисунок 2.1 – Експериментальний зразок трекера ФМ

На рис. 2.1б цифрами позначено:

- 1 – платформа експериментального зразка трекера ФМ;
- 2 – механізм для обертання трекера ФМ за азимутом;
- 3 – кільцева рейка;
- 4 – актуатор
- 5 – рухома платформа для обертання за азимутом
- 6 – вертикальна опора;
- 7 – розтяжки;
- 8 – ферма ФМ;
- 9 – опора для кріплення експериментального зразка до землі.

Схема експериментального зразка трекера ФМ зображена на рис. 2.2.

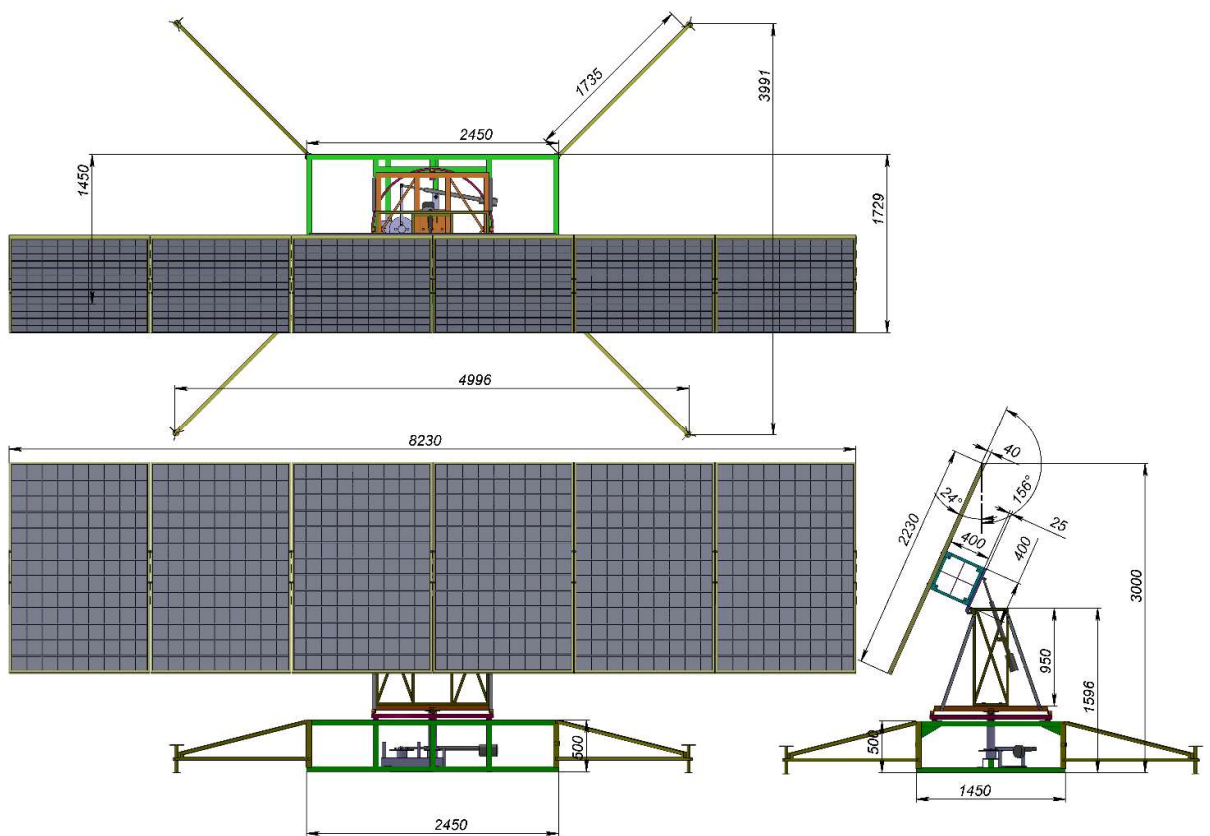


Рисунок 2.2 – Розміри експериментального зразка трекера ФМ

На рис. 2.2 зображено схему експериментального зразка трекера ФМ із вказанням розмірів механічної конструкції.

2.1-2 Несуча конструкція експериментального зразка трекера ФМ

Несуча конструкція експериментального зразка трекера ФМ розташована на платформі, що зображена на рис. 2.3.

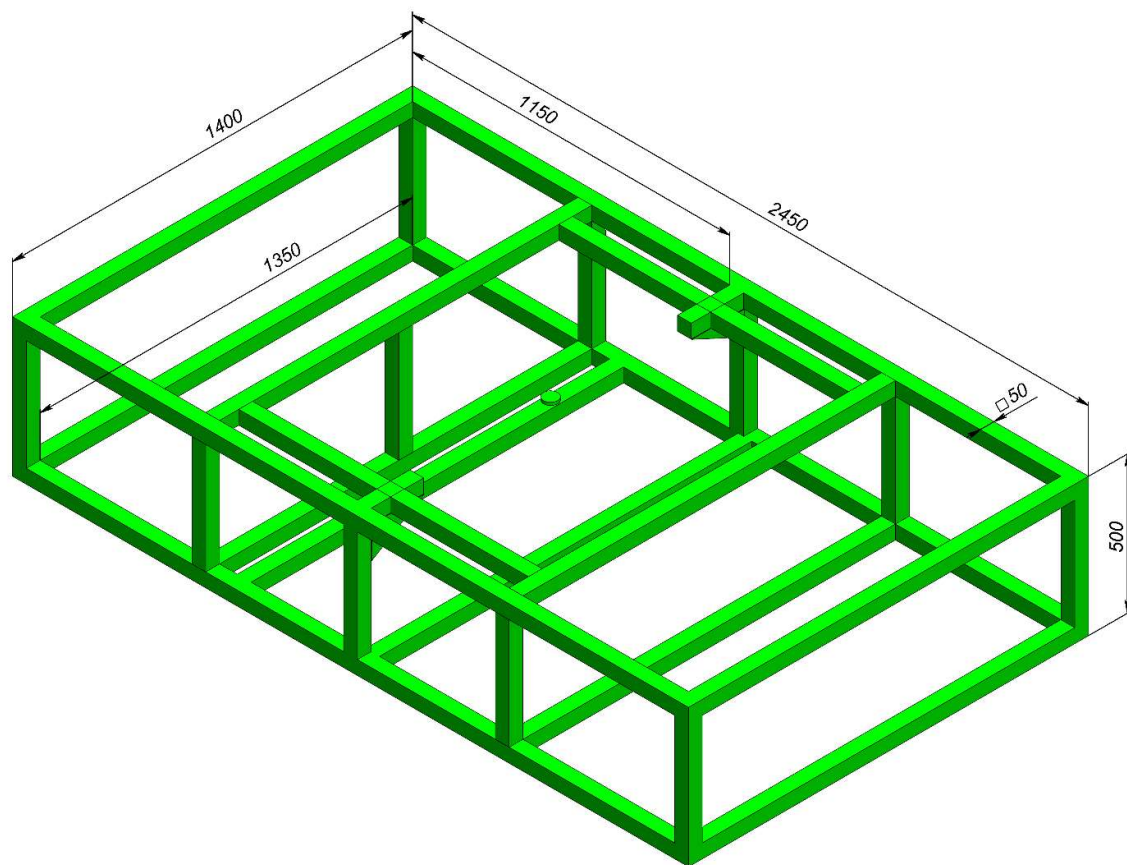


Рисунок 2.3 –Платформа експериментального зразка трекера ФМ

Платформа (рис. 2.3) призначена для закріплення трекера на поверхні землі з чотирма опорами (рис. 2.4).

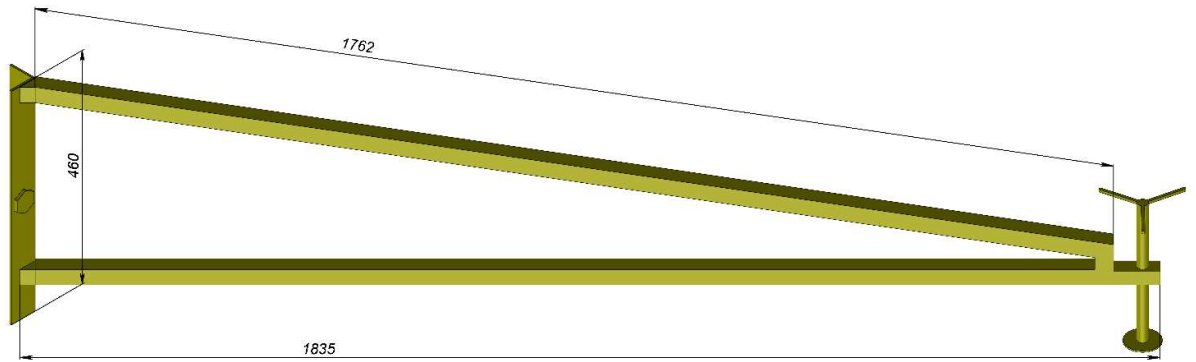


Рисунок 2.4 – Опора для кріплення експериментального зразка трекера ФМ до землі.

Опори (рис. 2.4) призначені для підвищення стійкості механічної конструкції експериментального зразка трекера ФМ в умовах вітру.

До платформи (рис. 2.3) приєднується кільцева рейка, що зображена на рис. 2.5, необхідна для обертання рухомої частини конструкції трекера за азимутом.

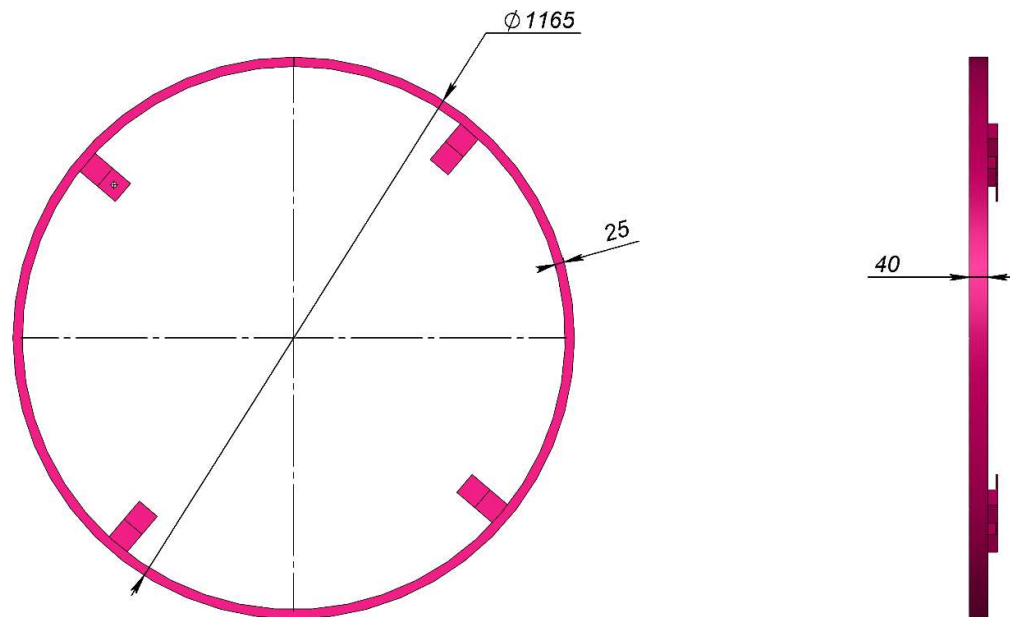


Рисунок 2.5 – Кільцева рейка для обертання трекера за азимутом

Обертання трекера за азимутом здійснюється шляхом руху колісної платформи, зображеної на рис. 2.6., по кільцевій рейці (рис. 2.5).

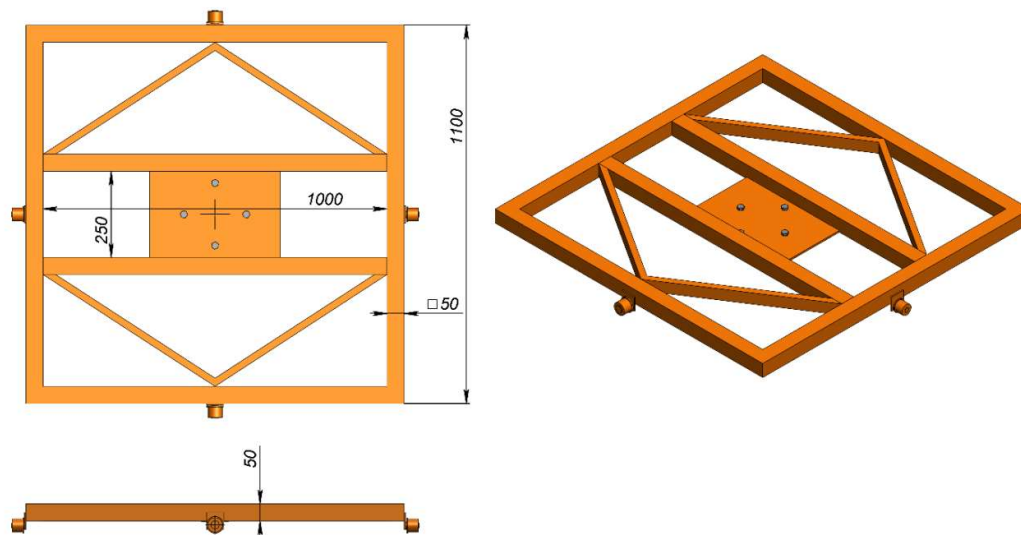


Рисунок 2.6 –Рухома платформа для обертання за азимутом

До рухомої платформи (рис. 2.6) приєднується вертикальна опора несучої конструкції, зображена на рис. 2.7.

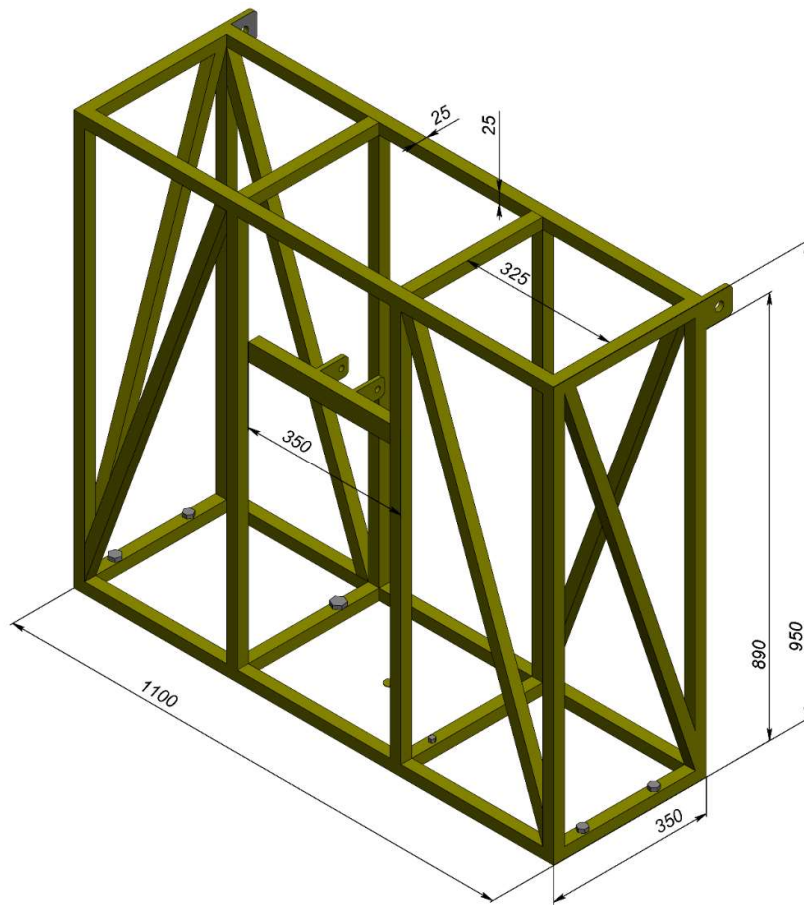


Рисунок 2.7 –Вертикальна опора несучої конструкції

З метою забезпечення надійності при складних погодних умовах вертикальна опора несучої конструкції (рис. 2.7) виконана у формі трьох секцій із ребрами жорсткості.

До вертикальної опори несучої конструкції приєднується вісь, на якій обертається шестисекційна ферма з фотоелектричними модулями. Кріплення одного ФМ до секції ферми зображено на рис. 2.8.

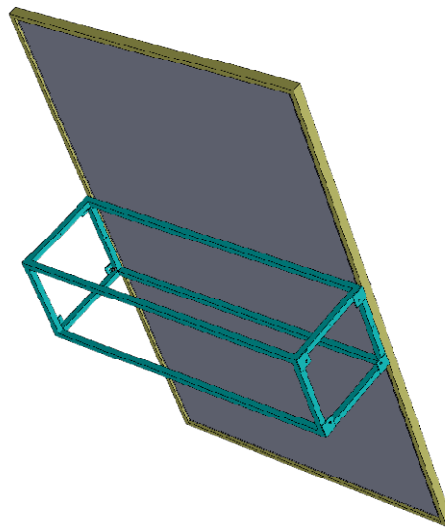


Рисунок 2.8 –Кріплення одного ФМ до секції ферми несучої конструкції
З'єднання шести секцій ферми ФМ зображено на рис. 2.9.

