Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота

на тему:

«ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИВОДУ МОДУЛЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ CAD/CAE-СИСТЕМ»

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ПМ-20б
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
_____ Максим СОКОЛОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ТАМ
_____ Олег ПОНТКЕВИЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)
« 06 » _____06_____ 2024 р.

Рецензент: к.т.н., ст. викл. каф. АТМ
_____ Олег АНТОНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)
« 12 » _____06_____ 2024 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТАМ Козлов Л. Г.
« 12 » ___06___ 2024р.

Вінниця ВНТУ — 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри)
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 13 «Механічна інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані технології та мехатронні системи в машинобудуванні
(назва освітньо-професійної програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ
начальник виробничо-технологічної служби ТОВ «ГРІН КУЛ»
_____ Ницимайло В. О.
«11» 03 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ТАМ
д. т. н., професор Козлов Л. Г.
_____
«11» 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Соколовський Максим Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем

Керівник роботи Піонткевич Олег Володимирович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від «11» березня 2024 року № 80

2. Термін подання студентом роботи: 14 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): схема приводу модуля лінійних переміщень; габаритні розміри каретки 480x480 мм; вантажопідйомність 130 кг; максимальна швидкість переміщень 0,45 м/с; хід каретки 2 м.

4. Зміст текстової частини: вступ, анотації, службове призначення виробу; аналіз кінематичної схеми; обгрунтування конструкції рами приводу; вибір крокового двигуна; розрахунок зубчасто-рейкової передачі; розрахунок валів та підшипників приводу; обслуговування та мащення елементів приводу; розробка системи керування; опис роботи спроєктованого автоматизованого приводу; охорона праці; перелік посилань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
складальний кресленик виробу;
робочий кресленик однієї із деталей

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Олег ПІОНТКЕВИЧ, доцент кафедри ТАМ	11.03.24р	06.06.24р
Охорона праці	Інна ВИШТАК, доцент кафедри БЖД ПБ	27.05.24р	06.06.24р

7. Дата видачі завдання « 11 » березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Терміни виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.24р	20.03.24р	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	23.04.24р	26.04.24р	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	27.05.24р	29.05.24р	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	27.05.24р	06.06.24р	
5	Перевірка на антиплагіат	06.06.24р	07.06.24р	
6	Попередній захист БДР	06.06.24р	07.06.24р	
7	Нормоконтроль БДР	10.06.24р	11.06.24р	
8	Рецензування БДР	11.06.24р	12.06.24р	
9	Захист БДР	18.06.24р.	21.06.24р.	

Студент _____ Максим СОКОЛОВСЬКИ
(підпис) (Ім'я і прізвище)

Керівник роботи _____ Олег ПІОНТКЕВИ
(підпис) (Ім'я і прізвище)

АНОТАЦІЯ

УДК 621

Соколовський М. Є. Проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Комп'ютеризовані технології та механотронні системи в машинобудуванні, Вінниця: ВНТУ, 2024. 80 с.

На укр.мові. Бібліогр.: 21 назв; рис.: 33; табл.: 11.

У роботі спроєктовано автоматизований привод модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем.

В основній частині роботи обґрунтовано службове призначення виробу, проведено аналіз кінематичної схеми; проєктування конструкції рами приводу; вибір крокового двигуна; розрахунок зубчасто-рейкової передачі; розрахунок валів та підшипників приводу; обслуговування та мащення елементів приводу; розробка системи керування; опис роботи спроєктованого автоматизованого приводу.

В розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих і небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні, наведені рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

В графічній частині розроблено складальне креслення виробу та робоче креслення кронштейну, що фіксує кроковий двигун.

Ключові слова: модуль лінійних переміщень, автоматизований привод, CAD/CAE-системи.

ABSTRACT

Sokolovskyi M. Ie. Designing the automated drive of the linear movement module using CAD/CAE systems. Bachelor's thesis in specialty 131 - Applied Mechanics, educational program - Computerized technologies and mechatronic systems in mechanical engineering, Vinnytsia: VNTU, 2024. 80 c.

In Ukrainian language. Bibliography: 21 titles; Figs. 33; Tables: 11.

In the work, the automated drive of the linear movement module was designed using CAD/CAE systems.

In the main part of the work, the service purpose of the product is substantiated, the analysis of the kinematic scheme is carried out; design of the drive frame structure; stepper motor selection; calculation of rack-and-pinion transmission; calculation of drive shafts and bearings; maintenance and lubrication of drive elements; management system development; description of the operation of the designed automated drive.

The occupational health and safety section addresses such issues as the causes, effects on the human body, and regulation of harmful and hazardous production factors in the production facility, provides recommendations for improving working conditions, and considers fire safety standards.

In the graphic part, an assembly drawing of the product and a working drawing of the bracket fixing the stepper motor were developed.

Keywords: linear movement module, automated drive, CAD/CAE systems.

ЗМІСТ

ВСТУП

На сьогоднішній день в галузі машинобудування практикується і розвивається напрямок автоматизації. Стрімко проєктуються нові автоматизовані приводи. Проєктування автоматичних приводів з модулями лінійного переміщення представляє собою складний процес, який вимагає високого рівня інженерних навичок для вибору конструкції, розробки приводу та проведення перевірочних розрахунків. Спроєктована система керування на основі автоматичних чи мехатронних приводів використовує програмні алгоритми і датчики. Керуючи рухом модуля та реагуючи на зовнішні команди без необхідності людського втручання дозволяє підвищити безпеку виробництва, продуктивність та виключення людського фактору появи помилки. Саме тому такі системи є актуальними.

Метою бакалаврської дипломної роботи є проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: спроєктувати конструкцію рами приводу, підібрати кроковий двигун, обґрунтовати елементи зубчасто-рейкової передачі та мащення її елементів, розробити систему керування та запрограмувати мікроконтролер, проаналізувати вимоги з охорони праці, розробити конструкторську документацію.

Апробація результатів роботи. Доповіді на конференціях:

Трегубов В. О., Соколовський М. Є., Ницимайло В. О., Піонткевич О. В. Удосконалення гідроприводів мобільних робочих машин пропорційною гідроапаратурою та мікроконтролером. Матеріали Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування» : збірник наукових праць. Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 257-261.

Соколовський М. Є., Мельник А. С., Маслов Я. В. Проєктування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей з використанням CAD/CAM-систем. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20429.

1 СЛУЖБОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ВИРОБУ ТА АНАЛІЗ КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ

1.1 Службове призначення модуля лінійних переміщень

Модулі лінійних переміщень стають все більш поширеним для вирішення різноманітних технічних завдань в області прикладної механіки, пов'язаних з переміщенням заготовок, деталей і інших виробничих модулів. Ці процеси є закономірними, точними і в більшості випадків забезпечуються автоматизацією рухів.

Принцип роботи модулів лінійного переміщення полягає в перетворенні обертального руху електродвигуна в поступальний рух переміщення за допомогою різних механічних передавальних пристроїв, таких як кулькові гвинти, трапецієподібні гвинти, ремінні приводи і зубчасті передачі. Залежно від конструкції і застосування, модулі лінійного переміщення можуть використовувати різні типи електродвигунів, включаючи промислові асинхронні двигуни загального призначення, асинхронні і синхронні серводвигуни, крокові двигуни і крокові сервоприводи. Для забезпечення точного позиціонування, необхідної швидкості і безпеки модулі лінійного переміщення зазвичай оснащуються кінцевими вимикачами, датчиками лінійного положення, захистом від перенапруги і спеціальними покриттями для використання в агресивних умовах експлуатації.

Перевагою проєктованого модуля лінійних переміщень є більш висока точність і жорсткість елементів конструкції в порівнянні зі звичайними засобами, такими як конвеєрні стрічки, що дозволяє будувати багатоосьові системи і робото-машинні комплекси. Вибір великої кількості компонентів для модуля лінійного переміщення може призвести до складних конструкцій і зайвих витрат. Тому розробка і програмування нових модулів лінійного переміщення вимагає раціонального підходу до необхідної конструкції приводу, орієнтуючись, в першу чергу, на вимоги до точності, стабільності і динаміки процесу.

1.2 Аналіз кінематичної схеми приводу

Для проєктування даного механізму використаємо вихідні дані:

– габаритні розміри каретки (в плані) – 480х480 мм;
– вантажопідйомність – 130 кг;
– максимальна швидкість переміщення – 0,45 м/с;
– хід каретки – 2,0 м.

Раціональним варіантом для забезпечення поступального переміщення каретки буде використання лінійних напрямних, оскільки вони мають малі сили опору, високу довговічність, надійність, прості в обслуговуванні. У якості передачі приводу буде використано зубчасто-рейкову, шестерня якої напряму з'єднуватиметесь з кроковим електродвигуном (див. рис. 1.1).

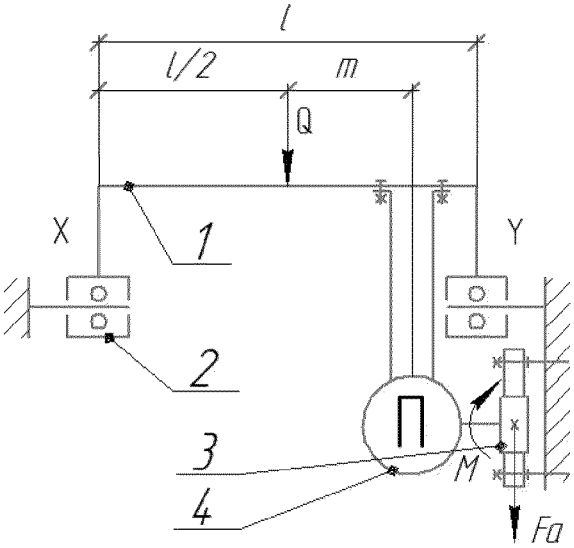


Рисунок 1.1 – Запропонована кінематична схема модуля лінійного переміщення:
1 – каретка, 2 – опора кочення, 3 –зубчасто-рейкова передача, 4 – електродвигун

Із завдання за відомою вантажопідйомністю, орієнтовно розрахуємо масу каретки з кроковим електродвигуном (еквівалентну масу платформи) за такою умовою:

$$m_{\text{к}} = (0{,}25 \ldots 0{,}5) \cdot m \text{ [кг]}, \tag{1.1}$$

де m – маса вантажу, що встановлюється на платформу, $m = 130$ кг. Таким чином,

$$m_{\text{к}} = (0{,}25 \ldots 0{,}5) \cdot 130 = 32{,}5 \ldots 65 \text{ (кг)}.$$

Обґрунтуємо вибір еквівалентної маси платформи. На основі вихідних даних в середовищі SolidWorks [1] спроєктовану пластину 480x480 мм для катерки (див. рис. 1.2) та визначимо відповідні масові характеристиками – 25 кг, також врахуємо вагу крокового електродвигуна [2] з кронштейном та шестірнею до 10 кг.

Отже, основну масу каретки буде нести платформа (верхня плита) з розміщеним під нею кроковим електродвигуном, що загалом відповідає попереднім розрахункам еквівалентної маси каретки $m_{\text{к}} = 35$ кг. На каретку зверху встановлюються всі технологічні елементи та устаткування та закріплено в підготовлені отвори Ø13 мм. Каретка виконана у формі прямокутного паралелепіпеда, з товщиною у 14 мм та із якісної конструкційної сталі 20 ДСТУ 7809:2015 із аналогом в США AISI 1020.

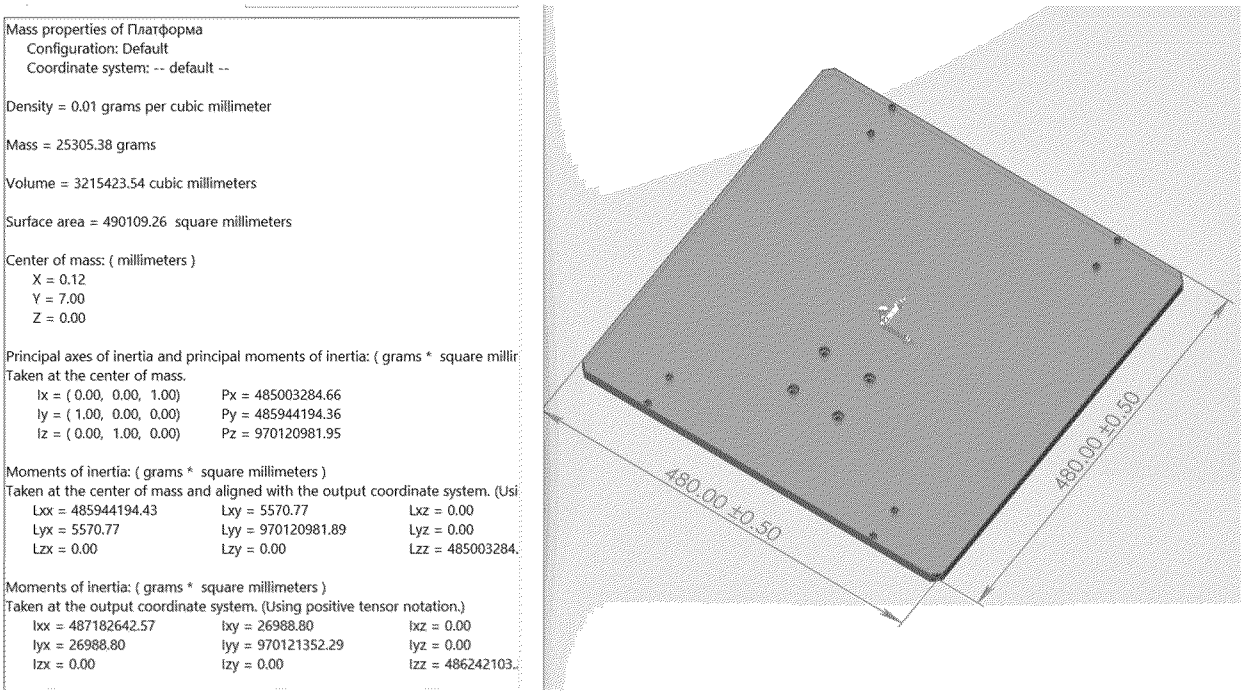


Рисунок 1.2 – Визначення маси каретки модуля лінійних переміщень

Навантаження на платформу представлено у вигляді вертикальної статичної сили Q, що враховує еквіваленту вагу платформи $m_к g$ та вантажопідйомність mg, і діє в середині прольоту платформи. Розрахункове навантаження на платформу:

$$Q = (m_к + m)g \text{ [Н]}, \tag{1.2}$$

$$Q = (35 + 130) \cdot 9{,}81 = 1619 \text{ (Н)}.$$

Розрахункова колова сила зубчасто-рейковій передачі розрахуємо за формулою:

$$F_t = F_{оп} + F_i \text{ [Н]}, \tag{1.3}$$

де $F_{оп}$ – сила статичного опору зумовлена тертям в лінійних напрямних, Н;

F_i – інерційна сила при розгоні системи, Н.

Силу статичного опору в рейковій напрямній кулькового типу визначають за формулою [3]:

$$F_{оп} = n \cdot F_0 \cdot z + f_k \cdot Q \text{ [Н]}, \tag{1.4}$$

де $F_0 = 6(H)$ – попередня сила тертя в кульковій напрямній внаслідок створення попереднього натягу;

$z = 4$ – число контактних доріжок (в одному опорному елементі);

$f_k = 0{,}015$ – коефіцієнт тертя кочення сталь по сталі із мащенням;

$n = 4$ – кількість напрямних кулькового типу.

$$F_{оп} = 4 \cdot 6 \cdot 4 + 0{,}015 \cdot 1619 = 120 \text{ (Н)}.$$

Силу інерції розраховуємо з врахуванням маси платформи з вантажем та

швидкості його руху за наступною формулою:

$$F_i = (m_к + m) \cdot \frac{v}{t_p} \text{ [Н]}, \tag{1.5}$$

де t_p – час розгону платформи з вантажем, який орієнтовно приймати рівним:

$$t_p \geq (1{,}4 \ldots 1{,}7)v. \tag{1.6}$$

Розраховуємо час розгону платформи з вантажем:

$$t_p \geq (1,4 \ldots 1,7) \cdot \ 0,45 = 0,63 \ldots 0,77(c).$$

Приймаємо t_p= 0,7 с та розрахуємо інерційну силу за формулою (1.5):

$$F_i = (35 + 130) \cdot \ \frac{0,45}{0,7} = 106\,(\text{Н}).$$

Знайдемо розрахункову колову силу за формулою (1.3):

$$F_t = 120 + 106 = 226(\text{Н}).$$

Потужність приводу визначається як добуток розрахункової колової сили до максимальної швидкості переміщення платформи за формулою:

$$P_2 = F_t v [\text{Вт}], \tag{1.7}$$

$$P_2 = 226 \cdot \ 0,45 = 101,7\,(\text{Вт})$$

Потужність крокового електродвигуна приводу з врахуванням коефіцієнту корисної дії зубчасто-рейкової передачі розрахуємо за формулою (1.8):

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_1 \cdot \eta_2} [\text{Вт}], \tag{1.8}$$

де $\eta_1 = 0{,}94$ – коефіцієнт корисної дії зубчасто-рейкової передачі;

де $\eta_2 = 0{,}92$ – коефіцієнт корисної дії крокового електродвигуна приводу, який приводить в рух платформу.

Розрахуємо потужність електродвигуна приводу за формулою (1.8):

$$P_1 = \frac{101,7}{0,94 \cdot 0,92} = 117,6 (\text{Вт}).$$

Попередньо приймемо розрахункову потужність крокового електродвигуна приводу 120 Вт.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ПРИВОДУ

При проєктуванні і виробництві конструкції рами приводу необхідно забезпечити її міцністні показники. Згідно запланованого завдання конструкція рами приводу має вигляд конструктивного рішення, яке показано на рис. 2.1.

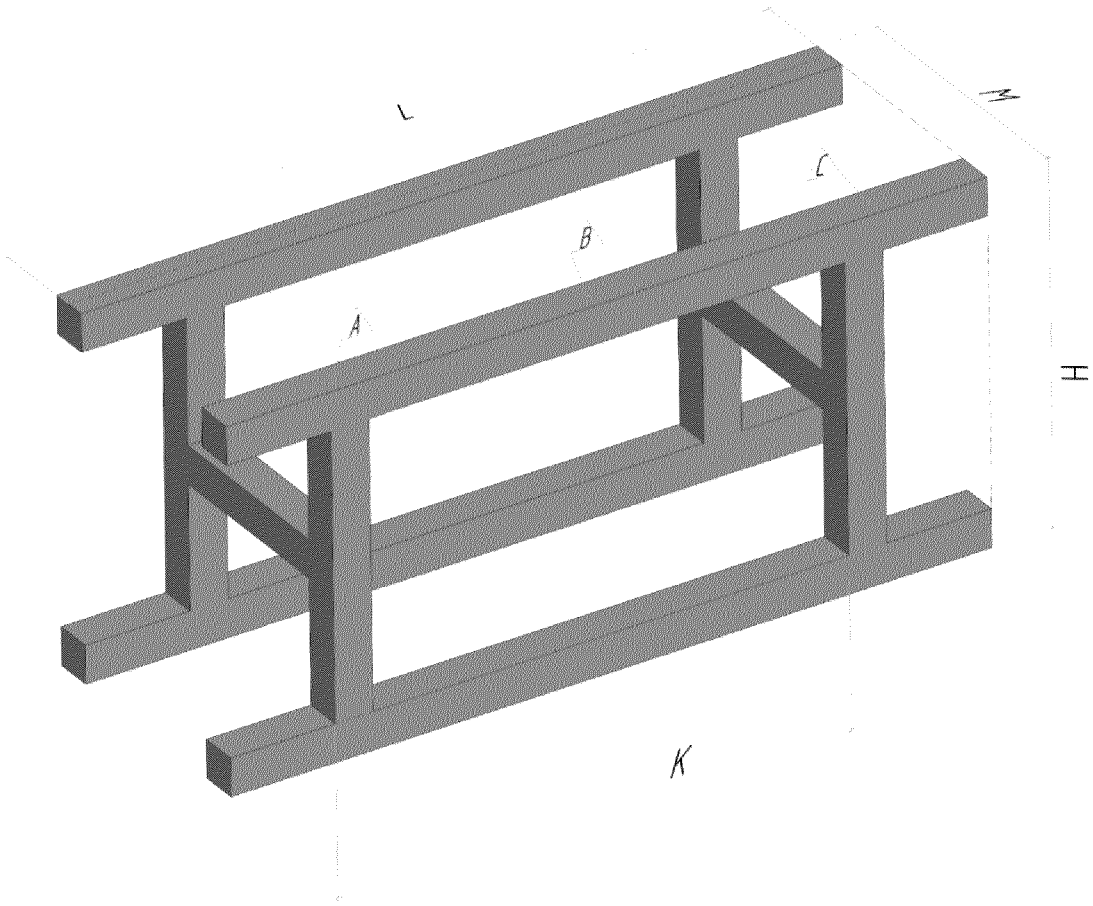


Рисунок 2.1 – Конструктивне рішення рами приводу

Вихідними даними для розробки несучої конструкції виробу є наступні параметри згідно рисунку 2.1: K= 1850 мм, M= 460 мм, H= 525 мм, L= 2500 мм.

В роботі конструктивне рішення рама приводу, яка є збірною конструкцією і складається із труб прямокутного профілю також присутні пластини для з'єднань в місцях стиків. Платформа знаходить у верхній частині рами та переміщується за згідно керуючої програми із крайнього лівого положення до крайнього правого положення та в зворотному напрямку із затримками. Верхні і нижні частини рам

з'єднані опорами із труби прямокутного профілю між якими відстань складає 1850 мм. Опори в свою чергу з'єднані між собою перемичками по центру.

Під час експлуатації можуть виникати наступні проблеми із втратою жорсткості або міцності конструкції: прогинання рами в центральній позиції під дією навантаження, втрата стійкості опори під навантаженням, розрив болтових з'єднань під навантаженням та інші.

Для розрахунку конструкції рами на міцність використаємо метод скінченних елементів (МСЕ) [4]. Основною ідеєю МСЕ є розділ досліджуваної конструкції на певну кількість простих елементів (скінченних елементів). З рівнянь, що описують стан окремих елементів, можна скласти систему рівнянь для конструкції загалом. При цьому, умови сумісності виконуються лише у відповідних дискретних точках (вузлах). В результаті, МСЕ по суті зводиться до апроксимації безперервної області з нескінченним числом ступенів вільності сукупністю дискретних під областей, що мають скінченне число ступенів вільності. Для проведення досліджень було запропоновано та розроблено тривимірну модель прототипу конструкції рами із необхідними вихідними даними (див. рис. 2.2). В основу прототипу конструкції рами закладено труба з прямокутнім профілем 30х50 мм, товщиною стінки 2,0 мм та матеріалом Сталь 20 ДСТУ 7809:2015 або аналогом AISI 1020.

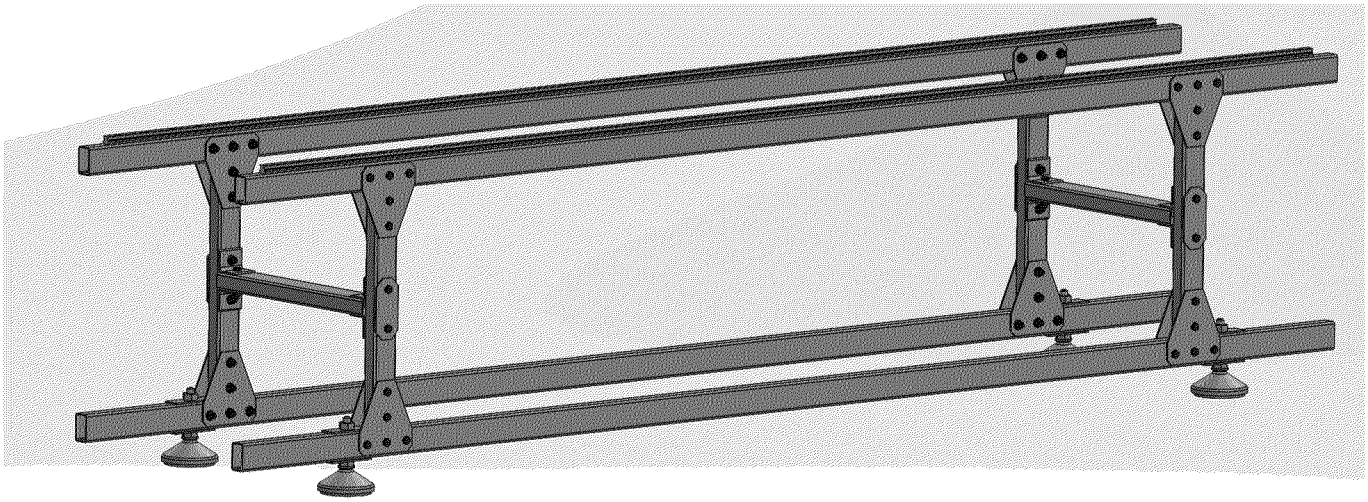


Рисунок 2.2 – Прототип конструкції рами приводу

Для конструювання прототипу рами приводу також було обрано пластини закріплення стиків труб із матеріалу аналогічної марки матеріалу та товщиною 3,0 мм. З'єднання усіх елементів виконувалося за допомогою болтів М8х50 мм стандарту ISO 4014.

Крім цього на рамі розміщено попередньо підібрані напрямні KUVE15-B-EC, які можуть використовуватися на таких модулях лінійних переміщень, а також встановлено регульовані опори, для розміщення рами приводу на нерівній поверхні.

Наступним етапом проводилися статичні розрахунки на міцність програмним середовищем SolidWorkcs Simulation, що використовує метод скінченних елементів з побудовою тетраедальної сітки 8 високої точності. Розмір сітки елементів становив 55 мм (див. рис. 2.3). На рис. 2.4 показано основні початкові умови для моделювання.