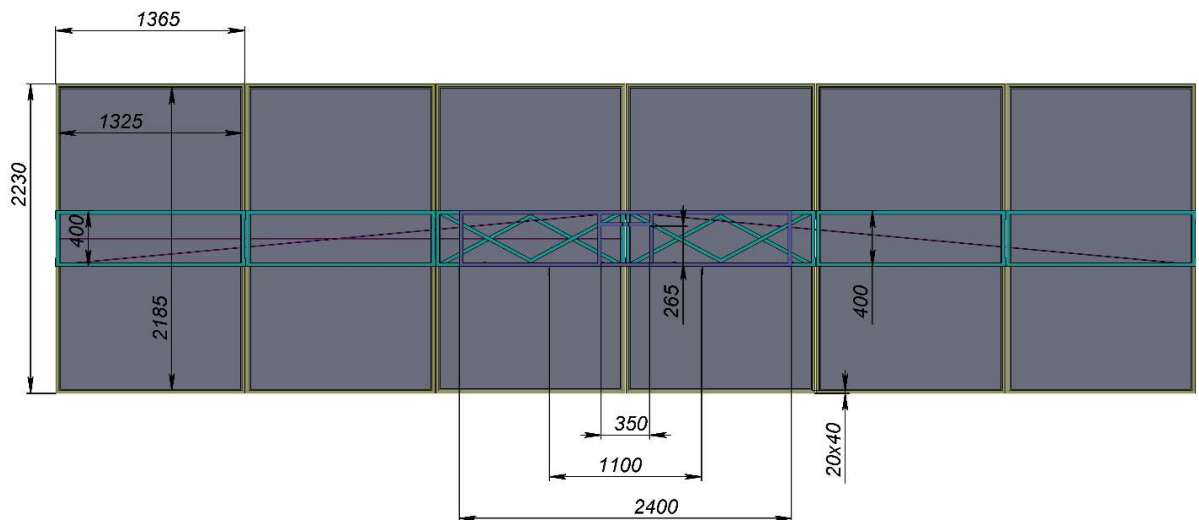


Рисунок 2.9 – Кріплення ФМ до ферми несучої конструкції
Кріплення ферми несучої конструкції із вказанням розмірів усіх ФМ
зображено на рис. 2.10.

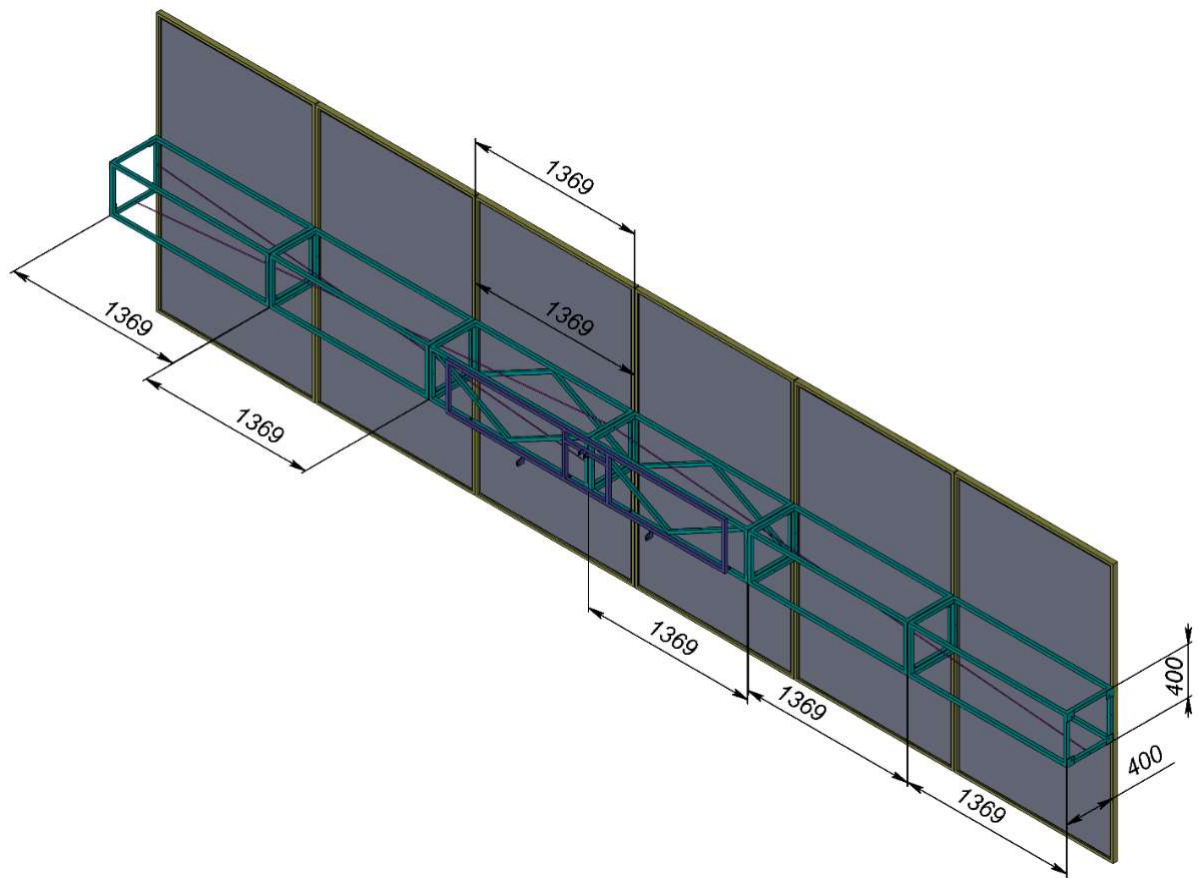


Рисунок 2.10 –Кріплення ферми несучої конструкції із вказанням розмірів
ФМ

Третя та четверта секції ферми обладнані додатковими ребрами жорсткості з метою забезпечення підвищеної міцності в області рухомого з'єднання з вертикальною опорою.

Ферма, зображена на рис. 2.9 та рис. 2.10, забезпечує обертання фотоелектричних модулів за зенітом, відносно вертикальної опори рухомої частини конструкції експериментального зразка.

2.1-3 Транспортування експериментального зразка трекера ФМ

Експериментальний зразок трекера ФМ, складений та розташований на автомобільний причіп для транспортування, зображений на рис. 2.13.

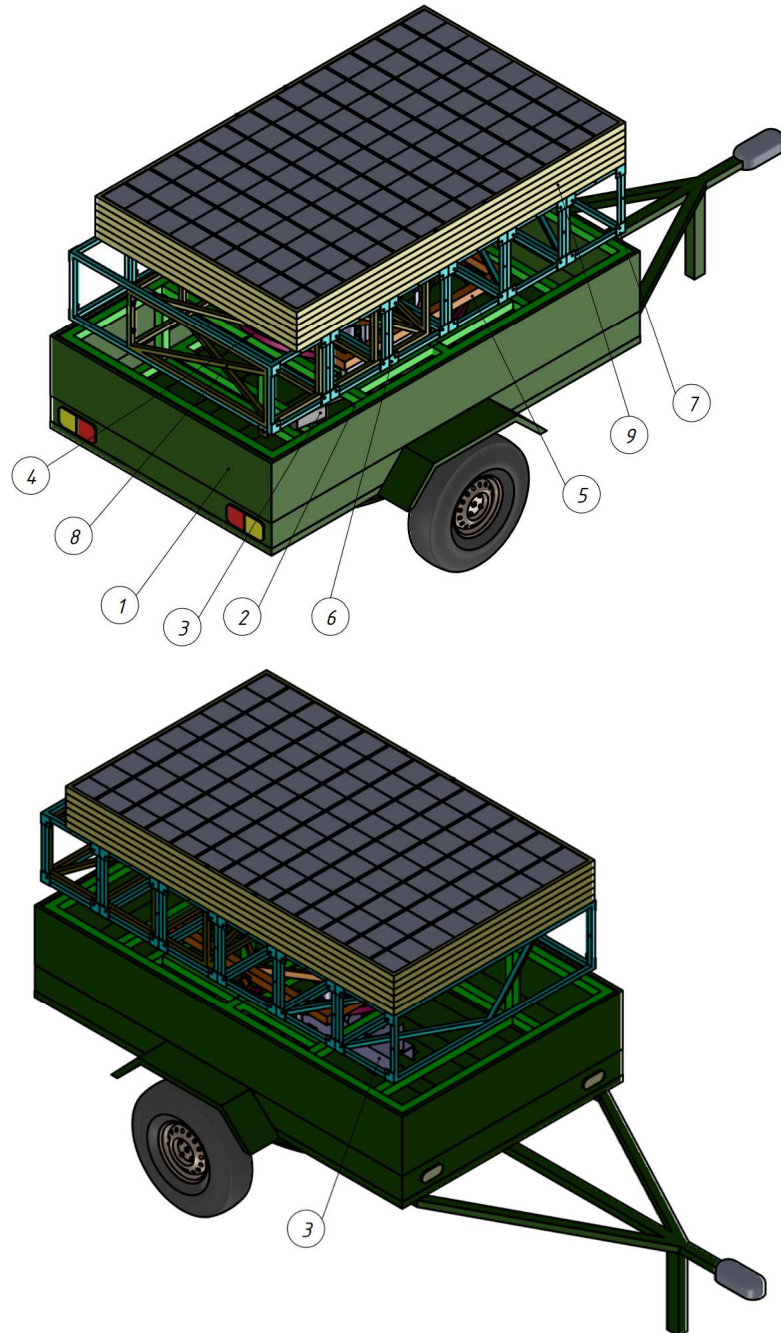


Рисунок 2.11 – Транспортування експериментального зразка трекера
ФМ

На рисунку 2.11 цифрами позначено:

- 1 – автомобільний причіп;
- 2 – платформа експериментального зразка трекера ФМ;
- 3 – механізм для повороту за азимутом;
- 4 – кільцева рейка;
- 5 – рухома платформа для обертання за азимутом;
- 6 – ферма 1;
- 7 – ферма 2;
- 8 – опора;
- 9 – ФМ.

Схема причіпу із складеним експериментальним зразком трекера ФМ зображені на рис. 2.12

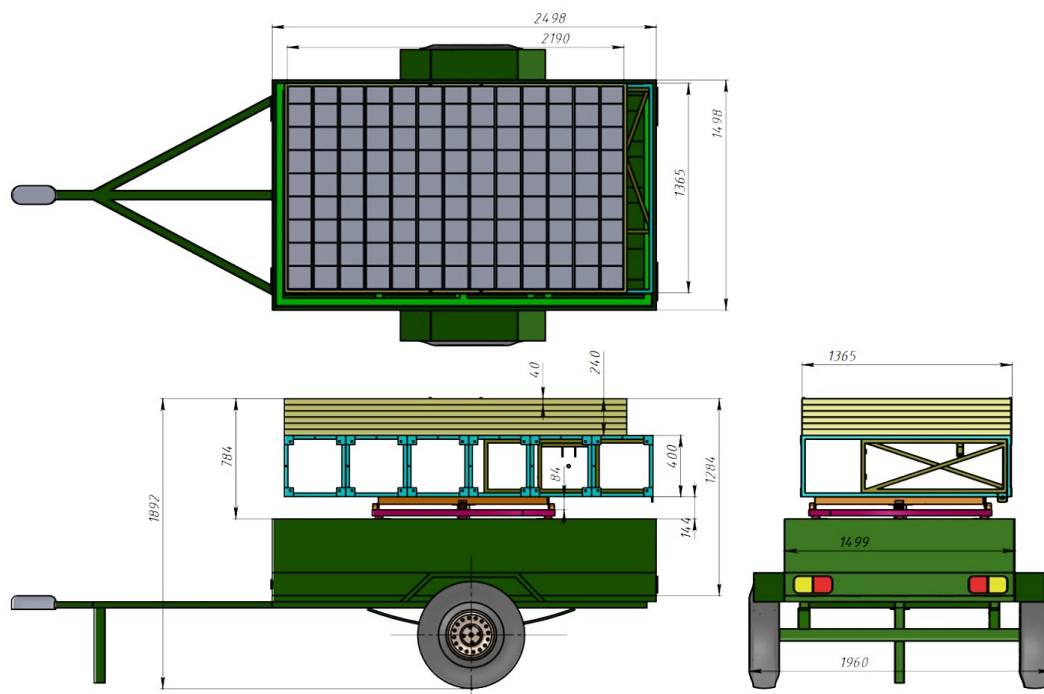


Рисунок 2.12 – Схема причіпу із складеним експериментальним зразком трекера ФМ

Експериментальний зразок трекера ФМ, складений для транспортування, зображено на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 – Складений для транспортування експериментальний зразок трекера ФМ

На рис. 2.14 зображено автомобільний причіп, що використовується для транспортування виготовленого експериментального зразка трекера ФМ.



Рисунок 2.14 – Автомобільний причіп для транспортування експериментального зразка трекера ФМ

2.1-4 Додатковий тестовий макет трекера ФМ

Для виконання експериментів із системою керування трекера ФМ виготовлено також додатковий тестовий макет трекера, який може виконувати позиціонування тільки одного фотоелектричного модуля (рис. 2.15).

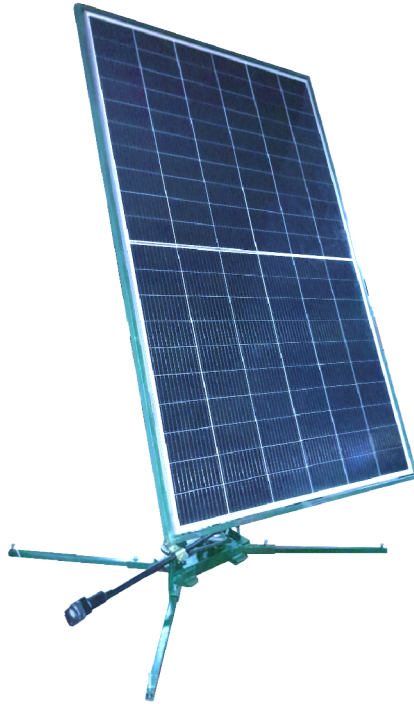


Рисунок 2.15 – Додатковий тестовий макет трекера з одним ФМ

Додатковий тестовий макет трекера призначений для виконання досліджень систем керування трекера, а також для подальших вимірювань параметрів фотоелектричного модуля, які не вимагають інформації про роботу електродвигунів та механічні характеристики експериментального зразка трекера ФМ

2.1.1 Розрахунок вітрової стійкості трекера

В даному розділі проводиться точний розрахунок сили вітрового опору сонячного трекера за різних швидкостей вітру (до 20м/с) і різному куту атаки по зеніту. Розрахунки ведуться за допомогою формул аеродинамічного тиску.

Розміри сонячних панелей становлять 8800x2890 мм. Загальна площа панелей становить $A=25,432 \text{ м}^2$.

Для розрахунку сили вітрового опору (сили тиску вітру) використовується формула:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_x$$

Де:

- . F- сила вітру (Н)
- . ρ - густина повітря (приймаємо $\rho=1.225\text{кг/м}^3$)
- . V- швидкість вітру (м/с)
- . A- загальна площа панелей (м²)
- . C_x -коефіцієнт аеродинамічного опору (для плоских об'єктів $C_x=2.0$)

Швидкість вітру на подільській височині для розрахунків по шкалі

Бофорта

приймаємо слідуєчу :

3 бали (слабкий) 3.4-5.4 м/с

6 балів (сильний) 10.8-13.8 м/с

8 балів (сильно-міцний (передштормовий)) 17.2-20.8 м/с.

Восьмибальний поривистий вітер часто буває в весняно-осінній період.

Розрахунки для швидкостей вітру :

1. Швидкість вітру 5 м/с :

$$F_5 = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (5)^2 \cdot 25.432 \cdot 2 = 778.86 \text{ (Н)}$$

2. Швидкість вітру 10 м/с:

$$F_{10} = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (10)^2 \cdot 25.432 \cdot 2 = 3115.42 \text{ (Н)}$$

3. Швидкість вітру 20 м/с:

$$F_{20} = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (20)^2 \cdot 25.432 \cdot 2.0 = 12461.68 \text{ (Н)}$$

Також треба враховувати той фактор, що трекер двовісний, тобто сонячні панелі мають кут нахилу по zenіту. Робочий кут нахилу в даному трекеру становить $\beta = (128^\circ - 180^\circ)$.

$\beta = 128^\circ$ становить, коли Сонце знаходиться на горизонті (ранок-вечір).

$\beta = 135^\circ$ -- Сонце в zenіті (11-14 година).

$\beta = 180^\circ$ -монтажні роботи, дуже складні погодні умови.

Враховуючи фактор положення панелей по зеніту, порахуємо силу вітру при швидкостях 10 м/с і 20 м/с і нахилу сонячних панелей в $\beta=128^\circ$ і $\beta=135^\circ$.

$$F^\beta = F_V \cdot \sin(\beta)$$

1.1 при швидкості вітру 10 м/с і куту нахилу $\beta=128^\circ$:

$$F = 3115.43 \cdot 0.8 = 2492.34 \text{ (Н)}$$

1.2 при швидкості вітру 20 м/с і куту нахилу $\beta=128^\circ$:

$$F = 12461.68 \cdot 0.8 = 9969.34 \text{ (Н)}$$

2.1 при швидкості вітру 10 м/с і куту нахилу $\beta=135^\circ$:

$$F = 3115.43 \cdot 0.707 = 2202.6 \text{ (Н)}$$

2.2 при швидкості вітру 20 м/с і куту нахилу $\beta=135^\circ$:

$$F = 12461.68 \cdot 0.707 = 8810.4 \text{ (Н)}$$

Аналіз вітрового навантаження на трекер:

-При подвійній швидкості сила вітру збільшується в 4 рази.

-При швидкості 20 м/с (штормові пориви) і нормальній дії до поверхності панелей сила досягає 12461.68 (Н), що вимагає додаткової стійкості трекера.

-При сильному вітрі ($V=10$ м/с) і максимально робочому куту нахилу сонячних панелей $\beta=135^\circ$ сила вітрового навантаження складає $F=2202.6$ (Н).

Висновки по вітровому навантаженню трекера:

-Сонячний трекер при визначених розмірах зазнає значного вітрового тиску

при швидкості вітру понад 10 м/с.

-Найкритичнішими є штормові умови (до 20 м/с)

- Для забезпечення стійкості рекомендується підсилення додатковим кріпленням (додатковими розтяжками і анкерами).

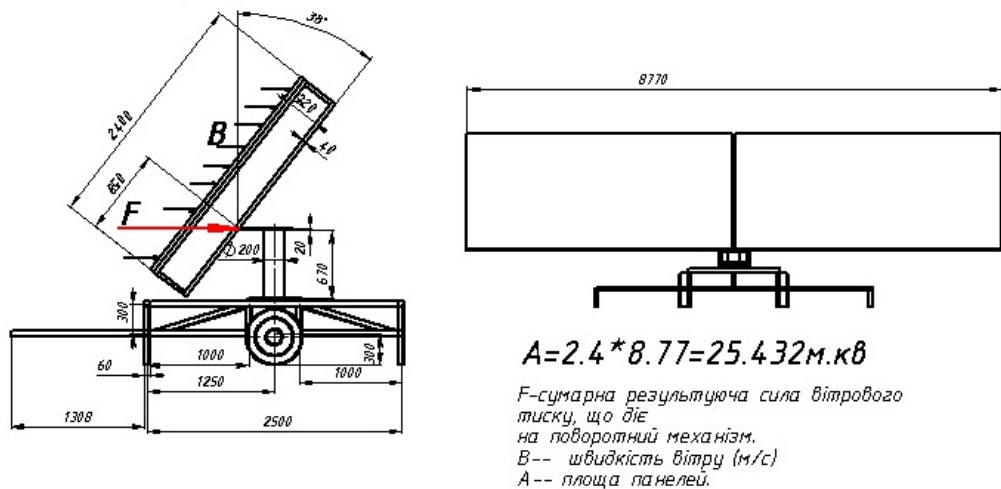


Рисунок 2.16 Вітрове навантаження на трекер.

Заходи по покращенню вітрової стійкості трекера;

1. При швидкості вітру 10 м/с і більше трекер необхідно встановлювати в горизонтальне положення.
2. При цьому опори повинні бути закріплені анкерами.
3. При стаціонарному використанню трекера сонячні панелі додатково кріпляться розтяжками.
4. В зимовий період додатково стежити за сніговим покривом, недопускати в горизонтальному положенні сніговий покрив більше 5 мм.
5. По можливості вибирати місце встановлення трекера без вітрових сквозняків.

2.1.2 Розрахунок поворотного пристрою

Вихідні дані:

1. Потужність трекера: 3 кВт
2. Кількість панелей: 6
3. Характеристики опори:
 - Матеріал: сталь
 - Зовнішній діаметр труби (D): 200 мм
 - Товщина стінки (δ): 4 мм
 - Висота (h): 660 мм
4. Максимальна сила ($F_{\text{макс}}$): 8890 Н
5. Опора кріпиться до черв'ячного редуктора для забезпечення обертання.

1. Перевірка на міцність стійки

Розрахунок площі поперечного перерізу.

Площа перерізу сталюї труби обчислюється за формулою

$$A = \pi \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4}$$

де:

- D — зовнішній діаметр труби,
- $d = D - 2\delta$ — внутрішній діаметр труби,
- δ — товщина стінки.

$$d = 200 \text{ мм} - 2 \cdot 4 \text{ мм} = 192 \text{ мм}$$

$$A = \pi \cdot \frac{(200^2 - 192^2)}{4} = \pi \cdot \frac{40000 - 36864}{4} = \pi \cdot \frac{3136}{4} \approx 2463 \text{ мм}^2$$

Допустиме напруження (σ)

Максимальне напруження у матеріалі стійки розраховується за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$
$$\sigma = \frac{8890 \text{ Н}}{2463 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} \approx 3.61 \text{ МПа}$$

Порівнюємо це значення із допустимим напруженням для сталі ($\sigma_{\text{доп}}$) зі стандартними характеристиками (235 МПа для сталі S235).

$$\sigma = 3.61 \text{ МПа} < 235 \text{ МПа} \Rightarrow \text{Міцність забезпечено.}$$

2. Перевірка на стійкість до згинання

Момент інерції (I)

Момент інерції порожнистої труби обчислюється як:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (200^4 - 192^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (1.6 \cdot 10^9 - 1.358 \cdot 10^9)$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot 2.42 \cdot 10^8 \approx 1.19 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

Максимальний згинальний момент (M)

Максимальний згинальний момент визначається як:

$$M = F \cdot h$$

$$M = 8890 \text{ Н} \cdot 0.66 \text{ м} = 5867.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Напруження від згину ($\sigma_{\text{згин}}$)

$$\sigma_{\text{згин}} = \frac{M \cdot R}{I}$$

де $R = \frac{D}{2}$ — відстань до зовнішнього шару.

$$R = 200/2 = 100 \text{ мм} = 0.1 \text{ м}$$

$$(\sigma_{\text{згин}}) = (5867.4 \cdot 0.1) / 1.19 \cdot 1000000 = 515,89 \text{ МПа}$$

$$\square \text{ доп} \leq (\sigma_{\text{згин}})$$

Висновок:

Стійкість стійки забезпечена

Рекомендації по конструкції

1. Сталева труба діаметром 200 мм з товщиною стінки 4 мм витримує задані навантаження.

2. Для більшої стабільності вітрових навантажень варто передбачити додаткові ребра жорсткості.

3. Переконалися у надійному кріпленні стійки до корпусу черв'ячного редуктора.

2.2. Проектування поворотного пристрою

2.2.1 Призначення та опис роботи черв'ячного редуктора.

В поворотних механізмах мобільних сонячних трекерів використовують черв'ячні редуктори з великим передавальним числом. Черв'ячні редуктори в свою чергу являються опорною поверхнею кріплення поворотної опори, для цього вони повинні мати велику міцність. Черв'ячні редуктори для поворотних трекерів мають свої особливості. В якості підшипника колеса використовуються дорогоцінні кранові підшипники. Черв'ячні редуктори в свою чергу поділяються на двовісні і одновісні. Двовісні редуктори здійснюють як поворот по азимуту, так і поворот по zenіту. Одновісні редуктори в більшості використовуються для повороту трекера по азимуту. Для підйому сонячних панелей по zenіту в основному використовуються актуатори. Актуатори-це лінійні моторредуктори. В актуаторах виконавчим механізмом являється передача гвинт-гайка. На валах як редукторів, так і актуаторів встановлюються датчики Хола для подачі сигналу на систему керування. В редукторах і актуаторах використовуються малопотужні електродвигуни (25-50Вт) і напругою 24В. Нижче приведені аналоги черв'ячних редукторів і актуатора.

SD3 двовісний привід сонячного трекера

SD3 двовісний привід сонячного трекера працює від джерела живлення в 24 Вольта, а також має відносно невеликий струм споживання.

SD3 двовісний привід сонячного трекера має високу потужність, а також стійкий до навантажень та погодних умов.

SD3 двовісний привід сонячного трекера має датчики холоу для зворотного зв'язку з контролером сонячного трекера, що дає можливість відстежувати зміну його положення через блок управління сонячним трекером та полегшує його контроль роботи.

Для керування поворотом SD3 двовісний привід сонячного трекера використовує потужний поворотний підшипник 42CrMo 50Mn, який встановлюється також на кранову техніку.

D3 двовісний привід сонячного трекера забезпечує передатне відношення 62:

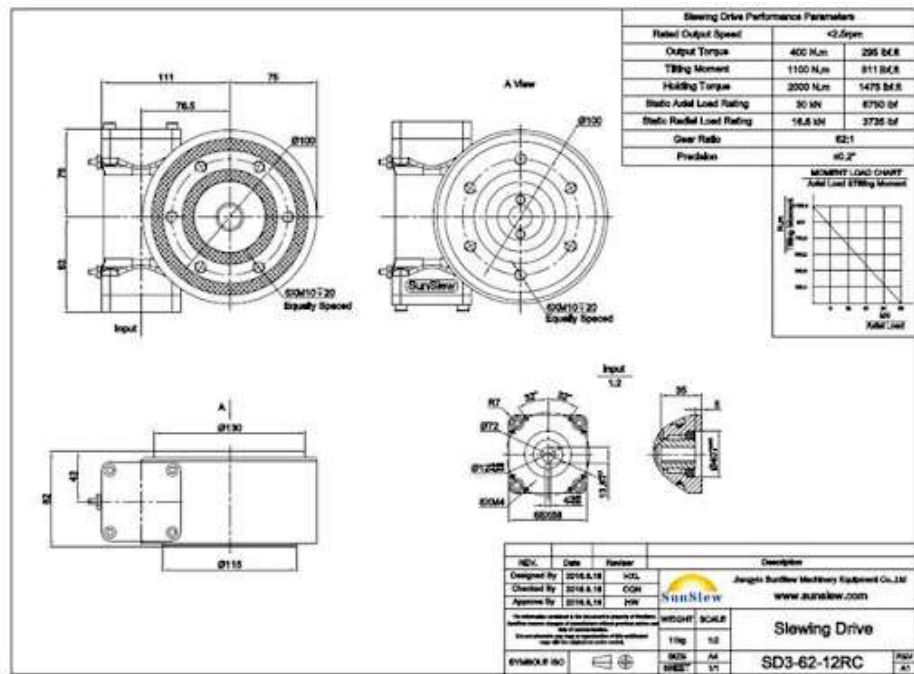


Рисунок 2.17 – Схема одновісного черв'ячного редуктора

Характеристика: SD3 двовісний привід сонячного трекера

- Номінальна напруга роботи - 24В.
- Потужність навантаження (Вт): 90%
- Сонячна енергія (Вт): 40%
- Час роботи (година): 24 години
- Момент затяжки: 400 Нм
- Утримуючий момент: 2KN.m
- Статичний осьової момент: 30KN.m
- Статичний радіальний момент: 15KN.m
- Динамічний осьової момент: 9.6KN.m
- Динамічний радіальний момент: 8,4KN.m
- Матеріал: 42CrMo 50Mn
- Коефіцієнт передачі: 62: 1

- зворотна зв'язок - датчики Хола
- кут 360 градусів
- рекомендований блок управління контролер сонячного трекера



Рисунок 2.18 – Двовісвий черв'ячний мотор-редуктор

SE-21 мотор-редуктор сонячного трекера

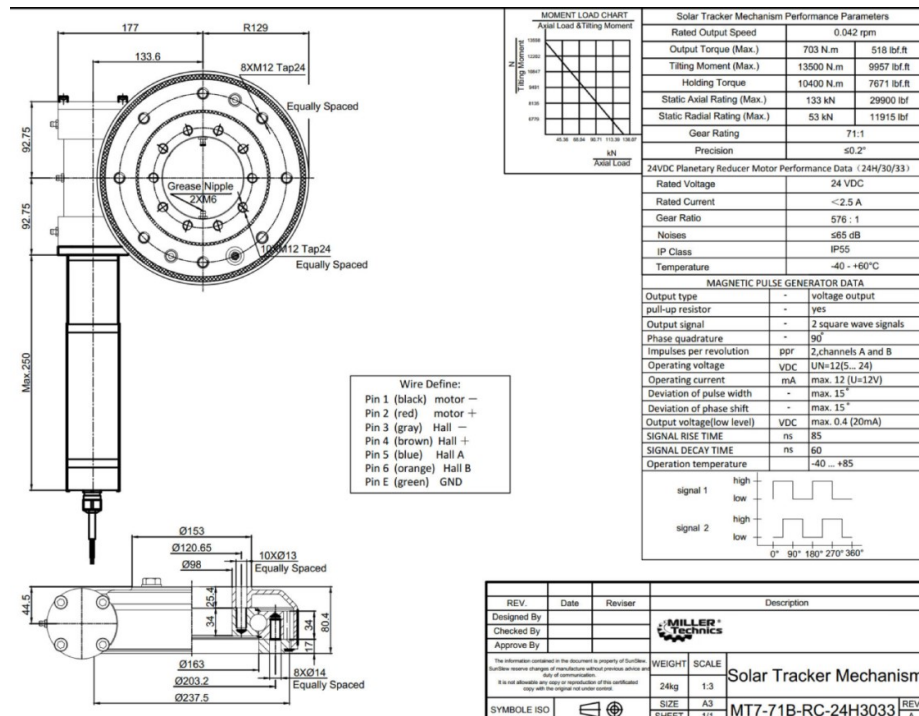
SE-21 працює за принципом черв'ячної передачі. Функція поворотних приводів зі стандартною технологією черв'ячного з'єднання, в якій черв'як на горизонтальному валу виступає в якості приводу для колеса.

Крутний момент мотор-редуктора становить 15кН, вага виробу - 149 кг, живлення двигуна - 24 вольт. SE-21 мотор-редуктор сонячного трекера має кут повороту 360 градусів. На борту SE-21 мотор-редуктор сонячного трекера має два датчика хола для зворотного зв'язку.

Характеристики:

- момент крутний 15 КН
- Вага 149кг
- Передавальне відношення 125: 1
- Двигун 24v
- Зворотній зв'язок - два датчика Хола

- Кут повороту - 360 градусів
- рекомендоване управління



2.19 Схема одновісєвого мотор-редуктора, встановленого на трекеру ХНУ

HF2436-10K Привід сонячного трекера

Характеристики:

- Номінальна робоча напруга - 24В.
- Сила 10000 Ньютон
- Швидкість обертання: 3 мм/сек
- Вони мають датчик кінцевого положення, антикорозійне покриття і характеризуються низьким рівнем шуму при роботі.
- Довжина подовжувача штока - 36 дюймів (90см)



Рисунок 2.20-21 .Відкритий черв'ячний редуктор і лінійний мотор-редуктор (Актуатор)

Для поворотних трекерів часто використовуються відкриті черв'ячні редуктори з консинстентною змазкою пари черв'ячний вал-колесо.

2.1.2 Розрахунок і проектування черв'ячного редуктора

Черв'ячна передача – зубчаста передача, що призначена для передавання обертового руху між валами, осі яких мимобіжні в просторі і утворюють прямий кут.

Черв'ячна передача складається із черв'яка, що має форму гвинта, та черв'ячного колеса, яке нагадує зубчасте колесо з косими зубцями угнутої форми. Передавання обертового руху здійснюється за принципом гвинтової пари, де гвинтом є черв'як, а гайкою є колесо-сектор, вирізаний із довгої гайки і зігнутий по колу.

За формою профілю витків черв'яка у торцевій площині ,вибираємо архімедів (черв'як ZA).

У зачепленні контакт витків черв'яка та зубців черв'ячного колеса відбувається по лінії (на відміну від гвинтових зубчастих передач, де є точковий контакт зубців), до того ж із значним ковзанням.

Для черв'яка будемо використовувати середньовуглецеву конструкційну сталь (45.), що піддається поверхневому, рідше об'ємному загартуванню. Ця сталь має твердість 45...55 HRC і застосовуються в тихохідних і мало навантажених передачах, а також при відсутності устаткування для шліфування черв'яків. Черв'яки, виготовлені з цієї сталі, дешевший ніж із легірованих сталей.

Сталеві черв'яки з термічною обробкою до невеликих значень твердості (зокрема поліпшення) застосовують у випадку відсутності на виробництві обладнання для шліфування або при необхідності взаємної приробітки черв'яка і колеса, а також для тихохідних мало навантажених передач. Ці черв'яки так само, як і загартовані, рекомендують полірувати. Механічні властивості сталі, які застосовують для виготовлення черв'яка, приведені в таблиці 4.

Для виготовлення вінців черв'ячних коліс при не високих швидкостях ковзання $v_{ск} \leq 5$ м/с і не тривалій роботі з великими перервами застосовуємо колесо із чавуна марки СЧ18.

Комбінація матеріалів сталь по чавуну не надійна. Такі передачі можуть швидко вийти з ладу внаслідок заїдання. Вони потребують ретельної приробітки зубів.

В даній роботі використовуємо таку комбінацію матеріалів для здешевлення виробу. Враховуючи, що передача працює невеликий проміжок часу (2об/сутки).

Завдання та вихідні дані для розрахунків

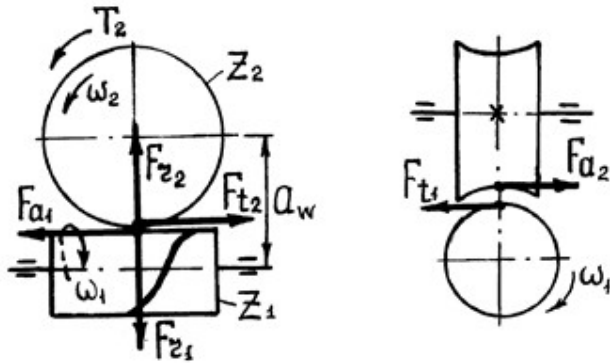
1 Оформлення вихідних даних на розрахунок

Розрахунок черв'ячної передачі

Призначення передачі: Відкрита редукторна черв'ячна передача

- потужність на валу черв'яка $P_1 = 3,0$ кВт;
- кутова швидкість черв'яка $\omega_1 = 12,5$ рад/с;
- передаточне число передачі $U = 125$;

- розташування черв'яка бокове
- режим роботи реверсивний;
- строк служби $t_p = 5$ років;
- змінність роботи $K_{зм} = 2$.



ω_1, ω_2 – кутова швидкість вала черв'яка та колеса;
 Z_1, Z_2 – число заходів черв'яка та зубів колеса; T_2 –
 обертаючий момент на колесі; a_w – міжосьова відстань;
 $F_{t1}, F_{t2}, F_{r1}, F_{r2}, F_{a1}, F_{a2}$ – сили в зачепленні.

Рисунок 1 – Розрахункова схема черв'ячної передачі

Рисунок 2.22 Розрахункова схема черв'ячної передачі.

Визначення терміну служби передачі

Визначення терміну служби передачі в годинах проводиться, прийнявши число робочих днів у році 250...300 і тривалість робочої зміни 7...8 годин. Слід прийняти до уваги те, що термін служби стандартних черв'ячних редукторів відповідно до нормативів, наведених ГОСТ 16162-78, складає 20 тисяч годин.

Попередні параметри передачі

З метою одержання в результаті розрахунку найбільш раціональної компоновки передачі назначаємо $Z_1=1$, число зубів колеса $Z_2=125$, та коефіцієнта діаметра черв'яка $q=12$ в залежності від передаточного числа передачі U .

Вибір матеріалу черв'яка та вінця черв'ячного колеса

Матеріали для виготовлення черв'яка та вінця черв'ячного колеса вибираються з урахуванням попереднього значення діапазону швидкості ковзання витка черв'яка по зубу колеса, яке визначається за формулою:

$$v_x = (0,41 \dots 0,62) \sqrt{\frac{P_1 \cdot U \cdot \omega_1^2}{Z_2^2}}, \quad (1) \quad V_k = 0.29 \text{ м/с}$$

де P_1 – потужність на валу черв'яка, кВт;

U – передаточне число передачі;

ω_1 – кутова швидкість вала черв'яка, рад/с;

Z_2 – число зубів колеса.