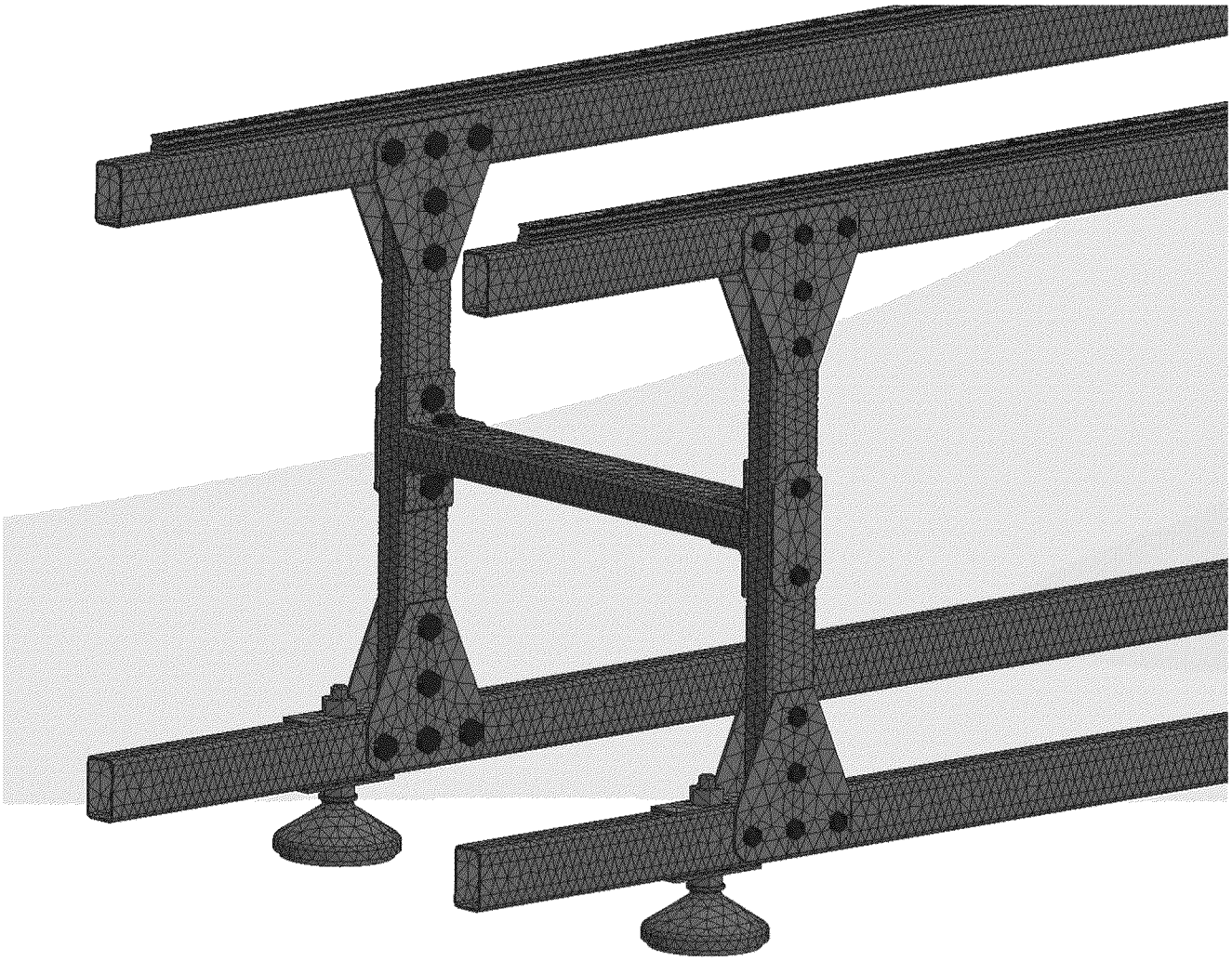


Рисунок 2.3 – Частина рами з схемою накладання скінчено-елементної сітки

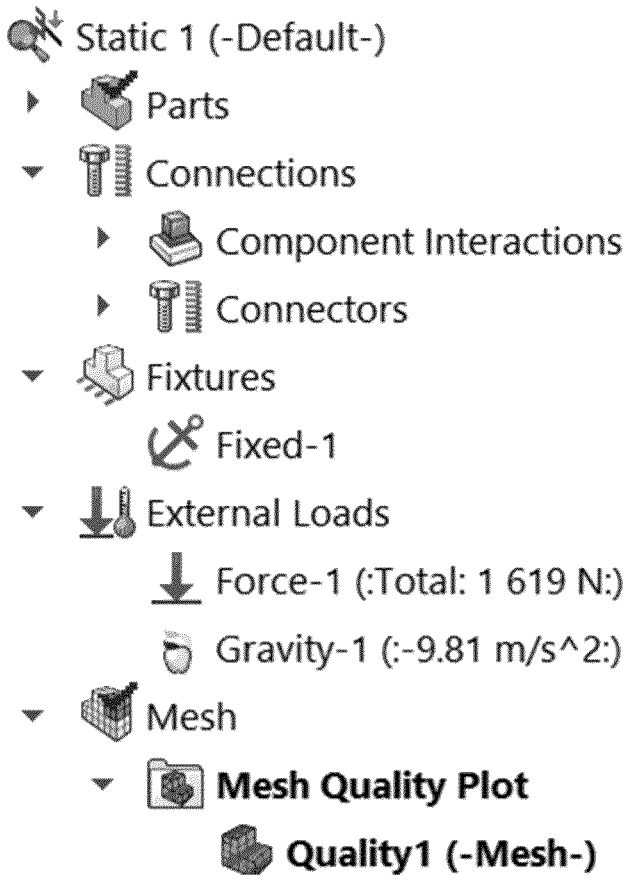


Рисунок 2.4 – Налаштування навантаження рами

Навантаження на прототип рами відбувається згідно з рис. 2.5 і становило 1619 Н згідно розрахунків з розділу 1 від ваги платформи з навантаженням. Фіолетові стрілки показують прикладання навантаження, а зелені – місця кріплення рами.

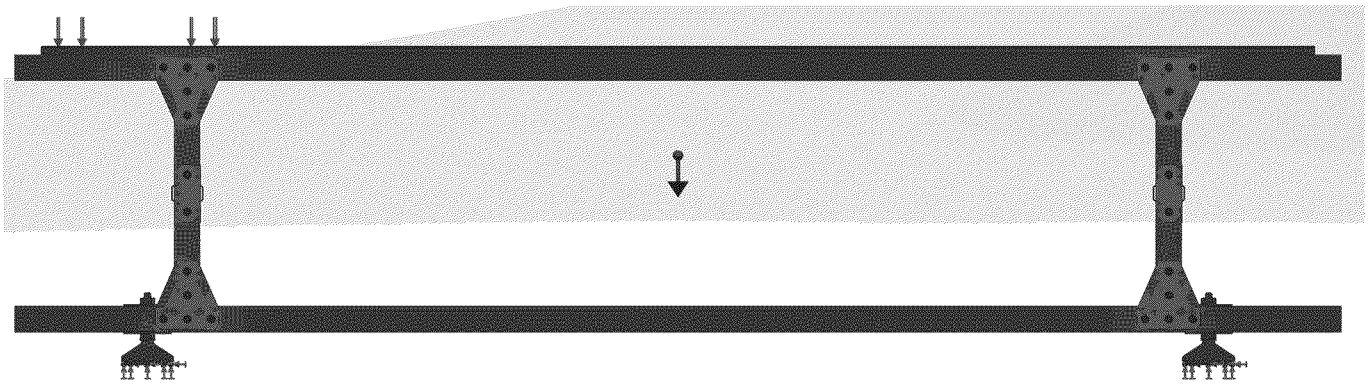


Рисунок 2.5 – Схема навантаження в лівій позиції рами

Побудуємо схему навантажень та деформації, вони представлені на рисунках

2.6 та 2.7. Вони показують напруження та деформацію, які виникають в конструкції при положенні каретки на краю рами.

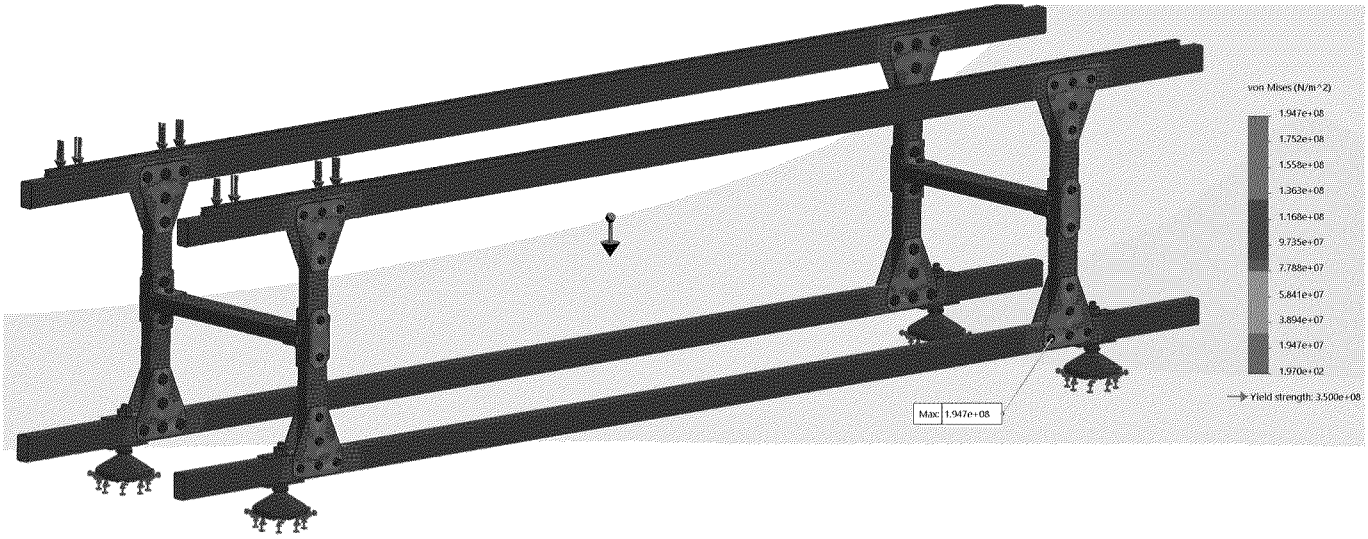


Рисунок 2.6 – Напруження, що виникають в конструкції рами

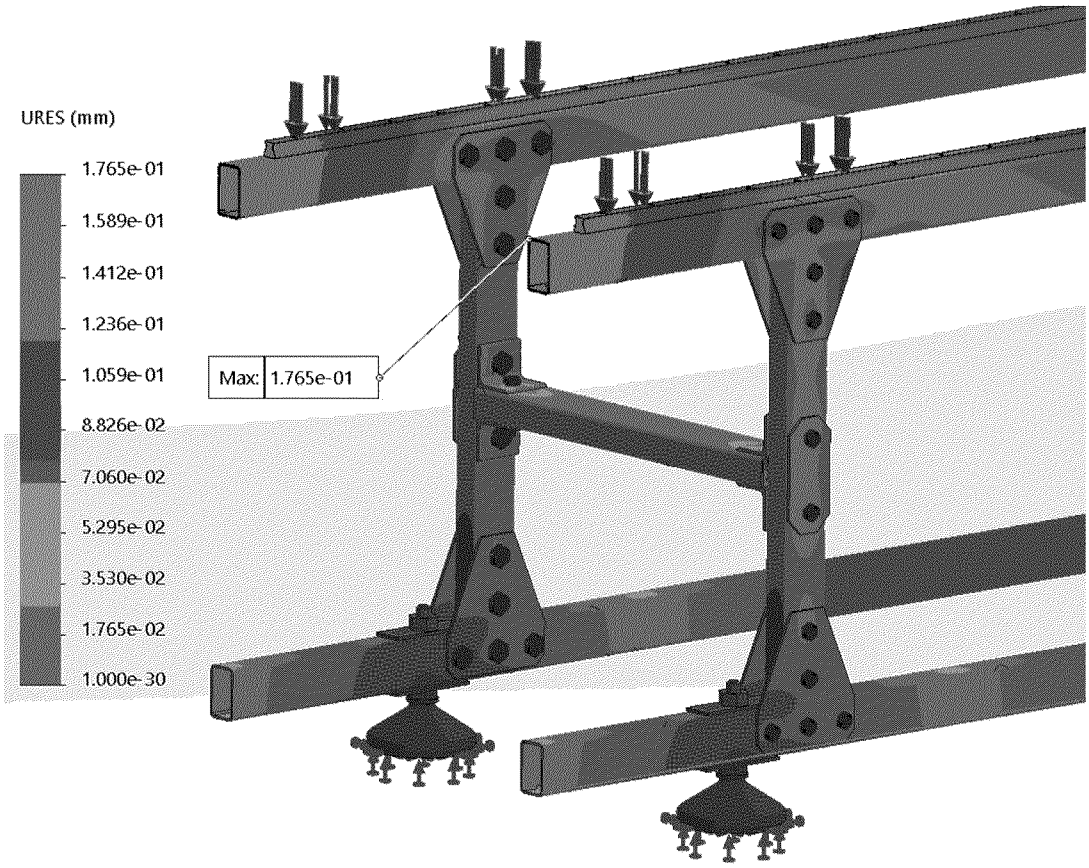


Рисунок 2.7 – Максимальна деформація, що виникає в конструкції рами

Усе це свідчить про правильність підібраного профілю для побудови рами, при умові, що межа плинності матеріалу дорівнює 351 МПа. На рисунку 2.8 ми спостерігаємо розрахований коефіцієнт запасу міцності 1,79 для найнавантаженішої ділянки конструкції прототипу рами, який нас задовольняє.

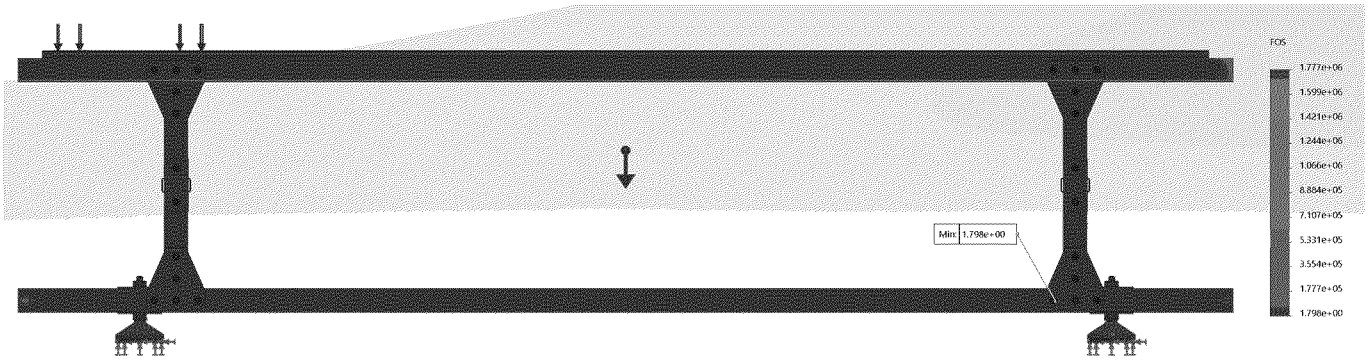


Рисунок 2.8 – Розрахований коефіцієнт запасу міцності для найнавантаженішої ділянки прототипу конструкції рами

Наступний небезпечний варіант дії навантаження може бути у випадку центрального положення каретки. Схема навантаження прототипу конструкції рами при дії навантаження в центральній позиції показано на рис. 2.9 - 2.12.

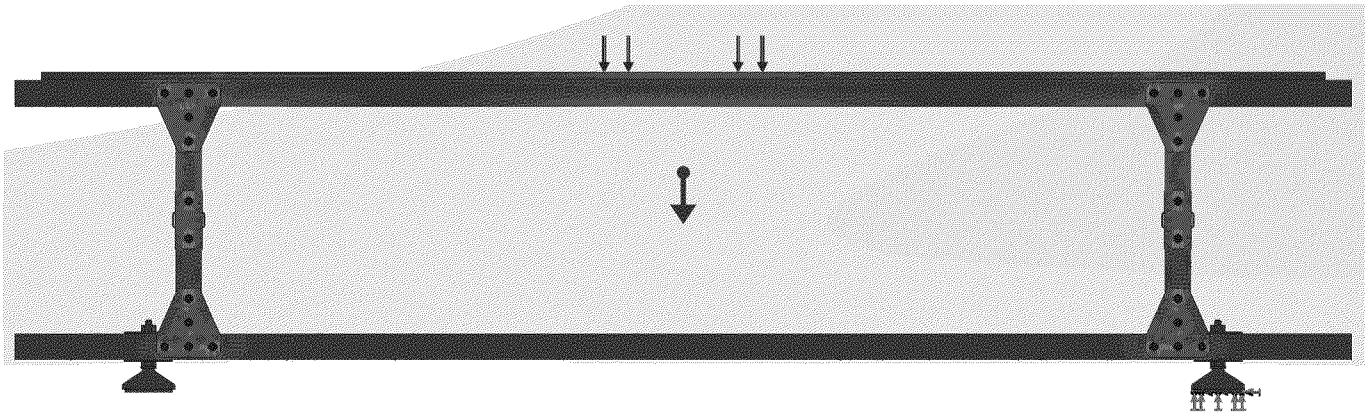


Рисунок 2.9 – Схема навантаження в центральній позиції рами

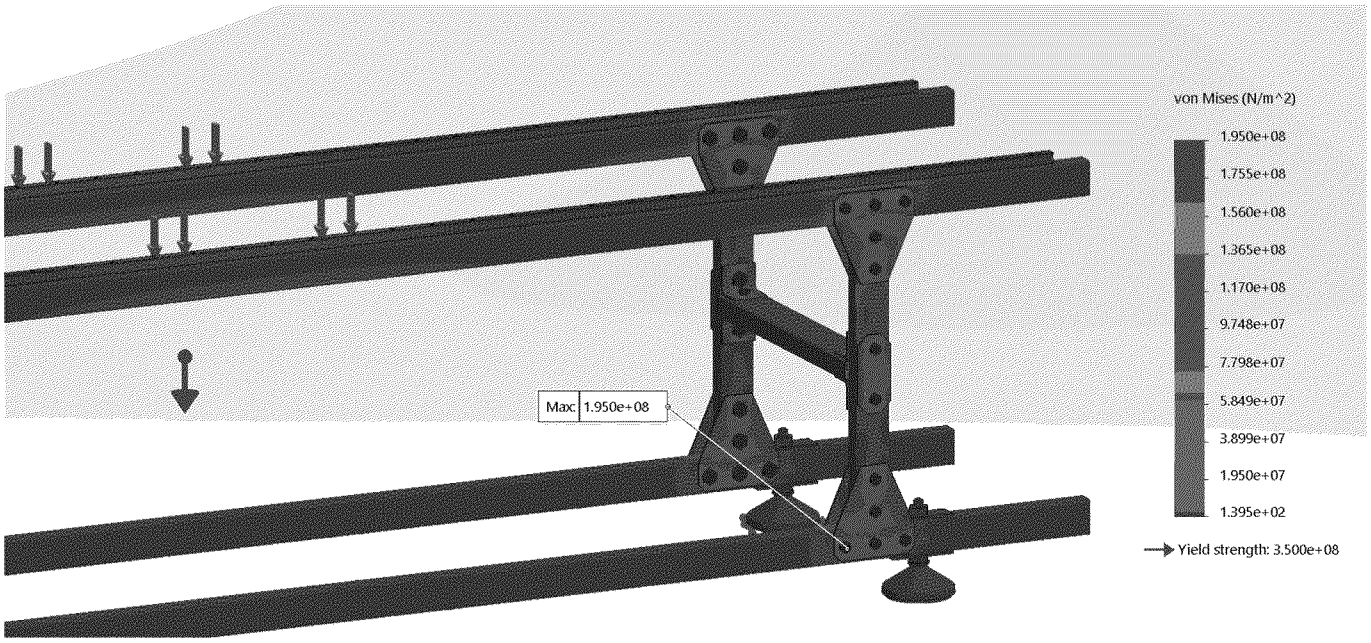


Рисунок 2.10 – Найбільші напруження по Мізесу для схеми навантаження в центральній позиції рами

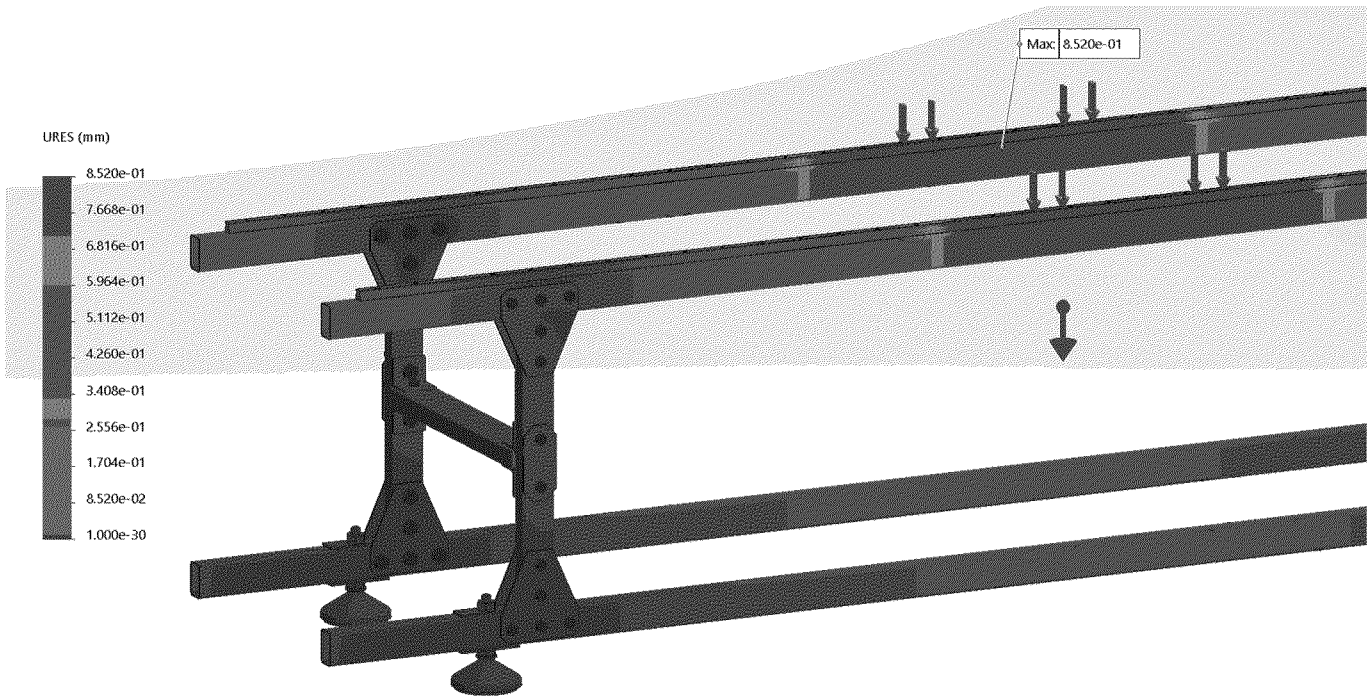


Рисунок 2.11 – Найбільші деформації для схеми навантаження в центральній позиції рами

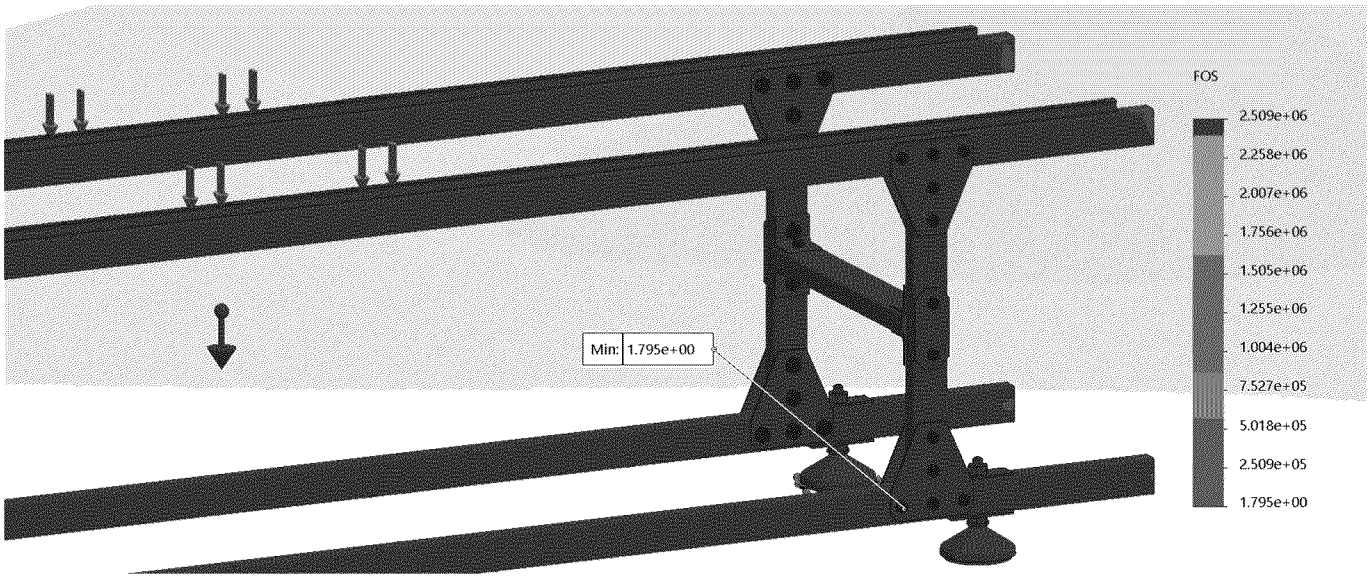


Рисунок 2.12 – Коефіцієнт запасу міцності для схеми навантаження в центральній позиції рами

Виходячи з отриманих результатів можна побачити, що при застосуванні труб прямокутного профілю 30х50 мм з товщиною стінки 2,0 мм, а також пластин товщиною 3,0 мм для підсилення місць їх з'єднання, досягається мінімальний запас міцності який виходить більшим за 1,79. Можна констатувати, що застосування даного прототипу рами є доцільним і забезпечує необхідні міцнісні характеристики, які можуть себе гарно показати під час динамічних навантажень.

3 ПІДБІР КРОКОВОГО ДВИГУНА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИВОДУ

Згідно кінематичної схеми переміщення платформи здійснюється зубчасто-рейковою передачею, і найбільш оптимальним варіантом є використання крокового двигуна. Такий тип електродвигуна забезпечує велику швидкість обертання, так як для забезпечення швидкості руху платформи модуля лінійних переміщень у $\nu = 0{,}45$ м/с. Також перевагою є точне позиціювання та легкість програмування в порівнянні з іншими системами в яких багато додаткового обладнання для контролю положення.

Попередньо приймаємо параметри зубчасто-рейкова передачі:

– к-сть зубців шестірні z=22.

– модуль передачі m=1,25 мм.

Наступним кроком розраховуємо ділильний діаметр шестірні розраховуємо за формулою (3.1):

$$d_r = mz[\text{мм}], \tag{3.1}$$

$$d_r = 1{,}25 \cdot 22 = 27{,}5(\text{мм}).$$

Для попередньо знайденого розрахункового ділильного діаметра шестірні розрахуємо кутову швидкість шестірні:

$$\omega_r = \frac{2\nu}{d}[\text{рад/с}], \tag{3.2}$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot 0{,}45}{0{,}0275} = 32{,}7(\text{рад/с}).$$

Конвертуємо значення розрахункової кутової швидкості шестірні в розрахункову частоту обертання шестірні згідно формули (3.3):

$$n_r = \frac{\omega \cdot 30}{\pi} [об / хв], \quad (3.3)$$

$$n_r = \frac{32,7 \cdot 30}{3,14} = 312,4 (об/хв).$$

Досить широкий вибір крокових двигунів має швейцарсько-китайська компанія Filling Motor [2], з її каталогу здійснюємо підбір крокового двигуна. Вихідними параметрами для вибору крокового двигуна:

– приведена потужність, $P_{pr} \geq P_1 = 0,12$ кВт;

– приведена частота обертання, $n_{pr} \geq n_r = 312,4$ об/хв;

– приведений крутний момент:

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_r} [H \cdot м], \quad (3.4)$$

де ω_r – розрахункова кутова швидкість на валу крокового двигуна.

$$T_{pr} \geq T_1 = \frac{120}{32,7} = 3,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

За вище визначеними парамтерами з каталогу сайту [2] вибираємо кроковий двигун 86HSE4N-B38 з гібридним серводрайвером HSS86. За вибраною маркою крокового двигуна знайдено більш детальну інформацію у каталозі про нього з наступними технічними характеристиками:

- максимальний крутний момент – 4,5 Н·м;
- максимальна швидкість – 3000 об/хв;
- номінальна швидкість – 1500 об/хв;
- струм фази – 6 А;
- кількість фаз – 2;
- кут кроку – 1,8 ° (точність ± 5%);
- максимальна температура – 80 °С;

- робочий діапазон температур від -20°С до +50°С;
- тип кріплення – NEMA34;
- діаметр валу – 14 мм;
- габаритні розміри –86х86х85 мм;

  маса – 2,6 кг.

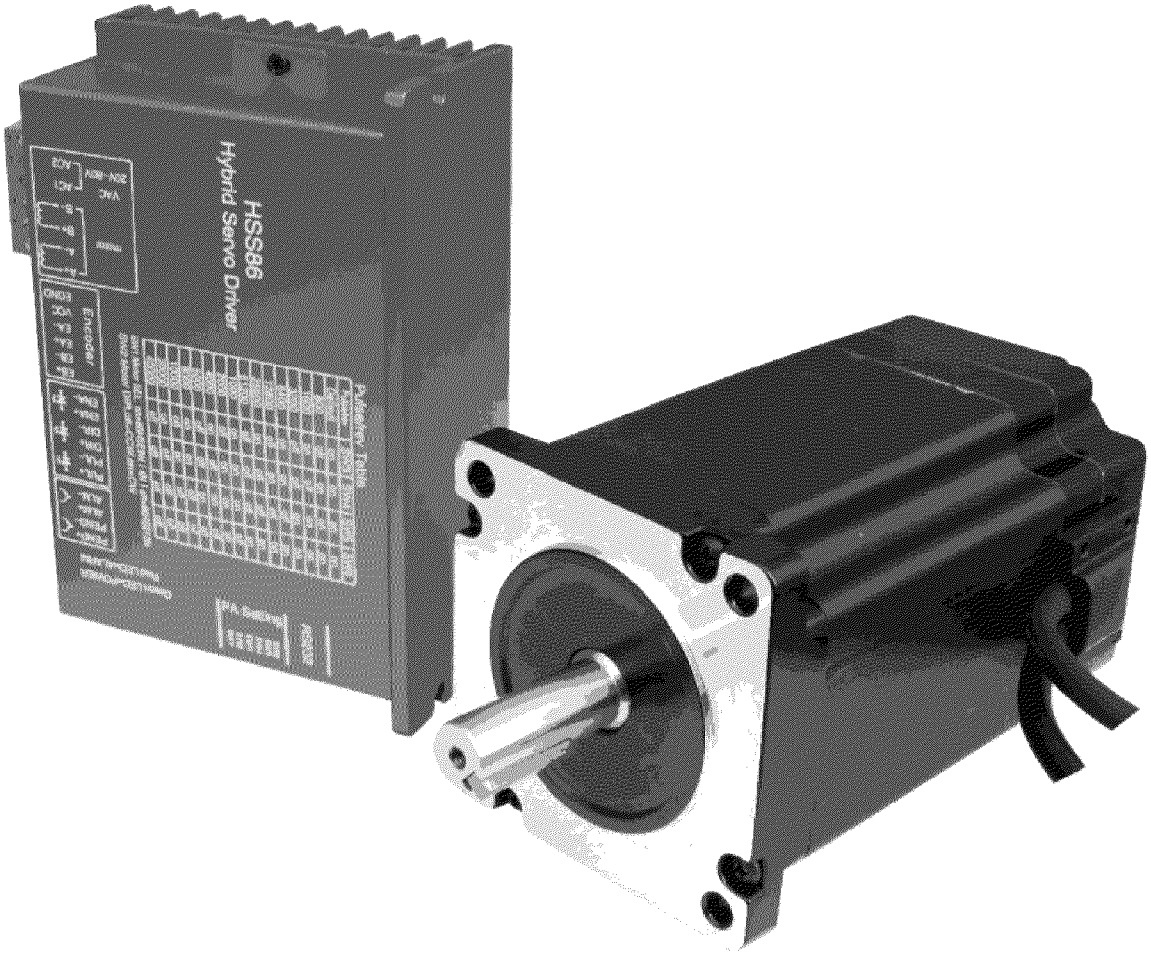


Рисунок 3.1 – Фото вибраного крокового двигуна 86HSE4N-B38 з гібридним серводрайвером HSS86

Основні розміри для відтворення тривимірної моделі крокового двигуна 86HSE4N-B38 взято із рис. 3.2.

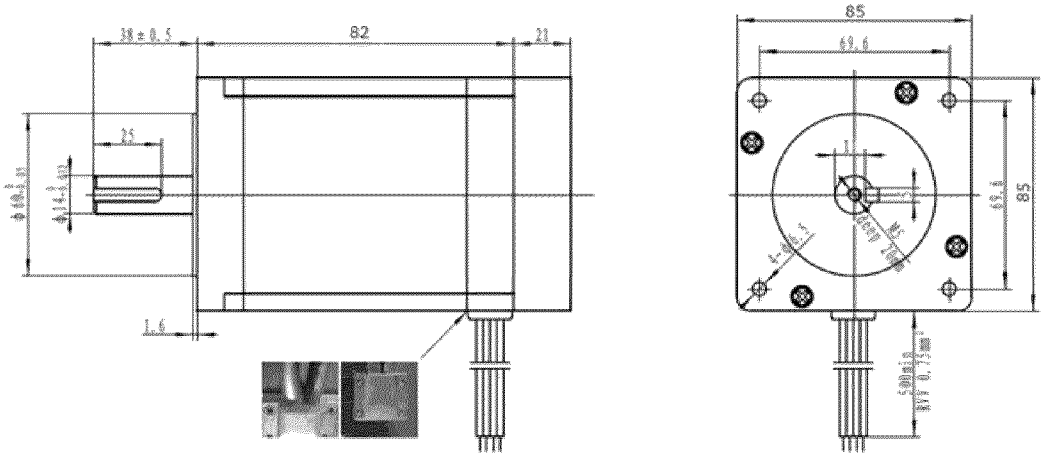


Рисунок 3.2 – Конструктивні розміри крокового двигуна 86HSE4N-B38

Також знайдено характеристику відповідності крутного моменту відносно частоти обертання валу крокового двигуна (див. рис. 3.3).

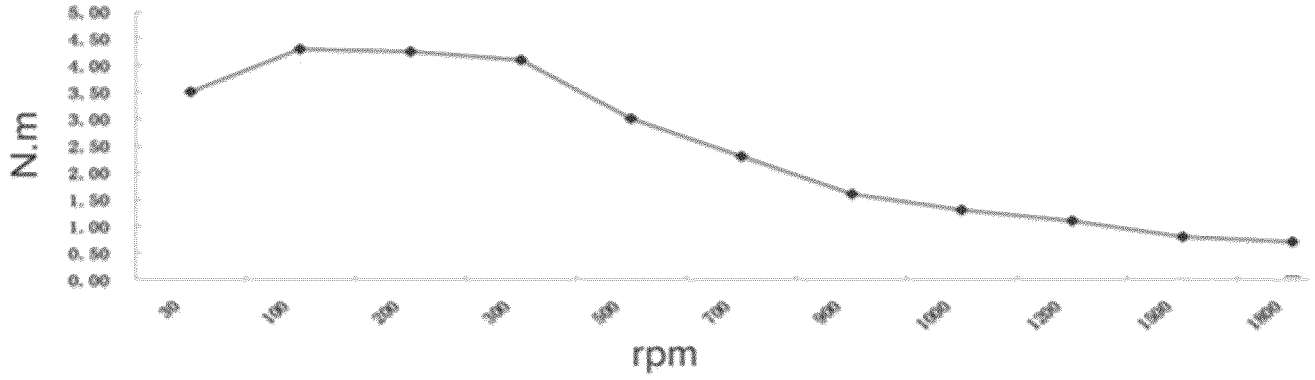


Рисунок 3.3 – Паспортні дані відповідності крутного моменту до частоти обертання валу крокового двигуна

Згідно знайденої паспортної характеристики кроковий двигун при розрахунковій частоті валу крокового двигуна в 312,4 об/хв, відповідає крутний момент 3,9 Нм, і це значення вище потрібного 3,7 Нм.

4 РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ

4.1 Розрахунок параметрів зубчасто-рейкової передачі

Розрахунок зубчасто-рейкової передачі [5] виконуємо згідно розробленої в табличному процесорі Microsoft Excel алгоритму розрахунків. Схема зубчасто-рейкової передачі та основні параметри для розрахунку наведено на рис. 4.1.

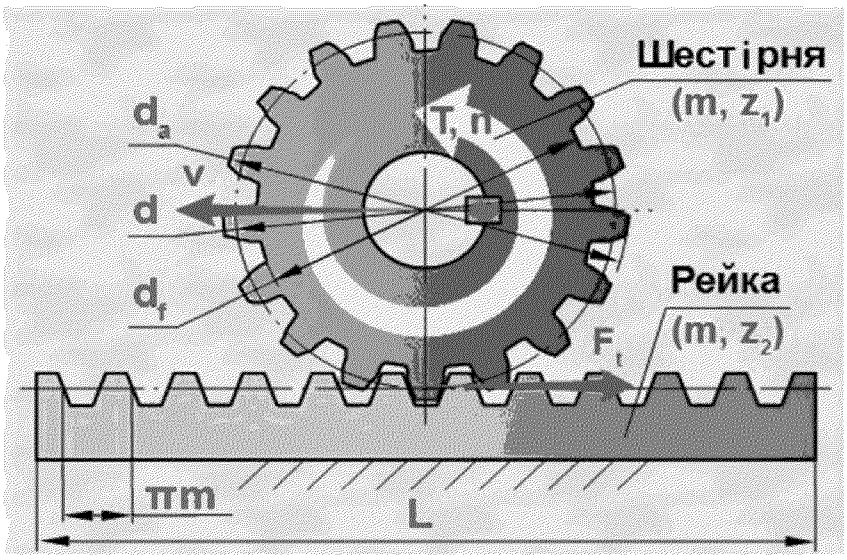


Рисунок 4.1 – Схема зубчасто-рейкової передачі

Вихідними параметрами матеріалу для конструювання зубчасто-рейкової передачі є значення модуля пружності матеріалу (для сталі E=215000 МПа), коефіцієнт Пуассона (для сталі μ=0,3), твердість поверхні зубів по шкалі Роквела HRC (для різних режимів термічної обробки сталі HRC від 17 до 65, а для Сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 приймаємо HRC 25).

Наступним етапом вибираємо величину безрозмірного коефіцієнта ширини зуба зубчастого вінця шестірні ψ_{bd}=0,6…0,4 при чому :

$$\psi_{bd} = b_2/d, \tag{4.1}$$

де b_2 – ширина шестірні,

d – ділильний діаметр шестірні.

Кут нахилу зубів зубчасто-рейкової передачі приймаємо β=0 так як розрахункова передача є прямозуба. Крутний момент T_r на валу шестерні та швидкість v шестерні відносно рейки обираємо згідно попередніх розрахунків та вносимо до таблиці Microsoft Excel.

Під час розрахунку допустиме контактне напруження розраховується за формулами в залежності від твердості поверхні зубів:

при HRC<38

$$[\sigma_H]=2\cdot 127{,}57\cdot e^{(0{,}0266\cdot HRC)}+70 \quad (4.2)$$

при 38≤HRC≤56

$$[\sigma_H]=18\cdot HRC+150 \quad (4.3)$$

при HRC≥56

$$[\sigma_H]=23\cdot HRC \quad (4.4)$$

Розрахунковий ділильний діаметр визначається за формулою (4.5):

$$d_p\geq(4000\cdot T\cdot E/(\pi*(1-\mu^2)*[\sigma_H]^2\cdot\psi_{bd}\cdot\sin(2\cdot\alpha)))^{(1/3)}\ [мм], \quad (4.5)$$

де α – значення нахилу профіля зуба, приймаємо α=0,35 рад, що еквівалентно α=20°.

Розрахунковий модуль m_p зачеплення визначаємо за формулою (4.6):

$$m_p= d_p/(17\cdot(\cos(\beta))^3)\ [мм]. \quad (4.6)$$

Вибираємо найближчий до розрахункового модуля m_p величину модуля m із стандартного ряду: 1,0; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10 мм, та визначаємо мінімальну розрахункову кількість зубів шестірні z_{1p}:

$$z_{1p}=17\cdot(\cos(\beta))^3 \tag{4.7}$$

Після того як ми введемо вибране значення мінімальної кількості зубів шестірні z_1, ми отримаємо наступні параметри зубчасто-рейкової передачі:

- ділильний діаметр шестірні d:

$$d=m*z_1/\cos(\beta)\ [\text{мм}]; \tag{4.8}$$

- діаметр вершин зубів шестірні d_a:

$$d_a=d+2\cdot m\ [\text{мм}]; \tag{4.9}$$

- діаметр западин зубів шестірні d_f:

$$d_f=d-2{,}5\cdot m\ [\text{мм}]; \tag{4.10}$$

- ширина зубчастого вінця шестірні b_1:

$$b_1\approx b_2+0{,}6\cdot b_2^{(1/2)}\ [\text{мм}]; \tag{4.11}$$

- ширина зубів рейки b_2:

$$b_2\approx d\cdot\psi_{bd}\ [\text{мм}]; \tag{4.12}$$

- колова сила на шестірні F_t:

$$F_t=2\cdot T/d \text{ [Н]};\qquad (4.13)$$

- потужність на валу шестірні P:

$$P=F_t\cdot v \text{ [Вт]};\qquad (4.14)$$

- частота обертання валу шестірні n:

$$n=60\cdot v/(\pi\cdot d) \text{ [об/хв]}.\qquad (4.15)$$

Результати введення вихідних даних в алгоритм розрахунку табличного процесора Microsoft Excel показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку зубчасто-рейкової передачі

Вихідні дані:		Позначення	Значення	Од. вим.
1	Модуль пружності	E=	215 000	МПа
2	Коефіцієнт Пуассона	μ=	0,30	-
3	Твердість поверхні зубу	HRC=	25	-
4	К-т ширини зубчастого вінця шестірні	ψ_{bd}=	0,60	-
5	Кут нахилу зубів	β=	0,0000	°
6	Крутний момент на валу шестірні	T=	3,7	Н*м
7	Швидкість шестірні відносно рейки	v=	0,45	м/с

Розраховані геометричні та силові параметри зубчасто-рейкової передачі наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку зубчасто-рейкової передачі

Результати розрахунку та вибору параметрів:		Позначення	Значення	Од. вим.
1	Допустимі контактні напруження	$[\sigma_H]=$	566.1	МПа
2	Розрахунковий ділильний діаметр шестірні	$d_p\geq$	20.8	мм
3	Розрахунковий модуль зачеплення	$m_p\approx$	1.22	мм
4	Назначаємо модуль зубчатої передачі	$m=$	1.25	мм
5	Розрахункове число зубів шестірні	$z_{1p}\geq$	17.0	шт
6	Призначаємо число зубів шестірні	$z_1=$	22	шт
7	Ділильний діаметр шестірні	$d=$	27.500	мм
8	Діаметр вершин зубів шестірні	$d_a=$	30.000	мм
9	Діаметр впадин шестірні (довідково)	$d_f=$	24.375	мм
10	Ширина зубчастого вінця шестірні	$b_1\approx$	19.0	мм
11	Ширина зубів рейки	$b_2\approx$	17.0	мм
12	Колова сила на шестірні (сила на рейці)	$F_t=$	269	Н
13	Потужність на валу шестірні	$P=$	121	Вт
14	Частота обертання валу шестірні	$n=$	312.4	об/хв

Отримані результати перевірено на сайті генерації зубчастих передачі [6], а також вони відповідають попереднім розрахункам по обґрунтуванню рами приводу та вибору крокового двигуна.

4.2 Проєктування елементів зубчасто-рейкової передачі

Проєктування шестірні та рейки виконано в середовищі CAD-системи SolidWorks із використанням підпрограми Toolbox. На рис. 4.2 та 4.3 показано процес конфігурування параметрів для шестірні та рейки, відповідно. При чому довжину

рейки приймаємо 2,1 м, що на 0,1 м більше ніж хід модуля переміщення 2,0 м в автоматизованому приводі.

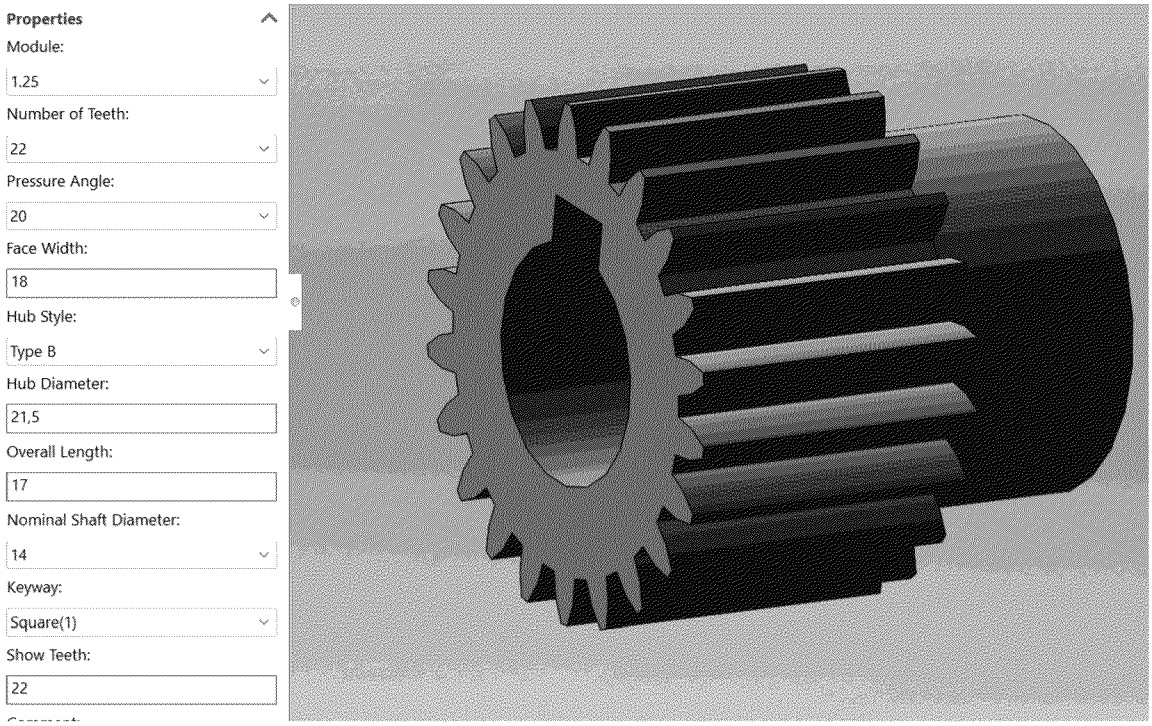


Рисунок 4.2 – Вибір параметрів для проєктування шестірні

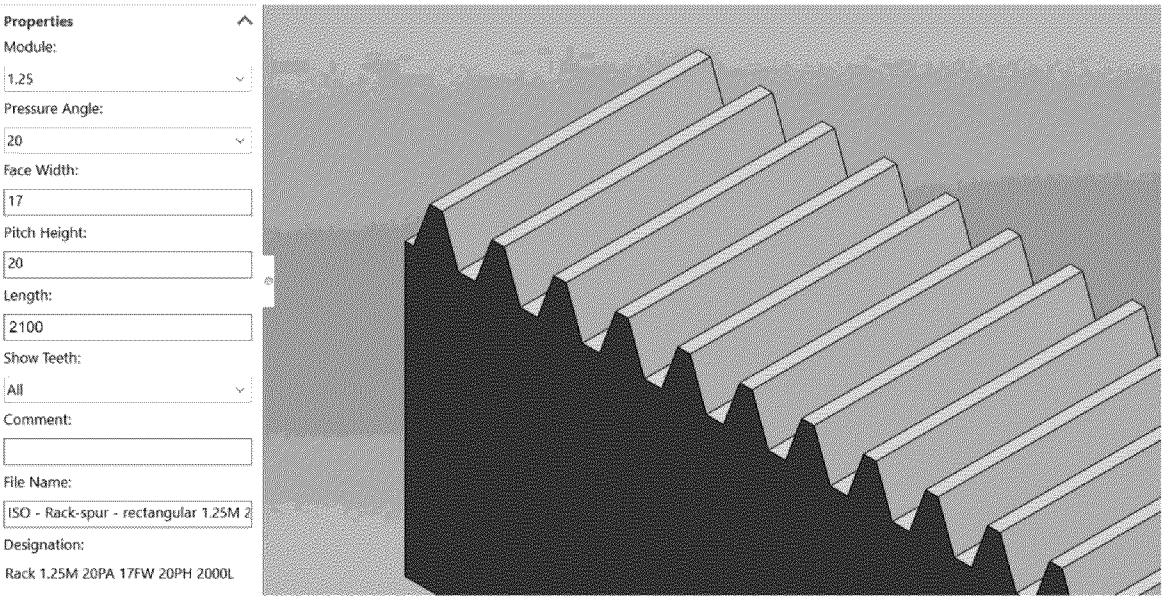


Рисунок 4.3 – Вибір параметрів для проєктування рейки

Шестірня розміщується одразу на валу крокового двигуна, тому діаметр отвору посадочного діаметру прийнято рівний діаметру крокового двигуна.

4.3 Підбір підшипників

Для вибору типу напрямної потрібно визначити навантаження (реакції в опорах), що діють на напрямну за умови статичного навантаження каретки. Приймемо, що навантаження діють у поперечній площині, то розрахункову схему можна представити у вигляді статично невизначеної балки (див. рис. 4.4).

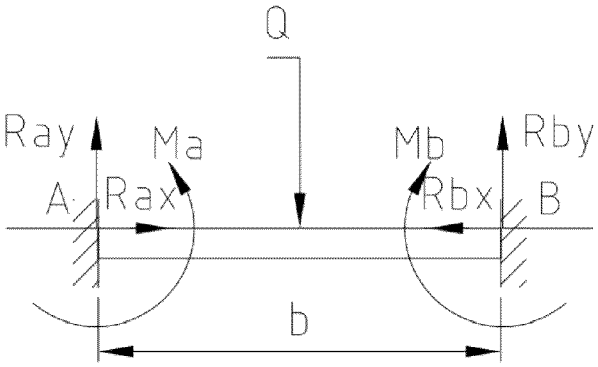


Рисунок 4.4 – Реакції в напрямних в поперечній площині каретки

Дійсні значення реакцій R_{ax} і R_{ay}, R_{bx} і R_{by} та моментів M_a, M_b визначаємо за умови прикладення зусилля Q в центральній точці каретки [7]:

$$R_{ay} = R_{by} = \frac{Q}{2} \text{ [Н]}; \tag{4.16}$$

$$R_{ay} = R_{by} = \frac{1619}{2} = 810 \text{ (Н)};$$

$$M_a = M_b = \frac{Q \times b}{8} [Нм]; \tag{4.17}$$

$$M_a = M_b = \frac{1619 \cdot 0,33}{8} = 66,8 \text{(Нм)};$$

$$R_{ax} = R_{bx} = 0.$$

З кожного боку використаємо по одній напрямній. Тому, отримані реакції в опорах є вихідними даними для вибору напрямної. Найбільш поширені кулькові та роликові напрямні рейкового типу, а також більш прості циліндричні кулькові.

Вибір рейкових напрямних здійснюємо за каталогом фірми “Schaeffler” [8] та вибирається тип напрямних через поетапний конфігуратор “Linear Konfigurator”. Використана система видає креслення, 3D-модель та повну технічну інформацію про необхідні напрямні.

На першому етапі обираємо схему та кількість лінійних підшпників (див. рис. 4.5).

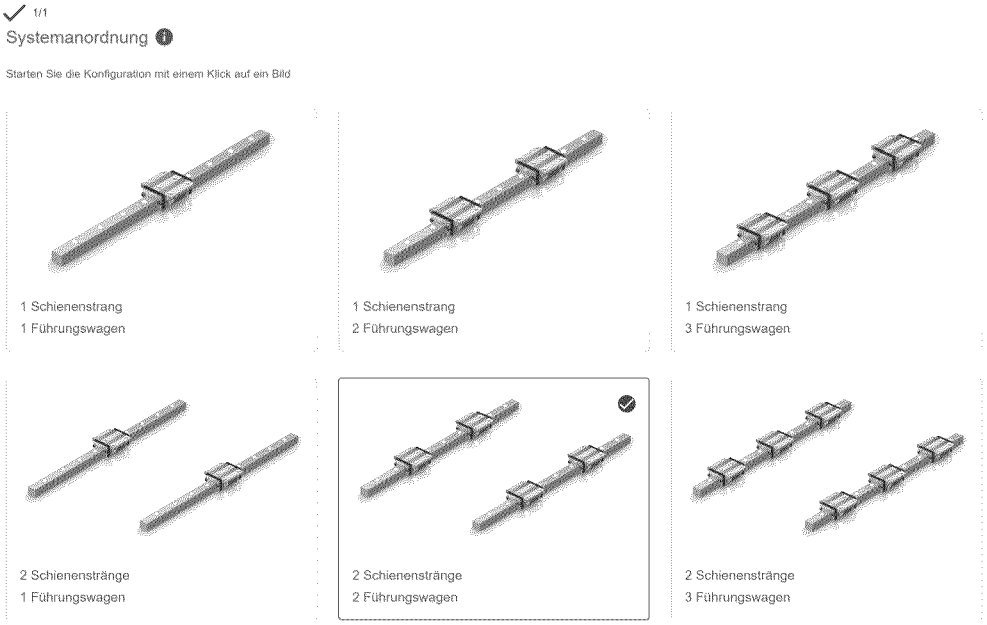


Рисунок 4.5 – Обираємо схемне рішення по кількості лінійних підшипників та напрямних

На наступному етапі приймаємо модельний ряд KUVE та ширину напрямної (див. рис. 4.6).

Рисунок 4.6 – Обираємо тип та ширину напрямних

Далі вибираємо тип покриття напрямних, її довжину та клас точності (див. рис. 4.7).