При виборі матеріалу для вінця черв'ячного колеса крім значення швидкості ковзання потрібно враховувати тип виробництва, його серійність, масовість з метою визначення способу відливки вінця (відцентрова, у кокіль, у землю).

Розрахунок допустимих напружень

Допустимі контактні напруження та напруження на згин визначаються для черв'ячного колеса, як для елемента, що є менш міцним і більше зношується. При визначенні обов'язково враховується коефіцієнт зносу.

$$[\sigma_H] = C_v \cdot 0,9 \sigma_B,$$

де C_v – коефіцієнт, що враховує знос;

σ_B – границя міцності, МПа.

Допустимі напруження згину

$$[\sigma_T] = 0,25 \sigma_T + 0,08 \sigma_B,$$

де σ_T – границя текучості, МПа.

Вибір конкретного значення допустимих напружень звичайно проводять уникаючи значень близьких до верхньої межі діапазону; це забезпечить достатній запас міцності.

Проектний розрахунок міжосьової відстані

Попереднє значення міжосьової відстані з умови контактної міцності проводиться по формулі:

$$a_w \geq \left(\frac{Z_2 + 1}{q} \right) \sqrt[3]{ \left[\frac{170 \cdot 10^3}{\frac{Z_2}{q} [\sigma_H]} \right] \cdot T_2 \cdot K_\beta } \quad (2)$$

$$a_w = 171.875 \text{ мм.}$$

де $[\sigma_H]$ – допустимі контактні напруження, Па;

T_2 – обертаючий момент на колесі, Н·м;

K_β – коефіцієнт концентрації навантаження.

Силовим фактором, який визначає розміри передачі, є обертаючий момент на черв'ячному колесі. На відміну від розрахунків зубчастих передач, для яких обертаючий момент задається у вихідних даних, при розрахунку черв'ячної пари цей параметр вичислюється по значеннях потужності на валу черв'яка, кутової швидкості черв'яка та передаточного числа з обов'язковим урахуванням ККД передачі, значення якого у значній мірі залежать від попередньо прийнятих параметрів черв'ячної передачі, зокрема числа заходів черв'яка.

Для одержання в результаті проєктного розрахунку компактної передачі стандартне значення міжосьової відстані вибирається по правилах округлення (тобто ближче менше або більше значення);

Визначення модуля зачеплення

Модуль зачеплення визначається по формулі:

$$m = \frac{2a_w}{q + Z_2} \quad (3)$$

$$m = 2.5$$

і його стандартне значення приймається у відповідності до ГОСТ 2144-76

Коригування передачі

Після прийняття стандартних значень міжосьової відстані та модуля передачі визначається коефіцієнт зміщення інструменту:

$$X = \frac{a_w}{m} - 0.5(q + Z_2) \quad (4)$$

$$X = 0.3$$

Величину X вибирають не більш ± 1 , на практиці рекомендують до $\pm 0,7$.

Основні геометричні параметри передачі

Основні геометричні параметри черв'яка-колеса вказані в таблиці 1.

Дійсна швидкість ковзання

Значення швидкості ковзання обчислюється на ділильному колі черв'яка за формулою, м/с:

$$v_k = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{2 \cdot 10^3 \cdot \cos \gamma} \quad (5) \quad vk=0.29$$

Уточнений ККД та обертаючий момент

При уточненні загального ККД передачі враховуються втрати на тертя в зачепленні, в підшипниках та втрати на розбризкування мастила. Розрахунок проводиться по уточненому значенню ділильного кута підйому витка черв'яка.

$$\eta_{\text{чп}} = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{з}} \quad (6) \quad =0.435$$

де $\eta_{\text{п}}$ – ККД пари підшипників, $\eta_{\text{п}} = 0,99$;

$\eta_{\text{р}}$ – ККД, що характеризує втрати на розбризкування мастила, $\eta_{\text{р}} = 0,97$;

$\eta_{\text{з}}$ – ККД, що враховує втрати в зачепленні.

Зусилля в зачепленні

Визначення складових зусилля в зачепленні починають з колового зусилля на черв'ячному колесі (йому дорівнює осьове зусилля на черв'яку), потім визначають колове зусилля на ділильному колі черв'яка (відповідне йому значення осьового зусилля на колесі) і потім – радіальні зусилля.

Колове на колесі (осьове на черв'яку), Н

$$F_{t_2} = F_{a_1} = 10^3 \frac{2T_2}{d_2} \quad (7)$$

Колове на черв'яку (осьове на колесі), Н

$$F_{t_1} = F_{a_2} = 10^3 \frac{2P_1 \cdot 10^3}{\omega_1 \cdot d_1} \quad (8)$$

Радіальні зусилля, Н

$$F_{r_1} = F_{r_2} = F_{t_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (9)$$

Перевірка передач по контактних напруженнях та на згин

Перевірка проводиться по умові контактної міцності – порівнянні діючих контактних напружень з допустимими їх значеннями. Для цього у формулу підставляються уточнені значення обертаючого моменту та ділильні діаметри черв'яка та колеса.

$$\sigma_H = \frac{480 \cdot 10^3}{d_2} \sqrt{\frac{T_2 K_B}{d_1}} \leq [\sigma_H] \quad (10)$$

=221.254 ≤ 226.8

Перевірка проводиться по умові міцності зубів колеса по напруженнях згину за формулою:

$$\sigma_F = 0,7 Y_F \cdot \frac{F_{t_2}}{b_2 \cdot m} K_B \quad (11)$$

=46.665 ≤ 216

Коефіцієнт форми зуба визначають по значенню еквівалентного числа зубів колеса

$$Z_{v2} = \frac{Z_2}{\cos^{\frac{2}{3}} \gamma}$$

Тепловий розрахунок

Площа поверхні редуктора потрібна для передачі в навколишнє середовище теплоти, що виникає при роботі черв'ячної передачі.

Вчислюється по значенню потужності на валу черв'яка з урахуванням ККД передачі та середнього коефіцієнту теплопередачі.

$$S = \frac{P_1 \cdot (1 - \eta_{\text{вп}})}{K \cdot [\Delta T]} \quad (12)$$

=0.739 м.кв.

де K – коефіцієнт теплопередачі (11...17) Вт/(м²·К);

$[\Delta T]$ – допустимий перепад температур мастила і навколишнього повітря $[\Delta T] = (313...333)K$.

Висновки по розрахунку

По результатах розрахунку параметри передачі відповідають спроектованому редуктору.

Розрахунки і проектування черв'ячного вала і колеса зроблено GearTrax і Solidworks



2.23 Модель черв'ячної пари

Таблиця 1. Геометричний розрахунок циліндричного черв'ячного редуктора

Найменування та позначення параметра		Черв'як *1	Черв'ячне *2 колесо
<i>Вихідні дані</i>			
Кількість витків (зубів)	z_1, z_2	1	125
Модуль модуля, мм	m	2,5	
Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	12,5	
різновиди черв'яків	–	ZA	
Оригінальна схема	–	ГОСТ 19036-94	
Кут контурного профілю джерела	α_x	20°00'00"	
Коефіцієнт висоти головки черв'ячного повороту вихідного контуру	$k_{\alpha 1}^*$	1	
Коефіцієнт радіального зазору на поверхні дна черв'яка (еталонний контур черв'ячного колеса)	c^*	0,2	0,2
Коефіцієнт розрахункової товщини черв'ячного витка	s^*	1,571	
Коефіцієнт радіуса кривизни спіралі черв'ячного витка	ρ_{β}^*	0,3	
Клас точності	–	8-Б	8-Б
Коефіцієнт витіснення черв'яків	x	0	

Напрямок лінії повороту	–	Праворуч	
<i>Визначені параметри</i>			
Міжосьова відстань, мм	a_w	171,875±0,00	
Співвідношення	u	125	
Діаметр поділу, мм	d	31,25	312,5
Початковий діаметр черв'яка, мм	d_{w1}	31,25	
Кут градування	γ	4°34'26"	
Початковий кут підйому	γ_w	4°34'26"	
Висота витка черв'яка, мм	h_1	5,5	
Висота головки черв'ячної катушки, мм	h_{ad}	2,5	
Діаметр вершин, мм	d_v	36,25	317,5
Діаметр порожнин, мм	d_f	25,25	306,5
Максимальний діаметр черв'ячного колеса, мм	d_{w2}	322,5	
Довжина відрізаної частини черв'яка, мм	b_1	100	
Ширина обода шестерень, мм	b_2	34	
Радіус кривизни черв'ячної спіральної кривої, мм	R_{f1}	0,75	
Радіус поверхневої виїмки кінчиків зубів черв'ячного колеса, мм	R_{w2}	13,125	
Радіус виїмки порожнин черв'ячного колеса, мм	R_{f2}	18,625	
Кут скошування кінців зубчастого кільця черв'ячного колеса	Φ_2	76°16'15"	

Продовження таблиці 1. 1.

Найменування та позначення параметра	Значення	
<i>Контрольовані та виміряні параметри</i>		
Розрахунковий крок червака, мм	P_1	7,854
Хід поршня, мм	P_{z1}	7,854
Товщина розподілу по хорді черв'ячної катушки, мм	\bar{s}_{ad}	3,914^{0,28}_{0,42}
Висота до хорди черв'ячної катушки, мм	\bar{h}_{ad}	2,501
Діаметр вимірювального ролика, мм	D	4,25
Розмір черв'яка по роликах, мм	M_1	37,172^{0,785}_{0,525}
Умова $M_1 > d_{w1}$ (можливість вимірювання розміру роликами)	–	Вирішена

Товщина поділу хорди зуба черв'ячного колеса в нормальному перерізі, мм	\bar{s}_{d2}	3,914 _{0,11}
Висота до хорди зуба черв'ячного колеса, мм	\bar{h}_{e2}	2,505
Мінімальний коефіцієнт витіснення черв'яків	x_{\min}	-6,311
Стан відсутності ріжучих зубів $x \geq x_{\min}$ черв'ячного колеса	-	Вирішена
Максимальна міжосьова відстань	$a_w'_{\max}$	187,2
Товщина кінця хорди на поверхні верхівок зубів черв'ячного колеса	\bar{s}_{d2}	2,035
Мінімальне рекомендоване значення товщини торцевого зуба по поверхні вершин, мм	0,6 * m	1,5
Умова відсутності заточування зубів черв'ячного колеса $a_w' < a_w'_{\max}$ $\bar{s}_{d2} \geq 0,6 * m$	-	Вирішена
Найменша сумарна довжина повітряних ліній	l_{\min}	37,62
Коефіцієнт перекриття	ε	1,928
Рекомендований мінімальний коефіцієнт перекриття	-	1,2

Таблиця 2. Розрахунок циліндричного черв'ячного редуктора на термостійкість

Найменування та позначення параметра		Черв'як *1	Черв'ячне *2 колесо
<i>Вихідні дані</i>			
Кількість витків (зубів)	z_1, z_2	1	125
Модуль модуля, мм	m	2,5	
Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	12,5	
різновиди черв'яків	-	ЗА	
Кут контурного профілю джерела	α_x	20°00'00"	
Клас точності	-	8-Б	8-Б
Коефіцієнт витіснення черв'яків	x	0	
Міжосьова відстань, мм	a_w	171,875	
Співвідношення	u	125	
Поверхнева твердість черв'яків, HRC	-	45	
Матеріал коронки черв'ячного колеса	-	СЧ18	
Розрахункове навантаження (крутний момент черв'ячного колеса), Н * м	T_{\max}	800	
Швидкість обертання, об/хв	n_{\max}	180	

Режим роботи трансмісії	–	Без штучного охолодження
Вага коробки передач, кг	G_p	40
К.П.Д. в опорах	η_o	0,99
Марка масла	–	Передачі
Вага масла у ванні, кг	G_m	0,2
Кинематическая вязкость масла, $\cdot 10^{-6}$, m^2/s , при 50°C	ν_{50}	400
Кинематическая вязкость масла, $\cdot 10^{-6}$, m^2/s , при 100°C	ν_{100}	32
Температура навколишнього середовища, °C	t_o	20
Площадь свободной поверхности охлаждения корпуса, m^2	S	0,739
Коефіцієнт теплопередачі корпуса, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$	K_c	13,1
Коефіцієнт, що враховує відведення тепла в каркас або фундаментну плиту	ψ	0
Коефіцієнт, що враховує зниження виділення тепла за одиницю циклу черв'ячного редуктора за рахунок перебоїв і зниження наванта-	$\eta_{ш}$	1
<i>Визначені параметри</i>		
Швидкість ковзання, м/с	v_z	0,295
К.П.Д. про передачу	η	0,435
Робоча температура масла, °C	t_p	36,161
Вязкость масла, $\cdot 10^{-6}$, m^2/s , при рабочей температуре	ν_p	1103,319
Допустима температура масла, °C	$[t_{max}]$	90

Таблиця 3. Розрахунок міцності циліндричного черв'ячного редуктора при максимальному навантаженні

Найменування та позначення параметра		Черв'як ^{z1}	Червячне колесо ^{z2}
<i>Вихідні дані</i>			
Кількість витків (зубів)	z_1, z_2	1	125
Модуль модуля, мм	m	2,5	
Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	12,5	
різновиди черв'яків	–	3А	
Кут контурного профілю джерела	α_z	20°00'00"	
Клас точності	–	8-Б	8-Б
Коефіцієнт витіснення черв'яків	x	0	
Міжосьова відстань, мм	a_o	171,875	
Співвідношення	u	125	
Поверхнева твердість черв'яків, HRC	–	45	
Матеріал коронки черв'ячного колеса	–	СЧ18 ГОСТ 1412-85	

Розрахункове навантаження (крутний момент черв'ячного колеса), Н * м	T_{max}	800
Швидкість обертання, об/хв	n_{max}	180
<i>Визначені параметри</i>		
Швидкість ковзання, м/с	v_z	0,295
<i>Розрахунок на міцність контакту</i>		
Розрахункова напруга контакту, МПа	σ_{Hmax}	221,254
Допустима напруга контакту, МПа	σ_{HPmax}	226,8
Коефіцієнт запасу для контактних напружень	n_H	1,025
<i>Конструкція міцності на вигин</i>		
Розрахункове напруження на вигин, МПа	σ_{Fmax}	46,665
Допустиме напруження на вигин, МПа	σ_{FPmax}	216
Коефіцієнт запасу для напружень на вигин	n_F	4,629

Таблиця 4. Механічні властивості деталі черв'ячний вал

<i>Зведена таблиця механічних властивостей матеріалу</i>			
Найменування та позначення параметра			Значення
Найменування матеріалу	-		Сталь 45
ВНТ на матеріал	-		ГОСТ 1050
Аналоги або замітники матеріалу	-		40, 50, 50, 50
Термічна обробка	-		Нормалізація
Твердість матеріалу	HRC(HB)		207
	HRC = 20, HB = 207, HV = 200		
Модуль пружності (модуль Юнга першого роду)	E	Мпа	200000
Модуль зсуву (модуль Юнга II типу)	G	Мпа	78000
Коефіцієнт Пуассона	μ	---	0.282
Щільність матеріалу	ρ	кг/м³	7810
Міцність на розрив	σ_B	Мпа	600
Межа плинності	σ_T	Мпа	355
<i>Характеристики міцності, що використовуються при розрахунках зубча-</i>			
Допустима напруга при максимальному навантаженні при:	Контакти	σ_{Hmax}	Мпа 1050
	Вигин	σ_{Fmax}	Мпа 1058

Межа витривалості при:	Контакти	$\sigma_{\text{Контакти}}$	Мпа	640
	Вигин	$\sigma_{\text{Вигин}}$	Мпа	498

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

3.1 Вибір виду і способу отримання заготовки черв'яка.

Для того щоб вибрати раціональний метод отримання заготовки для виготовлення деталі необхідно порівняти два технічно рівноцінні варіанти отримання заготовки на основі укрупненого економічного розрахунку. Вибрати заготовку – значить встановити спосіб її отримання, намітити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри та вказати допуски на неточність виготовлення. При виборі заготовки, способу її отримання необхідно прагнути максимального наближення форми та розмірів заготовки до параметрів готової деталі та зниження трудомісткості заготівельних операцій

Виходячи з конструкції деталі, та враховуючи застосований матеріал, заготовку можна отримувати лише із сталюого прокату.

Розрахунок заготовки із прокату круглого перетину.

Матеріал – Сталь 45

Клас розмірної точності – 11

Ступінь короблення елементів виливків - 3

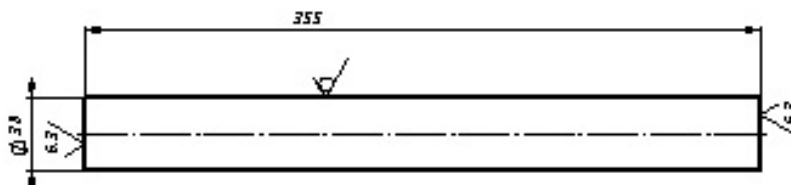
Ступінь точності поверхонь - 10

Шорсткість (R_a , мкм) - 16

Ряд припусків-6

Маса деталі – 2.2 кг.

Розмір заготовки : 355х \varnothing 38мм



Види заготовки 3.14 на Матеріал Сталь 45

Рисунок 3.1 – Заготовка

Допуск маси заготовки трохи більше 20%.

$$Q_3 = 2.2 + 20\% = 2.64 \text{ кг.}$$

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалів:

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{2.2}{2.64} = 0.83$$

Вартість заготовки:

$$C_{\text{заг}} = Q_i \cdot m_{\delta i}$$

де Q_i – маса матеріалу по варіанту, кг;

m_{δ} – вартість одного кілограма заголовки, виготовленої базовим способом;

$$C_{\text{заг}} = 2.64 \cdot 38.7 = 90.5 \text{ грн}$$

Величина $Q_{\text{в}}$ оцінюється за такою формулою:

$$Q_{\text{в}} = \frac{Q_{\delta}}{K_{\text{ВМ}}}$$

де Q_{δ} – маса деталі робочими креслення, кг.;

$K_{\text{ВМ}}$ – середній коефіцієнт використання матеріалу для обраного отримання заготовки 0,83.