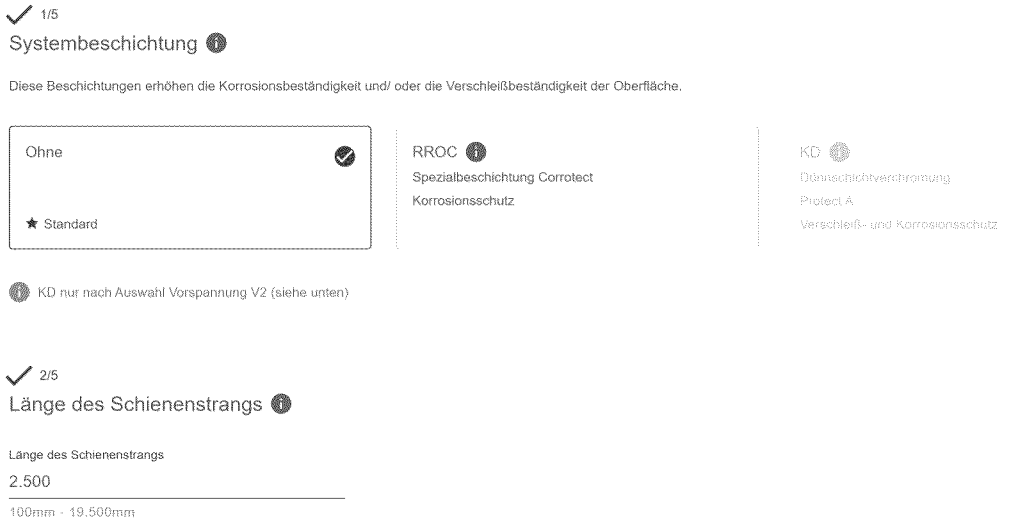


Рисунок 4.7 – Обираємо тип покриття та довжину напрямної

Далі обираємо принцип закріплення напрямних на рамі (див. рис. 4.8)

Рисунок 4.8 – Принцип закріплення напрямних на рамі

Наступним кроком обираємо тип підшипника та його кріплення. Відаємо перевагу типу EC (див. рис. 4.9).

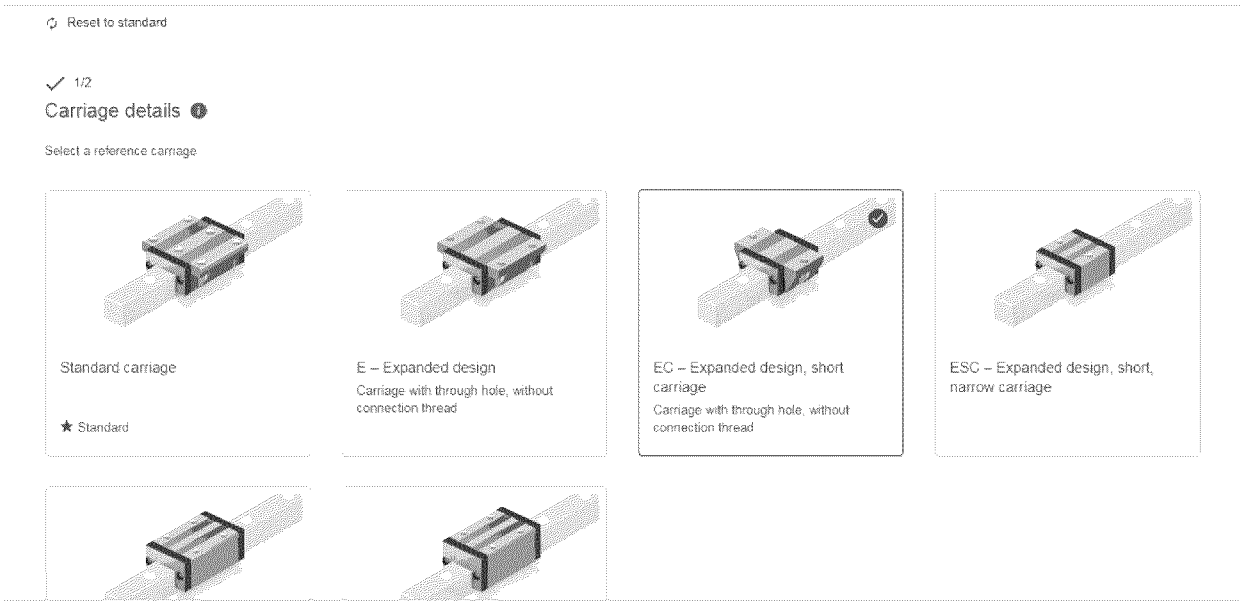


Рисунок 4.9 – Тип підшипника

Здійснюється уточнення геометричних параметрів рейки, зокрема її довжина та кількості верхніх кареток на одній рейці. Після уточнення система дозволяє скачати тривимірну модель напрямних (див. рис. 4.10).

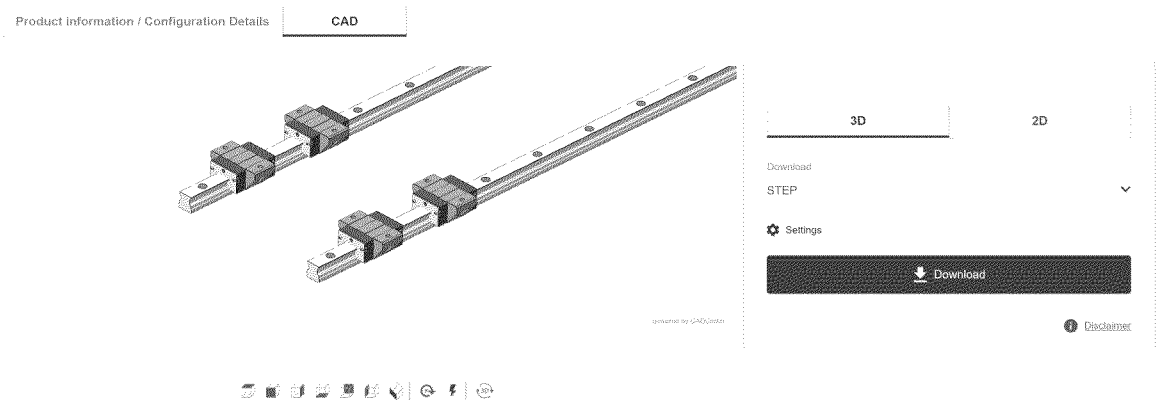


Рисунок 4.10 – Скачування тривимірної моделі напрямних

Уточнення вибраного типу підшипника з напрямними та здійснюємо за допомогою [8].

Спочатку перевіряємо за значенням динамічної вантажопідйомності за умовою $C > R_{ay}$. Тобто, розраховане значення R_{ay} = 613 Н вписуємо у вікно для параметра C (див. рис. 4.11).

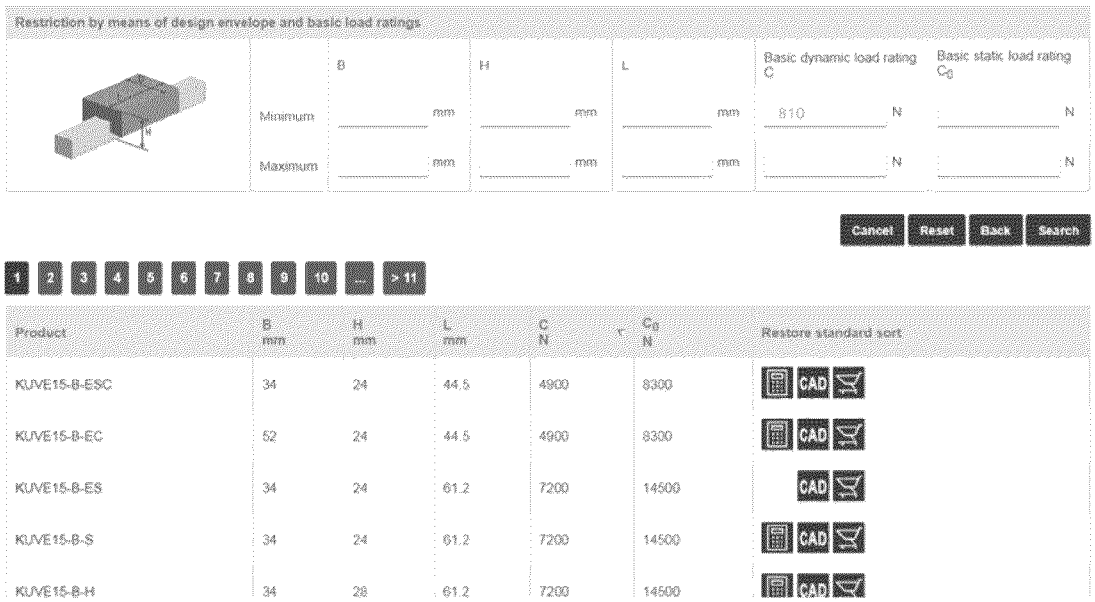


Рисунок 4.11 – Введення параметрів для перевірки вибраних напрямних

Онлайн-сервіс програми надає допустимі варіанти кулькових напрямних. Вибраний тип напрямної KUVE15-B-EC потрібно перевірити за навантажувальними характеристиками, які повинні бути не меншими за розраховані значення реакцій (див. рис. 4.12) за формулою (4.18):

$$C > R_{ay}, M_{0x} > M_a \tag{4.18}$$

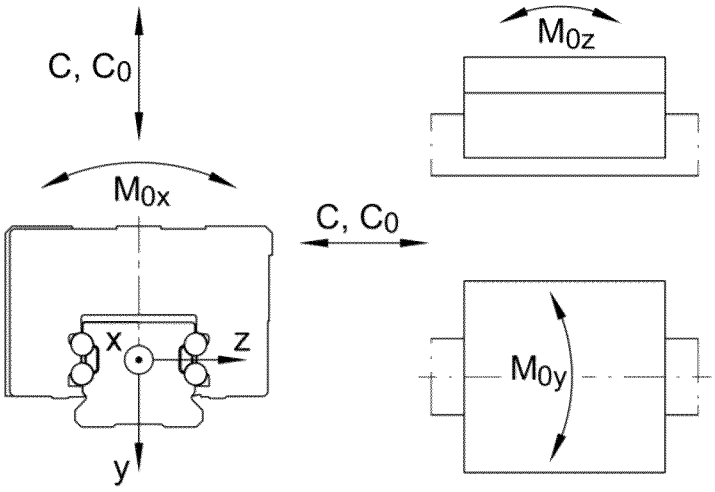


Рисунок 4.12 – Напрямки дії динамічних навантажень на підшипники

Таким чином перевіряємо технічні дані напрямної KUVE15-B-EC (див. табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики напрямної типу KUVE15-B-EC

Вид характеристики	Позначення	Значення
Динамічне навантаження [2]	C	4900 Н
Статична навантаження [2]	C_0	8300 Н
Статичний момент відносно осі X	M_{0x}	86 Нм
Статичний момент відносно осі Y	M_{0y}	35 Нм
Статичний момент відносно осі Z	M_{0z}	35 Нм

Визначаємо, що умови сприйняття навантаження забезпечені згідно виконання вимог у формулі (4.18):

$$C=4,9\ (кН) > R_{ay}=0,81\ (кН)$$

$$M_{0x} = 86\ (Нм) > M_a=66,8\ (Нм)$$

Таким чином, вибрані напрямні KUVE15-B-EC мають запас по вертикальному зусиллю понад 6 разів, а також має запас по статичному моменту в 1,3 рази.

5 ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МАЩЕННЯ ПРИВОДУ

Забезпечення належного змащення рухомих частин у виробах, таких як шестірні та лінійні підшипники, є критично важливим для забезпечення їх ефективності та тривалості служби. Змащення зубчастих передач необхідне для зменшення тертя, захисту від корозії та забезпечення плавного руху. Щодо лінійних підшипників, вони потребують змащення для зменшення тертя, видалення забруднень і захисту від негативного впливу навколишнього середовища.

При виборі типу мастила, інтервалів заміни мастила і методів нанесення мастила важливо дотримуватися обґрунтованого підходу, який враховує умови експлуатації, навантаження, надійність і вимоги до тривалості служби конкретного виробу. Крім того, регулярне технічне обслуговування, яке включає регулярну заміну мастила та перевірку рівня і якості змащення, відіграє ключову роль у підтримці оптимальної роботи рухомих частин і у запобіганні можливим поломкам.

Проведення обслуговування маршруту рекомендується після кожної зміни, що включає наступні кроки:

- передбачає очищення лінійної направляючої від пилу, бруду та інших забруднень за допомогою спеціального миючого засобу або м'якої тканини;
- перевірку площинності та прямолінійності напрямних інструментами для вимірювання для виявлення будь-яких відхилень;
- виявлення пошкоджень під час інспекції, вони повинні бути виправлені, включаючи ремонт деформацій, заміну пошкоджених деталей та налаштування механізму;
- передбачає змащення напрямних для запобігання зносу та забезпечення плавного руху механізму з використанням мастила, придатного для даного типу напрямних.

Змазування напрямних здійснюється через ніпелі, що розміщені безпосередньо на каретках. Виробник рекомендує використовувати для лінійних напрямних наступні мастила [9]: LOAD150 (мінеральна олива) при експлуатаційній температурі від -50 °C до +140 °C або CLEAN-M (ефірна олива) при експлуатаційній температурі

від -30 °С до +180 °С.

Обслуговування зубчасто-рейкової передачі виконуємо також після кожної зміни за аналогічними етапами, як для лінійних напрямних. Найбільш ефективними мастилами для зубчасто-рейкової передачі є мастила, яка виготовлена на літієвої основі.

До такої продукції відносять Літол-24, Фіоле, для районів із сильними морозами добре підходить Северол. При їх виготовленні до складу додаються присадки для підвищення вологостійкості, зносостійкості, протидії окислювальним процесам, збереженню консервативного властивості.

Для змащування зубчасто-рейкових передач в процесі експлуатації рекомендується використовувати спеціальне обладнання з мастильною шестернею. (див. рис. 5.1).

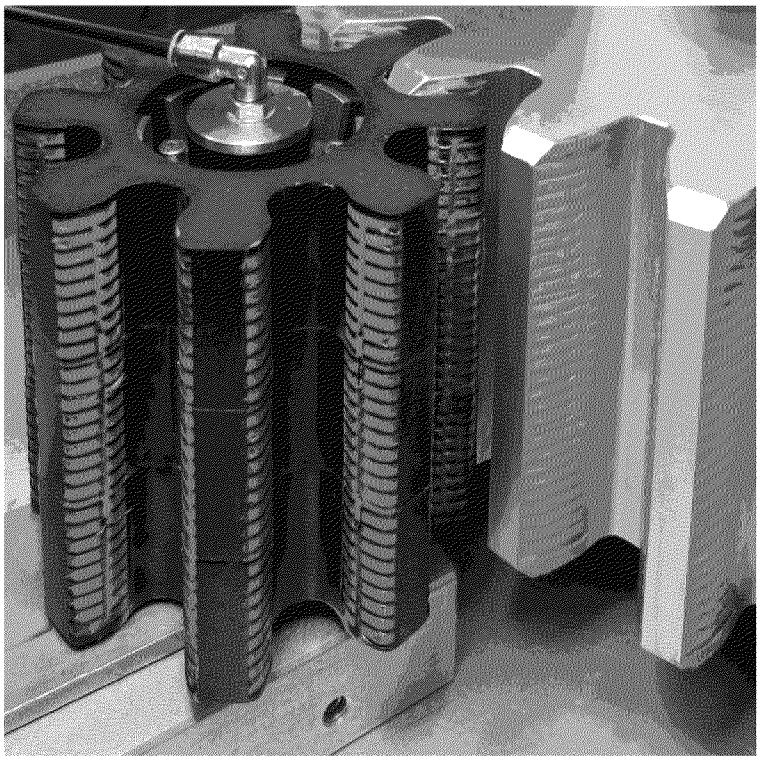


Рисунок 5.1 – Шестерня для мащення рейки

В майбутньому мастильну шестерню можна інтегрувати з системою керування приводу для регулювання кількості мастила в залежності від режимів роботи.

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Для керування платформою потрібно розробити програму керування платформою та зібрати схем. Для керування платформою будемо використовувати плату Arduino [10]. Після складання схеми вона буде мати вигляд який представлений на рис. 6.1.

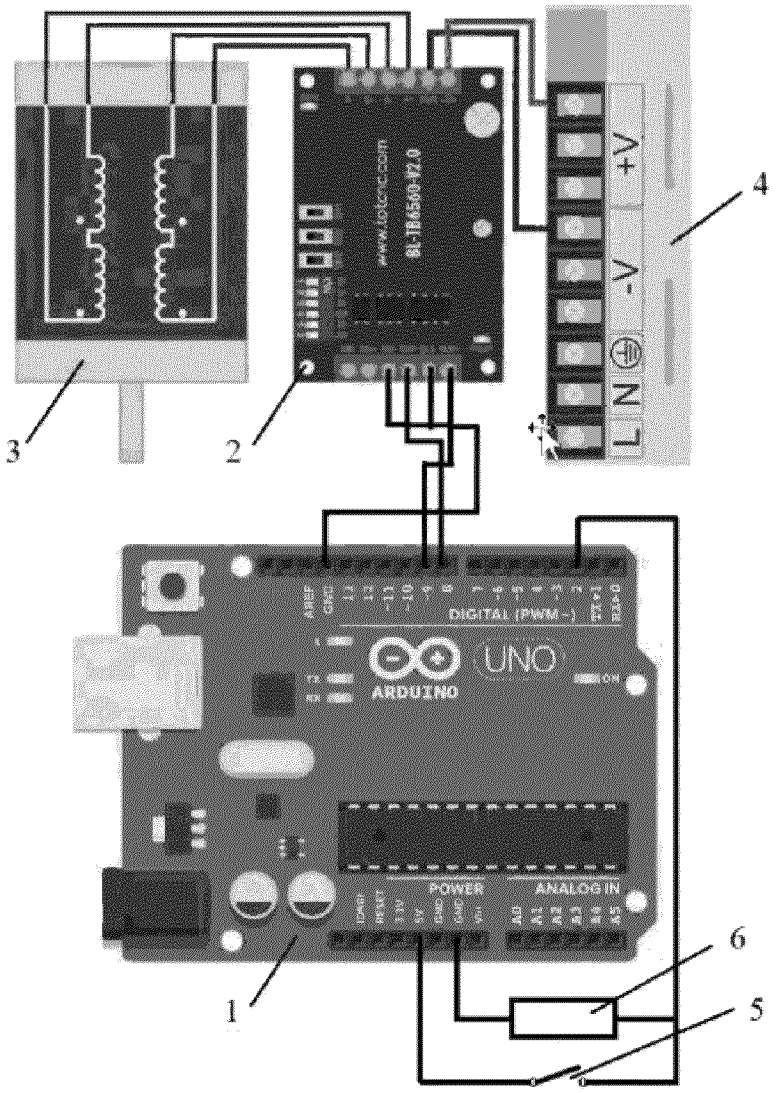


Рисунок 6.1 – Система керування зібраної схеми з кроковим двигуном

Від контролера 1 Arduino [10] сигнали керування з портів 8 та 9 подаються на драйвер 2, відповідно до входів CW+ та CLR+. Драйвер 2 підключений до джерела

живлення 4 з напругою +24V. Виводи драйвера A+, A-, B+, B- підключений до обмоток крокового двигуна. Виводи драйвера CLK- та CW- підключені до порта GND контролера. Для запуску системи керування застосована кнопка 5, яка підключена до порта контролера з напругою 5 V, до порта 2 та через опір 6 до порта GND. При натисканні на кнопку 5 запускається двигун 3, який через зубчасту передачу приводить до руху платформи. Платформа рухається зі швидкістю v1 із початкового положення до кінцевого, проходячи відстань L_1 = 0,5 м, а потім змінює швидкість на v_2 і проходить відстань L_2 = 0,25 м і знову зі швидкістю v_1 проходить L3 = 0,5 м, а потім змінює швидкість на v_2 і проходить відстань L_4 = 0,25 м і знову із швидкістю v_1 проходить L5 = 0,5 м, далі змінює напрям руху на протилежній зі швидкістю v_3 на відстань L_6 = 2,0 м. Графік зміни величин і напрямків швидкості руху платформи в залежності від пройденого шляху представлено на рис. 6.2.

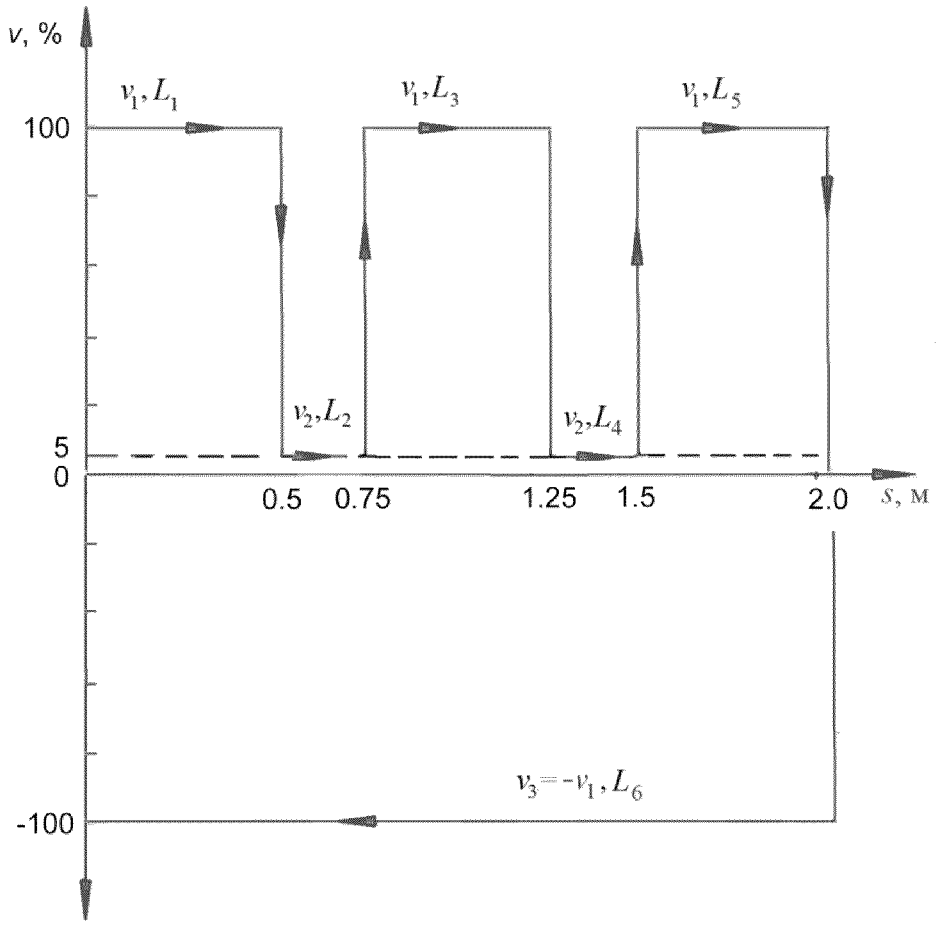


Рисунок 6.2 – Залежність величини швидкості і напрямку руху платформи в залежності від пройденого шляху

В приводі платформи використано кроковий двигун типу 86HSE4.5N-B32 з енкодером. Крутний момент двигуна становить М = 4,5 Н·м при мінімальних числах оборотів. Кількість кроків двигуна на один оберт складає n_0 = 200, один крок становить 1,8°. Для роботи з двигуном застосовано драйвер TB6560. За розрахунками силових характеристик визначено, що при переміщенні мобільної платформи необхідно забезпечити максимальний крутний момент на двигуні M_{max}= 3,7 Н·м. Згідно механічної характеристики двигуна максимальне число обертів вала при моменті M_{max}= 3,7 Н·м не може перевищувати 350 об/хв. За рахунок налаштування драйвера можливо забезпечити роботу двигуна з мікрокроком за один оберт до $N_{кр}$ = 1600. Для забезпечення необхідної швидкості мобільної платформи на різних ділянок робочого ходу необхідно визначити її переміщення l_0 за один оберт двигуна:

$$l_0 = \pi D \text{ [мм]}, \tag{6.1}$$

де D = 27,5 мм діаметр ділильного кола зубчатого колеса на валу двигуна,

$$l_0 = 3{,}14 \cdot 27{,}5 = 86{,}35 \text{ (мм)}.$$

Визначимо кількість обертів валу двигуна N_i на ділянках довжиною L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6:

$$N_i = \frac{L_i}{l_0} \text{ [об]}, \tag{6.2}$$

$$N_1 = N_3 = N_5 = \frac{L_1}{l_0} = \frac{500}{86{,}35} = 5{,}8 \text{ (об)};$$

$$N_2 = N_4 = \frac{L_2}{l_0} = \frac{250}{86{,}35} = 2{,}9 \text{ (об)};$$

$$N_6 = \frac{L_6}{l_0} = \frac{2000}{86{,}35} = 23{,}2 \text{ (об)}.$$

Кількість кроків $N_{кi}$ на кожні з ділянок L_i складає

$$N_{кi} = 1600 \cdot N_i \text{ [кроків]}, \quad (6.3)$$

$$N_{к1} = N_{к3} = N_{к5} = 1600 \cdot N_1 = 1600 \cdot 5{,}8 = 9280 \text{ (кроків)};$$

$$N_{к2} = N_{к4} = 1600 \cdot N_2 = 1600 \cdot 2{,}9 = 4640 \text{ (кроків)};$$

$$N_{к6} = 1600 \cdot N_6 = 1600 \cdot 23{,}2 = 37120 \text{ (кроків)}.$$

Частота обертання вала двигуна під час руху по ділянкам L_i буде складати:

$$n_i = \frac{v_i}{\pi D} \text{ [об/хв]}, \quad (6.4)$$

$$n_1 = n_3 = n_5 = n_6 = \frac{v_1}{\pi D} = \frac{0{,}45}{3{,}14 \cdot 27{,}5 \cdot 10^{-3}} = 5{,}2 \text{ (об/с)} = 312{,}7 \text{ (об/хв)};$$

$$n_2 = n_4 = \frac{v_2}{\pi D} = \frac{0{,}0225}{3{,}14 \cdot 27{,}5 \cdot 10^{-3}} = 0.26 \text{ (об/с)} = 15{,}6 \text{ (об/хв)}.$$

При роботі крокового двигуна від контролера Ardusno слід подавати на драйвер імпульсний сигнал певної тривалості з напругою 5 В. Тривалість такого імпульсу визначає частоту обертання вала двигуна і визначається за формулою:

$$t_i = \frac{1}{2 \cdot N_{кр} \cdot n_i} \text{ [мкс]}, \quad (6.5)$$

де $N_{кр} = 1600$ – число кроків за один оберт вала двигуна;

n_i – частота обертання вала двигуна на різних ділянках руху платформи

$$t_1 = t_3 = t_5 = t_6 = \frac{1}{2 \cdot 1600 \cdot 5{,}2} = 60 \text{ (мкс)};$$

$$t_2 = t_4 = \frac{1}{2 \cdot 1600 \cdot 0.26} = 1200 \text{ (мкс)}.$$

Час руху по ділянкам

$$t_j = \frac{L_j}{v_j} \text{ [с]}, \quad (6.6)$$

$$t_{11} = t_{13} = t_{15} = \frac{L_1}{v_1} = \frac{0.5}{0{,}45} = 1.1 \text{ (с)} = 1100 \text{ (мс)};$$

$$t_{12} = t_{14} = \frac{L_2}{v_2} = \frac{0.25}{0{,}0225} = 11{,}1\ (\text{с}) = 11100\ (\text{мс});$$

$$t_{16} = \frac{L_6}{v_1} = \frac{2{,}0}{0{,}45} = 4{,}44\ (\text{с}) = 4440\ (\text{мс}).$$

Розраховані значення кількості кроків $N_{\kappa i}$ на кожній з ділянок L_i руху мобільної платформи та відповідні величини тривалості імпульсів t_i напруги величиною 5 В використані при написанні програми роботи контролера Arduino. Контролер 1 керує рухом платформи згідно з програмою.

Для керування платформою будемо використовувати плату Arduino. Плата Arduino – це апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є спрощеною підмножиною C/C++.

В програмі позначено:

imp – тривалість імпульсу (мкс);

col – кількість кроків на ділянках руху.

Під час розробки програми обов'язково перевіряємо її на правильність компілятором програмного забезпечення:

```
boolean butt_flag=0;
boolean butt;
boolean led_flag=0;
int imp;
unsigned int col;

void ff1(int imp, unsigned int col) {
  for( unsigned int i=0; i<col;i++)
  {
    digitalWrite(9,HIGH);
    delayMicroseconds(imp);
```

```
    digitalWrite(9,LOW);
    delayMicroseconds(imp);
  }
}

void setup(){
pinMode(2, INPUT);
pinMode(8, OUTPUT);
pinMode(9, OUTPUT);
}
void loop()
{
digitalWrite(8, LOW);
digitalWrite(9, LOW);
butt=digitalRead(2);

if(butt==1 && butt_flag==0)
{
  butt_flag==1;
  led_flag=!led_flag;}

delay(50);
ff1(60, 9280);
delay(1100);
ff1(1200, 4640);
delay(11100);
ff1(60, 9280);
delay(1100);
ff1(1200, 4640);
delay(11100);
```

```
    ff1(60, 9280);
    delay(1100);
    digitalWrite(8, HIGH);
    ff1(60, 37120);
    delay(4440);
    if(butt==0 && butt_flag==1) {
    butt_flag=0;}
}
```

Після розробки програми загружаємо її в контролер та тестуємо рух платформи на правильність роботи.

7 ОПИС РОБОТИ СПРОЄКТОВАНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИВОДУ

Конструктивно модуль складається з рами 1 (несучий силовий елемент у вигляді складальної одиниці) із встановленій на ній платформи 2 (див. рис. 7.1). В середині рами для зменшення габаритів, та компактності модуля лінійного переміщення розміщений кронштейн 3 з кроковим двигуном 4. Поступальний рух платформі 2 передається за допомогою зубчасто-рейкової передачі, яка складається з рейки 5 та шестірні 6. Під час обертання шестірні 6 відбувається перетворення обертального руху в поступальний рух платформи 2.

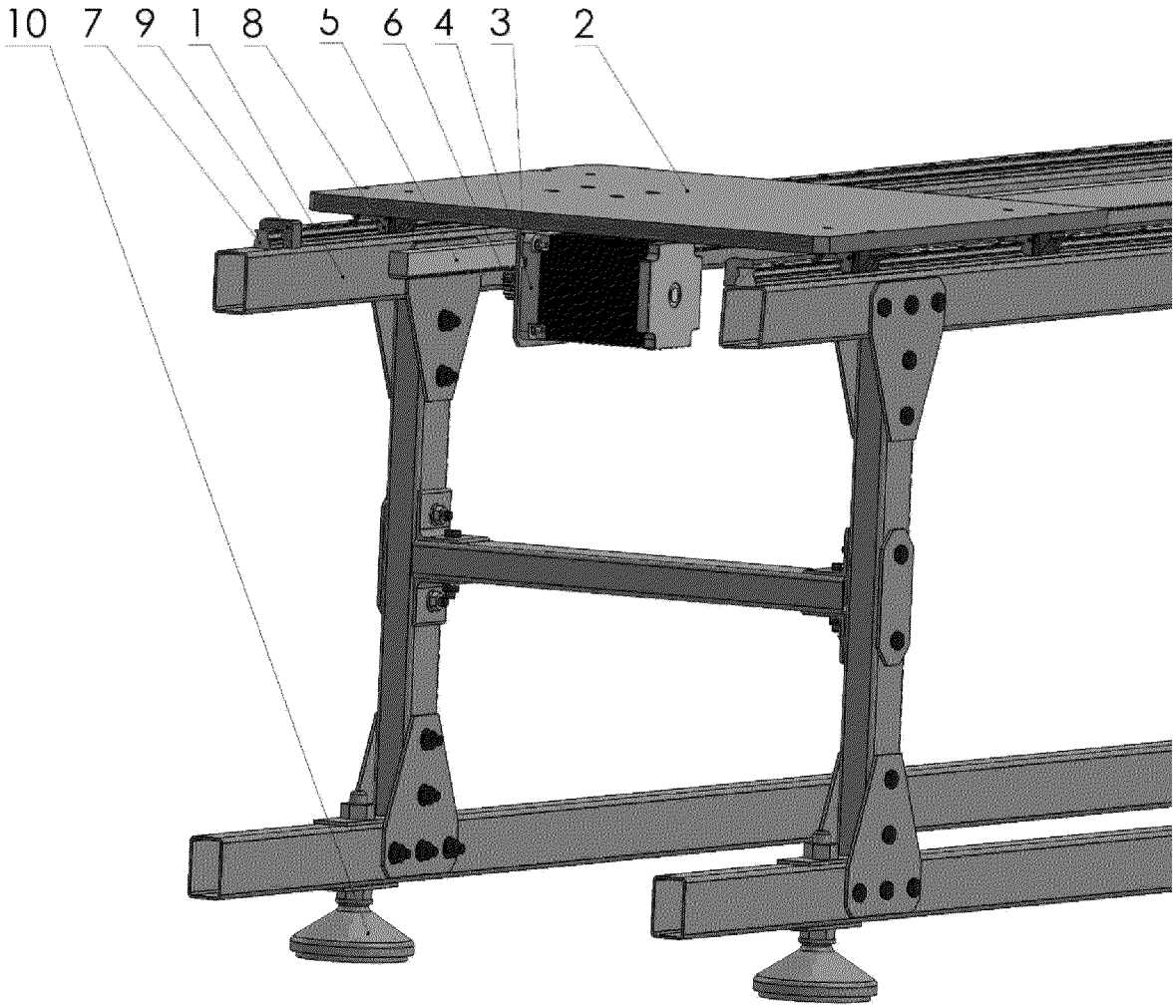


Рисунок 7.1 – Загальний вигляд спроєктованого автоматизованого приводу 1 – рама, 2 – каретка, 3 – кронштейн, 4 – кроковий двигун, 5 – рейка, 6 – шестірня, 7 – напрямні, 8 – лінійні підшипники, 9 – обмежувачі руху, 10 – регульовані опори

На рамі 1 автоматизованого приводу розташовані напрямні 7 по яким рухаються лінійні підшипники 8, на яких базується платформа 2. По кінцях напрямних встановлено обмежувачі руху 9, які фізично унеможливлюють сходження платформи 2 із підшипниками 8 із напрямних 7.

Уся рама 1 знаходиться на регульованих опорах 10, для розміщення її на нерівній поверхні.

Таким чином отримано наступні технічні характеристики модуля лінійних переміщень:

- габаритні розміри каретки (в плані) – 480х480 мм;
- вантажопідйомність – 130 кг;
- макс. швидкість переміщення – 0,45 м/с;
- хід каретки – 2,0 м.
- споживана потужність – 0,12 кВт.

Виконано проєктні розрахунки щодо підбору рами, зубчасто-рейкової передачі та підшипників. Описано процедури обслуговування рухомих елементів автоматизованих приводів. Розроблено електричну схему та програму для керування автоматизованим приводом.

Рама і платформа оснащені спеціальними технологічними елементами (різьбові отвори, монтажні пази), що спрощують процес складання і монтажу.

Використання модулів у поєднанні з програмою керування приводом призводить до остаточної версії рішення з високою точністю. Програмований логічний контролер, вбудований у привід, дозволяє виконувати періодичні обчислення позиції за певними алгоритмами та обробляти сигнали з датчиків та виводити їх у контрольну точку без використання зовнішнього контролера.

Зусилля та швидкість руху регулюються шляхом програмування кінематики приводу та робочих характеристик. Програмне забезпечення, що входить до комплекту приводу, дозволяє контролювати, аналізувати та програмувати інші режими роботи.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Аналіз умов праці

Аналізуються умови праці в на дільниці автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем.

При виконанні робіт на даній ділянці на робітників можуть впливати шкідливі та небезпечні виробничі фактори. До них належать:

- наявність в повітрі робочої зони шкідливих газів;
- підвищений та знижений рівень температур та вологості;
- недостатнє освітлення;
- підвищений рівень вібрації і шуму;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби що переміщуються;
- гострі кромки, заусениці;
- підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини.

Психофізіологічні: фізичні перевантаження; нервово-психічні перевантаження (монотонність роботи, емоційні перевантаження).

Організація та проведення робіт на дільниці, розташування та експлуатація устаткування повинні відповідати Правилам з техніки безпеки і виробничої санітарії при проведені робіт. Виробничі приміщення для технологічного процесу повинні відповідати вимогам.

8.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

В цехах існує небезпека ураження, так як в механічних цехах експлуатується обладнання, з використанням електричного струму високої напруги. В даному приміщенні наявні такі небезпечні фактори: наявність струмопровідних основ; можливість одночасного дотику людини до металоконструкції які мають з'єднання з

землею будівель, технологічних апаратів, допоміжних механізмів з одного боку і до металічних корпусів електрообладнання з іншого.

Електробезпека. Електрообладнання живиться від трифазних чотири-провідних мереж з заземленою нейтраллю споживчого трансформатора напругою до 1000 В (380/220В).

Виходячи з вище перелічених факторів це приміщення можна класифікувати як приміщення особливо небезпечні. Тому для захисту обслуговуючого персоналу вибираємо такі спосіб захисту, як занулення та захисне заземлення.

На випадок обриву нульовий провід повторно заземлюється через кожних 2 метрів та перед вводом в будівлю.

До роботи на дільниці повинний допускатися обслуговуючий персонал, що добре знає пристрій і роботу установки, що комплектує устаткування, електроживлення, вакуумних вимірів, а також технологічний процес.

Вентиляція, що відсмоктує, повинна бути постачена пиловловлюючим фільтром. Необхідно стежити за своєчасним очищенням пиловловлюючого фільтра.

Профілактичне очищення стінок камери робити пилососом і металевою щіткою.

Паління в таких приміщеннях забороняється.

У приміщеннях необхідно мати засоби для гасіння пожежі - вогнегасники ОУ - 5 (не менш 2-х шт.).

Для забезпечення умов безпеки роботи і для запобігання неправильних дій обслуговуючого персоналу, що можуть привести до аварії і виходу з ладу устаткування, передбачені блокування.

Додаткові заходи безпеки при роботі з конкретними матеріалами повинні бути зазначені у відповідних технологічних інструкціях з нанесення визначених видів покриття та пайки.

Кожен споживач зобов'язаний (у залежності від конкретних умов) розробити свою інструкцію з техніки безпеки.

За ступінню електробезпеки дільниця відноситься до категорії особливо небезпечних умов по ураженню людей електричним струмом так як присутні такі

небезпечні фактори: струмопровідна підлога; струмопровідний пил; можливість одночасного дотику до корпусів обладнання та заземлених частин. Для захисту від ураження електрострумом обираємо такі засоби: занулення; подвійна ізоляція.

8.3 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

8.3.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату та гігієнічні нормативи в робочій зоні нормуються згідно [10] і характеризується наступними показниками: температура повітря, ^{O}C; відносна вологість повітря, %; інтенсивність теплового опромінення, Вт/м^2 ; швидкість руху повітря, м/с. Мікроклімат нормується в залежності від категорії робіт та періоду року, від того постійне чи непостійне робоче місце.

Роботи, що проводяться на ділянці механічної обробки належать до категорії робіт IIб.

Параметри мікроклімату механічної ділянки наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура					Відносна		Швидкість	
		Оптимальна	Допустима верхня		Допустима нижня		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Пост. роб. місце	Непост. роб. місце	Пост. роб. місце	Непост. роб. місце				
Холодн.	IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	≥0,4
Теплий	IIб	20-22	27	29	16	15	40-60	70	0,3	0,2-0,5

Категорія робіт IIб – енерговитрати 200-250 ккал/год (233-290Вт). Норми інтенсивності теплового опромінення беремо з [10] (табл. 8.2)

Таблиця 8.2 - Норми інтенсивності теплового опромінення

Відсоток опромінення поверх тіла людини	Більше 50	25-50	Менше 25
Допустима інтенсивність теплового опромінення,Вт/м^2	35	70	100

Концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинна перевищувати встановлених норм.

Для вилучення шкідливих викидів від місць їх виникнення необхідно встановити місцеві відсмоктувачі. Аварійна вентиляція повинна забезпечувати кратність повітрообміну не нижче загальнообмінної. Забороняється працювати у виробничих приміщеннях де виділяються шкідливі речовини при несправній або відключеній вентиляції.

ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони згідно з [10] приведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м^3	Клас небезпеки	Агрегатний стан
Дизельне паливо	100	4	П
Сірчана кислота	12	А	А
Свинець та його неорганічні з'єднання	0,01	1	А

Кількість повітря, необхідного для розчинення шкідливих аерозолів до ГДК при повинна бути не менше 38700 м^3/кг при швидкості руху створюваного місцевими витягами ≥ 1,3 м/с. У приміщенні використовується приточно-витяжні системи вентиляції й місцеві витяги. Повітроводи повинні систематично очищатися від пилу, щоб кількість зваженого в повітрі й осілого пилу не могли створити вибухонебезпечні повітряні суміші в об’ємі більш 1% від об’єму приміщення.

8.3.2 Освітлення

Норми освітлення (кількісні і якісні характеристики) регламентовані [11]. На ділянці природне освітлення забезпечується подвійними вікнами. Виконувані роботи відносяться до розряду зорової роботи – 4а.

Коефіцієнт природного освітлення:

$$e^4 = e_H^3 \cdot m \cdot C_K \ , \qquad (8.1)$$

де $e_H^3 = 1.5$ - нормоване значення коефіцієнта природного освітлення;

m = 0.9 – коефіцієнт світлового клімату;

$C_K = 0.75$ - коефіцієнт сонячності клімату;

$$e^4 = 1,5*0,9*0,75 = 1,01$$

Штучне освітлення в приміщеннях повинно задовольняти вимогам (табл. 8.4).

Таблиця 8.4 – Норми освітленості приміщень і виробничих дільниць механічної обробки

Приміщення	Площина нормування освітленості	Розряд зорової роботи	Освітленість	
			норма	діюче
Механічна дільниця	Горизонтальна 0,8м	4а	300(750)	250(700)

Освітлення робочої поверхні, що здійснюється світильниками загального освітлення в системі комбінованого освітлення повинно складати 10(%) від тієї, що нормується для комбінованого освітлення при тих джерелах світла, що використовуються для місцевого освітлення.

Для загального освітлення в системі комбінованого слід передбачити, як правило, газорозрядні лампи незалежно від типу джерела світла місцевого освітлення.

При проектуванні загального освітлення (незалежно від системи освітлення) на підставі техніко-економічних розрахунків, слід приймати мінімально нерівномірність освітленості в зоні розташування робочих місць, при цьому відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинно перевищувати для робіт I - III розрядів при люмінесцентних лампах 1,5; при інших джерелах світла-2.

При виконанні в приміщеннях робіт 1-V розрядів освітленість проходів та дільниць де роботи не виконуються, повинна складати не менше 25(%) освітленості, що створюються світильниками загального освітлення на робочому місці, але не менше 75(лк) при газорозрядних лампах.

Для місцевого освітлення повинні бути передбачені світильники з непросвічуючими відбивачами, які мають захисний кут не менше 30°.

Аварійне освітлення передбачається, якщо відключення робочого освітлення може викликати:

– порушення норм обслуговування обладнання;

– тривале порушення технологічного процесу;

– порушення роботи пристроїв вентиляції і кондиціювання повітря для виробничих приміщень.

8.3.3 Шум

Джерелом шуму на дільниці є працююче обладнання та інструмент, установки та пристрої, а також системи вентиляції.

За характером спектру шум на дільниці широкосмуговий із безперервним спектром шириною більше октави. За часовими характеристиками шум постійний, так як рівень звука за восьмигодинний робочий день змінюється в часі не більш, ніж на 5 дБА. За походженням шум механічний (від працюючого обладнання) і аеродинамічний (від вентиляційних установок). Характеристикою шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску (дБ) в октавних смутах з середньогеометричними частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допускається в якості

характеристики постійного широкосмугового шуму на робочих місцях при орієнтовній оцінці приймати рівень звуку (дБА), виміряний на тимчасовій характеристиці "повільно" шумоміра по [12].

Гранично допустимий спектр шуму на робочих місцях на дільниці відновлювання приведений у табл. 8.5.

Таблиця 8.5 – Допустимий спектр шуму на робочих місцях

Вид трудової діяльності	Октавні рівні звукового тиску, дБ на середньогеометричних частотах, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення шуму на дільниці використовують архітектурно-планувальні методи захисту. Сюди відноситься раціональне розміщення технологічного обладнання, верстатів, раціональне розміщення робочих місць, раціональне акустичне планування зон і режиму руху транспорту, створення різних шумозахищених зон в різних місцях знаходження людей.

Вимоги по допустимому рівню шуму виконуються.

8.3.4 Вібрація

Від роботи інструменту, систем вентиляції та іншого працюючого обладнання на працюючих може діяти вібрація. Вібрація характеризується такими показниками як віброшвидкість, віброприскорення, рівень віброшвидкості, рівень віброприскорення.

Категорія вібрації 3 тип "а" - технологічна на робочих місцях. Критерій оцінки - межа зниження продуктивності пращ. На працюючих діє локальна і загальна вібрація. Вона передається через руки працюючих і через підошви ніг.

Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на працюючого при тривалості зміни 8 год приведені в табл. 8.6.

Таблиця 8.6 – Норми вібраційного навантаження

Вид вібрації	Категорія вібрації за санітарними нормами	Напрямок дії	Нормативні коректовані за частотою та еквівалентні коректовані значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с^2	дБ	м/с, $\cdot 10^{-2}$	дБ
Локальна	----------	X_n; Y_n; Z_n	2,0	126	2,0	112
Загальна	3 тип “а”	X_0; Y_0; Z_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення вібрації, яка передається на робочі місця, обладнання на дільниці встановлено на віброізолятори. Вентилятори систем вентиляції також встановлюють на віброізолятори і розміщують поза приміщеннями.

Вимоги по допустимому рівню вібрації виконуються відповідно до [13].

8.4 Технічні рішення з пожежної безпеки

Категорії виробництв по пожежній небезпеці варто приймати по спеціальних відомчих переліках, затвердженим міністерствами у встановленому порядку [15-18].

Цехи і ділянки, де ведуться роботи відновлення та зміцнення, відносяться до категорії Г виробництв по пожежній і вибуховій небезпеці. Кількість вогнегасників і інших первинних засобів пожежегасіння для таких цехів і ділянок повинне вибиратися відповідно до зазначених вище Типовими правилами. Приміщення повинні бути побудовані з елементів конструкцій по IV категорії протипожежної безпеки (протипожежна стійкість не менш 2 год.).

Місця, відведені для установки устаткування повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів у радіусі не менш 5 м. Роботи повинні проводитися у відповідності з типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємстві.

Таблиця 8.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см.) для даного ступеня вогнестійкості будівель

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Сходчаті площадки і клітки, косоури	Плити, настили інші несучі конструкції перекрить	Елементи покриття	
	Несучі	Самонесічі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				Плити, настили,	Балки, ферми, арки, рами
IIa	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

Таблиця 8.8 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного		
			Одноповерхових	Багатоповерхових	
				2 поверхи	3 і більше
Г	6	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.

Найбільш прийнятним способом пожежегасіння для проектуємої дільниці є спосіб розбавлення. Він полягає у тому, що при концентрації кисню у повітрі до 14-18% горіння припиняється. Досягається це за рахунок введення в повітря інертних газів, головним чином вуглекислого. Вуглекислим газом можна гасити все, включаючи електроустановки, що знаходяться під напругою. Для пожежегасіння використовують рідку вуглекислоту. В якості ручних вуглекислотних вогнегасників застосовуються ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8.

За рекомендаціями технічних вимог з експлуатації установки в приміщеннях, де відбуваються роботи, необхідно мати вогнегасники ОУ-5 в кількості не менше 4 шт.

Відстань до евакуаційних виходів для категорії приміщень Г та III ступеня вогнестійкості не обмежується густиною людського потоку в загальному проході. Ширина шляхів евакуації у світлі повинно бути не менше їм, дверей - не менше 0,8 м. Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2м.

В процесі розробки охорони праці на ділянці технологічного процесу відновлення та зміцнення вала черв'ячного колеса був проведений аналіз умов праці, визначені санітарно-гігієнічні вимоги до приміщення, проведений розрахунок рукавного відсмоктувача, розроблені питання з техніки безпеки роботи на даній дільниці та пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи було спроєктовано та запрограмовано автоматизований привод модуля лінійних переміщень вантажопід'ємністю 130 кг. Модуль лінійних переміщень забезпечує виконання зварювальних робіт за допомогою транспортування робота. Під час досягнення мети було пройдено наступні етапи:

- ✓ на основі отриманого завдання описано службове призначення виробу та виконати аналіз кінематичної схеми, розраховано розрахункове навантаження в 1619 Н та прийнято потужність приводу в 120 Вт;
- ✓ розроблено конструкцію рами із труб прямокутного профілю 30х50 мм товщиною стінки 2,0 мм, а також пластин товщиною 3,0 мм для підсилення місць їх з'єднання. Забезпечено коефіцієнт запасу міцності 1,79;
- ✓ підібрано кроковий двигун 86HSE4N-B38 для забезпечення крутного моменту 3,7 Нм та швидкості обертання 312,4 об/хв;
- ✓ розраховано зубчасто-рейкову передачу з модулем 1,25 мм, ділилиьний діаметр шестерні 27,5 мм, а довжина рейки – 2100 мм;
- ✓ вибрано підшипники KUVE15-B-EC із запасом по вертикальному зусиллю понад 6 разів, а також має запас по статичному моменту в 1,3 рази;
- ✓ обґрунтовано обслуговування та мащення рухомих елементів виробу;
- ✓ розроблено та запрограмовано систему керування модулем лінійних переміщень на базі контролера Arduino;
- ✓ описано роботу спроєктованого автоматизованого приводу та його технічні характеристики.

Крім цього проаналізовано стан охорони праці під час проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень. Прийняті показники по мікроклімату, освітленню, шумо- та звукоізоляції. Розроблено рекомендації по техніці безпеки: електробезпеці та пожежній безпеці для створення безпечних умов роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Amit Bhatt, Mark Wiley. SolidWorks 2022 Step-By-Step Guide: Part, Assembly, Drawings, Sheet Metal, & Surfacing, 5th Edition. India : CADFolks, 2022. 438 p.
2. Каталог фірми Filling Motor на сайті українських експортерів. URL: https://cnc-market.in.ua/
3. Ковальов Ю. А., Кошель С. О., Манойленко О. П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: навч. посіб. Київ: Центр навчальної літератури, 2019. 256 с.
4. Randy H. Shih. Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation 2021. USA : SDC Publications, 2021. 551 p.
5. Малащенко В. О., Янків В. В. Деталі машин. Курсове проектування: навч. посіб. Львів: Новий Світ, 2004. 232 с.
6. Веб-сайт для генерації зубчастих передач. URL: https://evolventdesign.com/pages/spur-gear-generator
7. Каталог фірми Schaeffler на сайті [Електронний ресурс]: https://medias.schaeffler.com/medias/lin/dimension.do
8. Веб-сайт для уточнення параметрів лінійних напрямних. URL: https://bearinx-online-easy-linear.schaeffler.com/
9. Рекомендації по вибору мастила для лінійних напрямних. URL: https://medias.schaeffler.de/en/greaseselection
10. Офіційний сайт продуктів та підтримки Arduino. URL: https://www.arduino.cc/
11. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: http://mozdocs.kiev.ua/vie.
12. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013.
13. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_ doc=79885
14. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку.

15. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

16. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. URL: https://ammokote.com/wp-content/uploads/2020/08/DSTU_2272_2006.pdf.

17. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: https://dwg.ru/dnl/15125.

18. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn _v.

19. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

20. Трегубов В. О., Соколовський М. Є., Ницимайло В. О., Піонткевич О. В. Удосконалення гідроприводів мобільних робочих машин пропорційною гідроапаратурою та мікроконтролером. Матеріали Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування» : збірник наукових праць. Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 257-261.

21. Соколовський М. Є., Мельник А. С., Маслов Я. В. Проєктування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей з використанням CAD/CAM-систем. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20429.