3.2 Розрахунок припусків під обробку

Розрахунок припусків на механічну обробку здійснюється після вибору оптимальних для даних умов технологічного маршруту та вибору методу одержання заготовки.

Розрахунок проводиться розрахунково-аналітичним методом. Розрахунковою величиною є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході похибок обробки та дефектів поверхневого шару, одержаних на попередньому переході.

Припуск на діаметр під час обробки внутрішніх поверхонь обертання:

$$2Z_{i \text{ min}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{(\Delta_{\Sigma i-1})} \right)$$

де $Z_{i \text{ min}}$ – мінімальний припуск;

Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

H_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередніх переходах;
 $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ - сумарне відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетинів осей) і в деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності перед переходами, мкм);

ϵ_{y_i} – похибка установки заготовки на переходах.

Сумарне відхилення визначається за такою формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_k}^2 + \Delta_{\Delta}^2}$$

де $\Delta_{\Sigma_k}^2$ – загальне відхилення осі від прямолінійності визначається за формулою;

$$\Delta_{\Sigma_k}^2 = \Delta_k \cdot L$$

де $\Delta_k=0$ мкм — кривизна поверхні залежно від ступеня короблення;

L - довжина заготовки; 355 мм;

$$\Delta_k^2=0 \cdot 355=0 \text{ мкм}$$

Δ_{Δ} – зміщення осі заготівлі внаслідок похибки центрування визначається за формулою;

$$\Delta_{\Delta}=0,25 \cdot Td,$$

де Td – допуск на діаметральний розмір бази заготовки, використаний під час центрування. 400 мкм;

$$\Delta_{\Delta} = 0,25 \cdot 400 = 100 \text{ м}$$

$$\Delta = \sqrt{0^2 + 100^2} =$$

Залишкова величина просторового відхилення після попередньої обробки визначається за такою формулою:

$$\Delta_i = K_u \Delta_{i-1},$$

де K_u — коефіцієнт уточнення форми;

$K_u = 0,03$ – для чорнового розточування;

$K_{y2} = 0,02$ – для чистового розточування.

Для чорнового розточування:

$$\Delta_1 = 0,05 \cdot 102 = 5 \text{ мкм.}$$

Для чистового розточування:

$$\Delta_2 = 0 \cdot 5 = 0 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення $\varepsilon = 0$ мкм.

Далі проводиться розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків:

для чорнового розточування:

$$2Z_{i \min} = 2 \left(200 + 200 + \sqrt{1600^2 + 0^2} \right) =$$

для чистового розточування

$$2Z_{i \min} = 2 \left(50 + 50 + \sqrt{96^2 + 0^2} \right) =$$

Графа «розрахунковий розмір» (d_p) заповнюється, починаючи з кінцевого, у даному випадку креслярського розміру, послідовним додаванням

розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$d_p = 36,25$ – для чистового розточування;

$d_p = 36,25 + 0,392 = 36,642$ – для чорнового розточування;

$d_p = 36,642 + 1,35 = 38$ – для заготовок.

Визначаємо максимальний граничний розмір сумою мінімального розміру та допуску T_d :

$d_{\min} = 36,25 + 0,23 = 36,48$ – для чистового розточування;

$d_{\min} = 36,642 + 0,4 = 37,042$ – для чорнового розточування;

$d_{\min} = 37,042 + 0,858 = 38$ – для заготовок.

Визначаємо граничні значення припусків:

$2Z_{\min} = 36,642 - 36,25 = 0,392$ мм – для чистового розточування;

$2Z_{\min} = 38 - 36,642 = 1,353$ мм – для чорнового розточування

$2Z_{\max} = 37,212 - 36,48 = 0,732$ мм – для чистового розточування;

$2Z_{\max} = 38 - 37.212 = 0.788$ – для чорнового розточування.

Розрахунок загальних припусків:

$Z_o \max = 0,48 + 0,732 + 0.788 = 3.7$ мкм - загальний максимальний припуск;

$Z_o \min = 0,347 + 0,392 + 1.35 = 2.089$ мкм - загальний мінімальний припуск.

У таблиці 2.2 наведено розрахунок припусків на обробку

Таблиця 3.2 — Припуск на поверхню

Технологічний перехід обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Допуск TD, мм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	Δ_{Σ}	ϵ		min	max	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	200	200	1600	–	1,7	37.042	38	–	–
Обточування чорнове IT12	50	50	96	–	0,570	36.642	37.042	4000	5130
Обточування чистове IT10	20	20	5	–	0,230	36.25	36.48	392	732
Шліфування попереднє $390h_{(-0,089)}$	10	15	0	–	0,089	36.241	36.25	50	191

Перевірка правильності розрахунків проводиться за формулою:

$$Z_o \max - Z_o \min = T_{d\text{заг}} - T_{d\text{дет.}}$$

$$3.7 - 2.18 = 1.7 - 0.089$$

$$1,611 = 1,611. \text{ Умова виконується.}$$

3.3 Вибір технологічних баз.

001 Токарна з ЧПК:

Операція 015.Токарна

Базування здійснюється за обробленим торцем у трьохкулачковому патроні.

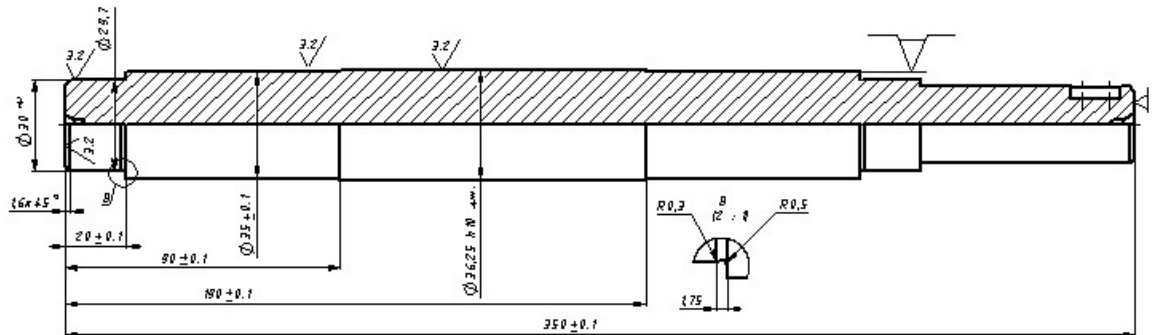


Рисунок 3.5 – Токарна операція 015

020 Різьбонарізна ЧПК.

Базування здійснюється по обробленому торцю .

Нарізання черв'яка згідно таблиці параметрів на кресленні.

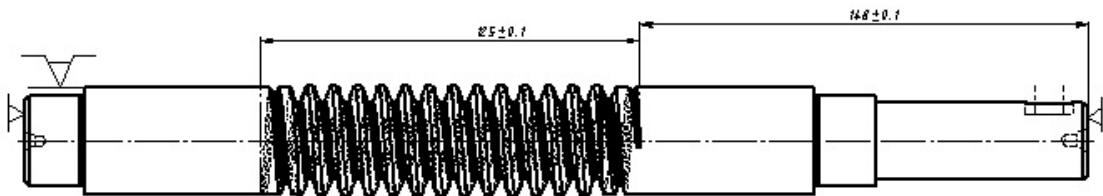


Рисунок 3.6 – Різьбонарізна операція 020

025 Термічна.

Гартування ТВЧ HRC 52....56

030 Круглошліфувальна

Базування здійснюється за обробленим торцем і в трьохкулачковому патроні попередньо розточеному.

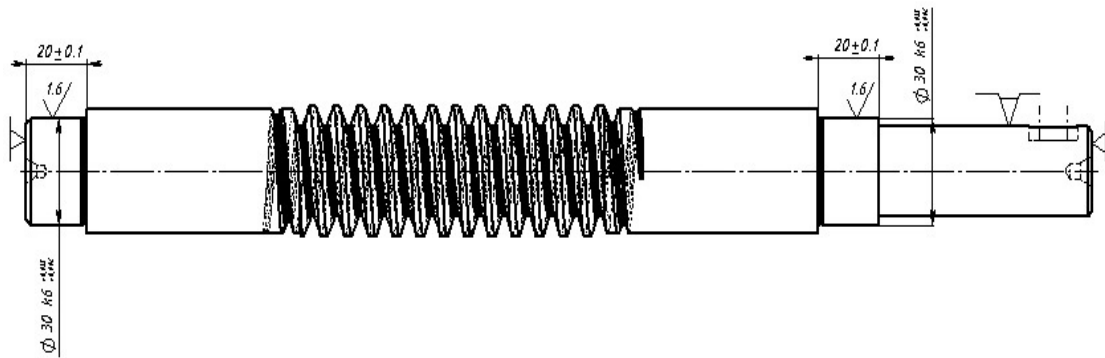


Рисунок 3.7 – Круглошліфувальна операція 030

3.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

3.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі

Таблиця 3.8 – Технологічний маршрут механічної обробки деталей

Номер операції	Зміст операції	Обладнання
001	Токарна з ЧПК 1. Підрізати торець розміром $355 \pm 0,5$ 2. Торцеве сверління $\varnothing 4$ мм	Верстат токарний з ЧПК моделі 16K20Ф3
005	Токарна з ЧПК 1. Підрізати торець розміром $350 \pm 0,5$ 2. Чорне точіння у розмірі $\varnothing 35$ витримуючи розмір 160 ± 1 3. Чистове точіння у розмірі $\varnothing 35h8$, витримуючи розмір 160 ± 1 4. Чорне точіння розміром $\varnothing 30,5H14$ витримуючи розмір 90 ± 1 5. Чистове розточування розміром $\varnothing 30.1H12$ напрохід 6. Точити канавку $\varnothing 29.7h14$ та шириною 3мм 7. Чорне точіння розміром $\varnothing 25,5$ в розмір 70 ± 0.1 8. Чистове точіння в розмір $\varnothing 25h8$ в	Верстат токарний з ЧПК моделі HAAS ST-20

	розмір 70±0.2 9.Точіння фаски 1.6x45° 10. Торцеве сверління ø4	
010	Вертикально-фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати шпоночний паз7P9 16x4	Верстат вертикально фрезерний з ЧПК. моделі HAAS ST-20
015	Токарна ЧПК 1. Чорне точіння ø36.5 в розмір 190 2.Чистове точіння ø36.25h10 в розмір 190 3.Чорнове точіння ø35.5 в розмір 90±0.1 4.Чистове точіння ø35 в розмір 90±0.1 5.Чорнове точіння ø30.5H14 в розмір 20 6.Чистове точіння ø30.1H12 на прхід 7. Точити канавку Ø29.7h14 та шириною 3мм 8. Точіння фаски 1.6x45°	Верстат Вертикально- фрезерний з ЧПК. моделі HAAS ST-20
020	Токарна ЧПК 1. Нарізати черв'як відповідно таблиці параметрів в кресленні	Верстат вертикально- фрезерний з ЧПК. моделі HAAS ST-20
025	Термічна HRC 52...56	ТВЧ 80-66
030	Круглошліфувальна 1. Шліфувати поверхню Ø30k6	Круглошліфувальний верстат марки Bernardo URS 500 N

3.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення

Устаткування

Токарний верстат моделі 16K20Ф3

Вид верстата представлений на рис 3.9.



Рисунок 3.9 – Верстат моделі 16К20Ф3

Таблиця 3.10– Параметри токарного верстата моделі 16К20Ф3

ЗОНА ОБРОБКИ			
Найбільший діаметр заготовки, що встановлюється над станиною	мм		900
Найбільший діаметр заготовки, що оброблюється над станиною	мм		700
Найбільший діаметр заготовки, що оброблюється над супортом	мм		700
Довжина заготовки, що обробляється	мм		1300
Максимальна маса деталі	кг		2000
Максимальна маса деталі, встановленої в центрах та люнеті	кг		3000
Кут нахилу станини	град		45
ШПИНДЕЛЬ			
Максимальна частота обертання шпинделя	об/хв		1500

Потужність головного двигуна	кВт	30/37
Торець шпинделя		A2-11
Діаметр гідравлічного патрона	мм	450
Діаметр отвору в шпинделі	мм	155
Діаметр отвору під пруток	мм	117
ПЕРЕМІЩЕННЯ		
Переміщення по осі X	мм	385
Переміщення по осі Z	мм	1500
Переміщення по осі Y (опція)	мм	±40
ПОДАЧІ		
Прискорене переміщення по осі X/Z/Y	м/хв	20
РЕВОЛЬВЕРНА ГОЛОВКА (стандарт)		
Кількість позицій револьверної головки	шт	12
Переріз різця	мм	32x32, Ø60
РЕВОЛЬВЕРНА ГОЛОВКА З ПРИВОДНИМ ІНСТРУМЕНТОМ (опція)		
Посадковий розмір під інструментальні блоки		VDI60/BMT85
Максимальна кількість обертів приводного інструменту	об/хв	3000
Кількість позицій револьверної голови		12
ЗАДНЯ БАБКА		
Переміщення пінолі задньої бабки	мм	150
Діаметр пінолі задньої бабки	мм	150
Переміщення задньої бабки	мм	1245
Конус пінолі задньої бабки		Морзе 5
ДОДАТКОВІ ДАНІ		
Місткість бака для охолоджувальної рідини	л	185
Максимальна витрата охолоджувальної рідини	л/хв	65
Місткість масляного бака для змащення	л	2
Максимальна витрата олії	л/хв	0,13
ТОЧНІСТЬ		

Точність позиціонування	мм	$\pm 0,005/300$
Повторюваність	мм	0,005
МАСА І ГАБАРИТИ		
Маса верстата	кг	12000
Довжина верстата	мм	5800
Ширина верстата	мм	2500

Горизонтально-токарний верстат з ЧПК HAAS ST-20

Вид верстата представлено на рис 3.10.



Рисунок 3.10 – Горизонтально-токарний верстат HAAS ST-20

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики верстата HAAS ST-20

Переміщення по осі X	213 мм
Переміщення по осі Z	572 мм
Розмір патрона	210 мм
Найбільший діаметр прутка	64 мм
Максимальний діаметр деталі	533 мм
Максимальний діаметр обробки (з револьверною головкою кріпленні по стандарту VOT)	330 мм
Максимальний діаметр обробки (з револьверною головкою кріпленні по стандарту VMT65)	298 мм
подачі	
Прискорені переміщення по осях X і Z	24 м/хв
Максимальне тягове зусилля на приводах X	18,238 кН
Максимальне тягове зусилля на приводах Z	22,686 кН
головний шпиндель	
Максимальна швидкість	50-4000 об./хв
Максимальний крутний момент / зі швидкістю 500 об / хв /	203 Нм
Максимальна потужність	14,9 кВт
Торець шпинделя A2-6	
револьверна головка	
Кількість інструментів	12шт.
Тип головки 40VDI	
точність	
Точність позиціонування +/-0,005мм	
Повторюваність	+/-0,005мм
додатково	
Бак ЗОР	114 л.
Стиснене повітря/тиск	6,9 бар
Стиснене повітря/витрати	113 л/хв

Круглошліфувальний верстат Bernardo URS 500 N

Вид верстата представлено на рис 3.12



Рисунок 3.12 – Круглошліфувальний верстат серії Bernardo URS 500 N

Таблиця 2 – Параметри верстата Bernardo URS 500 N

Технічні характеристики	Параметри
Діаметр шліфування, мм	Ø30-630
Довжина шліфування, мм	2000
Мах. вага заготовки, кг	12000
Мах. хід робочого столу, мм	2100/5200
Швидкість переміщення робочого столу, мм/хв	100-4000
Кут повороту робочого столу	2°30
Висота центрів, мм	350
Розмір шліфувального круга	Ø750·75·305
Швидкість обертання шпиндельної	100

бабки, об/хв	
Швидкість обертання шліфувального кола, об/хв	870
Швидкість переміщення по осі X, м/хв	0,01-5
Мах. переміщення по осі X, мм	400
Мінімальне переміщення по осі X, мм	0,001
Потужність приводу шліфувального круга, кВт	15
Потужність приводу шпиндельної бабки, кВт	5,5
Потужність приводу гідронасосу, кВт	1,1
Габаритні розміри верстата, мм	8600·2140·1550
Маса верстата (без оправки), кг	14900

3.5 Нормування технологічного процесу механічної обробки

Норми часу:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n},$$

де $T_{\text{шт-к}}$ – штучно-калькуляційний час виконання робіт на верстатах, хв;

$T_{\text{шт}}$ – норма штучного часу, хв;

$T_{\text{пз}}$ – норма підготовчо-заключного часу, хв;

$$T_{\text{пз}} = t_0 + t_d + t_{\text{обс}} + t_{\text{відп}}$$

де t_0 — основний час;

t_d — допоміжний час;

$t_{\text{обс}}$ — час обслуговування робочого місця;

$t_{\text{відп}}$ — час на особисті потреби та додатковий відпочинок.

Норма часу:

$$T_{шт} = 42 \text{ хв}$$

$$T_{шт-к} = 42 + 19.41 = 61.41 \text{ хв,}$$

$$T_{нз} = 8,58 + 9,83 + 0,50 + 0,50 = 19,41.$$

Норми часу представлені у таблиці 2.4

Таблиця 2.4 — Норми часу на операцію

№	Тв	Тшт
005	0,6	12.5
010	2,4	2.5
015	1,9	11.9
020	2,1	8.0

3.6 Розроблення в САМ ESPRIT програми оброблення на верстаті

При обробленні деталі корпус, запропоновано використовувати високопродуктивний вертикально-фрезерувальний верстат Haas VF - 3.

Для написання програми були виконані наступні дії:

1. Створено 3D модель корпусу у SolidWorks та завантажено у середовище САМ Esprit.

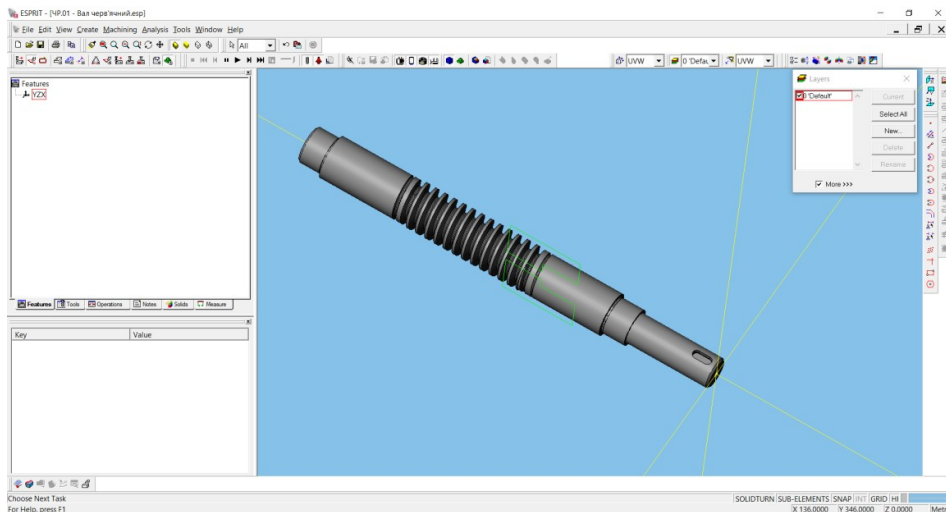


Рисунок 2.5 – Деталь корпус в середовищі САМ Esprit

2. Створено заготовку

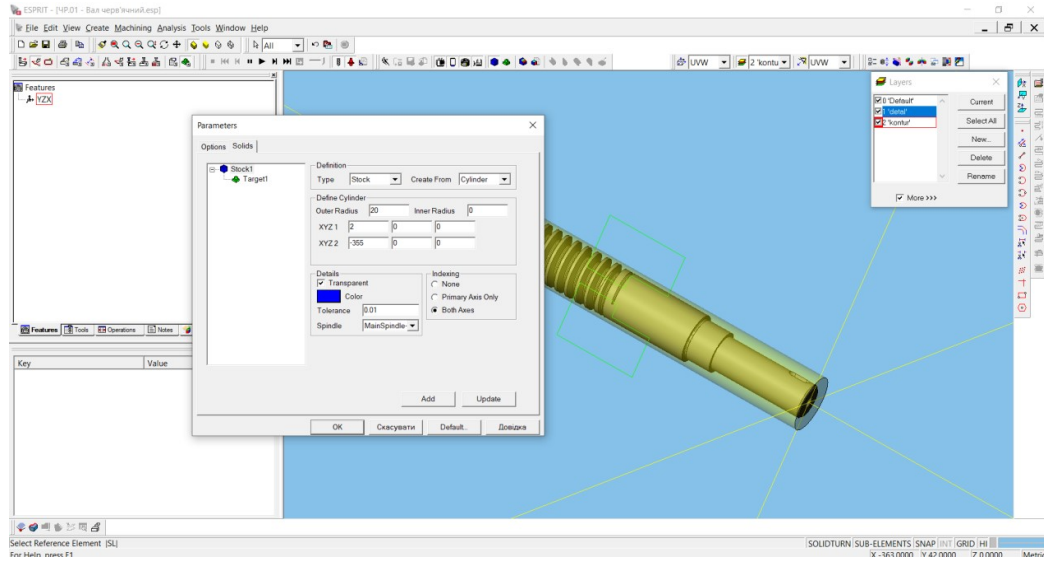
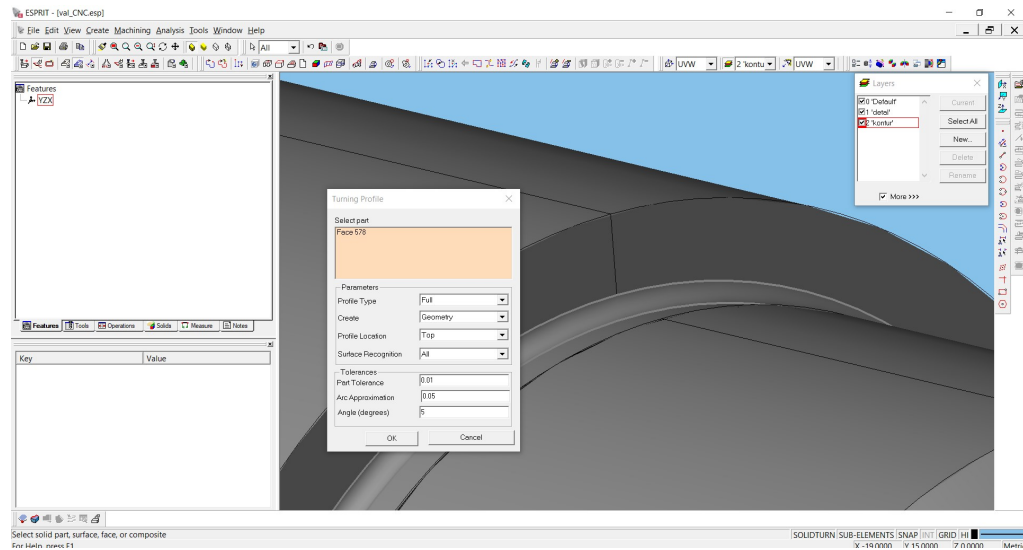
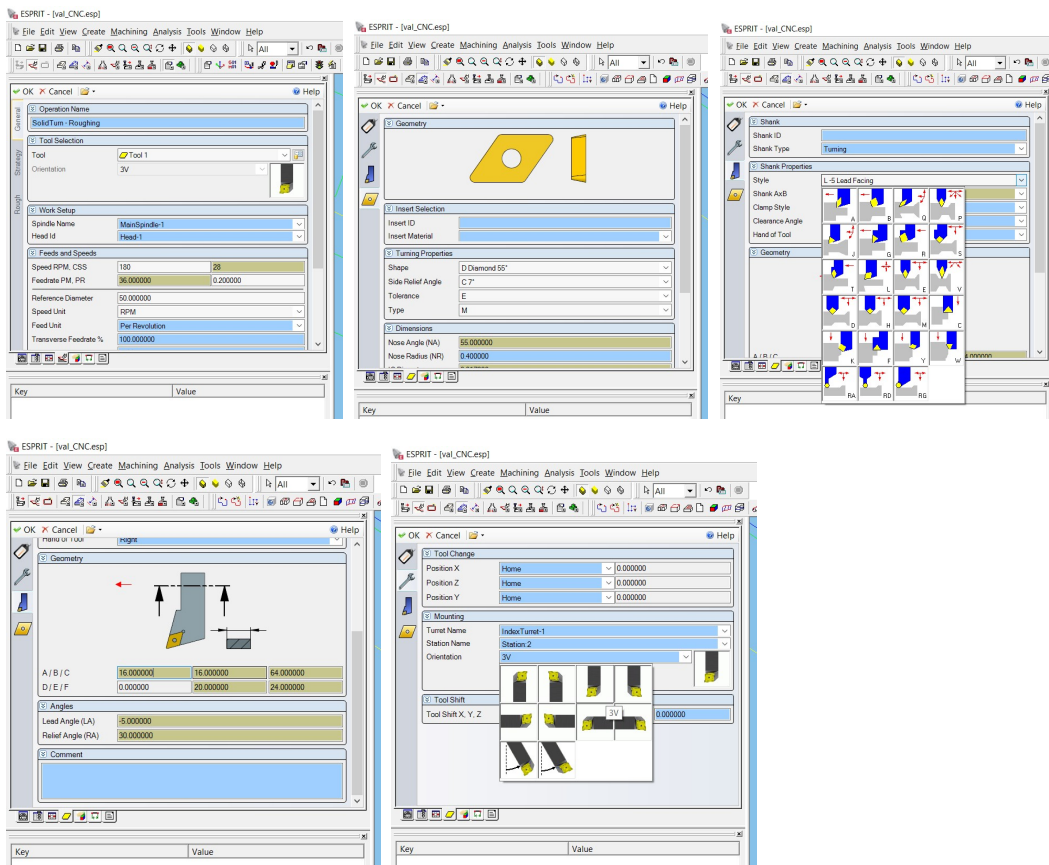


Рисунок 2.5 – створення заготовки

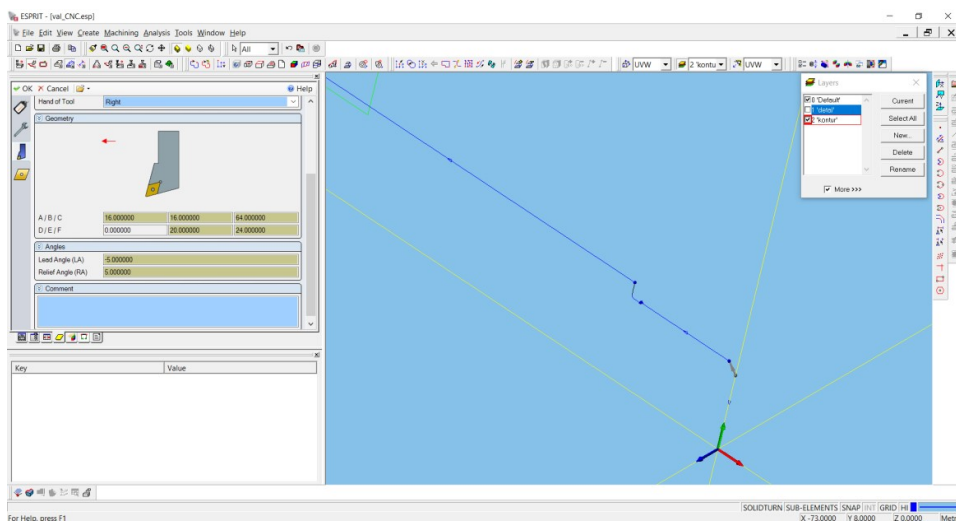
3. Створення контуру для обробки

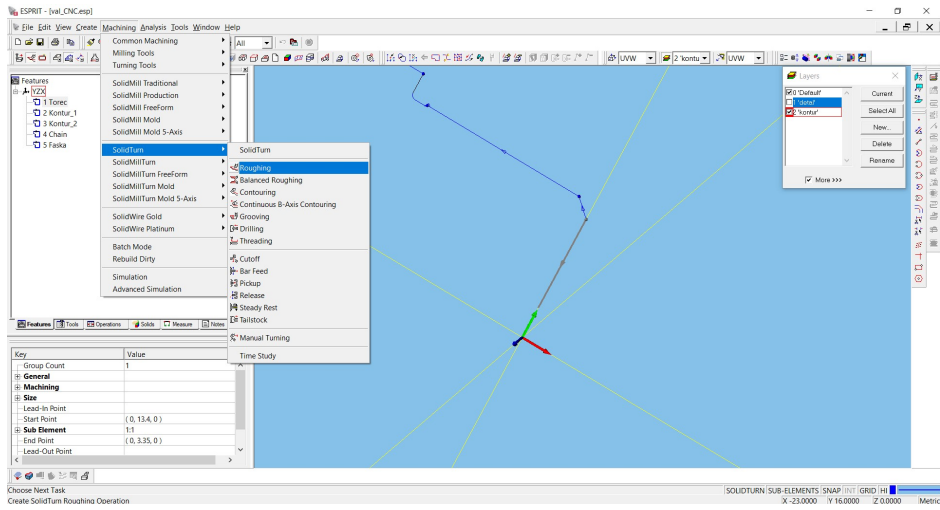


4. Параметризація ріжучого інструменту

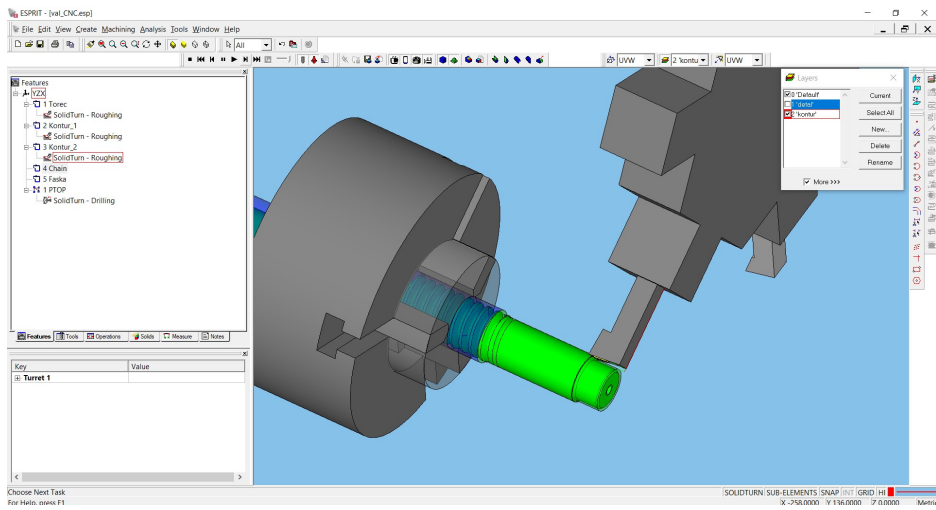


5. Створення переходів обробки





6. Візуалізація процесу обробки.



7. Вибір постпроцесора

4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

Статична стійкість мобільного сонячного трекера — це здатність конструкції зберігати рівновагу під впливом зовнішніх сил (вітрових навантажень, власної ваги, нерівностей поверхні) без перекидання, ковзання чи надмірних деформацій. Такий аналіз є критично важливим, оскільки сонячний трекер працює в умовах зовнішнього середовища, яке характеризується постійними змінами.

Статичну стійкість мобільного сонячного трекера можна розділити на три основні типи:

2.1. Глобальна стійкість конструкції

Це здатність всієї системи (основа, панелі, механізми повороту) протистояти зовнішнім силам (вітровим, сніговим, ударним). Глобальна стійкість забезпечується через:

- правильний розрахунок центру ваги;
- баланс мас

2.2. Локальна стійкість елементів конструкції

Локальна стійкість означає, що кожен елемент конструкції (наприклад, опорна рама, шарніри, балка, панелі) повинен витримувати локальні навантаження, не виходячи за межі допустимих напружень.

- **Перевірка на міцність:** Кожен елемент повинен бути розрахований на напругу σ , що визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{A},$$

Де F -сила ,що діє на елемент, A -площа поперечного перерізу.

якщо $\sigma \geq \sigma_{доп.}$,то елемент потребує підсилення або заміни матеріалу.

Перевірка на втрату стійкості стрижнів (ефект бокінгу):

Важливо розрахувати критичне навантаження для стиснутих елементів:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2},$$

де E — модуль пружності матеріалу, I — момент інерції перерізу, K — коефіцієнт довжини (залежить від умов закріплення), L — довжина стрижня.

Якщо навантаження перевищує $P_{кр}$, елемент втратить стійкість.

2.3. Кінематична стійкість

Цей вид стійкості пов'язаний із запобіганням переміщення трекера під дією зовнішніх горизонтальних сил, таких як вітровий тиск.

- **Умови ковзання:** Мобільний трекер буде ковзати, якщо горизонтальна сила вітру перевищить силу тертя:

$$F_{в} > F_{тр},$$

де $F_{тр} = \mu \cdot G$,

$F_{в}$ — горизонтальна сила вітру,

G — вага трекера,

μ — коефіцієнт тертя між основою трекера та поверхнею (наприклад, 0.6 для гуми на бетоні, 0.4 для металу на землі).

Умови перекидання: Конструкція перекинеться, якщо момент перекидання

$M_{в}$ перевищить момент стійкості $M_{с}$:

$$M_{в} > M_{с},$$

де:

$$M_{в} = P_{в} \cdot h,$$

h — висота центру прикладення вітрового тиску (зазвичай це центр площі панелей).

$$M_c = G \cdot b,$$

де b — горизонтальна відстань від центра ваги до точки перекидання.

Якщо умови стійкості не виконуються, необхідно:

- збільшити вагу основи;
- зменшити висоту панелей (h);
- збільшити площу опори (b).

3. АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ НАВАНТАЖЕНЬ

Мобільний сонячний трекер зазнає впливу декількох видів зовнішніх навантажень, які потрібно врахувати під час розрахунків.

3.1. Вітрове навантаження

Вітровий тиск є найбільшим ризиком для стійкості через значну площу панелей. Формула сили вітрового тиску:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A,$$

де:

- $\rho = 1.225 \text{ кг/м}^3$ — густина повітря;
- V — швидкість вітру (м/с);
- C_d — аеродинамічний коефіцієнт (для плоских поверхонь 1.1 - 1.3);
- A — площа панелей (м^2).

Чим більше A або h , тим більший момент вітрового тиску:

$$M_v = P_v \cdot h.$$

Розрахунок вітрового навантаження для високих швидкостей вітру є критично важливими. Ця можна побачити в розділі 2 Розрахунок вітрової стійкості.

3.2. Вага конструкції

Власна вага конструкції включає:

- вагу панелей;

- вагу опорної рами;
- вагу механізму обертання;
- додатковий баласт, якщо він є.

Сумарна вага визначає вертикальну силу G , яка забезпечує момент стійкості:

$$M_c = G \cdot b$$

де b — ширина основи або база опори.

3.3. Додаткові навантаження

1. Снігове навантаження:

Якщо трекер використовується в умовах, де можливі снігові опади, враховується вага снігу

$$P_{\text{сніг}} = q_{\text{сніг}} \cdot A,$$

де $q_{\text{сніг}}$ — нормативний тиск снігу (наприклад, 0.7 кН/м^2).

Динамічні навантаження:

При русі чи обертанні трекера створюються інерційні сили, які також впливають на баланс. Їх розрахунок потребує врахування маси рухомих частин та їхнього прискорення:

$$F_{\text{інерц}} = m \cdot a,$$

де a — прискорення (наприклад, від різкого старту або гальмування).

4. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ

1. Зменшення вітрового тиску:

- Використання панелей із змінним кутом нахилу для мінімізації площі, на яку діє вітер.
- Встановлення автоматичних систем для зміни положення панелей при сильному вітрі.

2. Збільшення ваги основи:

- Додавання баласту (бетонні блоки або інший вантаж), що збільшує момент стійкості.