ДОДАТКИ

Додаток А

Перевірка на плагіат

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: *Проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень з використанням CAD/CAE-систем*

Тип роботи: *бакалаврська кваліфікаційна робота*

Підрозділ: *кафедра технологій та автоматизації машинобудування*
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 95,5 Схожість 4,5

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ *Лозінський Д.О.*
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

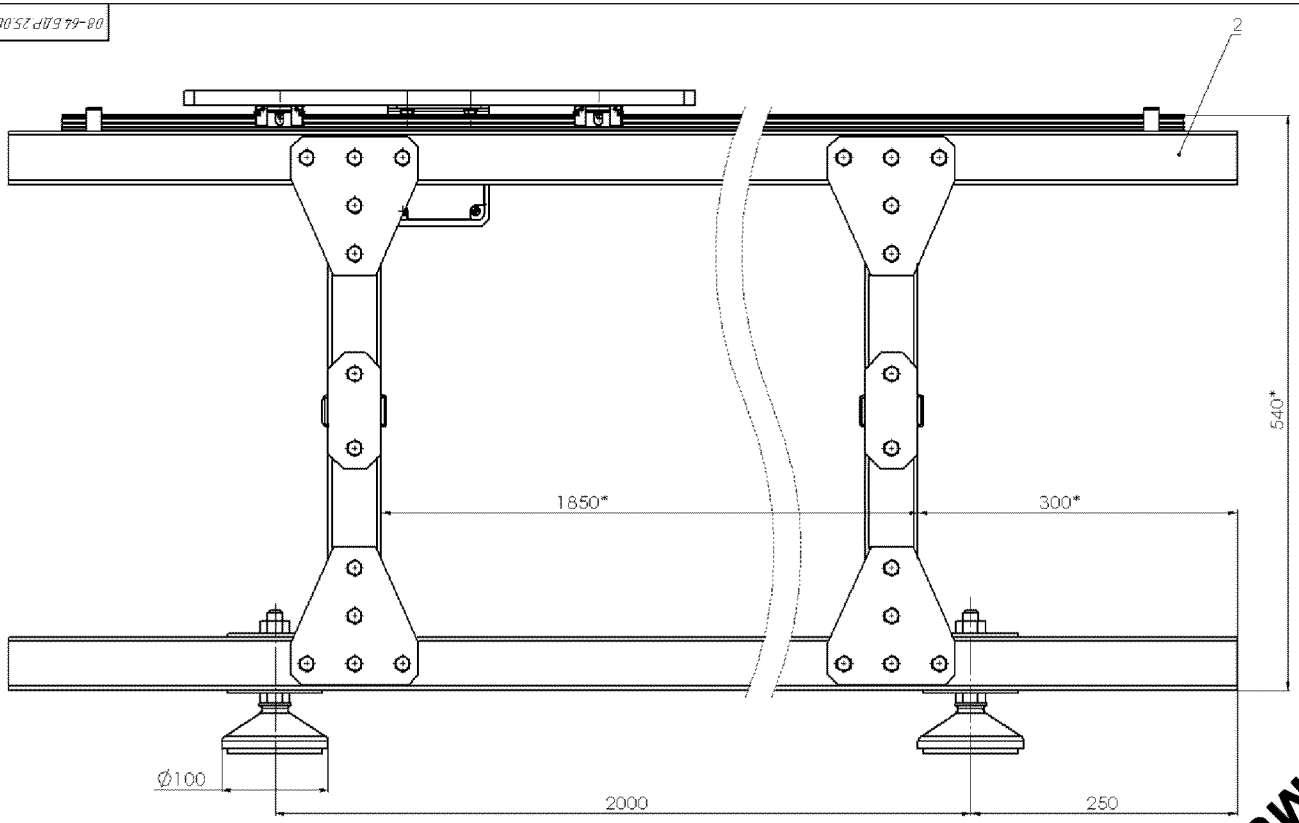
Автор роботи _____ *Соколовський М.Є.*
(підпис) (прізвище, ініціали)

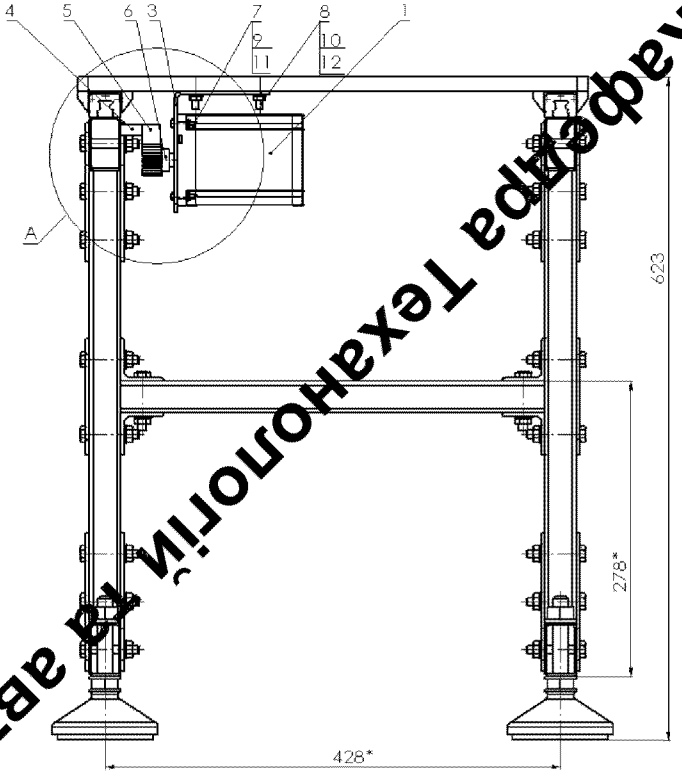
Керівник роботи _____ *Піонткевич О.В.*
(підпис) (прізвище, ініціали)

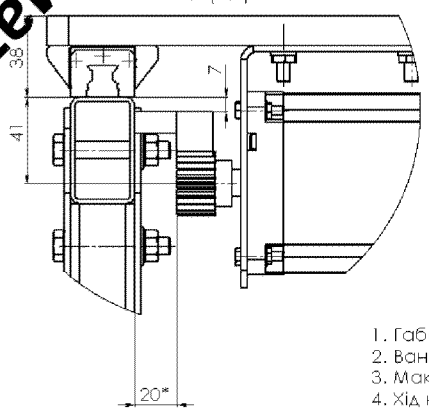
Додаток Б

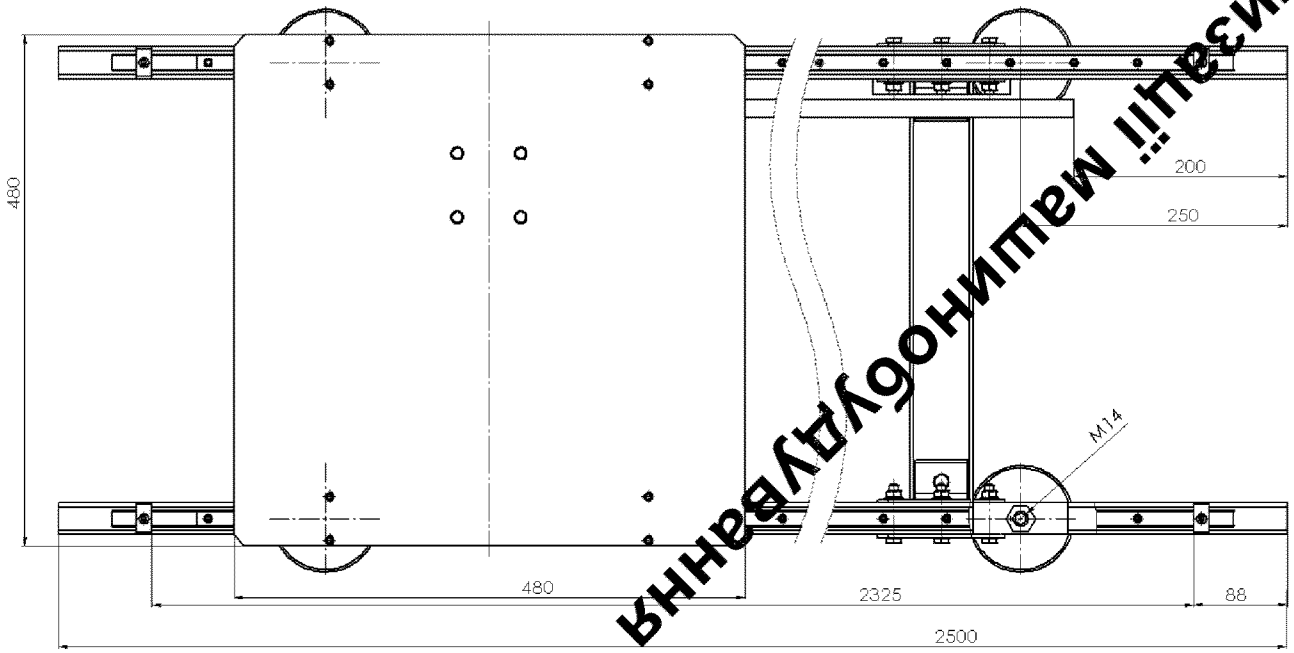
Графічна частина

08-64.БДР.25.00.00.000 СК









Технічні характеристики

1. Габаритні розміри каретки, мм 480х480
2. Вантажопідйомність, кг 130
3. Максимальна швидкість, м/с 0,45
4. Хід каретки, м 2,0

Технічні вимоги

1 * Розміри для довідок
2 Мащення напрямних виконуємо через ніпель, що розміщені на підшипниках.
3. Мащення зубчасто-рейкової передачі виконуємо мастилами на літаєвій основі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-64.БДР.25.00.00.000 СК		
Розроб.		Соколовський		06.06	Модуль лінійних переміщень	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Пронткович		06.06	Складальне креслення	71		1:2,5
Т.контр.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Н.контр.						ВНТУ		
Н.контр.		Лойнський		10.06		ст. гр. 1 ПМ -20 б		
Утв.		Ковтов		12.06				

Креслення_Плоф форма Ковтов Формат А1

Перв. застосуб.

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

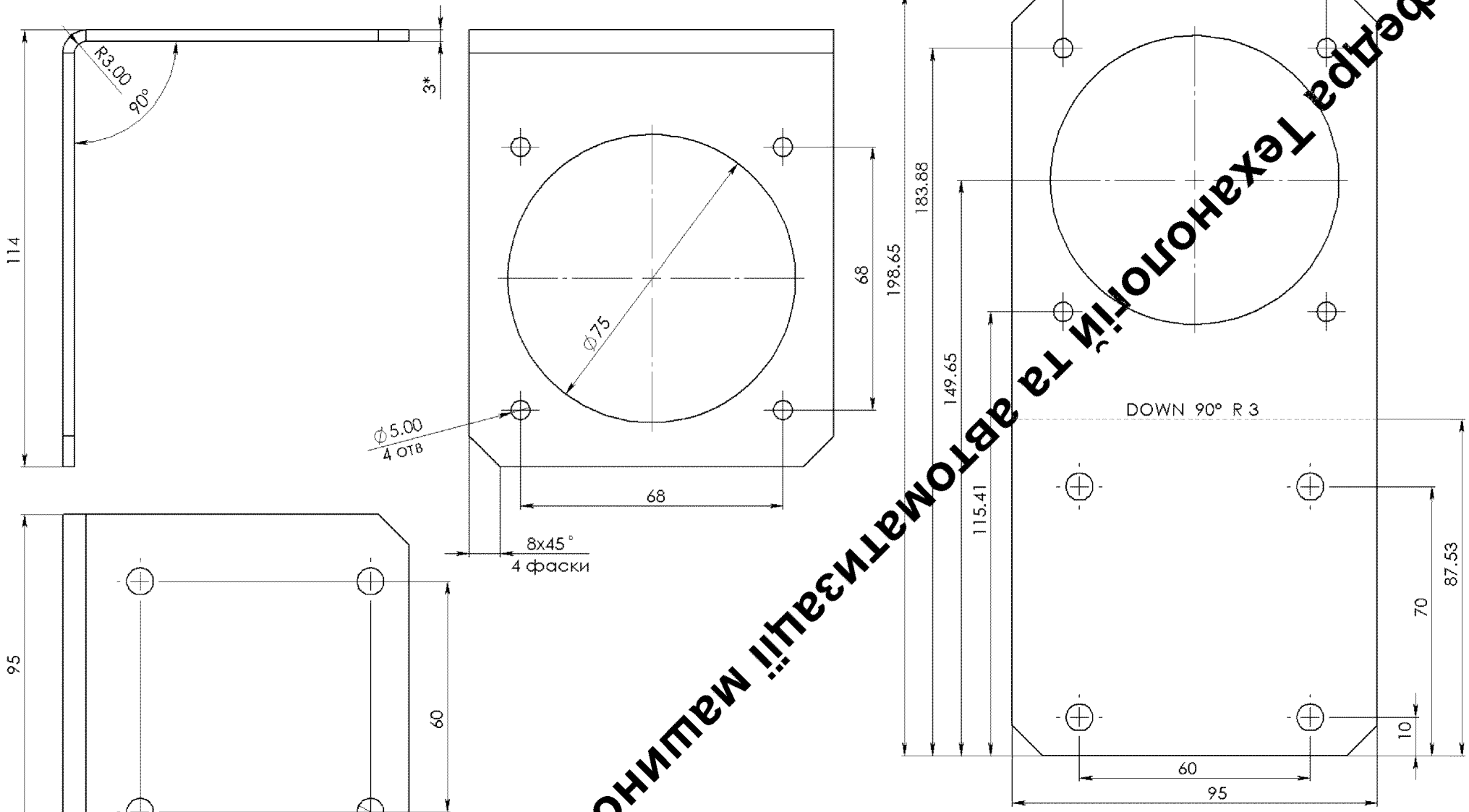
Підпис та дата

Інв. № орис.

Кафедра технології та автоматизації машинобудування

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл-ть	Примітка
				Документація		
A1			08-64.БДР.25.00.00.000 СК	Складальне креслення	1	
				Комплекси		
		1	08-64.БДР.25.01.00.000 СК	Кроковий двигун 86HSE4.5N-B32	1	
				Складальні одиниці		
		2	08-64.БДР.25.00.01.000 СК	Рама з кареткою	1	
				Деталі		
		3	08-64.БДР.25.00.00.001	Кронштейн електродвигуна	1	
		4	08-64.БДР.25.00.00.002	Полоса	1	
		5	08-64.БДР.25.00.00.003	Рейка	1	
		6	08-64.БДР.25.00.00.004	Шестерня	1	
				Стандартні вироби		
				Болт ДСТУ 7798:2008		
		7		M4x25.58	4	
		8		M6x25.58	4	
				Гайка ГОСТ 5916-70		
		9		M4-7H.5	4	
		10		M6-7H.5	4	
				Шайба ГОСТ 6402-70		
		11		4 65Г	4	
		12		6 65Г	4	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	08-64.БДР.25.00.00.000 СП		
Виконав		Соколовський		06.06	Модуль лінійних переміщень	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Піонткевич		06.06		Н	1	1
Н.контр.		Лозінський		10.06		ВНТУ, гр. 1ПМ-20б		
Затв.		Козлов		12.06				



* Розміри для довідок

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-64.БДР.25.00.00.001			
Розроб.		Соколовський		06.06	Кронштейн електродвигуна	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Піонткевич		06.06			0,33	1:1
Т.контр.						Аркуш	Аркушів 1	
Н.контр.		Лозінський		10.06	Лист	З ДСТУ 8540:2015 / Ст. З ДСТУ 9218:2023	ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-20б	
Утв.		Козлов		12.06				

Кронштейн двигуна

Копіював

Формат А3

Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

КІНЕМАТИКА СХЕМИ ПРИВОДУ

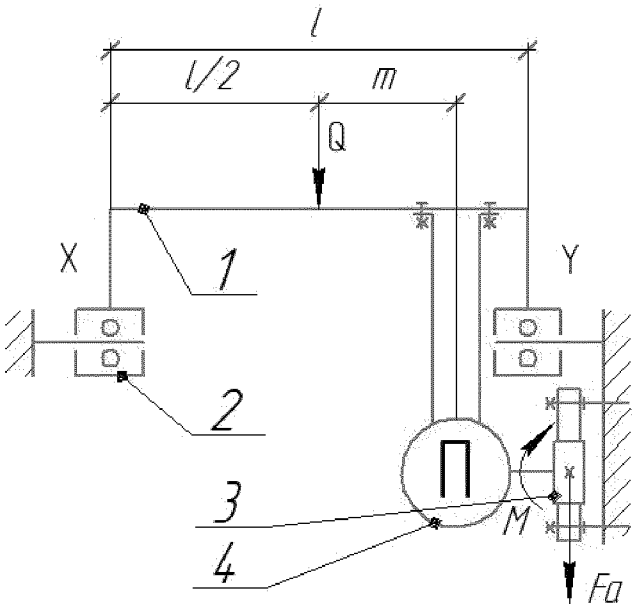


Рисунок 1 – Запропонована кінематична схема модуля лінійного переміщення:
1 – каретка, 2 – опора кочення,
3 –зубчасто-рейкова передача,
4 – електродвигун

Для проєктування даного механізму використаємо вихідні дані:

- габаритні розміри каретки (в плані) – 480х480 мм;
- вантажопідйомність – 130 кг;
- максимальна швидкість переміщення – 0,45 м/с;
- хід каретки – 2,0 м.

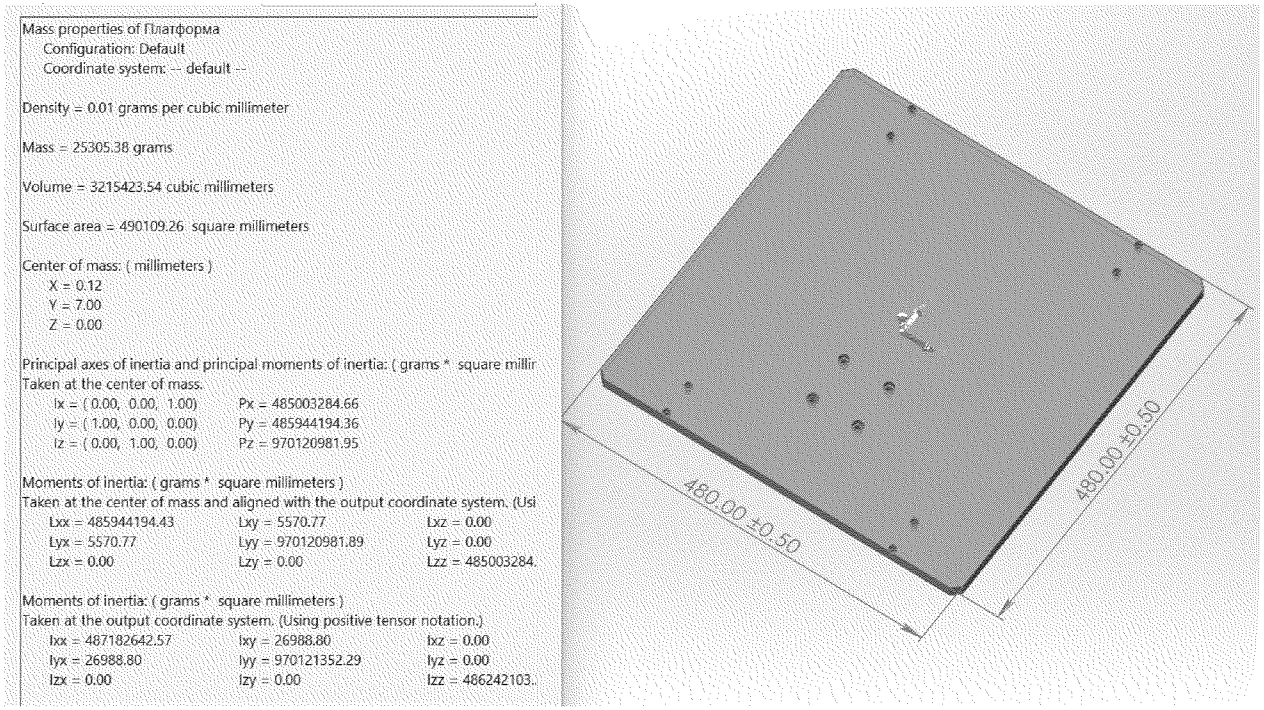


Рисунок 1.2 – Визначення маси каретки модуля лінійних переміщень

Результати розрахунку:

Розрахункове навантаження на платформу Q=1619 Н.

Попередньо прийнято розрахункову потужність крокового електродвигуна приводу P_1= 120 Вт.

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ПРИВОДУ

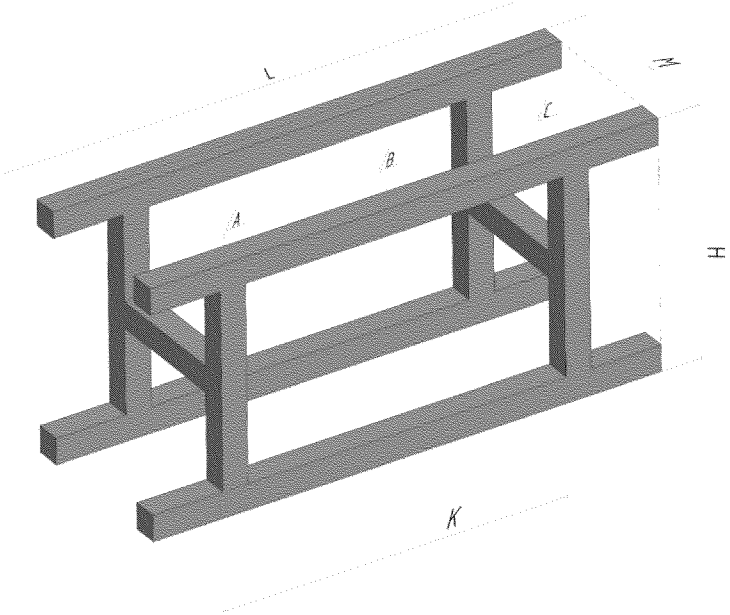


Рисунок 1 – Конструктивне рішення рами приводу

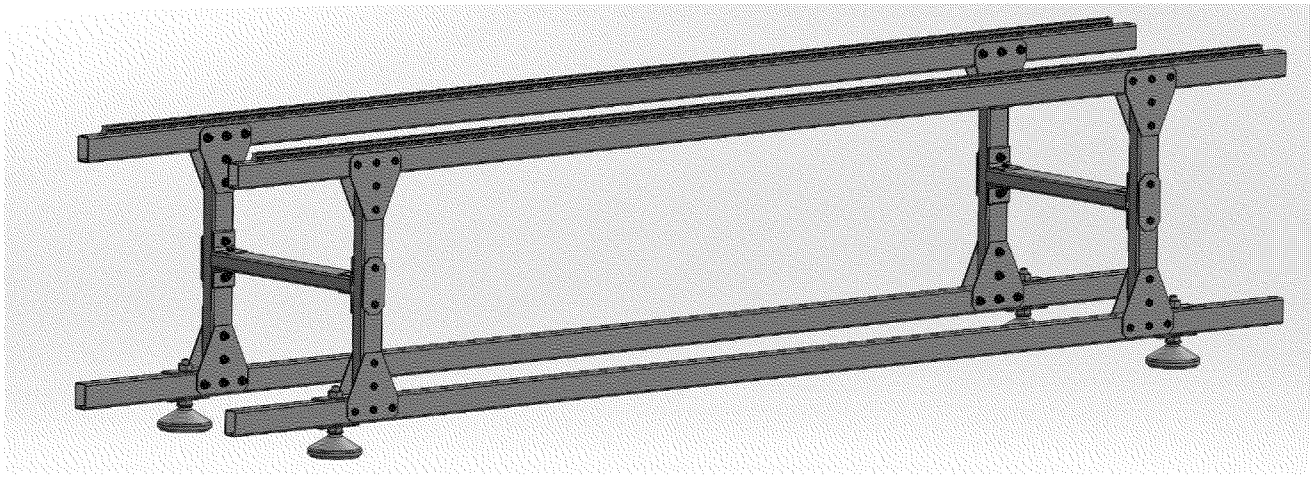


Рисунок 2 – Прототип конструкції рами приводу

Вихідними даними для розробки несучої конструкції виробу є наступні параметри згідно рисунку 1:

K=1850 мм,

M=460мм,

H=525мм,

L=2500мм.

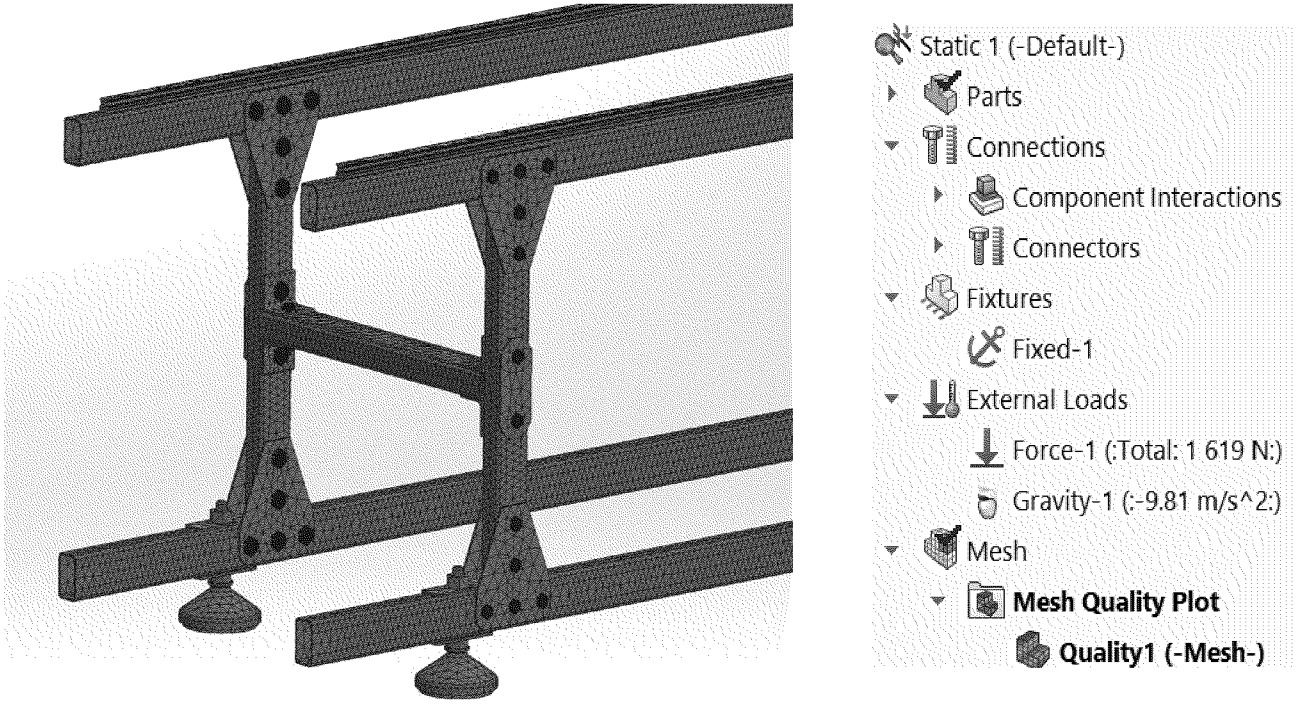


Рисунок 3 – Налаштування для імітаційного моделювання рами

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ПРИВОДУ

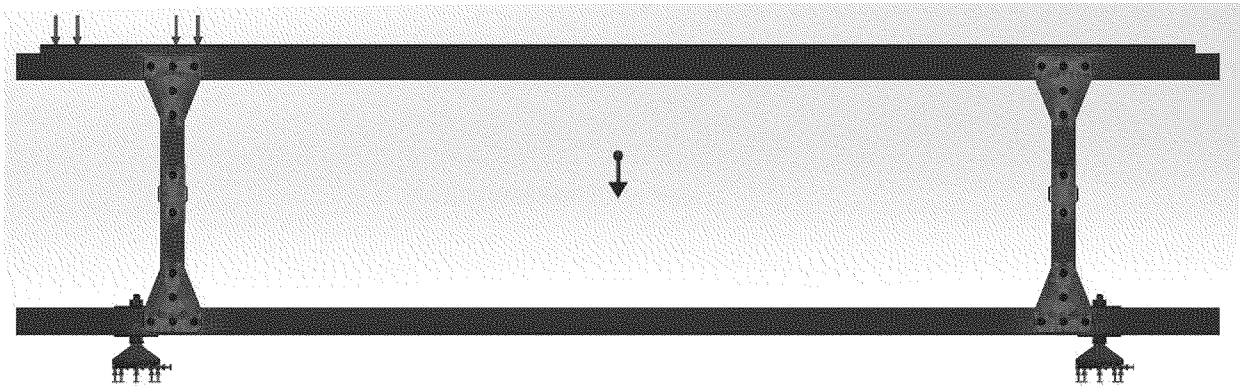


Рисунок 1 – Схема навантаження в лівій позиції рами

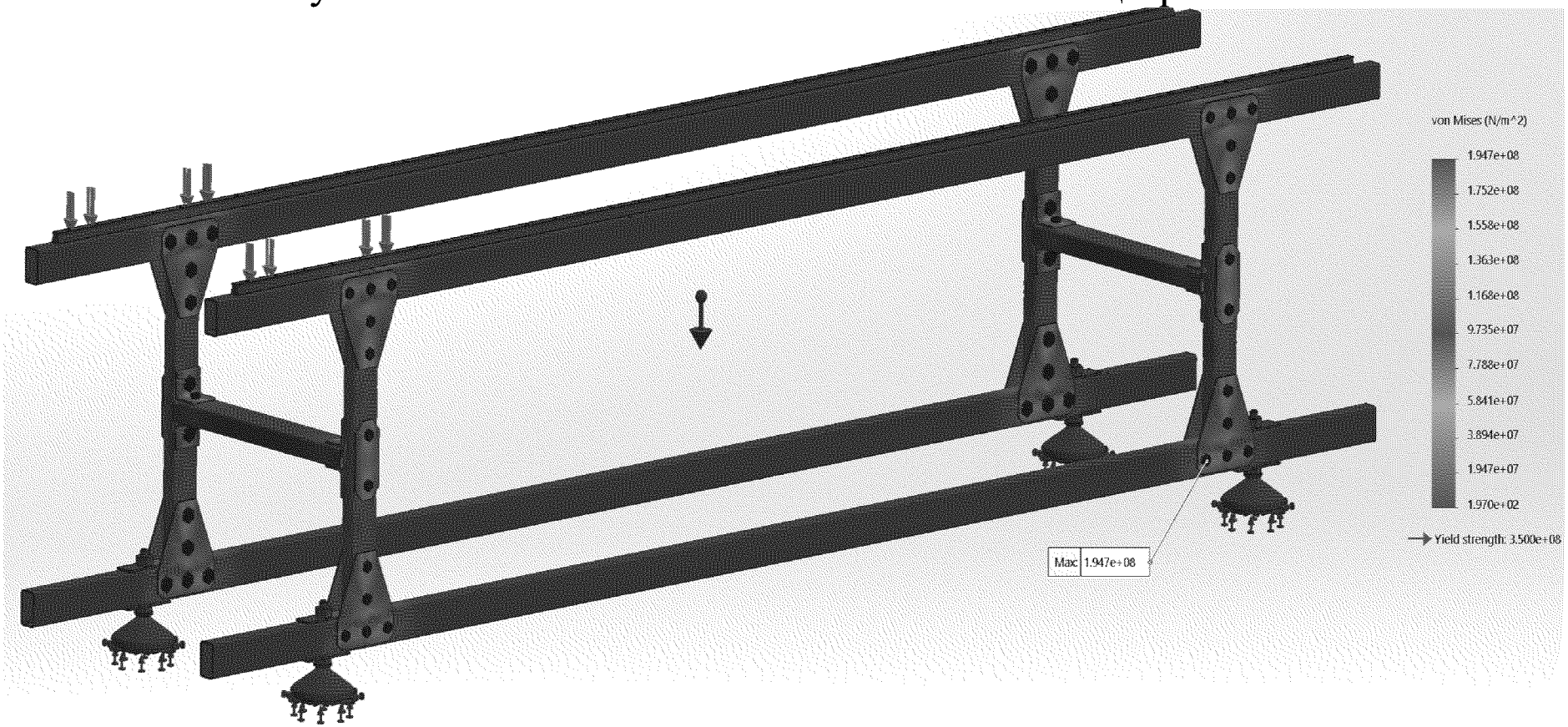


Рисунок 2 – Напруження, що виникають в конструкції рами

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ПРИВОДУ

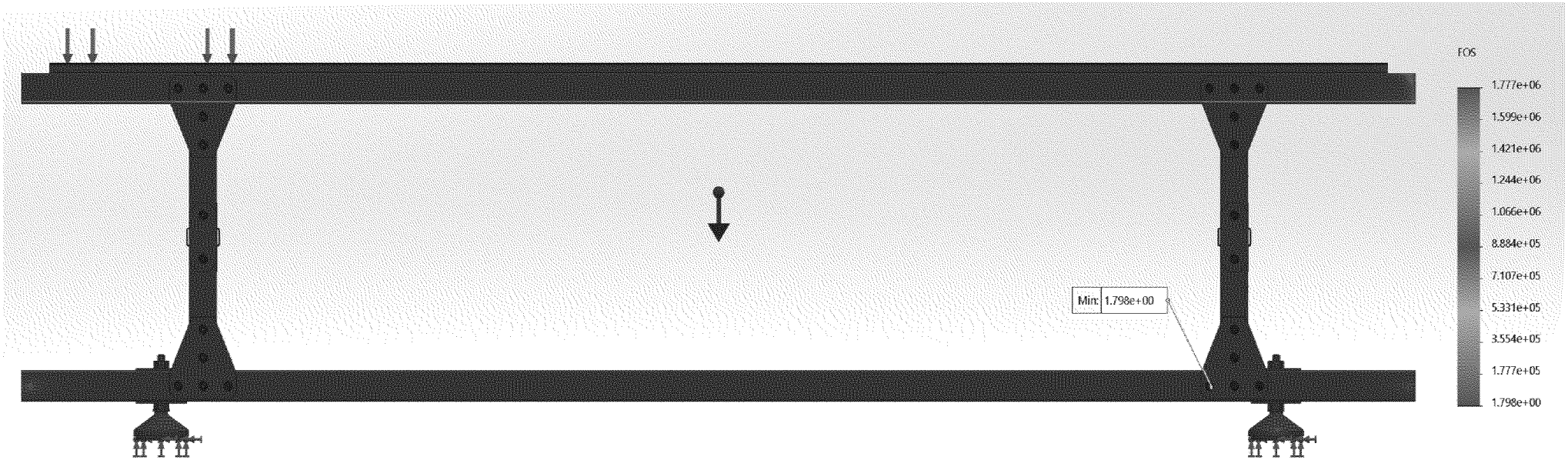


Рисунок 1 – Розрахований коефіцієнт запасу міцності

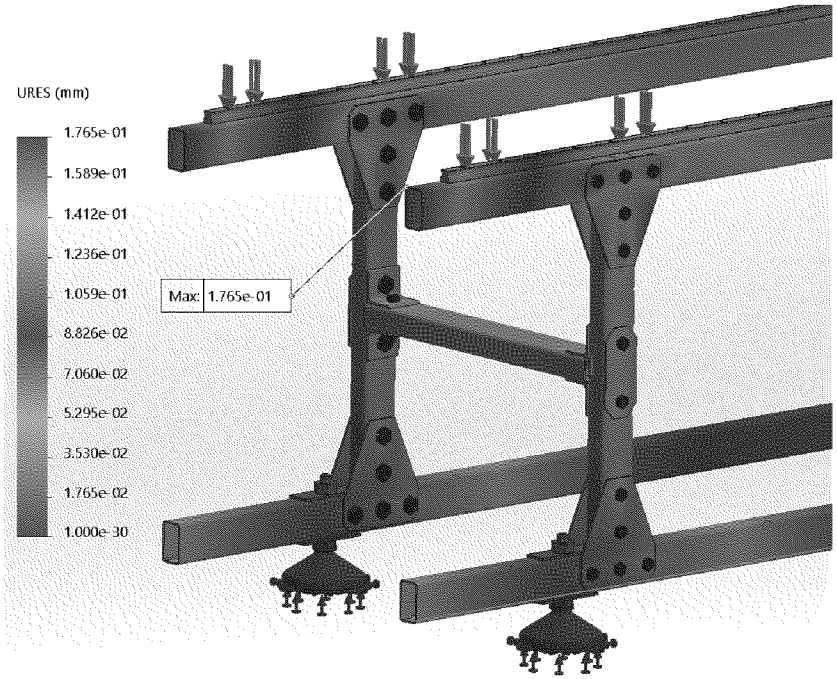


Рисунок 2 – Максимальна деформація, що виникає в конструкції рами

Виходячи з отриманих результатів можна побачити, що при застосуванні труб прямокутного профілю 30x50 мм з товщиною стінки 2,0 мм, а також пластин товщиною 3,0 мм для підсилення місць їх з’єднання, досягається мінімальний запас міцності який виходить більшим за 1,79.

КРОКОВИЙ ДВИГУН ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИВОДУ

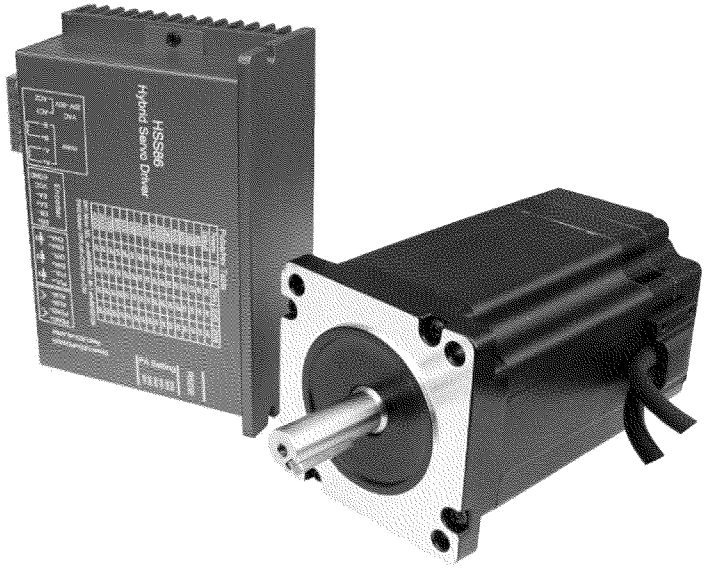


Рисунок 1 – крокового двигуна 86HSE4N-B38 з гібридним серводрайвером HSS86

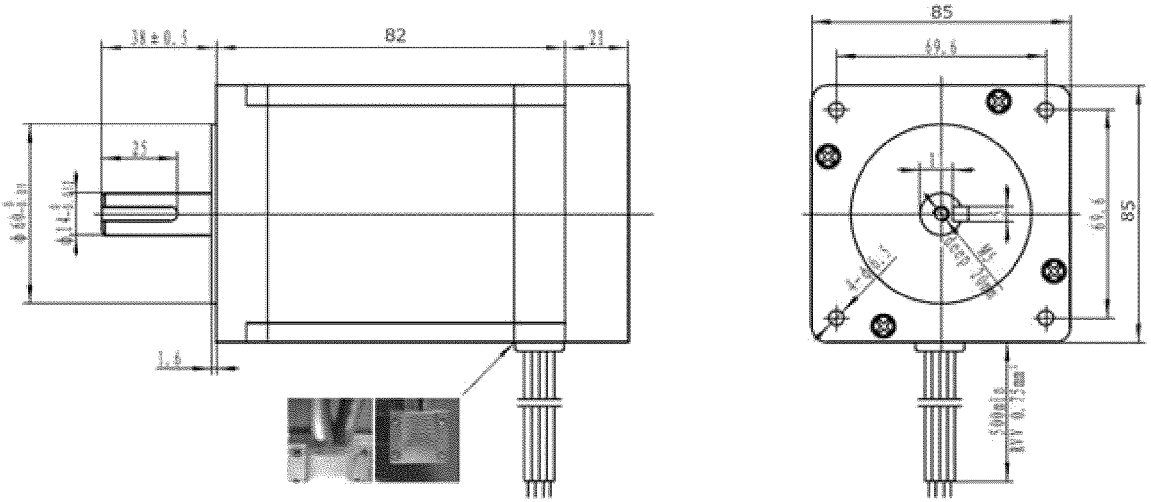


Рисунок 2 – Конструктивні розміри крокового двигуна 86HSE4N-B38

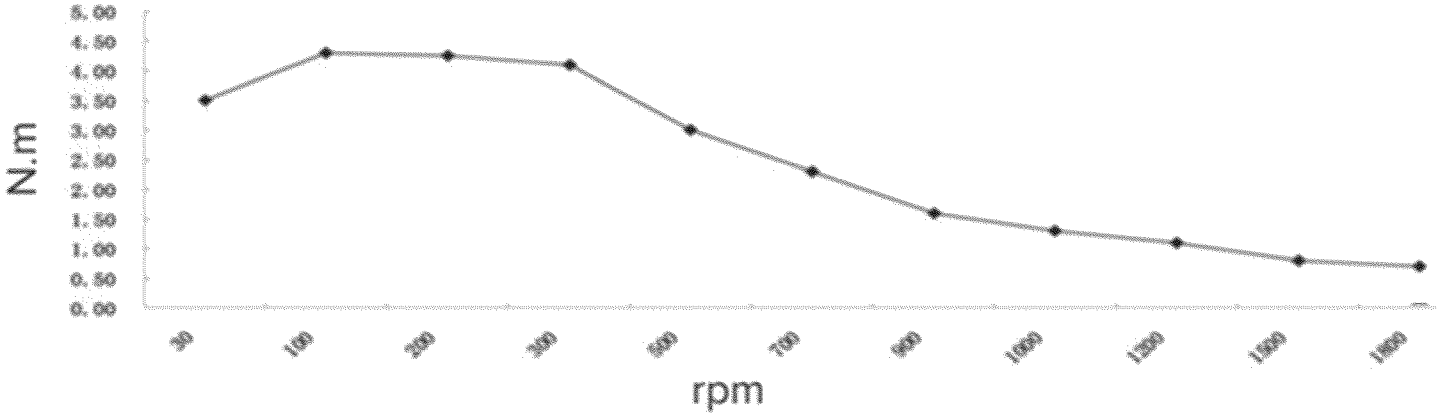


Рисунок 3 – Паспортні дані відповідності крутного моменту до частоти обертання валу крокового двигуна

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ

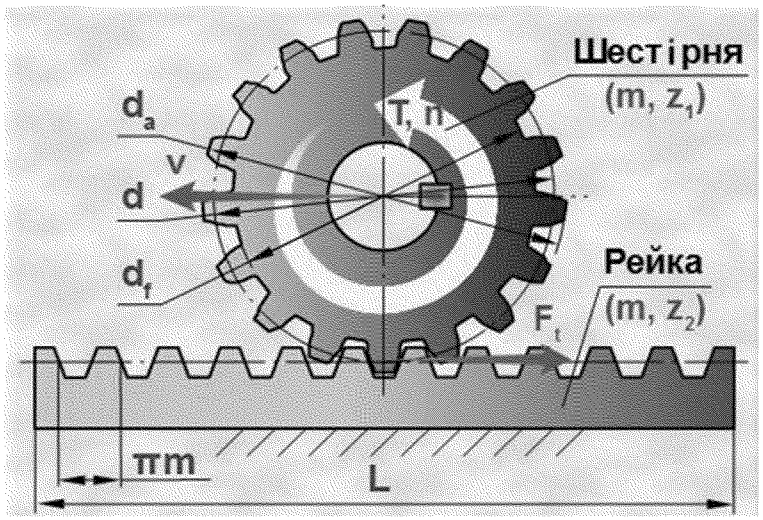


Рисунок 1 – Схема зубчасто-рейкової передачі

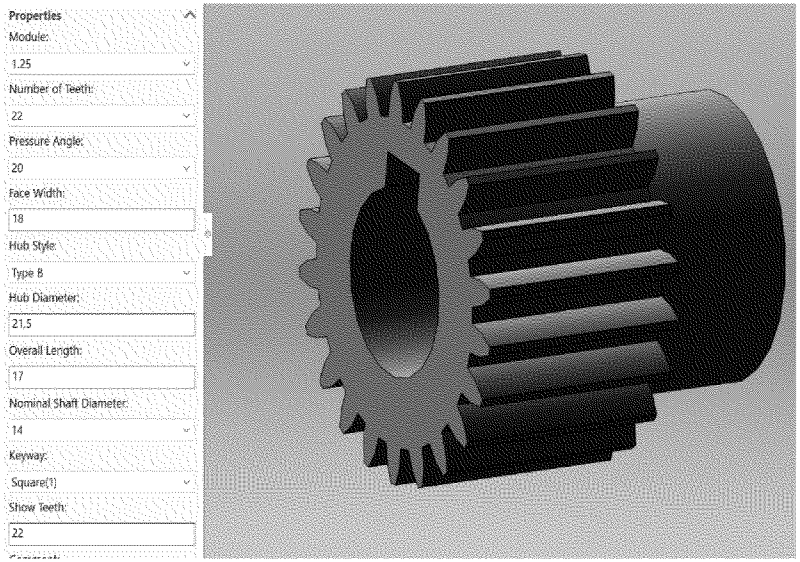


Рисунок 2 – Вибір параметрів для проєктування шестірні

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку зубчасто-рейкової передачі

	Результати розрахунку та вибору параметрів:	Позначення	Значення	Од. вим.
1	Допустимі контактні напруження	$[\sigma_H]$=	566.1	МПа
2	Розрахунковий ділильний діаметр шестірні	$d_p \geq$	20.8	мм
3	Розрахунковий модуль зачеплення	$m_p \approx$	1.22	мм
4	Назначаємо модуль зубчатої передачі	m=	1.25	мм
5	Розрахункове число зубів шестірні	$z_{1p} \geq$	17.0	шт
6	Призначаємо число зубів шестірні	z_1=	22	шт
7	Ділильний діаметр шестірні	d=	27.500	мм
8	Діаметр вершин зубів шестірні	d_a=	30.000	мм
9	Діаметр впадин шестірні (довідково)	d_f=	24.375	мм
10	Ширина зубчастого вінця шестірні	$b_1 \approx$	19.0	мм
11	Ширина зубів рейки	$b_2 \approx$	17.0	мм
12	Колова сила на шестірні (сила на рейці)	F_t=	269	Н
13	Потужність на валу шестірні	P=	121	Вт
14	Частота обертання валу шестірні	n=	312.4	об/хв

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ

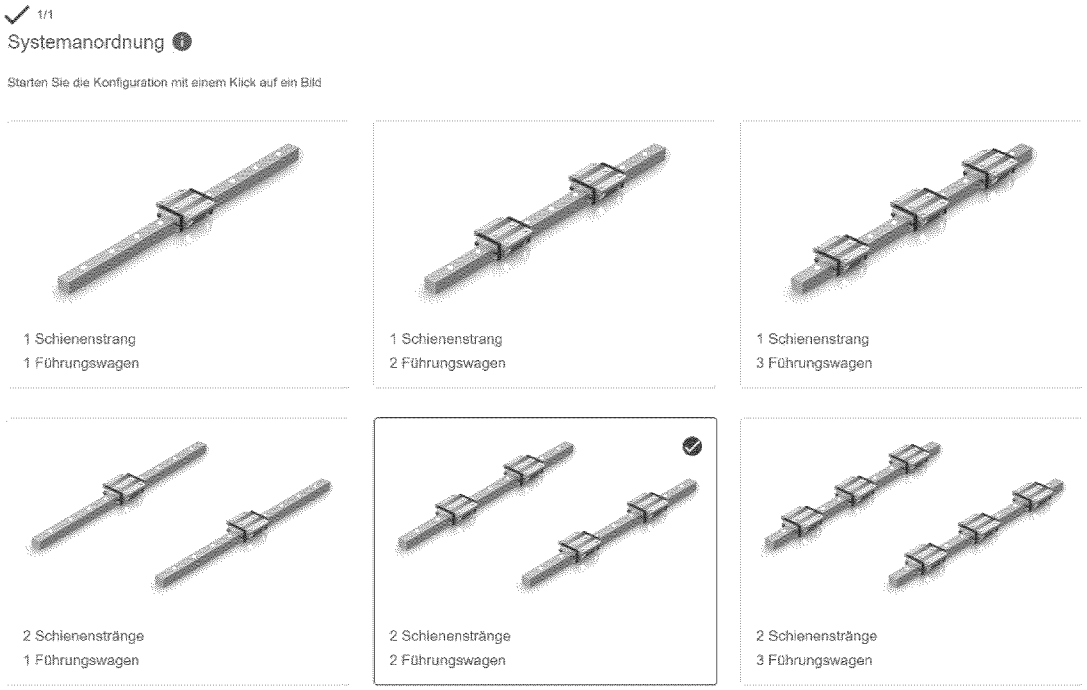


Рисунок 1 – Обираємо схемне рішення по кількості лінійних підшипників та напрямних

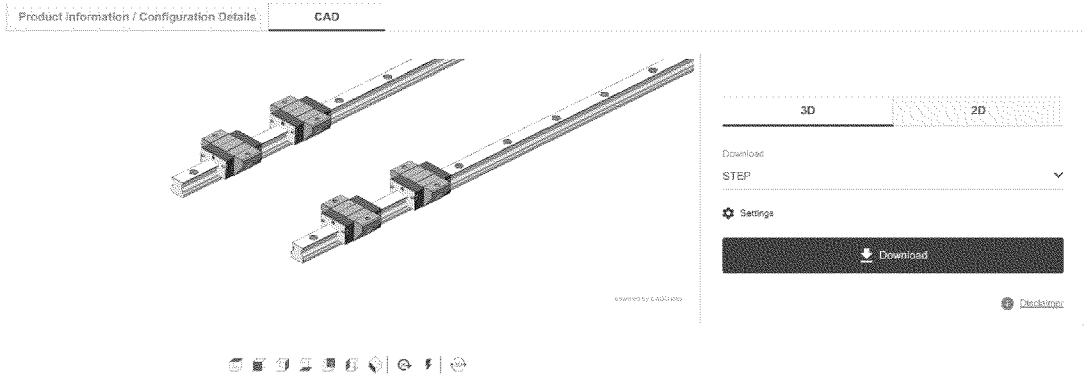


Рисунок 2 – Скачування тривимірної моделі напрямних

Вибраний тип напрямних

KUVE15-B-EC

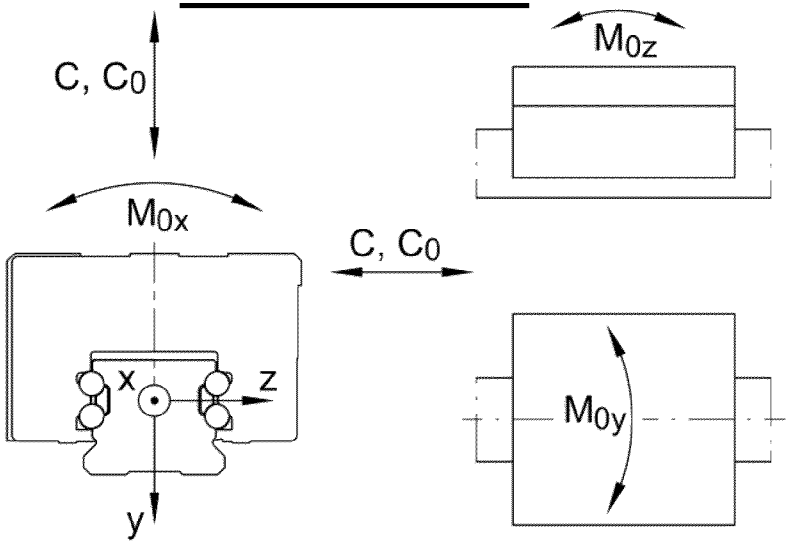


Рисунок 3 – Напрямки дії динамічних навантажень на підшипники

Умови сприйняття навантаження

$$C > R_{ay},\ M_{0x} > M_a \qquad (1)$$

Вибрані напрямні KUVE15-B-EC мають запас по вертикальному зусиллю понад 6 разів, а також має запас по статичному моменту в 1,3 рази.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

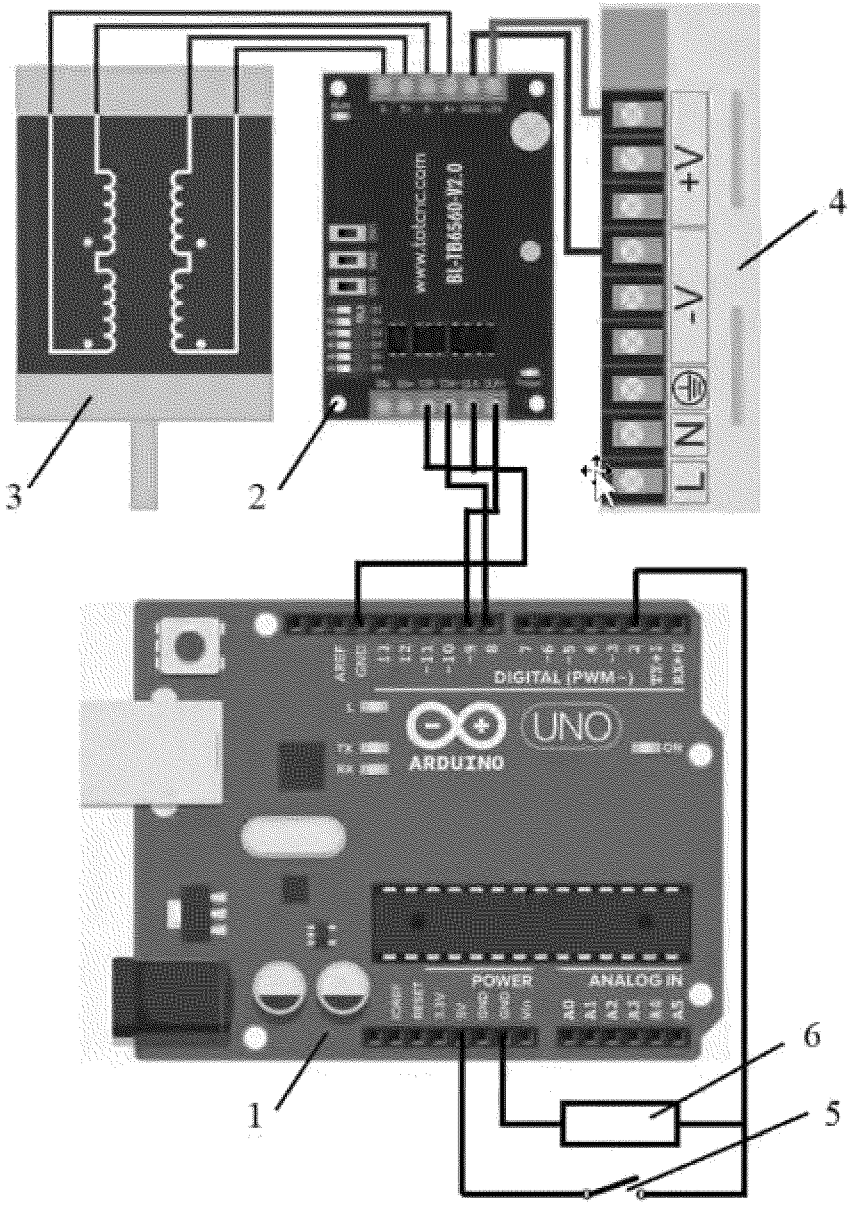


Рисунок 1 – Система керування зібраної схеми з кроковим двигуном

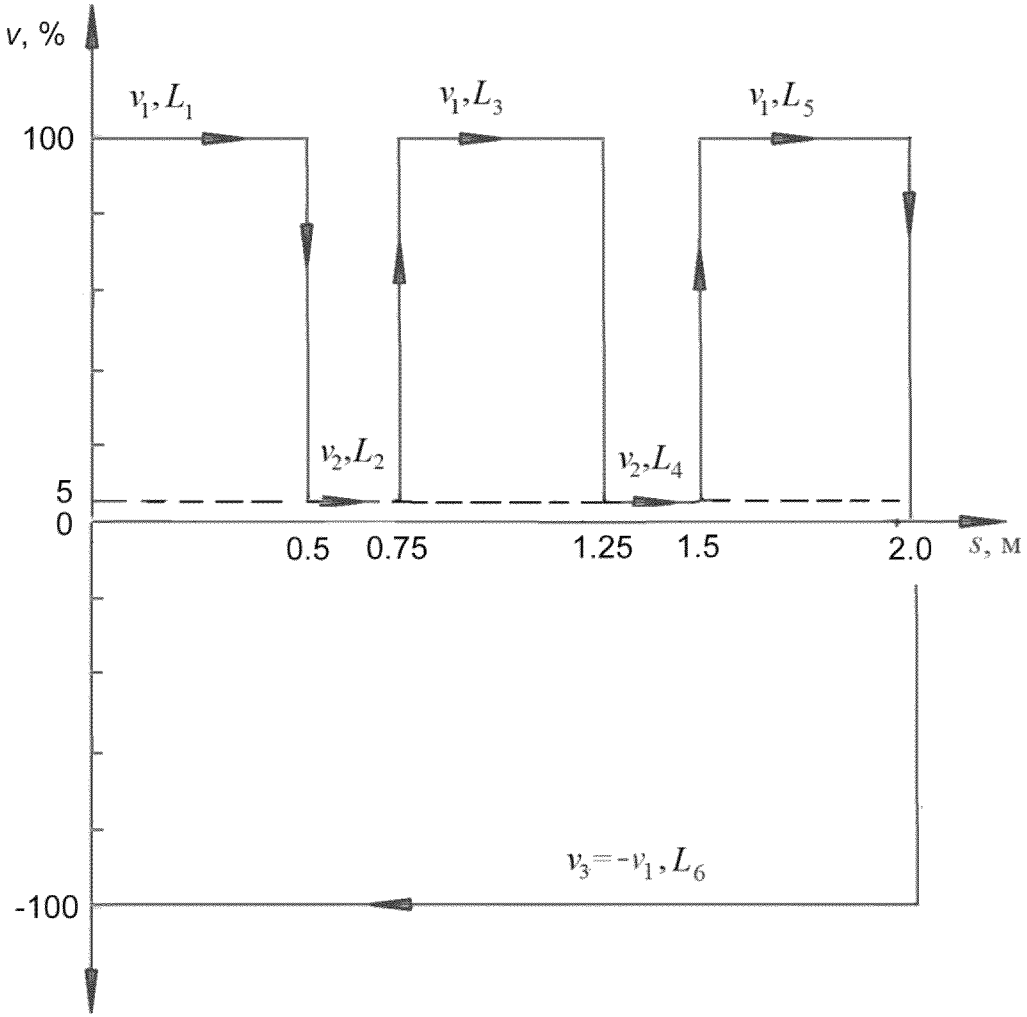


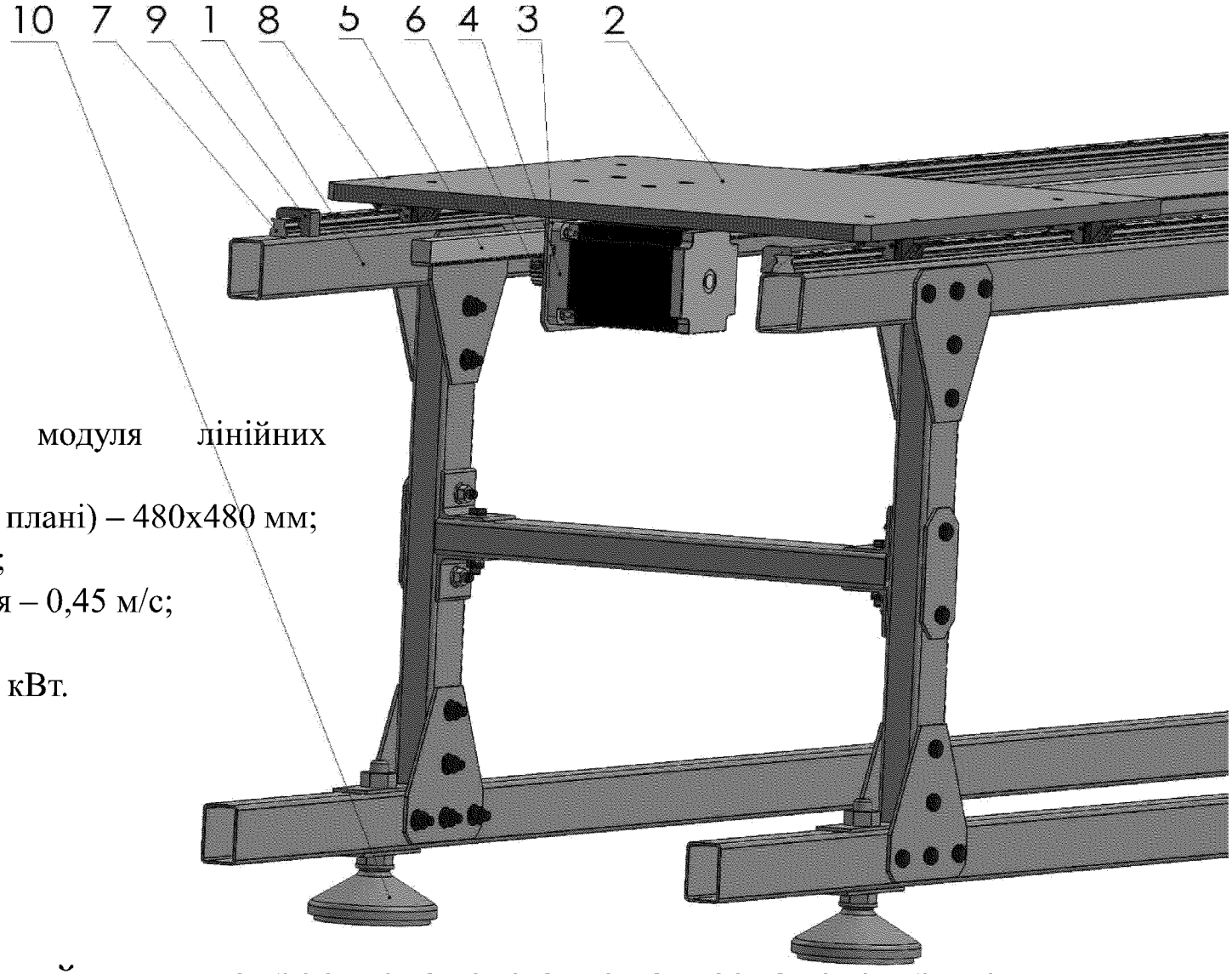
Рисунок 2 – Залежність величини швидкості і напрямку руху платформи в залежності від пройденого шляху

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Програму керування платформою:

```
boolean butt_flag=0;
boolean butt;
boolean led_flag=0;
int imp;
unsigned int col;

    void ff1(int imp, unsigned
int col) {
      for( unsigned int i=0;
i<col;i++)
      {
    digitalWrite(9,HIGH);
       delayMicroseconds(imp);
       digitalWrite(9,LOW);
       delayMicroseconds(imp);
      }
    }

    void setup(){
    pinMode(2, INPUT);
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    }
    void loop()
    {
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);
    butt=digitalRead(2);

    if(butt==1 &&
butt_flag==0)
    {
     butt_flag==1;
     led_flag=!led_flag;}

    delay(50);
    ff1(60, 9280);
    delay(1100);
    ff1(1200, 4640);
    delay(11100);
    ff1(60, 9280);
    delay(1100);
    ff1(1200, 4640);
    delay(11100);
    ff1(60, 9280);
    delay(1100);
    digitalWrite(8, HIGH);
    ff1(60, 37120);
    delay(4440);
    if(butt==0 &&
butt_flag==1) {
    butt_flag=0;}
    }
```

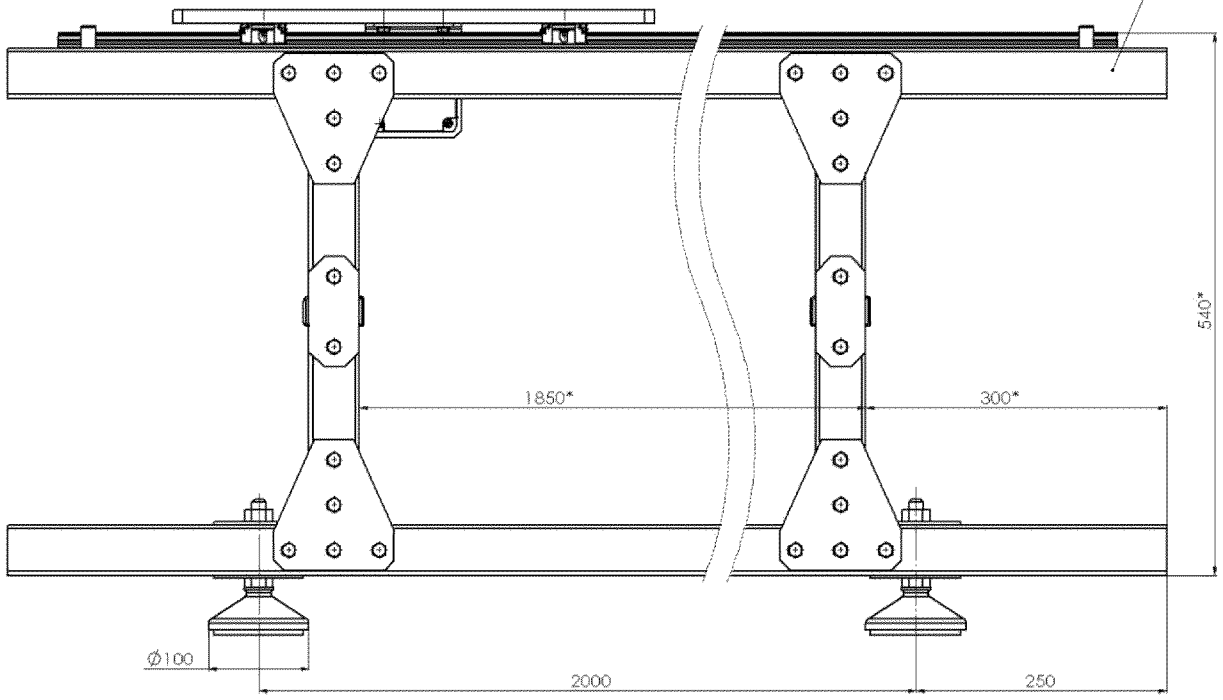
СПРОЄКТОВАНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИВОД МОДУЛЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

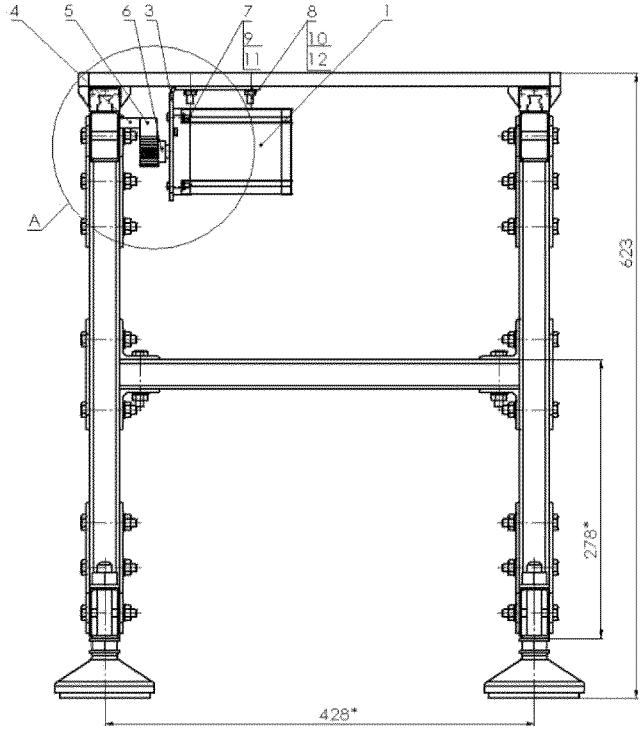


Технічні характеристики модуля лінійних переміщень:

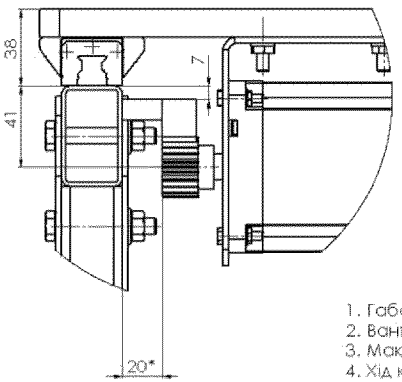
- габаритні розміри каретки (в плані) – 480х480 мм;
- вантажопідйомність – 130 кг;
- макс. швидкість переміщення – 0,45 м/с;
- хід каретки – 2,0 м.
- споживана потужність – 0,12 кВт.

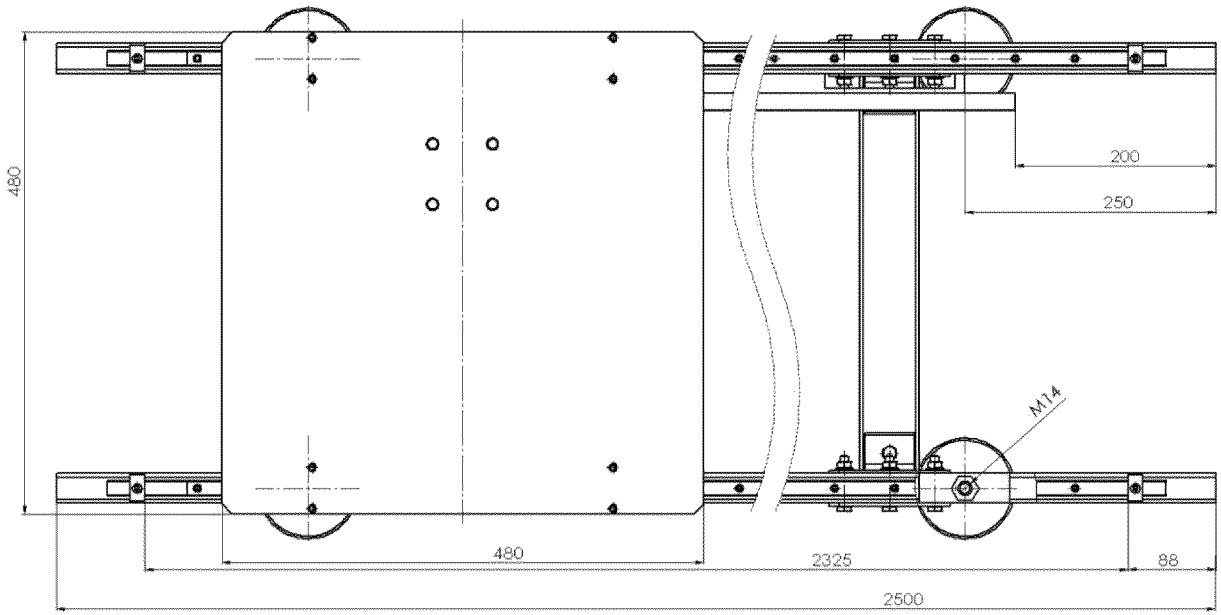
Рисунок 1 – Загальний вигляд спроєктованого автоматизованого приводу
1 – рама, 2 – каретка, 3 – кронштейн, 4 – кроковий двигун, 5 – рейка, 6 – шестірня, 7 – напрямні, 8 – лінійні підшипники, 9 – обмежувачі руху, 10 – регульовані опори





A (1:1)





Технічні характеристики

1. Габаритні розміри каретки, мм 480x480
2. Вантажопідйомність, кг 130
3. Максимальна швидкість, м/с 0,45
4. Хід каретки, м 2,0

Технічні вимоги

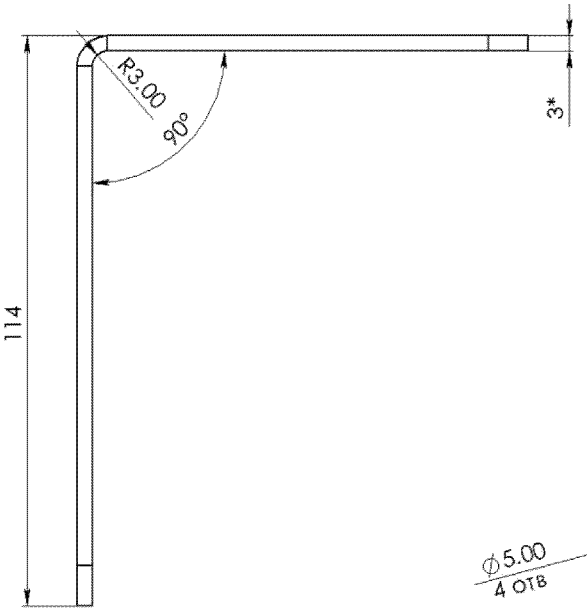
1 * Розміри для довідок
2 Мащення напрямних виконуємо через ніпель, що розміщені на підшипниках.
3. Мащення зубчасто-рейкової передачі виконуємо мастилами на літаєвій основі.

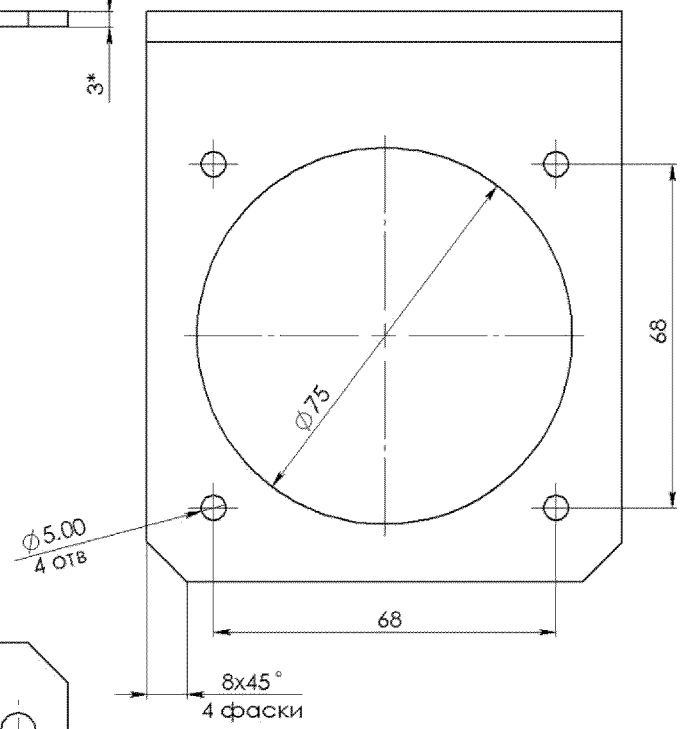
Змн	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	08-64.БДР.25.00.00.000 СК		
Розроб.		Чоколовський		01.06	Модуль лінійних переміщень. Складальне креслення	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Пантелеєнко		04.06			71	1:2,5
Т.контр.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Нач. КБ						ВНТУ гр. 1 ПМ -29 Б		
Н.контр.		Рейнський		10.06				
Утв.		Козлов		10.06				

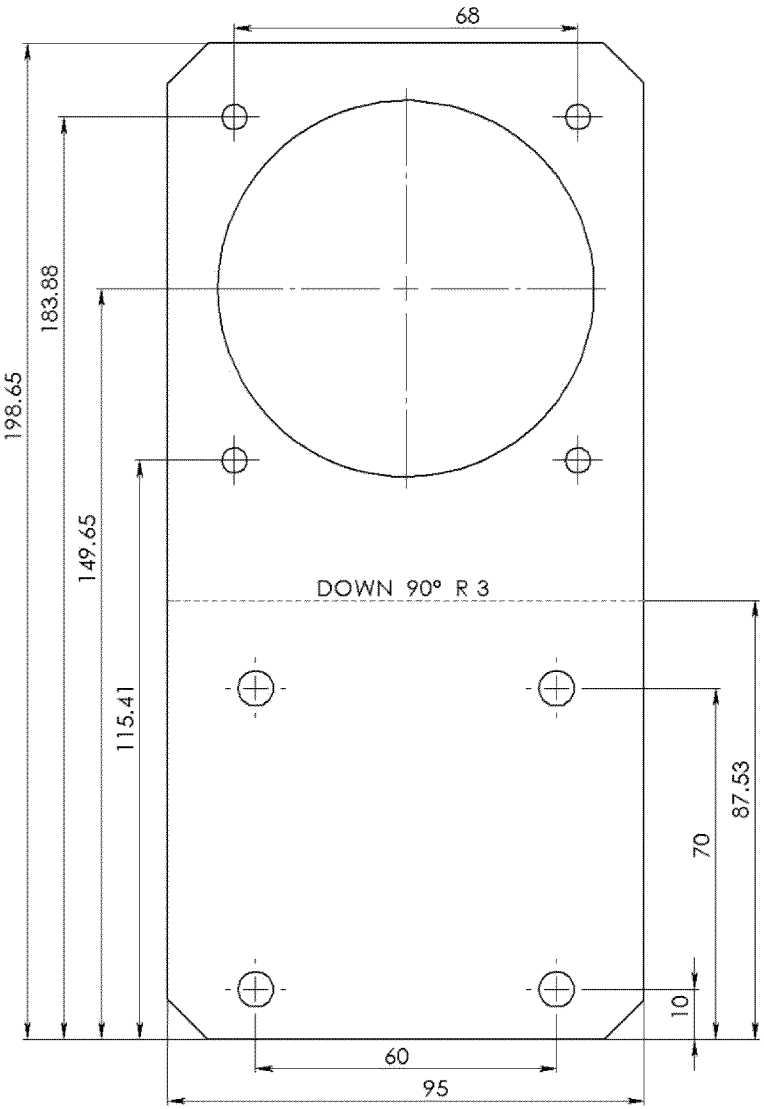
Креслення_Плоттерна Копіював Формат А1

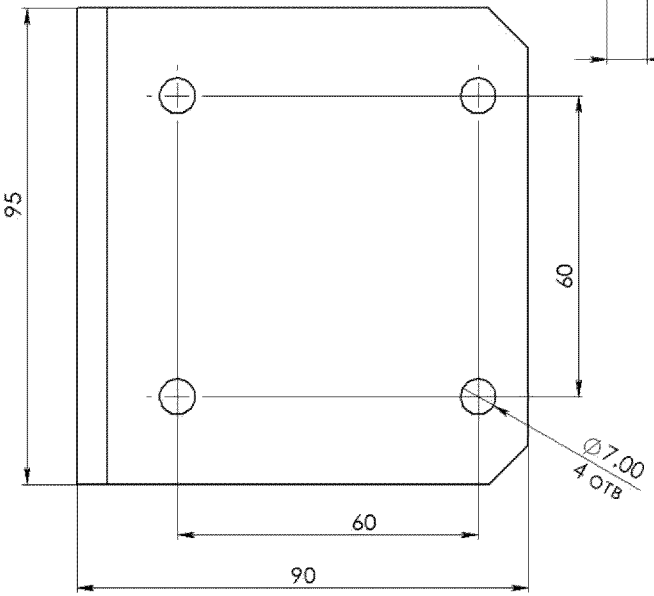
Перв. застосуй. | Довід. № | Підпис та дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підпис та дата | Інв. № подл.

08-64.БДР.25.00.00.001









* Розміри для довідок

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-64.БДР.25.00.00.001			
Розроб.		Соколовський		06.06	Кронштейн електродвигуна	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Пінтькевич		06.06			0,33	1:1
Т.контр.						Аркуш	Аркушів 1	
Н.контр.		Лозінський		10.06	Лист	3 ДСТУ 8540:2015 Ст. 3 ДСТУ 9218:2023	ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-20б	
Утв.		Козлов		12.06				

Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

Кронштейн двигуна | Копіював | Формат А3

Висновки

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи було спроєктовано та запрограмовано автоматизований привод модуля лінійних переміщень вантажопід'ємністю 130 кг. Модуль лінійних переміщень забезпечує виконання зварювальних робіт за допомогою транспортування робота. Під час досягнення мети було пройдено наступні етапи:

- ✓ на основі отриманого завдання описано службове призначення виробу та виконати аналіз кінематичної схеми, розраховано розрахункове навантаження в 1619Н та прийнято потужність приводу в 120Вт;
- ✓ розроблено конструкцію рами із труб прямокутного профілю 30х50мм товщиною стінки 2,0мм, а також пластин товщиною 3,0мм для підсилення місць їх з'єднання. Забезпечено коефіцієнт запасу міцності 1,79;
- ✓ підібрано кроковий двигун 86HSE4N-B38 для забезпечення крутного моменту 3,7Нм та швидкості обертання 312,4об/хв;
- ✓ розраховано зубчасто-рейкову передачу з модулем 1,25мм, ділилиьний діаметр шестерні 27,5мм, а довжина рейки – 2100 мм;
- ✓ вибрано підшипники KUVE15-B-EC із запасом по вертикальному зусиллю понад 6 разів, а також має запас по статичному моменту в 1,3 рази;
- ✓ обґрунтовано обслуговування та мащення рухомих елементів виробу;
- ✓ розроблено та запрограмовано систему керування модулем лінійних переміщень на базі контролера Arduino;
- ✓ описано роботу спроєктованого автоматизованого приводу та його технічні характеристики.

Крім цього проаналізовано стан охорони праці під час проєктування автоматизованого приводу модуля лінійних переміщень. Прийняті показники по мікроклімату, освітленню, шумо- та звукоізоляції. Розроблено рекомендації по техніці безпеки: електробезпеці та пожежній безпеці для створення безпечних умов роботи.