3. Розширення опорної бази:

- Збільшення ширини та площі опори b.

4. Закріплення мобільної конструкції:

- Використання якорів або тимчасових фіксаторів для бази під час сильного вітру.

5. Оптимізація розташування центра ваги:

- Переміщення важких частин (наприклад, акумуляторів) ближче до основи.

6. Матеріали:

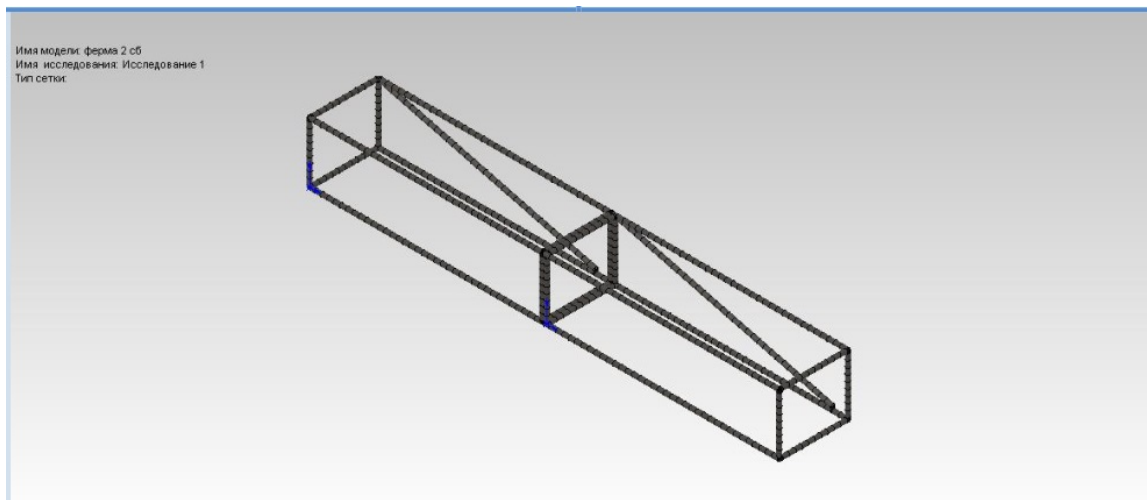
- Використання матеріалів із високою питомою міцністю для зменшення ваги конструкції, але збереження її стійкості

Сучасні програмні засоби дозволяють виконувати точний аналіз стійкості конструкції за різними параметрами.

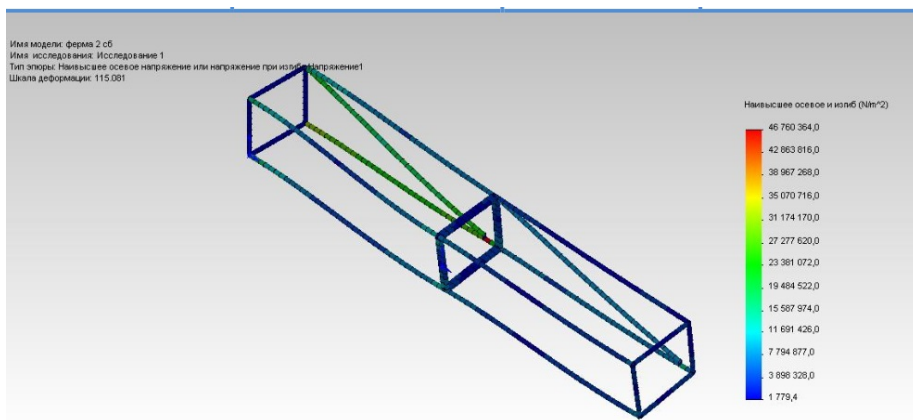
В цій роботі проведено статичний аналіз бокової ферми трекера ХНУ, а також вітрову стійкість проектного мобільного трекера. Обчислення проведені за допомогою додатку SOLIDWORKS SIMULATION.

Дослідження статичної стійкості ферми проводилися для визначення оптимальної конструкції ферми. Визначення матеріалів для виготовлення ферми.

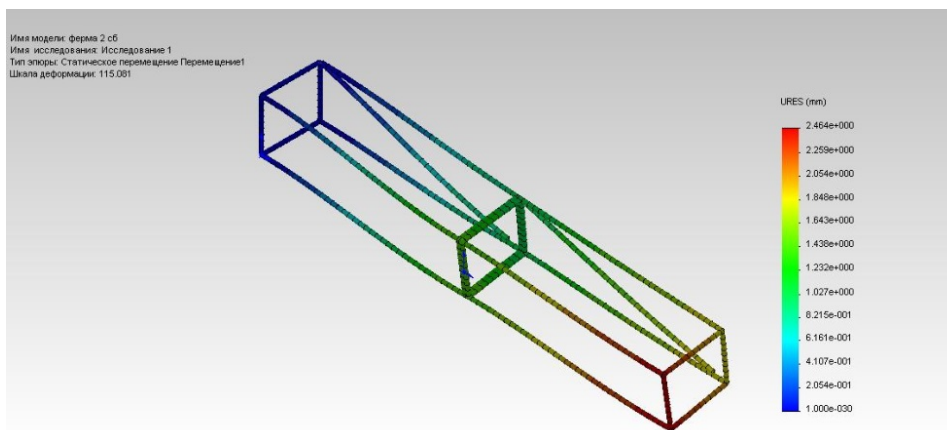
При виготовленні дослідного зразка сонячного трекера були виявлені значні статичні зміщення кінців ферм, на яких кріпляться сонячні панелі. Проведено статичне дослідження з прикладанням сил, еквівалентних вазі сонячних панелей і вітрового навантаження при швидкості вітру 5 м/с. Скріни дослідження привдені нижче.



Зварна конструкція ферми. Матеріал-профільна труба 20x20-1.0
 Сталь 3.кп.



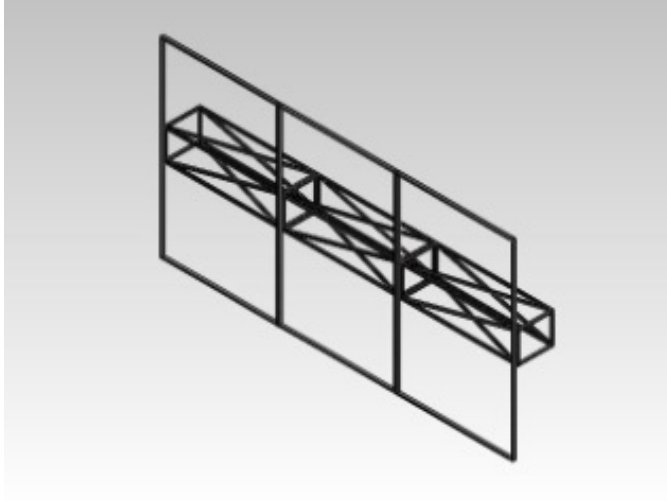
Конструкція стійкості не втратила, але має значний прогин-119мм.



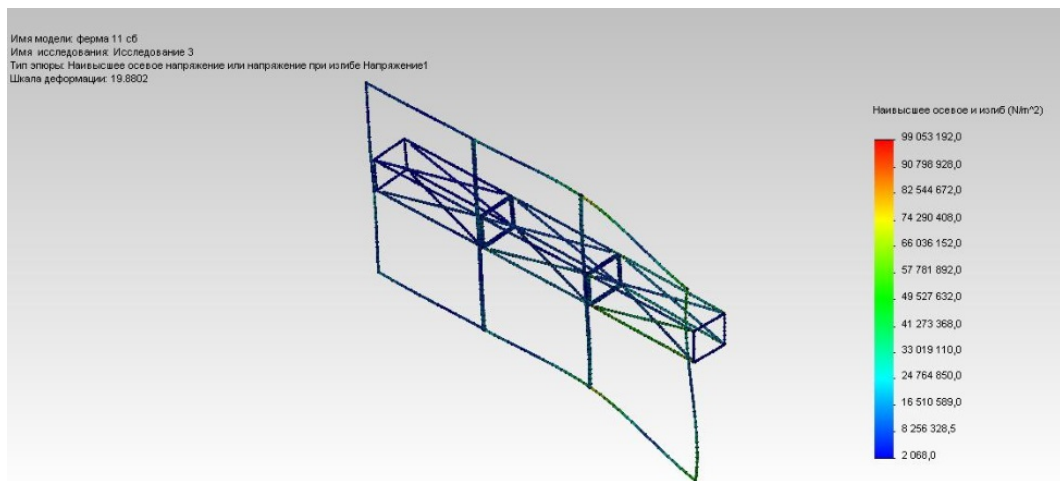
Критичні деформації виникають на кінці ферми.

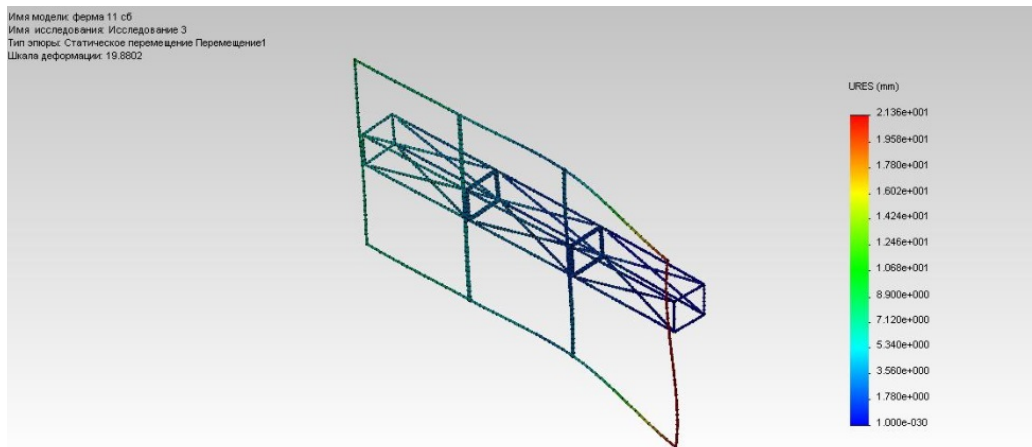
Для покращення роботи ферм були проведені додаткові роботи. Були вварені бокові розкоси. Після чого проведено нове дослідження.

Дослідження ферми з вварними розкосами.



Вварені бокові розкоси і рамки панелей закріплені жорстко між собою.



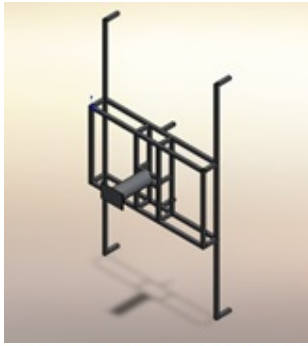


Переміщення і деформація стали значно менші, що є допустимими.

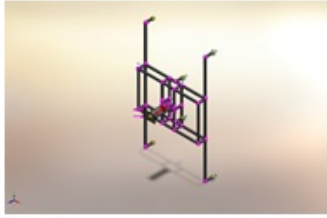
Також дослідження показало, що рамки сонячних панелей потрібно кріпити тільки до секцій ферми. І не скріплювати між собою. При скріпленні між собою рамок виникають критичні їх деформації.

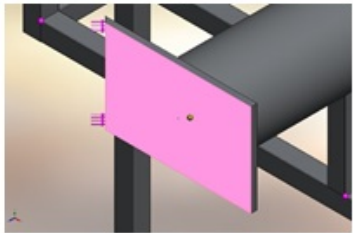

Для проектного сонячного мобільного трекера проведено дослідження статичної стійкості поворотного механізму при різних кутах нахилу сонячних панелей і різних швидкостях вітру. Нахили панелей вибрані по максимальному вітровому навантаженні, і максимальному часу роботи в такому положенні.

Це кути 128° і 135° по zenіту. Швидкість вітру вибиралась від сильного (10 м/с) до шторму (20 м/с). В якості дослідного трекера прийнята дослідна зварна конструкція профільної труби 60x60-2, і круглої труби $\varnothing 200$ мм, з товщиною стінки 4 мм. Що еквівалентно конструкції проектного мобільного сонячного трекера.



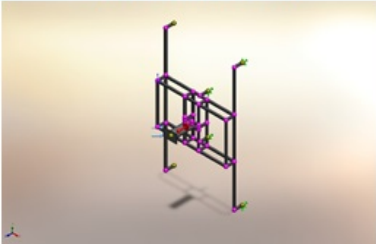
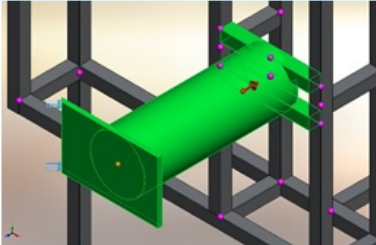
Навантаження поворотної опори

Назва світильника	Зображення світильника	Подробиці світильника
Виправлено-1		Тип: Фіксована геометрія

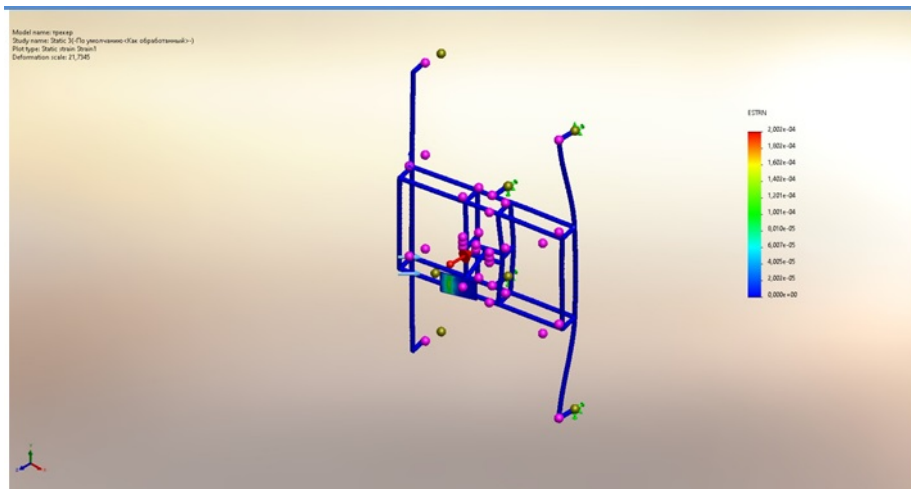
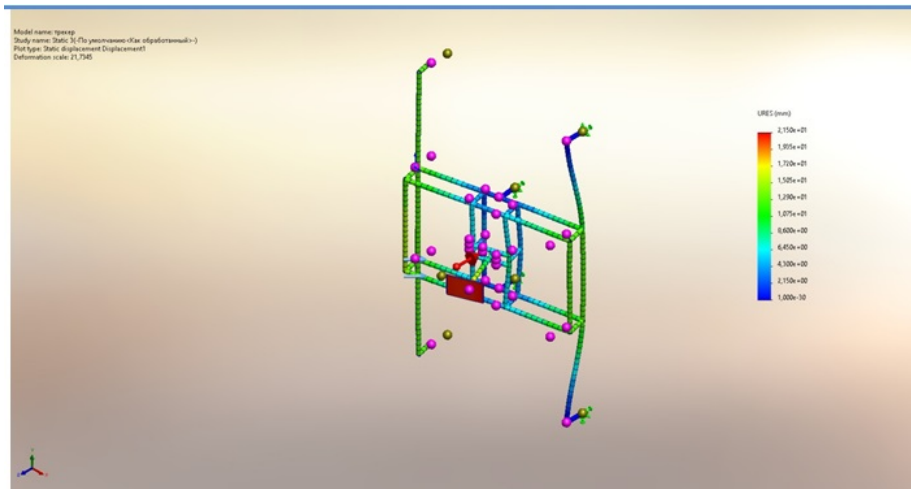
Ім'я завантаження	Завантажити зображення	Завантажити деталі
Сила тяжіння-1		Посилання: Обличчя < 1 > Значення: 0 0 9,81 Одиниць: м/с^2
Сила-1		Осіб: 1 особа (особи) Тип: Прикладіть звичайну силу Цінність: 8 810 Н

Навантаження становить 8810(Н), що відповідає швидкості вітру 20 м/с, і куту нахилу панелей по зеніту 135°.

Інформація про взаємодію

Взаємодія	Зображення взаємодії	Властивості взаємодії
Глобальна взаємодія		<p>Тип: Кабальні</p> <p>Компоненти: 1 компонент(и)</p> <p>Параметри: Незалежна сітка</p>
Компонентна взаємодія-1		<p>Тип: Кабальні</p> <p>Компоненти: 1 Суцільне тіло (и), 3 Промінь (и)</p> <p>Параметри: Незалежна сітка</p>

Еквівалентне закріплення поворотного механізму до рами трекера.



Дослідження показало що критичних переміщення і деформації в конструкції немає. Є невелике переміщення розкосів. Так як трекер мобільний і його експлуатація при такій швидкості вітру не рекомендується.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Заходи по забезпеченню нешкідливих та безпечних умов праці при роботі з електрообладнанням.

Одним з пріоритетних державних завдань є охорона життя та здоров'я громадян нашої країни в процесі їх трудової діяльності, створення та забезпечення усіх працюючих безпечними та нешкідливими умовами праці.

Охорона праці відіграє важливу роль, як суспільний фактор, тому що, навіть вагомі трудові здобутки не компенсують людині її втраченого здоров'я, а тим більше життя, тому що і те і інше дається лише один раз. Необхідно пам'ятати, що внаслідок нещасних випадків та аварій на підприємствах гинуть не просто робітники та службовці, на підготовку яких держава або підприємство витратили кошти, а в першу чергу люди – батьки та матері дітей, годувальники сімей. Крім соціального, охорона праці відіграє, також важливе економічне значення – це і зниження витрат на оплату лікарняних, підтримування на високому рівні продуктивності праці, зменшення компенсацій за роботу у важких та шкідливих умовах праці тощо.

Державна політика з питань охорони праці встановлена відповідно до Основного Закону України та спрямована на створення належних, безпечних, нешкідливих та здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Гарантоване Конституцією право громадянам України на належні, безпечні і здорові умови праці реалізується через охорону праці, яка визначається системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Основні принципи Державної політики виявляються не тільки як вимоги Конституції України, а й як комплексні аспекти визначення охорони праці [2].

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах [1]:

- пріоритету здоров'я та життя усіх працівників, несення повної відповідальності роботодавця за забезпечення належних, безпечних і здорових умов праці;

- покращення рівня безпеки за рахунок забезпечення проведення суцільного технічного контролю за станом технологій, виробництв, продукції, а також надавати підтримку підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

- комплексного здійснення завдань з охорони праці на базі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з врахуванням різних напрямів досягнень в області науки, техніки та охорони довкілля, економічної і соціальної політики;

- соціального захисту працівників: відшкодування в повній мірі шкоди особам, які постраждали від нещасних випадків на виробництві, та професійних захворювань;

- встановлення єдиних вимог з охорони праці для усіх суб'єктів підприємницької діяльності, підприємств незалежно від їх видів діяльності та форм власності;

- пристосування трудових процесів до можливостей працівника враховуючи його психологічний стан та здоров'я;

- використання економічних інструментів управління охороною праці, фінансування державою заходів з охорони праці, приєднання добровільних внесків та інших надходжень на цілі охорони праці, одержання яких не суперечить законодавству;

- проведення інформування населення, організація навчання, підвищення кваліфікації і професійної підготовки працівників з питань охорони праці;

- забезпечення узгодження органів державної влади, організацій, об'єднань громадян, установ, що вирішують проблеми гігієни, безпеки праці та охорони здоров'я;

- використання та впровадження світового досвіду з організації роботи по поліпшенню умов і підвищенню безпеки праці виходячи з міжнародного співробітництва [2].

Виробниче середовище представляє собою середовище, де людина виконує свою трудову діяльність з наявними умови праці, предметами, знаряддям та продуктами праці.

Виробнича безпека забезпечує захищеність здоров'я і життя працівників та інших осіб, майна підприємства від впливу на них шкідливих та небезпечних виробничих чинників. Небезпечний виробничий фактор – це виробничий фактор, який впливаючи на людину призводить до різкого погіршення здоров'я, травм, чи смерті. Шкідливий виробничий фактор – це виробничий фактор, який поступово впливаючи на людину може призвести до зниження працездатності, професійного захворювання, негативного впливу на здоров'я працівника та його нащадків. При певних зростаннях кількісної характеристики такої, як концентрація, рівень, тривалість впливу шкідливого виробничого фактору останній може перетворитися на небезпечний. Відповідно до визначень ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять» за природою дії небезпечні та шкідливі чинники класифікуються на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Фізичними небезпечними та шкідливими виробничими факторами виступають: рухомі механізми та машини; підвищена загазованість та запиленість повітря робочих приміщень; пересувні елементи виробничого обладнання; понижена чи підвищена температура матеріалів, поверхонь устаткування чи повітря робочої зони; підвищений рівень іонізуючих випромінювань, вібрацій, шуму, ультразвукових та інфразвукових коливань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, інфрачервоної чи ультрафіолетової радіації; понижені чи підвищені вологість, барометричний тиск, іонізація та рухомість повітря; небезпечно високе значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість магнітного чи електричного

полів; недостатність природного світла або штучного освітлення робочої зони; пряме або відбите випромінювання, що створює засліплюючу дію, підвищена яскравість світла [3].

Хімічними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є хімічні речовини, які за характером чи за наслідками дії на організм людини поділяються на сенсibiliзуючі, загальнотоксичні, канцерогенні, подразнюючі, мутагенні, ті, що впливають на дітородну функцію.

Біологічними небезпечними та шкідливими виробничими факторами виступають патогенні макроорганізми – тварини та рослини, мікроорганізми – віруси, бактерії, мікроскопічні гриби, відходи їх життєдіяльності.

Психофізіологічними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є нервово-психічні перевантаження такі, як розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження органів чуття, емоційні перевантаження та постійні фізичні статичні та динамічні перевантаження.

Вплив виробничих факторів може призводити до зниження працездатності, різкого погіршення здоров'я, професійного захворювання, травмування та смертельних наслідків. Охорона праці та техніка безпеки на підприємстві забезпечують зменшення та усунення дії виробничих факторів на працівників шляхом проведення профілактичних санітарно-гігієнічних, технічних. Організаційних заходів з покращення умов праці, вивченням та аналізу причин травматизму та професійних захворювань та вжиттям заходів, що унеможливають їх повторного виникнення.

Заходи з забезпечення безпечних умов праці при роботі з електроінструментом

Робота з електроінструментом потребує дотримання правил безпеки для запобігання травмам, ураженню електричним струмом та пошкодженню обладнання. Основні заходи безпеки поділяються на організаційні, технічні та індивідуальні аспекти.

1. Організаційні заходи

1. Інструктаж та навчання:

- Проведення вступного, первинного та періодичного інструктажу з охорони праці.
- Навчання працівників правилам безпечної експлуатації конкретних видів електроінструменту.

2. Контроль знань:

- Перевірка знань працівників щодо використання електроінструментів перед початком роботи.
- Перевірка кваліфікації працівників, які працюють з високовольтними або складними пристроями.

3. Організація робочого місця:

- Чітке зонування території для роботи з електроінструментом.
- Забезпечення достатнього освітлення робочої зони.
- Видалення зайвих предметів, які можуть заважати роботі.

4. Заборона допуску сторонніх осіб:

- Забезпечення роботи лише кваліфікованих працівників у зоні використання електроінструменту.
- Заборона виконання робіт у стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

2. Технічні заходи

1. Перевірка електроінструменту:

- Регулярний огляд перед початком роботи для виявлення видимих пошкоджень, таких як тріщини, пошкодження шнура чи вилки.
- Перевірка справності ізоляції, робочих деталей та заземлення (якщо передбачено конструкцією).

2. Періодичне технічне обслуговування:

- Виконання профілактичного обслуговування електроінструменту згідно з інструкцією виробника.
- Замір опору ізоляції та перевірка працездатності запобіжників.

3. Забезпечення засобів захисту:

- Установка автоматичних вимикачів та захисних реле від короткого замикання та витоку струму (ПЗВ).
- Використання інструментів із подвійною ізоляцією, якщо відсутнє заземлення.

4. Стабільне живлення:

- Забезпечення роботи електроінструменту від надійного джерела живлення.
- Заборона використання пошкоджених або саморобних подовжувачів.

5. Організація зберігання:

- Зберігання інструменту в сухих місцях, захищених від вологи, пилу та механічних пошкоджень

3. Індивідуальні заходи

1. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Діелектричні рукавички для захисту від ураження струмом.
- Захисні окуляри або щитки для запобігання потраплянню пилу, уламків або іскор у очі.
- Протиковзкі рукавиці для кращого утримання інструменту.
- Спеціальне взуття з ізоляційними підошвами.

2. Дотримання правил роботи:

- Заборона торкатися оголених проводів, частин інструменту або змінювати налаштування під час його роботи.
- Виконання робіт двома руками (якщо це передбачено конструкцією інструменту) для запобігання втрати контролю.
- Уникання роботи у вологих умовах без відповідного захисту (наприклад, діелектричних килимків).

3. Контроль положення кабелів:

- Кабелі не повинні бути натягнуті, заважати руху або потрапляти під рухомі частини інструменту.
- Забороняється витягати штепсельну вилку із розетки за кабель.

4. Умови навколишнього середовища

1. Вентиляція робочого місця:

- Забезпечення вентиляції у разі роботи з інструментом, що створює пил (болгарки, дрилі).
- Використання пиловловлювачів для зниження забруднення повітря.

2. Робота у вологих або вибухонебезпечних умовах:

- Заборонено працювати в умовах підвищеної вологості або в зоні з легкозаймистими газами, якщо інструмент не має відповідного класу захисту.

3. Організація місця для екстреного відключення:

- Забезпечення легкого доступу до вимикачів, розеток або щитів електроживлення у випадку аварії.

5. Поведінка в аварійних ситуаціях

1. При ураженні електричним струмом:

- негайно відключити живлення інструменту.
- Надати першу допомогу постраждалому (серцево-легенева реанімація, виклик медичної допомоги).

2. При загорянні інструменту:

- Використовувати вогнегасники, які підходять для гасіння електричного обладнання (вуглекислотні, порошкові).

3. При пошкодженні інструменту:

- Припинити роботу та передати інструмент для обслуговування або ремонту спеціалістам.

Дотримання правил безпеки при роботі з електроінструментом є важливою умовою запобігання травмам і забезпечення ефективності праці. Регулярний контроль стану інструменту, навчання персоналу, застосування індивідуальних засобів захисту та дотримання стандартів роботи дозволяють створити безпечне робоче середовище.

5.2 Загальні вимоги безпеки при експлуатації мобільних трекерів

Експлуатація мобільного сонячного трекера потребує дотримання спеціальних заходів безпеки через використання електричних компонентів, механічних систем руху та зовнішнього впливу погодних умов. Основна мета – забезпечити безпечну роботу персоналу, захист обладнання та уникнення аварійних ситуацій.

1. Загальні вимоги

1. Інструктаж персоналу:

- Усі працівники, які працюють з мобільним трекером, повинні пройти інструктаж з охорони праці та навчання з експлуатації трекера.
- Повинні бути ознайомлені з інструкцією з експлуатації обладнання, включно з аварійними ситуаціями.

2. Справність обладнання:

- Перед кожним використанням необхідно перевіряти технічний стан трекера, зокрема:
 - Електричні з'єднання.
 - Роботу механізмів обертання та нахилу.
 - Відсутність механічних пошкоджень чи деформацій.

3. Використання у встановлених умовах:

- Забороняється експлуатація трекера за межами його технічних характеристик (максимальне навантаження, допустима швидкість вітру, температурний режим).
- Використовувати тільки на рівній, твердій поверхні для уникнення перекидання.

4. Забезпечення заземлення:

- Усі металеві частини трекера, які можуть бути під напругою, повинні бути надійно заземлені для запобігання ураженню струмом.

5. Організація робочого місця:

- Зона роботи трекера повинна бути огорожена, щоб уникнути доступу сторонніх осіб.
- Робоче місце повинно бути очищене від сторонніх предметів, які можуть заважати руху механізмів.

2. Електробезпека

1. Підключення до електромережі:

- Роботи з підключення електричних компонентів повинні виконувати лише кваліфіковані спеціалісти.
- Заборонено використовувати пошкоджені кабелі, розетки або подовжувачі.

2. Захист від ураження струмом:

- Обов'язкове використання пристроїв захисного відключення (ПЗВ) для уникнення витоків струму.
- Всі роботи з електричною частиною трекера виконувати лише при знеструмленні обладнання.

3. Ізоляція проводів:

- Усі кабелі повинні мати надійну ізоляцію, захищену від механічних пошкоджень та впливу ультрафіолету.

4. Захист від блискавки:

- Установити блискавкозахисну систему для захисту трекера та електроніки від перенапруги під час грози.

3. Механічна безпека

1. Контроль рухомих частин:

- Забороняється торкатися рухомих частин трекера під час його роботи (механізми нахилу чи обертання).
- Перед запуском системи переконатися, що ніхто не перебуває у зоні руху трекера.

2. Фіксація в разі сильного вітру:

- У випадках прогнозу сильного вітру чи бурі слід перевести трекер у безпечне положення (горизонтальне або складене).

- Забезпечити фіксацію конструкції, щоб уникнути перекидання.

3. Регулярний огляд механізмів:

- Перевіряти стан шарнірів, електромеханічних приводів.
- Своєчасно усувати ознаки зносу чи люфту.

4. Вимоги до умов навколишнього середовища

1. Захист від погодних умов:

- Уникати роботи трекера у надмірно вологих або замерзаючих умовах, якщо система не має відповідного захисту.
- Не працювати під час грози або снігопаду.

2. Моніторинг кліматичних умов:

- Регулярно стежити за прогнозом погоди.
- При підвищенні швидкості вітру вище допустимих норм (наприклад, понад 15-20 м/с) роботу трекера слід призупинити.

5. Організація обслуговування та ремонту

1. Періодичне обслуговування:

- Технічний огляд трекера проводити не рідше одного разу на місяць.
- Регулярно чистити сонячні панелі від пилу, бруду та снігу.

2. Ремонт тільки кваліфікованими спеціалістами:

- Заборонено самостійно розбирати чи ремонтувати електроніку трекера.
- Для ремонту використовувати тільки оригінальні запчастини, рекомендовані виробником.

6. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

1. Захисні засоби:

- Працівники повинні використовувати:
 - Діелектричні рукавички для робіт із електричними компонентами.
 - Протиковзке взуття.

- Захисні окуляри для уникнення травм очей під час механічного обслуговування.

2. Робочий одяг:

- Носити спеціальний одяг, що не має вільних елементів, які можуть зачепитися за рухомі частини трекера.

7. Дії у разі аварійної ситуації

1. При ураженні електричним струмом:

- негайно знеструмити трекер.
- Надати першу допомогу постраждалому та викликати медиків.

2. При пошкодженні механізмів:

- Зупинити роботу трекера та повідомити відповідальну особу.
- Уникати спроб самостійного усунення несправності без належної кваліфікації.

3. При погодних катастрофах:

- Перекласти панелі в безпечне горизонтальне положення.
- За можливості демонтувати трекер або зафіксувати його на місці.

Дотримання загальних вимог безпеки при експлуатації мобільного сонячного трекера забезпечує безпечну роботу персоналу, зменшує ризики пошкодження обладнання та гарантує стабільну роботу системи навіть у складних умовах. Регулярний контроль, своєчасне обслуговування та навчання працівників є ключовими факторами для досягнення цих цілей.

ВИСНОВКИ

Під час виконання даної магістерської роботи було розроблено конструкцію мобільного сонячного трекера.

На першому етапі було проаналізовано типи сонячних трекерів, їх технічні, технологічні, економічні характеристики. Розглянуто аналоги конструкцій.

У конструкторському розділі спроектовано прототип мобільного сонячного трекера потужністю 3кВт. Розрахований і спроектований механізм повороту сонячного трекера. Розраховано і спроектовано черв'ячний редуктор мобільного сонячного трекера.

Наступним етапом було пропрацьовано технологію виготовлення деталі черв'ячного редуктора- черв'ячного вала.

Далі було обране технологічне обладнання, металорізальний інструмент та розраховано режими різання.

Розроблено в САМ Esprit програму оброблення на горизонтально-токарному верстаті ST-20 черв'ячного вала.

У дослідницькому розділі проведено статичне дослідження в середовищі Solidworks Simulation. Розраховано статичну стійкість ферм сонячних панелей дослідного сонячного трекера ХНУ. А також проведено дослідження статичної стійкості поворотного механізму розробленого мобільного сонячного трекера.

У відділі охорони праці наведені поради щодо створення безпечних умов праці на виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009 528 с.
2. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» (для студентів напрямку підготовки 6.050502«Інженерна механіка»). / Укладачі: Бабенко М.О., Горячева Т.В. Красноармійськ, Видавництво Красноармійського індустріального інституту, 2009. 67 с.
3. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник / Юрчишин І.І. та ін. Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
4. Гевко Б.М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б.М., Матвійчук А.В. Тернопіль: ТДТУ, 2004 .131 с.
5. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
6. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВПОЛ,1995. 465 с.
- 7.
8. Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
9. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша 2004. 248 с.
10. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми: Університетська книга, 2001. 345 с.

11. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tm_8/page7.html

12. 1. Деталі машин [Текст] : підручник : затверджено МОН України / А. В. Мінняйло [та ін.]. - К. : Агроосвіта, 2013. - 448 с.
13. 2. *Павлице В. Т.* Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – Афіша. – С. 560. – ISBN 966-8013-58-1.
- 14.3. Конспект лекцій з інженерної механіки (Деталі машин) для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / О. О. Дереза. – Мелітополь. – ВПЦ «Люкс», 2019. – 70 с.

1 Solar Trali Ki Kimat | Khubsurat Fitting Me Solar Trali
<https://www.youtube.com/watch?v=DM4UZlk6fxk>

2 Solar rickshaw full review MODREN FARMERS in pakistan
<https://youtu.be/fCup7Vx-TgI?si=ZZFlvrcDsvFNrVYU>

3 DFAH Solar Trolley 500rs per day , Movable by Motorcycle Solar Trolley, Multi Purpose Solar Trolley <https://youtu.be/rBFMdVlswPw?si=bX4eGjddEjF58jqX>

4 <https://youtu.be/xRNVKO-gvkY?si=bV7ZlZs2Hw6mXo0m>

5 <https://youtu.be/Qzg4YI-3ZHE?si=a5Z-NqYTqORc90gV>

6 <https://youtu.be/RgUi4b4hwqc?si=XnhvgozE0fIMDLN->

7 https://youtu.be/A_rv5Faa78c?si=gStRa6KlbgLQKIs

8 https://youtu.be/2OyitfgNb9U?si=r_0Yn_iClpm2nvvy

9 <https://youtu.be/gC7ubCuuDYk?si=YIF2QZdxQ5MumW8g>

10 <https://youtu.be/FJ5sYn6zNM4?si=hCQc8AO4j2vVRLuk>
<http://www.quantumharvest.net>

11 <https://youtu.be/N4MuwpulDJs?si=a4c8Jzo-tlj2t2Of>

12. AQUARIUS - Mobile Solar Water Pump <http://www.multiconsolar.de>

13.Solar Trolley 26 panel system...430Watt power generating system.

<https://youtu.be/1PhiZD77zXA?si=9aTRax9tP1zY2mFJ>

14. Mini Solar trolley || Machines visit [https://youtu.be/_yYA-](https://youtu.be/_yYA-URma3Y?si=AZf6Iz5YJM4Vf9pM)

[URma3Y?si=AZf6Iz5YJM4Vf9pM](https://youtu.be/_yYA-URma3Y?si=AZf6Iz5YJM4Vf9pM)

15 Solar Trolley 36 plate | Chaking Solar Trolley | Waqas
Vlogger <https://youtu.be/tVe9y9IEzSY?si=3JRcfI3CPQs38rvT>

https://www-quantumharvest-net.translate.goog/sun-tracking-model-st-4000-60-tsw-solar-power-unit/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc