

Національний лісотехнічний університет України
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут комп'ютерних наук та інформаційних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних систем та комп'ютерного моделювання
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему: Розроблення системи автоматизованого проектування металевого верстаку
засобами SolidWorks

Виконав: студент 4 курсу групи ICT-41
спеціальності

126 "Інформаційні системи та технології"
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Бекар Н.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Борецька І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Яроцький Ю.С.

(прізвище та ініціали)

Львів -2025

Національний лісотехнічний університет України

(повне найменування вищого навчального закладу)

ННІ комп'ютерних наук та інформаційних технологій


Кафедра інформаційних систем та комп'ютерного моделювання

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та комп'ютерне моделювання»
(цифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСКМ

 Сторожук О.Л.
« 15 » 11 20 24 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бекару Назару Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: «Розроблення системи автоматизованого проєктування металевого верстаку засобами SolidWorks».

Керівник роботи к.т.н., доц. Борецька І.Б

Затверджено наказом навчального закладу від «15» листопада 2024 року, № С-884

2. Термін подання студентом проєкту (роботи) 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Спроєктувати конструкцію металевого верстака з урахуванням габаритних розмірів, навантаження та умов експлуатації. Виконати тривимірне моделювання деталей і створити збірку виробу з перевіркою правильності з'єднань. Провести розрахунок міцності конструкції при статичному навантаженні 500 Н та визначити значення напружень і деформацій.

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

Розділ 1. Стан проблемної області

Розділ 2. Інформаційне та математичне забезпечення

Розділ 3. Програмне та технічне забезпечення

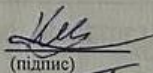
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових рішень)

6. Дата видачі завдання 18 листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

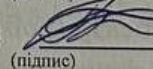
№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних даних та інших джерел згідно досліджуваної теми	17.11.2024р. 19.11.2024р.	виконано
2.	Аналіз досліджуваної теми та вибір відповідних варіантів її розробки	19.11.2024р. 22.11.2024р.	виконано
3.	Постановка задачі та її формалізація	22.11.2024р. 23.11.2024р.	виконано
4.	Вибір та обґрунтування методів і засобів проведення дослідження	23.11.2024р. 27.11.2024р.	виконано
5.	Розроблення концептуальної схеми реалізації завдання	29.11.2024р. 17.12.2024р.	виконано
6.	Програмна реалізація завдання	21.12.2024р. 05.01.2025р.	виконано
7.	Тестування програмного продукту та отриманих результатів	16.02.2025р. 03.03.2025р.	виконано
8.	Розробка пояснювальної записки бакалаврської роботи	03.03.2025р. 05.03.2025р.	виконано
9.	Коригування пояснювальної записки згідно вимог, розроблення презентації	04.06.2025р. 10.06.2025р.	виконано

Студент


(підпис)

Бекар Н.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Борецька І.Б.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота містить 50 сторінок пояснювальної записки, 12 рисунків, 4 формул, 2 додатків та 15 джерел.

В процесі розробки металевого верстака в SolidWorks створено детальну тривимірну модель, яка включає основні конструктивні елементи, такі як стільниця, рама, опори та кріплення. Було проведено аналіз міцності та оптимізацію конструкції для забезпечення надійності та стійкості верстака під дією різних навантажень. Результати розробки можуть бути використані для виготовлення металевого верстака на виробництві або для подальшого вдосконалення конструкції.

Ключові слова: металевий верстак, SolidWorks, 3D-моделювання, конструкція, аналіз міцності, оптимізація

ABSTRACT

The thesis contains 50 pages of explanatory notes, 12 figures, 4 formulas, 2 appendices and 15 sources.

During the development of the metal workbench in SolidWorks, a detailed three-dimensional model was created, including the main structural elements such as the tabletop, frame, supports, and fasteners. Strength analysis and design optimization were carried out to ensure the reliability and stability of the workbench under various loads. The results of the development can be used for manufacturing the metal workbench in production or for further improvement of the design.

Keywords: metal workbench, SolidWorks, 3D modeling, design, strength analysis, optimization.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Необхідно спроектувати та створити 3D-модель металевого верстака в програмному середовищі SolidWorks, а також провести дослідження його міцності та стійкості для забезпечення надійності конструкції при експлуатації. Завдання передбачає наступні етапи:

Аналіз вимог та постановка завдання:

- Визначення основних вимог до конструкції металевого верстака, включаючи габарити, матеріали, допустиме навантаження та функціональні можливості.
- Оцінка умов експлуатації та необхідних характеристик для забезпечення довговічності та безпеки використання.

Розроблення 3D-моделі в SolidWorks:

- Створення базових елементів конструкції: каркаса, робочої поверхні, полиць та шухляд.
- Застосування інструментів SolidWorks для моделювання з'єднань та кріплень.
- Підготовка креслень для кожного елемента та загального складання.

Проведення досліджень:

- Виконання розрахунків на міцність із застосуванням SolidWorks Simulation.
- Визначення критичних точок напружень та деформацій при статичному навантаженні.
- Аналіз стійкості конструкції та можливості її поліпшення.

Вибір технологій та інструментів:

- SolidWorks для 3D-моделювання та створення креслень.
- SolidWorks Simulation для проведення інженерного аналізу.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Аналіз існуючих конструкцій.....	11
1.2 Проблеми та недоліки існуючих рішень.....	11
1.3 Вимоги до сучасних верстаків.....	12
1.4 Використання програмного забезпечення для проектування.....	12
Розділ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	14
2.1 Структура проєктних даних та математичні основи їх формування.....	14
2.2 Надійність даних.....	20
2.3 Доступність даних.....	21
2.4 Безпека даних.....	22
2.5 Управління інформаційним забезпеченням.....	23
2.6 Документування процесу проектування.....	25
2.7 Візуалізація та презентація проєктної інформації.....	27
2.8 Взаємодія з іншими інформаційними системами.....	29
2.9 Перспективи розвитку інформаційного забезпечення.....	31
Розділ 3. ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	34
3.1 Загальна характеристика програмного забезпечення для проектування....	34
3.2 Огляд програмного забезпечення SolidWorks.....	34
3.3 Основні функціональні можливості SolidWorks.....	35
3.4 Використання Simulation для проведення досліджень.....	35
3.5 Метод скінчених елементів (МКЕ) у Simulation.....	36
3.6 Застосування різних типів аналізу в Simulation.....	36
3.7 Інтерфейс і зручність використання SolidWorks.....	42
3.8 Взаємодія SolidWorks з іншими програмами та модулями.....	42
3.9 Переваги та обмеження програмного забезпечення для проектування.....	42

Висновок.....	50
Список використаних джерел.....	51
Додатки.....	53
Додаток А.....	54
Додаток Б.....	51

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- CAD** – Computer-Aided Design (проектування за допомогою комп'ютера);
- CAE** – Computer-Aided Engineering (інженерія, підтримувана комп'ютером);
- CAM** – Computer-Aided Manufacturing (виробництво, підтримуване комп'ютером);
- FEA** – Finite Element Analysis (аналіз методом кінцевих елементів);
- MBD** – Model-Based Definition (моделювання на основі визначення моделі) ;
- 3DCS** – 3D Computer Simulation (3D комп'ютерне моделювання);
- BOM** – Bill of Materials (розрахунок матеріалів);
- PDM** – Product Data Management (управління даними про продукт);
- PCB** – Printed Circuit Board (друкована плата);
- MCAD** – Mechanical Computer-Aided Design (механічне проектування за допомогою комп'ютера) ;
- SOLIDWORKS API** – SOLIDWORKS Application Programming Interface (інтерфейс програмування додатків для SOLIDWORKS)
- SPM** – SolidWorks Parts Manufacturing (виготовлення частин за допомогою SOLIDWORKS);
- SME** – SolidWorks Mechanical Engineering (механічне інженерне проектування в SOLIDWORKS) ;
- CNC** – Computer Numerical Control (комп'ютерне числове керування);
- VR** – Virtual Reality (віртуальна реальність);
- ECAD** – Electrical Computer-Aided Design (електричне проектування за допомогою комп'ютера);
- CSWP** – Certified SOLIDWORKS Professional (сертифікований професіонал SOLIDWORKS);
- CSWE** – Certified SOLIDWORKS Expert (сертифікований експерт SOLIDWORKS);

ВСТУП

У сучасному світі проектування та виготовлення металевих конструкцій постійно зростають вимоги до точності, ефективності та зручності в роботі. Одним з важливих етапів у цьому процесі є створення та оптимізація моделей, що передбачає детальне проектування кожного елемента майбутньої конструкції. Одним із потужних інструментів для таких завдань є програмне забезпечення SolidWorks, яке надає широкі можливості для 3D-моделювання, а також для проведення симуляцій та аналізу конструкцій у різних умовах. Використання SolidWorks в проектуванні металевих верстаків дає змогу не лише забезпечити точність виконання розробки, а й мінімізувати ризики в майбутньому на етапах виробництва та експлуатації. Проектування металевих верстаків вимагає врахування безлічі факторів, таких як матеріали, навантаження, умови роботи та технічні вимоги, що висувуються до кінцевої продукції. Завдяки програмному забезпеченню SolidWorks можна створювати точні 3D-моделі, проводити аналізи за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ), здійснювати тестування на міцність і довговічність, що значно покращує якість розробки та забезпечує зручність в експлуатації. Об'єкт дослідження: Металевий верстак як інженерна конструкція, що складається з робочої поверхні, каркасу, опорних елементів та допоміжних механізмів, призначена для виконання слюсарних, механічних та складальних робіт.

Практичне значення: результати дослідження можуть бути використані при розробці нових моделей металевих верстаків у промисловості, що дозволить підвищити їх надійність, зменшити матеріальні витрати та забезпечити ефективність виробничого процесу. Застосування SolidWorks у процесі проектування сприяє скороченню часу на розробку та впровадження виробу у виробництво, що є актуальним у сучасних умовах конкуренції та технічного прогресу.

Об'єкт дослідження: металевий верстак як інженерна конструкція, призначена для виконання слюсарних, механічних та складальних робіт.

Предмет дослідження: Процес проектування та аналізу несучої здатності металевого верстака з використанням програмного забезпечення SolidWorks та модуля Simulation для визначення напружено-деформованого стану конструкції під дією різних видів навантажень.

Мета роботи: Створення оптимальної конструкції металевого верстака з використанням SolidWorks, проведення комплексного аналізу його міцнісних характеристик за допомогою модуля Simulation та визначення максимально допустимих навантажень для забезпечення надійності та безпеки експлуатації.

Розробка програмного та технічного забезпечення для проектування металевого верстака є важливою частиною цієї роботи. Вона не лише дозволяє визначити оптимальні характеристики конструкції, але й знижує витрати на виготовлення, допомагаючи знайти найбільш економічно вигідні рішення. Враховуючи різноманітність програмних інструментів, доступних для таких задач, SolidWorks виділяється як один з лідерів, пропонуючи інтегровану платформу для вирішення всіх етапів розробки – від початкових ескізів до фінального аналізу та виготовлення. Для досягнення поставленої мети в роботі використовувався комплексний підхід, що включав 3D-моделювання всіх компонентів верстака в середовищі SolidWorks, застосування модуля Simulation для проведення статичного та динамічного аналізу конструкції, дослідження розподілу напружень та деформацій при різних схемах навантаження, а також оптимізацію геометричних параметрів для забезпечення максимальної міцності при мінімальній масі конструкції. У наступних розділах буде детально розглянуто можливості програмного забезпечення SolidWorks для проектування металевого верстака, використання модуля Simulation для досліджень міцності та стійкості конструкції, а також його переваги й обмеження.

Увагу буде приділено функціональним можливостям, які дозволяють ефективно створювати точні моделі, проводити детальний аналіз навантажень і оптимізувати конструкцію для реальних умов використання з урахуванням вимог безпеки та економічної ефективності.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ

Проектування металевих верстаків є однією з ключових задач у галузях машинобудування, металообробки, слюсарної справи та інших виробничих процесах. Надійні робочі місця є основою ефективної діяльності, оскільки вони забезпечують безпеку, комфорт та точність виконання технологічних операцій.

Сучасні металеві верстаки мають широкий спектр застосування:

1. Виробничі майстерні: Виконання слюсарних, монтажних та ремонтних робіт;
2. Лабораторії: Проведення експериментів, тестування матеріалів та виробів;
3. Освітні заклади: Використання для навчальних цілей у технічних навчальних закладах та на курсах;
4. Приватні майстерні: Використання для побутових ремонтних робіт та хобі.

1.1 Аналіз існуючих конструкцій

На ринку представлено велику кількість металевих верстаків, які відрізняються між собою за конструкцією, призначенням, матеріалами та методами виготовлення. Серед них можна виокремити стаціонарні верстаки, що встановлюються на постійних робочих місцях і вирізняються високою міцністю та стійкістю; переносні моделі, які мають легку та мобільну конструкцію й призначені для використання у змінних умовах або під час виїзних робіт; а також модульні верстаки, що складаються з окремих блоків і дозволяють змінювати конфігурацію відповідно до потреб користувача.

1.2 Проблеми та недоліки існуючих рішень

Аналіз ринку металевих верстаків виявив низку проблем та недоліків, які потребують вирішення. Однією з основних є велика вага сталевих конструкцій, що ускладнює їх транспортування та монтаж. Крім того, багато моделей

характеризуються обмеженою модульністю, тобто не передбачають можливості легкого розширення функціональності або зміни конфігурації під потреби користувача. Ще одним недоліком є відсутність ергономічних рішень – конструкції не завжди забезпечують комфортні умови для роботи в різних положеннях. Також більшість верстаків недостатньо адаптовані до сучасних вимог, оскільки не мають можливостей для інтеграції з цифровими технологіями, зокрема встановлення кріплень для моніторів або іншого електронного обладнання.

1.3 Вимоги до сучасних верстаків

У зв'язку з постійним розвитком технологій та зростанням вимог до якості робочих місць, нові конструкції верстаків повинні відповідати низці сучасних критеріїв. Насамперед важливо забезпечити їхню міцність та надійність, щоб конструкція могла витримувати високі навантаження без деформацій. Не менш суттєвим є врахування ергономічності – розробка має базуватися на антропометричних даних користувачів, що підвищує комфорт і продуктивність роботи. Модульність та універсальність конструкції дозволяють легко додавати нові функціональні елементи або адаптувати наявні під конкретні потреби. Також важливою є безпека експлуатації, що передбачає відсутність гострих країв, надійне кріплення всіх деталей та використання безпечних матеріалів. Доступність верстака визначається простотою виготовлення і монтажу, а також оптимізацією витрат на матеріали. Окрім цього, сучасні конструкції мають бути екологічними – з можливістю повторного використання або переробки матеріалів, що відповідає вимогам сталого розвитку [2].

1.4 Використання програмного забезпечення для проєктування

Розробка нових конструкцій верстаків значно спрощується за допомогою сучасних програм для комп'ютерного проєктування, зокрема SolidWorks. Це програмне забезпечення дозволяє:

- створювати 3D-моделі з високою точністю та деталізацією;

- проводити інженерний аналіз конструкцій (Simulation), що включає розрахунки на міцність, стійкість та оптимізацію матеріалів;
- створювати повний комплект креслень для виробництва та монтажу;
- вносити зміни у проєкт на будь-якому етапі розробки без необхідності повної переробки конструкції.

Проведений аналіз стану проблемної області показав, що сучасні металеві верстаки широко застосовуються у виробничих майстернях, лабораторіях, навчальних закладах та приватних майстернях. Основними вимогами до конструкцій верстаків є надійність, стійкість, зручність у використанні, можливість модульності та адаптації до різноманітних завдань.

Розглянуті існуючі рішення мають низку недоліків, таких як значна вага конструкцій, обмежена можливість їх модифікації, недостатня ергономічність та відсутність інтеграції з сучасними цифровими технологіями. Це створює необхідність розробки нових моделей верстаків з покращеними характеристиками, що можуть задовольнити актуальні вимоги користувачів.

Визначено, що використання програмного забезпечення SolidWorks дозволяє суттєво підвищити ефективність процесу проєктування завдяки можливостям тривимірного моделювання, проведення числових експериментів та оптимізації конструкцій.

Таким чином, подальше дослідження буде спрямоване на розробку нової конструкції металевого верстака, що враховуватиме вимоги до міцності, стійкості, ергономічності та можливості модульного підходу. Це дозволить створити універсальний виріб, який можна легко адаптувати під конкретні потреби користувачів.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Структура проєктних даних та математичні основи їх формування

Математичне забезпечення процесу проєктування металевго верстака в SolidWorks є важливим елементом, що забезпечує високу точність розрахунків, оптимізацію конструкції та перевірку її на міцність і довговічність [11]. Завдяки використанню математичних підходів можна моделювати поведінку конструкційних елементів верстака в різних умовах експлуатації, що суттєво підвищує ефективність та безпеку на етапах проєктування і виготовлення.

Особливе значення має математичний аналіз, який дозволяє передбачити реакцію елементів конструкції на різні навантаження, температурні впливи та інші зовнішні чинники. Одним із ключових методів, який широко застосовується у SolidWorks, є метод скінченних елементів (МКЕ). Він дозволяє точно оцінити напруження, деформації та інтерполяцію результатів у тривимірному просторі, що дає змогу детально вивчити реакцію верстака на дію зовнішніх сил і впливів.

Крім того, математичний аналіз даних, отриманих під час віртуальних випробувань конструкції, сприяє виявленню закономірностей у поведінці матеріалів. Наприклад, під час аналізу міцності на злам чи стискання можна застосовувати статистичні методи для визначення найефективніших характеристик матеріалу та прогнозування його поведінки при підвищених навантаженнях.

Для оцінювання параметрів конструкційних елементів у SolidWorks використовуються стандартні математичні формули, які дають змогу аналізувати механічні властивості матеріалів і прогнозувати поведінку всієї конструкції в реальних умовах експлуатації. У сукупності такі розрахунки забезпечують надійність, довговічність і функціональність металевго верстака ще на етапі його віртуального проєктування.

Середнє значення:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (2.1)$$

де x – величина напруження в різних точках конструкції, n – кількість точок вимірювання.

Дисперсія:

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{n} \quad (2.2)$$

Це дозволяє визначити рівень варіативності в розподілі напружень по елементах верстака.

Кореляція:

$$r = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y} \quad (2.3)$$

За допомогою відповідних математичних формул можна оцінити, як зміни в одному елементі конструкції, наприклад, варіація товщини металу, впливають на інші характеристики – такі як стійкість до зламу або прогини. Такі розрахунки дозволяють виявити найуразливіші ділянки конструкції ще до її фізичного виготовлення.

Математичне моделювання для оптимізації конструкції металевого верстака відіграє ключову роль у досягненні максимальної міцності при мінімальних витратах матеріалу. У цьому процесі застосовуються різноманітні методи математичної оптимізації, зокрема теорія оптимізації, яка дає змогу знаходити найкращі варіанти розміщення елементів конструкції, підбирати відповідні матеріали та їх характеристики для досягнення найвищої ефективності. Наприклад, методи лінійного програмування дозволяють оптимізувати товщину окремих частин верстака або вибрати матеріал, виходячи з заданих обмежень і технічних вимог[5].

Таким чином, використання математичного моделювання не лише покращує загальні технічні показники конструкції, а й забезпечує раціональне використання ресурсів, що є важливим чинником у сучасному інженерному проектуванні. Формула лінійного програмування:

$$\min f(x) = c^T x \quad (2.4)$$

за умов:

$$Ax \leq b \quad x \geq 0$$

Теорія ігор для оптимізації взаємодії між різними компонентами конструкції: Цей метод може бути використаний для моделювання взаємодії між елементами верстака, щоб знайти оптимальні стратегії для їхнього розміщення та з'єднання.

Математичне забезпечення для забезпечення безпеки конструкції

У сучасному проектуванні металевго верстака важливу роль відіграє не лише геометрична точність, а й використання математичних методів для забезпечення його безпечної та ефективної експлуатації. Зокрема, одним із підходів є використання теорії ігор для оптимізації взаємодії між різними компонентами конструкції. Цей метод дозволяє змоделювати взаємодію між елементами верстака з метою знаходження оптимальних стратегій для їх розміщення та з'єднання, що сприяє підвищенню надійності всієї системи.

Важливим аспектом є також захист інтелектуальної власності проєктів, для чого застосовуються методи шифрування даних. Це дає змогу зберігати конфіденційність технічної документації та запобігати несанкціонованому доступу до неї.

Крім того, аналіз стійкості конструкції до навантажень є невід'ємною частиною математичного забезпечення. За допомогою модуля Simulation у SolidWorks можливо, використовуючи чисельні методи, передбачити напружено-деформований стан конструкції, визначити потенційно небезпечні зони та запобігти їхньому руйнуванню в умовах реальної експлуатації.

Інформаційне забезпечення, у свою чергу, відіграє ключову роль у процесі проектування. Воно включає в себе комплекс даних, розрахункових методів, нормативної документації, програмного забезпечення та інших інформаційних ресурсів, що використовуються для створення, аналізу та оптимізації конструкції. Саме від повноти, достовірності та актуальності цього забезпечення залежить якість розробленої моделі, її функціональність, довговічність та економічна ефективність [1].

Функціональна модель системи визначає ключові процеси, які мають бути реалізовані під час створення та аналізу 3D-моделі металевго верстака. Постановка задачі дозволяє формалізувати цілі, структурувати функціональні блоки та окреслити основні сценарії використання програмного забезпечення. Основною метою системи є створення оптимальної, міцної та ергономічної конструкції металевго верстака за

допомогою SolidWorks, що включає побудову 3D-моделі, проведення симуляцій навантажень та генерацію проєктної документації.

Функціональність системи охоплює кілька важливих етапів. На початку здійснюється введення початкових параметрів проєкту, зокрема геометричних розмірів (довжина, ширина, висота, товщина елементів), вибору матеріалів (наприклад, сталь або алюміній), а також конструктивних особливостей, таких як тип опор чи наявність додаткових полиць. Далі відбувається формування структури верстака, що включає побудову основної рами, створення опорних елементів і додавання стільниці або допоміжних модулів.

На етапі 3D-моделювання у SolidWorks створюється тривимірна геометрія всіх компонентів, визначаються вузли з'єднання, зокрема болтові або зварні, а також формується повне складання конструкції. Після цього проводиться інженерний аналіз, що охоплює імітацію навантажень, розрахунок напружень і деформацій, а також виявлення потенційно слабких зон конструкції. На основі отриманих даних виконується оптимізація моделі з метою мінімізації ваги без втрати міцності, перевірки допустимих навантажень і аналізу різних варіантів компоновання.

Фінальним етапом є генерація креслень та специфікацій, яка включає автоматичне створення 2D-креслень, побудову схем складання, а також формування специфікацій матеріалів та вузлів. У результаті очікується отримання тривимірної моделі верстака у форматі SolidWorks, результатів статичного аналізу конструкції, повного комплексу робочих креслень для виготовлення виробу та аналітичних висновків щодо його надійності та ефективності.

У процесі розроблення системи автоматизованого проєктування металевих верстаків ключову роль відіграють елементи інженерної конструкції, що формують основу тривимірної моделі. Вони поділяються на фізичні та логічні компоненти, які взаємодіють у віртуальному середовищі SolidWorks для забезпечення коректного проєктування, збирання та подальшого аналізу. Об'єктом дослідження є сам металевий верстак – інженерна конструкція, що складається з низки основних складових: робочої поверхні, яка сприймає основне навантаження під час

експлуатації; каркаса, що виконує функцію несучої основи та відповідає за жорсткість конструкції; опор (ніжок), які забезпечують стійкість і рівномірний розподіл навантаження; кріпильних елементів і з'єднань, зокрема болтів, зварних швів, металевих пластин, що забезпечують монолітність та цілісність конструкції; а також додаткових функціональних елементів, таких як полиці, шухляди або тримачі інструментів [9].

Предметом дослідження виступає процес проектування конструкції верстака, який охоплює формування його геометричної моделі, вибір матеріалів, побудову тривимірного цифрового зображення, проведення інженерного аналізу (зокрема розрахунку на міцність, виявлення критичних зон, оцінки деформацій), а також оптимізацію масо-габаритних характеристик. У межах дослідження також розглядаються такі аспекти, як ефективність використання інструментів програмного забезпечення SolidWorks, застосування методу скінченних елементів (МКЕ) для аналізу конструкції, забезпечення високої точності моделі, відповідність технічним вимогам і стандартам, а також дотримання експлуатаційних норм у процесі проектування (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Дерево цілей

Для забезпечення високої точності, ефективності та безпеки конструкції металевого верстака на всіх етапах моделювання і проєктування у SolidWorks, необхідно розробити систему автоматизованого проєктування, яка охоплює чотири ключові напрямки (рис. 2.2).

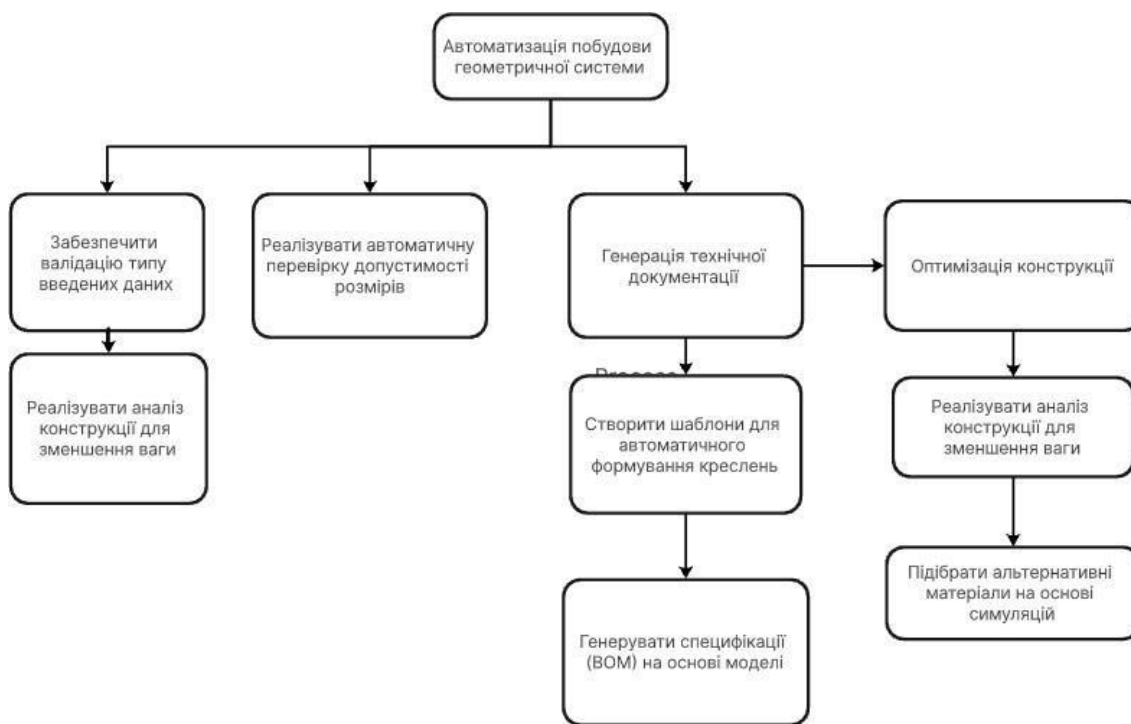


Рисунок 2.2 – Дерево рішень

Перший напрямок – автоматизація побудови геометричної моделі. У цьому контексті потрібно реалізувати інструменти 3D-моделювання основних елементів конструкції, зокрема каркасу, стійок, опор та кріплень. Крім того, слід забезпечити можливість параметричного редагування габаритів та вузлів, що дозволить швидко вносити зміни відповідно до технічного завдання або результатів аналізу.

Другий напрямок полягає у перевірці та валідації вхідних параметрів. Система має автоматично перевіряти допустимість введених розмірів відповідно до встановлених обмежень і стандартів. Також важливо забезпечити валідацію типу

введених даних – наприклад, переконатися, що числові значення не містять сторонніх символів і відповідають очікуваному формату.

Третій важливий етап – генерація технічної документації. Для цього слід створити шаблони, які дозволять автоматично формувати креслення на основі побудованої моделі. Додатково потрібно реалізувати механізм генерації специфікацій (BOM – bill of materials) безпосередньо з параметрів моделі, що пришвидшить процес підготовки виробничих даних.

Останній напрямок – оптимізація конструкції. У цьому блоці необхідно реалізувати інструменти для аналізу конструкції з метою зменшення її ваги, що дозволить знизити витрати матеріалів без втрати міцності. Також доцільно реалізувати функціонал підбору альтернативних матеріалів на основі симуляцій, що сприятиме покращенню загальних експлуатаційних характеристик виробу.

Таким чином, впровадження повноцінної автоматизованої системи проєктування дозволяє забезпечити якісну та ефективну реалізацію кожного етапу створення металевого верстака в середовищі SolidWorks.

2.2 Надійність даних

Надійність інформаційного забезпечення полягає у забезпеченні коректного та безперервного доступу до всіх необхідних даних протягом усього процесу проєктування. Для цього використовуються такі методи:

Регулярне резервне копіювання: Дозволяє відновити дані у разі їх пошкодження або втрати. SolidWorks PDM (Product Data Management) забезпечує збереження всіх версій проєктних файлів, з можливістю відновлення попередніх станів проєкту. Це важливо у випадку технічних збоїв, помилок користувача або зовнішніх атак.

Контроль цілісності даних: Передбачає виявлення та виправлення помилок у файлах, пов'язаних із пошкодженням або некоректним зберіганням інформації. Реалізується шляхом регулярної перевірки контрольних сум, синхронізації локальних і серверних копій, автоматичного тестування моделей на відсутність некоректних залежностей.

Шифрування даних: Захист проєктної документації від несанкціонованого доступу через використання асиметричного шифрування, що забезпечує високий рівень безпеки. Це особливо актуально при роботі над комерційно важливими проєктами або у випадку віддаленої роботи.

Архівування та версіонування: Процеси автоматизованого збереження проміжних і фінальних версій проєктів дозволяють не лише зберігати історію змін, але й оцінювати етапи розвитку конструкції. Версіонування дозволяє команді переглядати різні варіанти рішень, повертатися до попередніх конфігурацій, аналізувати ефективність оптимізацій [10].

Аудит змін: Кожна зміна в проєкті фіксується з іменем користувача, датою, описом змін, що дозволяє уникнути конфліктів, помилок і втрати відповідальності за ті чи інші дії. Такий підхід забезпечує прозорість процесу розробки

2.3 Доступність даних

Доступність даних є важливою характеристикою інформаційного забезпечення, яка гарантує, що всі необхідні ресурси можуть бути використані без затримок та перешкод. Забезпечення доступності сприяє підвищенню ефективності командної роботи, скороченню часу на пошук інформації та уникненню дублювання зусиль. Основні методи забезпечення доступності включають:

Використання надійних серверів та хмарних сховищ: Збереження даних на віддалених серверах або у хмарному середовищі дозволяє гарантувати цілодобовий доступ до файлів з будь-якого пристрою. Хмарні технології (наприклад, SolidWorks 3DEXPERIENCE, Google Drive, OneDrive) дають змогу синхронізувати інформацію між усіма членами команди. Надійна інфраструктура серверів забезпечує високу відмовостійкість і резервне копіювання.

Організація спільної роботи: SolidWorks PDM дозволяє декільком інженерам одночасно працювати над різними частинами одного проєкту [12]. При цьому система керує блокуванням файлів, щоб уникнути конфліктів змін. Впровадження систем електронного погодження документів скорочує час ухвалення технічних

рішень.

Оптимізація структури даних: Чітке структурування даних у проєктних файлах забезпечує швидкий і логічний доступ до кожного елемента. Класифікація за типами елементів, нумерація, стандартизація імен файлів, а також використання шаблонів документації сприяють зменшенню часу на орієнтацію у великому масиві інформації.

Використання системи пошуку та фільтрації: Інтегровані механізми пошуку в PDM-системі дозволяють оперативно знаходити потрібні елементи за іменем, автором, датою, типом деталі тощо. Це особливо корисно у великих проєктах, де кількість файлів може сягати сотень або тисяч одиниць.

Підключення мобільного доступу: У деяких випадках доцільним є надання доступу до даних з мобільних пристроїв (планшетів, смартфонів), що особливо зручно на виробництві або під час виїзних технічних консультацій.

2.4 Безпека даних

Безпека даних є одним із ключових аспектів інформаційного забезпечення, який гарантує захист інформації від зовнішніх та внутрішніх загроз. Особливо це актуально для проєктів, пов'язаних із комерційною та інтелектуальною власністю. Основні елементи системи безпеки даних включають:

Аутентифікація користувачів: Цей процес передбачає перевірку особи користувача перед наданням доступу до системи. Аутентифікація може здійснюватися за допомогою паролів, електронних токенів, смарт-карт або біометричних даних. У випадку розширеної безпеки застосовується двофакторна аутентифікація (2FA), яка значно знижує ризик несанкціонованого доступу. Авторизація користувачів: після аутентифікації система визначає, які дії дозволено виконувати кожному користувачу. Встановлення різних рівнів доступу (адміністратор, інженер, переглядач тощо) дозволяє обмежити можливість випадкового або навмисного пошкодження або викрадення даних.

Шифрування даних: Дані, що зберігаються або передаються мережею, можуть бути зашифровані з використанням сучасних криптографічних алгоритмів (AES, RSA тощо) [13]. Це унеможливорює прочитання інформації сторонніми особами

навіть у

випадку її перехоплення.

Журнали доступу та моніторинг активності: системи ведення журналів дозволяють фіксувати всі дії користувачів у системі: час входу, зміни в документах, спроби несанкціонованого доступу. Аналіз цих журналів дозволяє виявити потенційні загрози та запобігти інцидентам безпеки.

Резервні копії та відновлення після збоїв: забезпечення безперервного збереження копій даних дозволяє оперативно відновити проєкт у разі збоїв, атак або знищення інформації. Цей процес повинен бути автоматизованим і регулярним, а копії зберігатися в захищеному середовищі.

Навчання персоналу з питань кібербезпеки: оскільки людський фактор часто є найслабшою ланкою в системі безпеки, важливо регулярно проводити навчання користувачів щодо найкращих практик поведінки з даними, виявлення фішингових атак, використання складних паролів тощо.

2.5 Управління інформаційним забезпеченням

Управління інформаційним забезпеченням у процесі проєктування металевого верстака в SolidWorks є критично важливим для підтримання цілісності, доступності та актуальності всіх необхідних даних. Ефективне управління передбачає системну організацію інформаційних потоків, координацію командної роботи, ведення документації та контроль за змінами. До основних аспектів управління належать:

Планування інформаційних ресурсів: на етапі ініціації проєкту визначаються типи, джерела та обсяги даних, необхідних для виконання всіх етапів проєктування. Складається перелік програмного забезпечення, нормативної документації, матеріалів і методів аналізу. Це дозволяє запобігти інформаційним прогалинам та дублюванню зусиль.

Організація інформаційних потоків: передбачає налагодження каналів передачі, збереження та актуалізації даних. Для цього використовуються PDM-системи (наприклад, SolidWorks PDM), які дозволяють централізовано керувати всіма файлами, відслідковувати зв'язки між елементами проєкту та гарантувати контроль

версій. Також встановлюються правила взаємодії між учасниками команди – хто за що відповідає, як узгоджуються зміни, як передається інформація між підрозділами.

Контроль якості інформації: охоплює перевірку коректності, повноти та актуальності даних. Наприклад, перевіряється, чи відповідає модель останнім технічним вимогам, чи всі елементи мають призначені матеріали, чи немає помилок у вузлах. Регулярне проведення аудиту інформаційної бази дозволяє вчасно виявляти суперечності та усувати їх.

Управління версіями та змінами: кожна зміна в проєктній документації фіксується, зберігаються всі попередні варіанти, а також вказується причина змін і особа, що їх здійснила. Це забезпечує простежуваність і дозволяє у разі потреби повернутися до раніше затверджених рішень. Управління змінами здійснюється згідно з регламентами, що включають процес погодження нових рішень, оцінку їх впливу на проєкт та документальне оформлення.

Аналіз ефективності управління: для постійного вдосконалення системи управління проводиться аналіз часу виконання завдань, частоти виникнення помилок, швидкості реакції на зміни тощо. В разі виявлення проблем розробляються рекомендації щодо їх усунення: автоматизація окремих процесів, зміна структури зберігання даних, оновлення шаблонів тощо.

Підтримка та розвиток інформаційної інфраструктури: полягає в оновленні програмного забезпечення, розширенні бібліотек матеріалів і компонентів, підтриманні актуальності нормативної документації, а також у впровадженні нових інструментів (наприклад, інтеграція з CAD/CAM-системами, використання штучного інтелекту для аналізу моделей).

Таким чином, управління інформаційним забезпеченням створює передумови для організованої, безпомилкової та ефективної роботи над проєктом, забезпечує прозорість розробки, швидкий доступ до необхідних ресурсів і надійність усіх етапів проєктування.

2.6 Документування процесу проєктування

Документування є не лише засобом фіксації рішень і етапів проєктування, а й механізмом забезпечення прозорості, повторюваності й відтворюваності інженерних рішень. У процесі проєктування металевого верстака створюється значний масив документації, який включає не лише графічні матеріали (креслення, моделі), а й текстову інформацію (звіти, розрахунки, пояснення, стандарти).

Ключові складові документації:

- **Проектна документація:** креслення вузлів і деталей, специфікації, складальні схеми, які є обов'язковими для виготовлення й збирання виробу. Вони мають містити всі необхідні розміри, допуски, позначення матеріалів, види обробки поверхонь. Для цього використовуються функції креслення в SolidWorks, які дозволяють автоматизовано виводити моделі у формат креслення.

- **аналітична документація:** результати розрахунків на міцність, жорсткість, термін служби, які виконуються вручну або автоматизовано за допомогою SolidWorks Simulation. Наприклад, оцінка допустимого навантаження на стільницю верстака, перевірка міцності зварних швів, аналіз напружень в опорних точках. Такі документи дають змогу обґрунтувати вибір конструктивних рішень;

- **Розрахунково-пояснювальна частина:** обґрунтування вибору матеріалів, параметрів конструкції, застосованих технічних рішень. Тут викладаються всі розрахунки, застосовані формули, нормативні значення, результати симуляцій та їх інтерпретація;

- **нормативно-технічна база:** перелік використаних стандартів, технічних умов, положень ДСТУ, ГОСТ тощо. Кожна частина верстака повинна відповідати визначеним технічним регламентам, що гарантує безпеку та уніфікацію продукції. Важливим елементом є вказівка на застосування конкретних вимог, наприклад, щодо допустимих навантажень, безпечного заземлення, екологічності та можливості утилізації;

- **технологічна документація:** включає в себе техпроцеси виготовлення, карти технологічних операцій, інструкції з обробки, карти контролю якості та

параметри режими обробки на верстатах з ЧПК. Вона забезпечує повну простежуваність виробу на всіх етапах виготовлення, а також стандартизує процеси виготовлення, зменшуючи вплив людського фактора;

- журнали змін: дозволяють відстежувати всі редакції проєкту, враховують хто, коли і які зміни вніс, що важливо для командної роботи та аудиту. Зазвичай це ведеться в середовищі SolidWorks PDM, де всі зміни автоматично фіксуються системою керування даними. Це особливо актуально на підприємствах, які мають складну систему управління якістю або працюють за міжнародними стандартами (наприклад, ISO 9001).

Документація може бути створена в автоматизованому режимі із застосуванням шаблонів у SolidWorks PDM. Це дає змогу скоротити час на оформлення, уніфікувати формат, дотримуватися корпоративних стандартів. Окрім цього, підтримується експорт у різноманітні формати – PDF, Excel, XML, що полегшує обмін із суміжними підрозділами підприємства. У контексті цифрового виробництва така документація також може використовуватися для генерації цифрових інструкцій, підключення до MES-систем та побудови цифрового двійника продукту.

2.7 Візуалізація та презентація проєктної інформації

Візуалізація є однією з найважливіших складових сучасного інженерного проєктування, зокрема у розробці металевих верстака в SolidWorks. Вона дозволяє не лише отримати реалістичне уявлення про майбутній виріб, але й суттєво підвищує якість прийняття рішень, комунікації між учасниками проєкту та контроль над виробничими процесами. Тривимірні візуалізації відкривають нові можливості для перевірки геометрії, виявлення можливих колізій, аналізу ергономіки та естетичних характеристик виробу, що є особливо важливим при створенні складних металевих конструкцій.

Інструментарій SolidWorks надає широкі можливості для візуалізації, починаючи з базового огляду тривимірної моделі, і закінчуючи фотореалістичним рендерингом за допомогою SolidWorks Visualize. Цей інструмент дозволяє налаштовувати матеріали з урахуванням текстур, відбиттів, прозорості, а також освітлення й тіней, що дає змогу отримати зображення максимально наближені до реального вигляду металевих верстака. Така якісна графіка не лише покращує розуміння конструкції всередині команди, а й служить ефективним засобом презентації перед замовниками, партнерами чи керівництвом.

Крім статичних зображень, важливу роль відіграють анімації, які демонструють функціонування окремих елементів верстака – наприклад, рух висувних ящиків, підйомні механізми або послідовність складання конструкції. Ці анімації дозволяють не лише показати, як має працювати механізм, але й виявити потенційні проблеми, що можуть виникнути у процесі експлуатації або монтажу. Вони також слугують інструментом для навчання та інструктажу виробничого персоналу.

Сучасні технології дозволяють використовувати інтерактивні 3D-переглядачі, такі як eDrawings, які відкривають моделі на будь-якому пристрої без необхідності встановлення складного програмного забезпечення. Це значно полегшує спільну роботу в команді, дозволяє оперативно обговорювати зміни і надавати зворотній зв'язок, особливо в умовах віддаленого співробітництва.

Візуалізація також виступає як потужний інструмент контролю якості. Вона допомагає виявляти колізії між деталями, невідповідності у посадках, а також оцінювати зручність використання верстака з точки зору ергономіки. Завдяки цьому можна уникнути помилок ще на етапі цифрового моделювання, що значно знижує ризики у виробництві та економить ресурси.

Особливу увагу варто приділяти підготовці презентаційних матеріалів, які базуються на візуалізаціях. Зображення високої якості, анімації, відеоролики та інтерактивні демонстрації слугують ефективним інструментом для комунікації з різними зацікавленими сторонами – від інженерів і конструкторів до менеджерів і кінцевих користувачів. Застосування VR/AR-технологій дозволяє створювати віртуальні середовища, де можна взаємодіяти з моделлю верстака у масштабі 1:1, оцінюючи не лише зовнішній вигляд, а й зручність розташування елементів у реальному просторі.

Для забезпечення ефективності візуалізації важливо дотримуватися певних практичних рекомендацій. Наприклад, необхідно оптимізувати моделі, щоб уникнути перевантаження системи, використовувати уніфіковані стандарти оформлення, а також регулярно оновлювати візуальні матеріали відповідно до внесених змін у проєкті. Це сприяє підтримці актуальності інформації, полегшує її сприйняття і запобігає непорозумінням.

Перспективи розвитку візуалізації в CAD-системах тісно пов'язані з впровадженням штучного інтелекту, який зможе автоматизувати процеси створення презентацій і оптимізації зображень, а також з покращенням технологій доповненої і віртуальної реальності, що дозволить ще глибше інтегрувати візуалізацію у виробничі та навчальні процеси. Окрім того, розвиток колаборативних платформ дає змогу працювати над проєктами в реальному часі кільком користувачам з різних локацій, що значно підвищує продуктивність і якість кінцевого результату.

Таким чином, візуалізація і презентація проєктної інформації є ключовими факторами успішної розробки металевго верстака, що забезпечують більш точне і

швидке прийняття рішень, покращують комунікацію між учасниками проєкту і сприяють зниженню витрат на виготовлення та експлуатацію готового виробу.

2.8 Взаємодія з іншими інформаційними системами

Сучасне проєктування металевго верстака в SolidWorks відбувається не ізольовано, а в інтегрованому інформаційному середовищі, де програмне забезпечення взаємодіє з різноманітними системами підприємства (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Структура інформаційної системи

Ця взаємодія є ключовою для забезпечення безперервності та ефективності виробничих процесів, а також для збереження цілісності і актуальності даних.

Однією з основних систем, з якими SolidWorks інтегрується, є ERP-системи (Enterprise Resource Planning). ERP відповідають за управління ресурсами підприємства: закупівлею матеріалів, контролем запасів, плануванням виробництва, фінансовим обліком та іншими бізнес-процесами. Після завершення створення 3D-моделі та креслень металевго верстака, з SolidWorks автоматично формується відомість матеріалів (BOM – Bill of Materials), яка передається в ERP. Це дозволяє оперативно планувати закупівлю необхідних комплектуючих, уникати дефіциту чи надлишку матеріалів, а також оптимізувати витрати підприємства.

Ще однією важливою групою систем є САМ-системи (Computer-Aided

Manufacturing), які використовуються для автоматизованого програмування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). SolidWorks дозволяє експортувати геометричні дані у формати, сумісні з САМ, що дає змогу безпосередньо генерувати керуючі програми для різання, фрезерування, зварювання та інших технологічних операцій. Така інтеграція скорочує час підготовки виробництва і мінімізує помилки, які можуть виникати при ручному перенесенні даних.

Крім того, впровадження PLM-систем (Product Lifecycle Management) забезпечує комплексне управління життєвим циклом продукту – від початкової ідеї до зняття з виробництва та утилізації. PLM-системи інтегрують дані з САД, ЕРР, САМ і багатьох інших джерел, дозволяючи координувати всі етапи розробки, виробництва, контролю якості та сервісного обслуговування. Вони також підтримують керування версіями моделей, процесами затвердження змін, документуванням і аудитом, що особливо важливо для складних виробів і виробництв з високими вимогами до стандартизації.

Для забезпечення ефективної взаємодії між цими системами використовуються різні технології обміну даними. Зокрема, відкриті формати файлів, такі як STEP, IGES, Parasolid, DWG, DXF, STL, дозволяють переносити 3D-моделі, креслення і специфікації без втрати інформації. Використання таких стандартів знижує ризик помилок, пов'язаних з конвертацією, і забезпечує сумісність програмних комплексів різних виробників.

Крім стандартних форматів, важливою складовою є застосування АРІ (Application Programming Interface) та спеціалізованих модулів інтеграції, які дозволяють автоматизувати обмін інформацією між системами. За їх допомогою можна синхронізувати бази даних, формувати комплексні звіти, управляти процесами розробки і виробництва в реальному часі. Це суттєво підвищує оперативність і якість прийняття управлінських рішень.

Разом з тим, інтеграція інформаційних систем вимагає ретельної уваги до адаптації даних під внутрішні стандарти підприємства. Кожна організація має свої унікальні вимоги щодо форматування, найменувань, кодів матеріалів і процесів. Тому

крім автоматичних засобів, часто застосовується ручна перевірка і коригування інформації, що особливо важливо на етапах впровадження нових систем або масштабних оновлень.

Забезпечення цілісності та узгодженості інформації між CAD, ERP, CAM та PLM суттєво сприяє зниженню ризиків, пов'язаних із виробничими помилками, затримками і невідповідністю продукції технічним вимогам. Це також підвищує гнучкість і адаптивність підприємства до змін ринкових умов і технологій.

У перспективі розвиток інтеграції інформаційних систем буде спрямований на поглиблену автоматизацію процесів, розширення функцій штучного інтелекту для аналізу і прийняття рішень, а також на впровадження хмарних технологій для забезпечення доступу до актуальних даних із будь-якої точки світу. Такий підхід відкриває нові горизонти для цифрової трансформації виробництва та підвищення конкурентоспроможності продукції.

2.9 Перспективи розвитку інформаційного забезпечення

Інформаційне забезпечення інженерного проектування постійно еволюціонує під впливом технологічних інновацій, змін у виробничих процесах і зростаючих вимог до якості продукції. У контексті проектування металевого верстака в SolidWorks це означає, що сучасні методи роботи поступово замінюються новими, більш ефективними, інтегрованими і автоматизованими підходами.

Однією з найбільш вагомих тенденцій є впровадження інтелектуальних технологій. Штучний інтелект (ШІ) і машинне навчання можуть суттєво спростити рутинні операції: автоматичне створення креслень, перевірка на колізії, оцінка навантажень і навіть генерація оптимальних конструктивних варіантів. Наприклад, на основі заданих технічних вимог система може запропонувати кілька варіантів конструкції, аналізуючи їх за показниками міцності, вартості та ергономіки. Це не лише підвищує ефективність роботи інженера, а й значно зменшує кількість помилок.

Ще одним важливим напрямком розвитку є використання цифрових двійників (digital twins) – віртуальних копій реальних об'єктів. Створення цифрового двійника

верстака дає змогу відтворювати його роботу у реальному часі, аналізувати поведінку при різних навантаженнях, прогнозувати зношення деталей і планувати обслуговування. Це дозволяє не тільки оптимізувати експлуатацію, але й запобігати аварійним ситуаціям, що істотно підвищує надійність виробництва.

Розвиток технологій доповненої (AR) і віртуальної реальності (VR) відкриває нові можливості для навчання персоналу, контролю якості і демонстрації конструкції. Завдяки AR/VR інженери і оператори можуть «побувати» всередині віртуального простору виробу, оцінити зручність обслуговування, виявити потенційні проблеми ще на етапі проєктування [14]. Це зменшує час і витрати на виправлення помилок у виробництві.

Хмарні технології активно інтегруються у процеси проєктування, забезпечуючи зручний доступ до даних і програмних продуктів з будь-якої точки світу. Хмарні сервіси дозволяють організувати спільну роботу команд, що працюють у різних географічних локаціях, забезпечують безпеку збереження інформації і масштабованість ресурсів [15]. Перехід у хмару також знижує витрати на підтримку локальної IT-інфраструктури і сприяє швидшому впровадженню нових функціональних можливостей.

Ще одна перспектива – повна автоматизація цифрового документообігу, що включає електронний підпис, версіонування документів, узгодження і контроль змін. Це дозволяє не тільки прискорити робочі процеси, але й підвищити прозорість і контроль над всіма етапами проєктування і виробництва.

Важливо відзначити, що розвиток інформаційного забезпечення не обмежується технічними аспектами. Важливим є формування корпоративної культури, орієнтованої на цифрові технології, постійне навчання персоналу і готовність до змін. Підприємства, які інвестують у розвиток своїх співробітників і впроваджують нові інформаційні технології, отримують значну конкурентну перевагу на ринку.

Отже, майбутнє інформаційного забезпечення в проектуванні металевого верстака – це комплексне поєднання інтелектуальних алгоритмів, цифрових моделей, сучасних засобів комунікації і організаційних змін. Такий підхід забезпечить підвищення якості, швидкості і ефективності розробки, що в кінцевому результаті сприятиме створенню конкурентоспроможної і надійної продукції.

У підсумку, інформаційне забезпечення процесу проектування металевого верстака в SolidWorks є надзвичайно важливим для створення високоякісної та ефективної моделі. Це забезпечення включає в себе інтеграцію різноманітних даних, що стосуються конструкційних елементів, вибору матеріалів, технологічних процесів та умов експлуатації. Кожен із цих аспектів відіграє свою роль у досягненні точності, надійності та функціональності кінцевого продукту.

Моделювання металевого верстака в SolidWorks починається з детального опису конструктивних елементів, таких як рама, опори, робочі поверхні, додаткові механізми та системи. Кожен елемент має чітко визначені геометричні параметри, а також враховуються типи з'єднань між деталями, що гарантує стабільність і довговічність конструкції. Точність геометрії та параметрів є основою для забезпечення коректної функціональності верстака.

Вибір матеріалів для кожного компонента є критичним для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей верстака. Інформація про матеріали включає характеристики міцності, жорсткості, зносостійкості та стійкості до корозії. Завдяки можливостям SolidWorks, можна легко вибирати і перевіряти відповідність матеріалів вимогам до робочих умов, таких як навантаження, температура чи вологість.

Окрему увагу приділяється також технологічним процесам виготовлення та зборки верстака. Це може включати варіанти обробки матеріалів, типи зварних швів, методи фарбування або покриття. Усі ці фактори враховуються при проектуванні для забезпечення ефективного виробництва та мінімізації витрат на виготовлення. Завдяки інтеграції всіх цих елементів SolidWorks дозволяє створити модель металевого верстака, яка відповідає всім вимогам якості та безпеки.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Загальна характеристика програмного забезпечення для проектування

Програмне забезпечення, яке використовується в сучасному проектуванні, є основою для досягнення високої точності, ефективності та оптимізації всіх етапів розробки. Вибір відповідної CAD-системи є критично важливим для створення конструкцій, які відповідатимуть вимогам безпеки, функціональності та вартості. У контексті проектування металевго верстака, програми для комп'ютерного проектування, такі як SolidWorks, забезпечують можливість створення точних моделей, виконання аналітичних розрахунків, а також тестування і моделювання різних сценаріїв навантажень.

Програмне забезпечення для проектування та аналізу конструкцій має важливу роль в оптимізації проекту. Одним з найбільш популярних та потужних інструментів для механічного проектування є SolidWorks, що широко використовується інженерами для створення тривимірних моделей, креслень та проведення інженерних розрахунків.

3.2 Огляд програмного забезпечення SolidWorks

SolidWorks – це потужна CAD-система, яка дозволяє проектувати як окремі компоненти, так і складні механічні системи. Вона дозволяє створювати точні тривимірні моделі, проводити аналізи та розрахунки, генерувати необхідні креслення для виробництва. Для проектування металевго верстака в SolidWorks використовується широкий набір інструментів, таких як моделінг, збірка, створення креслень і проведення тестів на міцність.

Серед основних можливостей SolidWorks варто відзначити 3D-моделювання об'єктів, яке дозволяє створювати тривимірні моделі з властивостями, що відповідають реальним умовам. У програмі передбачені бібліотеки стандартних компонентів, що містять елементи механічних конструкцій, як-от болти, гайки, пружини та підшипники. Також SolidWorks підтримує автоматичну генерацію 2D-креслень на основі 3D-моделі, що значно пришвидшує процес підготовки

документації. Інтерактивне моделювання забезпечує можливість оперативно змінювати конструкцію в режимі реального часу для оцінки різних варіантів. Генерація 2D креслень: автоматичне створення робочих креслень для виробництва.

Таким чином, SolidWorks є універсальним інструментом, який дозволяє не лише створювати складні моделі, а й аналізувати їх на міцність, деформацію та інші критично важливі параметри, що робить його незамінним у сучасному інженерному проектуванні.

3.3 Основні функціональні можливості SolidWorks для проектування металевого верстака

Проектування металевого верстака за допомогою SolidWorks дозволяє реалізувати всі етапи від початкової ідеї до готового виробу. На першому етапі використовується функція моделювання 3D-об'єктів, яка дозволяє створити основну геометрію верстака, включаючи раму, робочі поверхні та елементи фіксації. Оскільки верстак складається з металевих елементів, SolidWorks надає інструменти для роботи з листовим металом. Це дозволяє створювати деталі, які підходять для подальшого виробництва з металевих листів.

Для проектування складових частин верстака також використовуються бібліотеки стандартних компонентів – це дозволяє значно прискорити процес проектування, адже бібліотеки вже містять готові елементи, які відповідають міжнародним стандартам.

При проектуванні верстака SolidWorks також підтримує створення монтажу: складених моделей, що показують як окремі деталі з'єднуються в єдину конструкцію.

3.4 Використання Simulation для проведення досліджень

Модуль Simulation в SolidWorks є потужним інструментом для проведення чисельних досліджень та аналізу конструкцій. Він базується на методі кінцевих елементів (МКЕ), який дозволяє здійснювати точні розрахунки на основі моделі. Завдяки Simulation можна перевірити металевий верстак на різні навантаження,

визначити можливі точки слабкості конструкції та передбачити її поведінку під час експлуатації.

Види аналізів в Simulation:

- статичний аналіз: дозволяє оцінити деформації, напруження та зміщення елементів конструкції за умов статичних навантажень (наприклад, постійний тиск на робочу поверхню верстака).
- динамічний аналіз: використовується для оцінки конструкції при змінних навантаженнях (наприклад, удари чи вібрації).
- аналіз на втомлюваність: допомагає визначити, скільки циклів навантаження витримає конструкція до початку руйнування.
- тепловий аналіз: дозволяє оцінити, як температура впливає на металеві компоненти верстака, що важливо при роботі з гарячими або холодними предметами.

3.5 Метод скінчених елементів (МКЕ) у Simulation

Метод скінчених елементів (МКЕ) є основним математичним інструментом для моделювання і розрахунку механічних систем. У Simulation цей метод дозволяє розбити складні геометрії конструкцій на дрібні елементи (так звані кінцеві елементи), що значно спрощує розв'язання складних задач, таких як розрахунки напружень, деформацій та теплових впливів.

Під час аналізу конструкції в SolidWorks Simulation, користувач задає граничні умови, такі як тип навантажень (статичні чи динамічні), тип матеріалу та геометрію елементів. Після цього програма автоматично здійснює розрахунки для кожного кінцевого елемента і на основі цього генерує загальний результат.

3.6 Застосування різних типів аналізу в Simulation

Процес проектування металевого верстака вимагає різних типів аналізу для оцінки його здатності витримувати механічні навантаження, а також працювати у різних температурних і динамічних умовах. У Simulation доступні різні типи аналізу.

Статичний аналіз дозволяє визначити напруження, деформації та переміщення у конструкції при статичних навантаженнях. Це допомагає оцінити загальну міцність конструкції та знайти місця з найбільшими навантаженнями. Тепловий аналіз оцінює, як змінюється температура металевого верстака під впливом навколишнього середовища або змін температури робочих об'єктів. Цей тип аналізу важливий для перевірки матеріалів, що використовуються в конструкції, на їх стійкість до температурних коливань. Динамічний аналіз застосовується для визначення поведінки конструкції під час змінних навантажень, наприклад, при вібраціях чи ударах. Аналіз на втомлюваність дозволяє моделювати кількість циклів навантажень, після яких конструкція може втратити свою міцність через виникнення тріщин.

У рамках дослідження було проведено комплексний аналіз поведінки трьох різних типів металів під навантаженням за допомогою модуля SolidWorks Simulation. Всі зразки піддавалися однаковому навантаженню величиною 500 Н для забезпечення об'єктивності порівняння.

Для кожного матеріалу було виконано статичний структурний аналіз з визначенням розподілу напружень по фон Мізесу (Von Mises stress), коефіцієнта запасу міцності (Factor of Safety) та характеру деформації під навантаженням.

Аналіз проводився з використанням методу скінченних елементів (МСЕ), що дозволило отримати детальну картину напружено-деформованого стану для кожного матеріалу.

Результати аналізу

Результати моделювання представлені на рисунках 3.1-3.6, які демонструють розподіл напружень та фактори міцності для кожного з досліджуваних матеріалів.

Сплав сталевий (Alloy Steel) демонструє максимальні напруження в діапазоні від синього (низькі напруження) до червоного (високі напруження) кольорів на візуалізації (рис. 3.1). Фактор міцності показує достатній запас міцності для заданого навантаження, а розподіл напружень характеризується рівномірністю з концентрацією в критичних зонах конструкції (рис. 3.2).

Алюміній 1060 (Aluminium 1060 Alloy) відрізняється від сталевих сплавів через нижчий модуль пружності, що призводить до іншого характеру деформації під навантаженням (рис. 3.3). Розподіл напружень у цьому матеріалі має свої особливості, які потребують окремого аналізу фактора міцності через специфічні властивості алюмінієвих сплавів (рис. 3.4).

Титан Ti-3Al-2.5V демонструє відмінні показники міцності при відносно низькій щільності, що робить цей матеріал ідеальним для критичних конструкцій (рис. 3.5). Розподіл напружень показує оптимальний баланс між міцністю та вагою, що особливо важливо для застосувань, де вагові характеристики мають критичне значення (рис. 3.6).

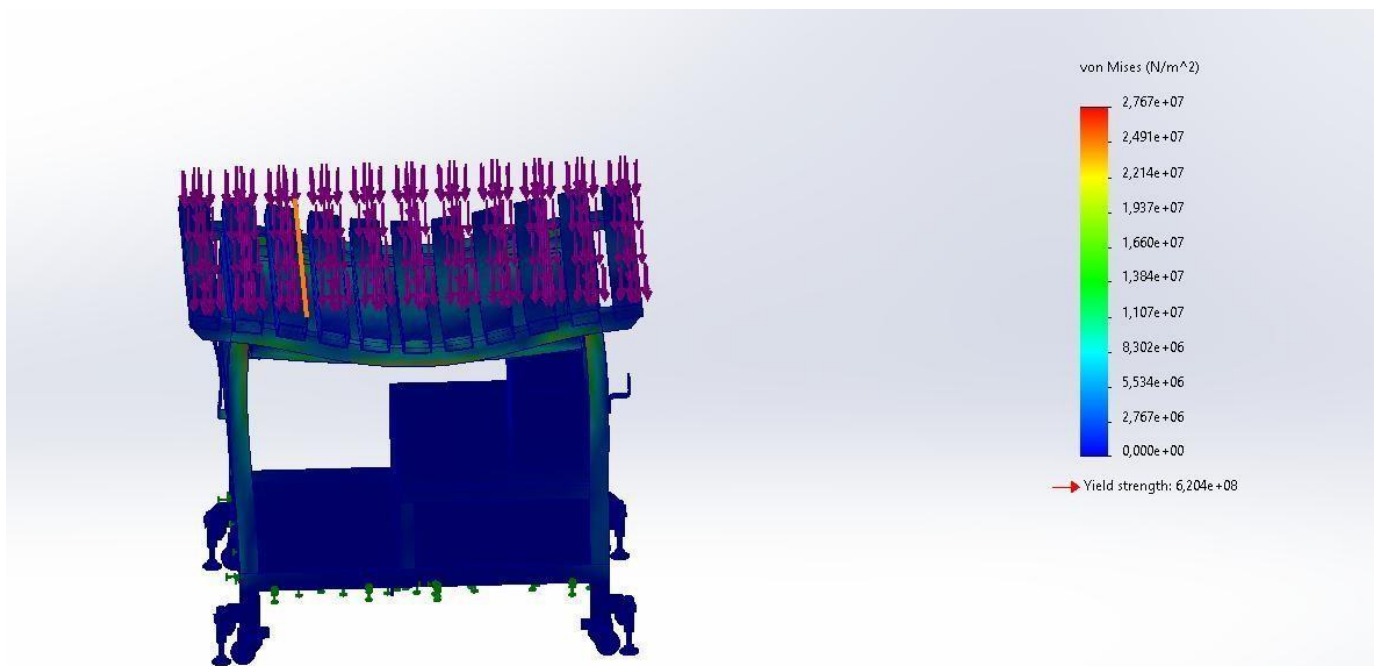


Рисунок 3.1 - Розподіл напруження 500 Н (alloy steel)

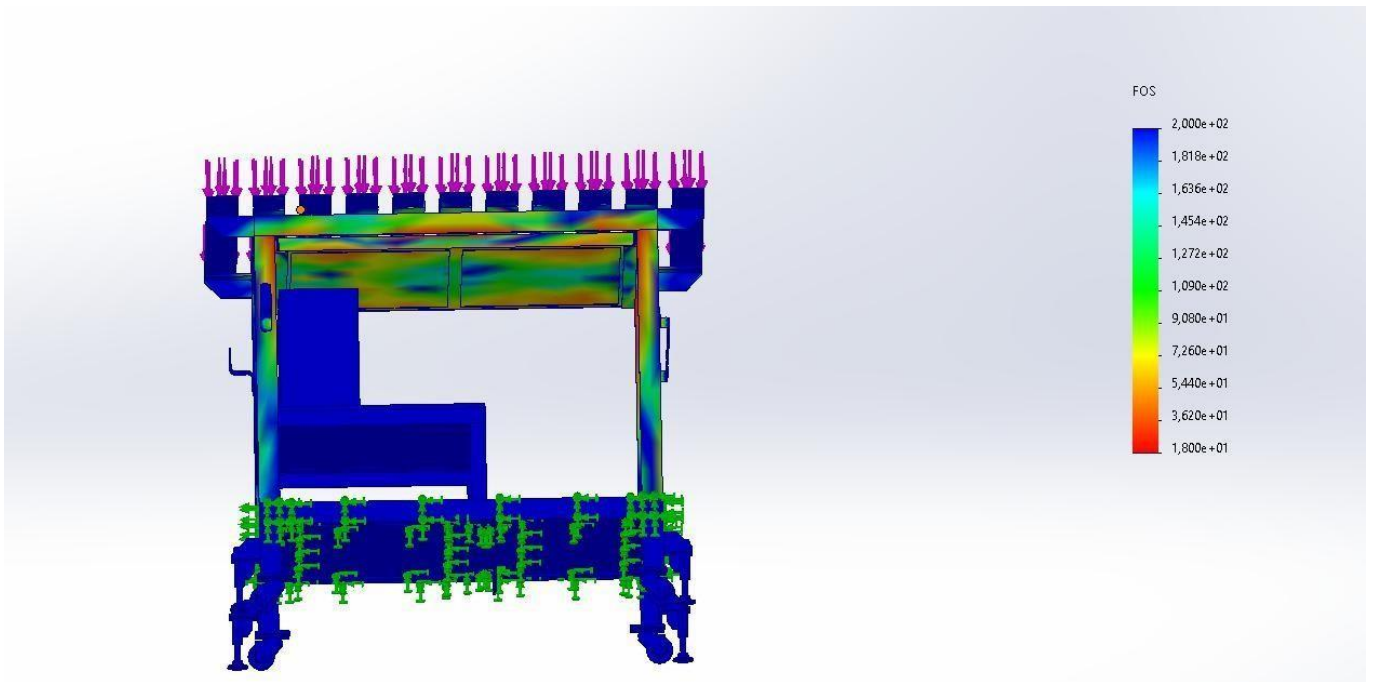


Рисунок 3.2 - Міцність конструкції (alloy steel)

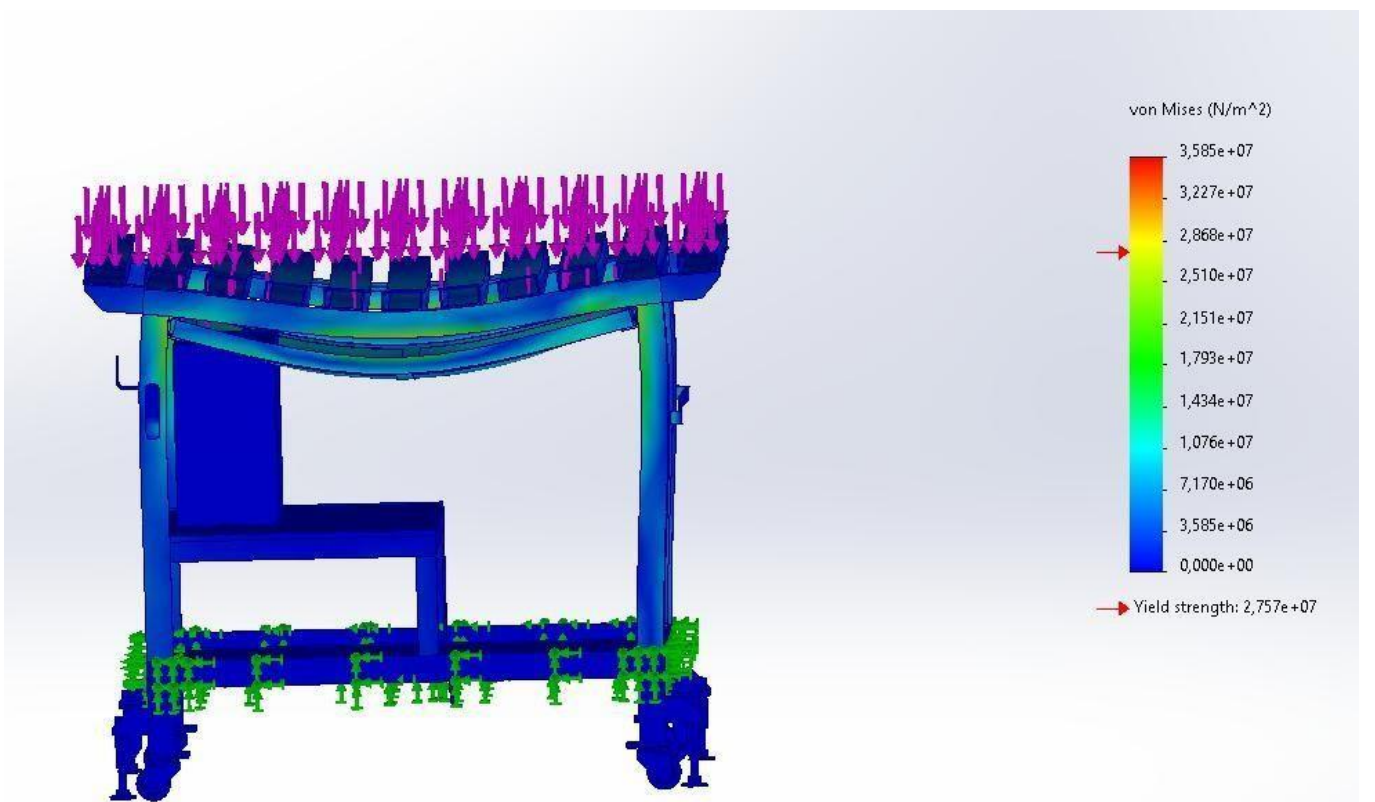


Рисунок 3.3 - Розподіл напруження 500 Н (aluminium 1060 alloy)

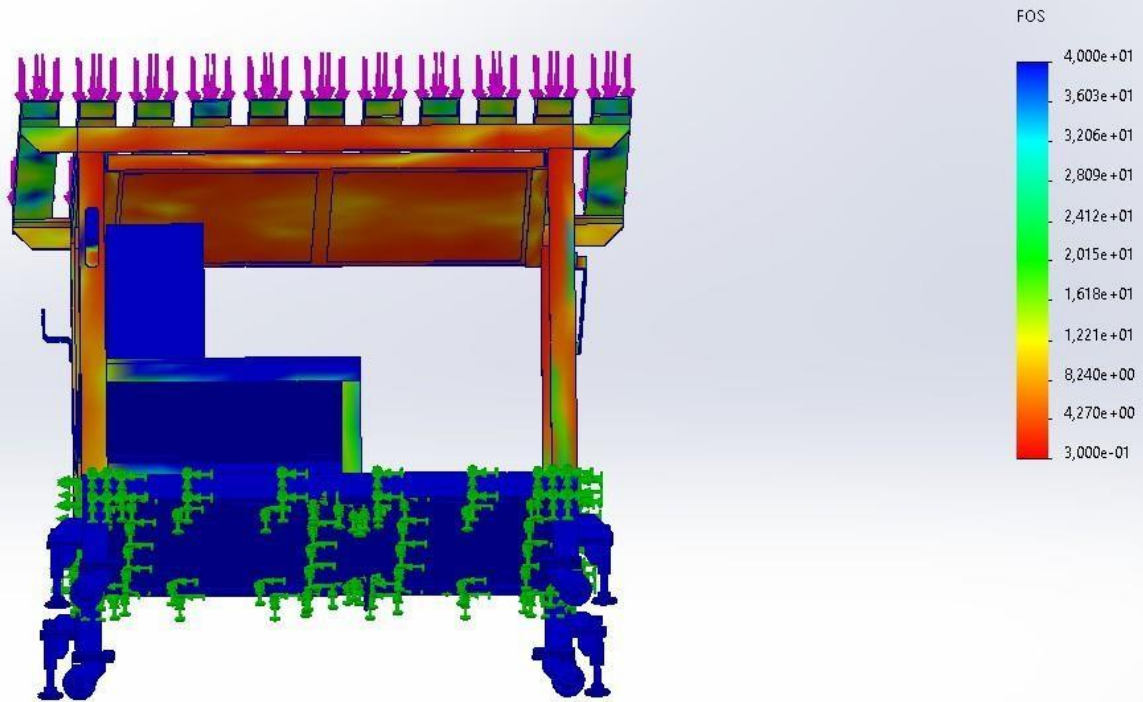


Рисунок 3.4 - Міцність конструкції (aluminium 1060 alloy)

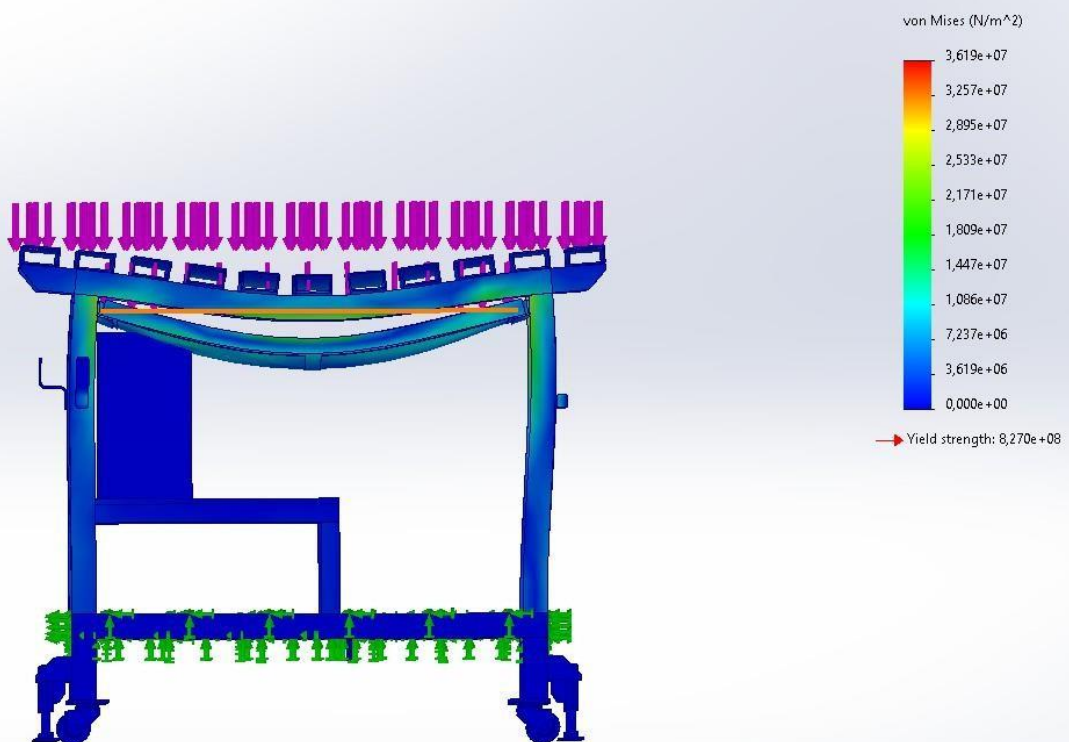


Рисунок 3.5 - Розподіл напруження 500 Н (Titanium ti-5Al-2.5Sn)

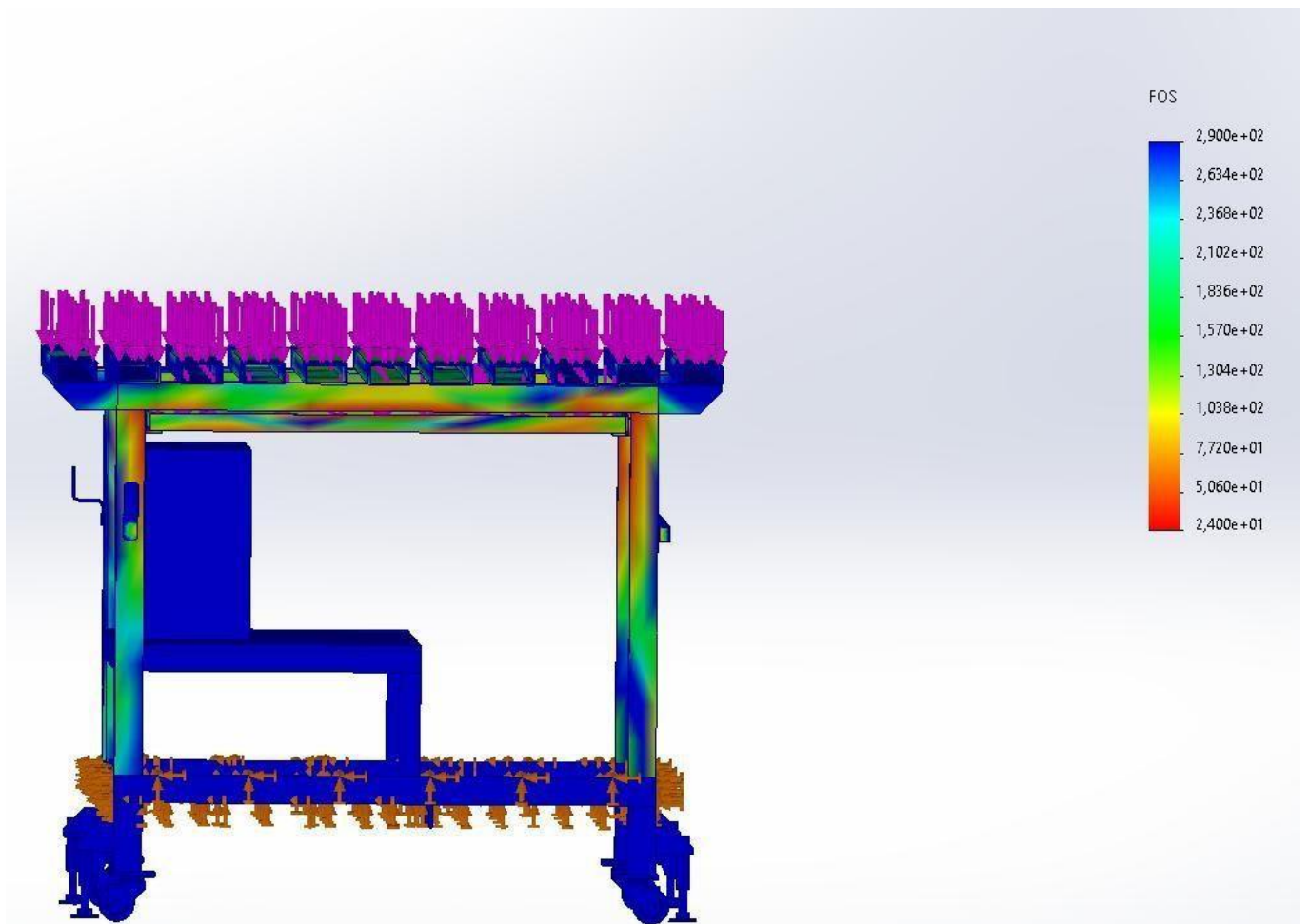


Рисунок 3.6 - Міцність конструкції (Titanium ti-5Al-2.5Sn)

3.7 Інтерфейс і зручність використання SolidWorks

SolidWorks має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє інженерам швидко освоїти програму і ефективно працювати з нею. Інтерфейс поділяється на кілька основних розділів, таких як моделювання, креслення, а також різноманітні інструменти для аналізу.

Особливою перевагою SolidWorks є функціональність "drag-and-drop", яка дозволяє швидко створювати і змінювати компоненти, перетягуючи їх на робоче поле. Крім того, SolidWorks має вбудовану систему підказок та навчальних матеріалів, що дозволяє швидко освоїти всі основні функції програми.

3.8 Взаємодія SolidWorks з іншими програмами та модулями

SolidWorks може інтегруватися з іншими програмами, такими як AutoCAD для створення двовимірних креслень, а також з PDM-системами для управління даними проекту. Інтеграція з іншими програмами дозволяє зберігати всю інформацію в єдиній базі даних, що значно спрощує процес розробки та вдосконалення проектів.

3.9 Переваги та обмеження програмного забезпечення для проектування металевого верстака

Програмне забезпечення SolidWorks має численні переваги, включаючи точність, ефективність і зручність використання. Однак існують і деякі обмеження, такі як висока вартість ліцензії та вимоги до комп'ютерних ресурсів.

Дана збірка загалом складається з 39 компонентів, про те основні з них:

- ✓ Верхня рама верстака
- ✓ Опорні колеса
- ✓ Стійка для кріплення ніжки
- ✓ Контейнер для відходів
- ✓ Рама для кріплення контейнера
- ✓ Дерев'яні накладки

“Верхня рама верстака” являє собою сталеву деталь (рис. 3.7), яка містить металеві балки для робочої зони.



Рисунок 3.7 - Верхньої рами верстака

“Опорне колесо” являє собою металічне колесо (рис. 3.8) за допомогою верстак можна переміщати у різні місця, кріпиться до нижньої рами.

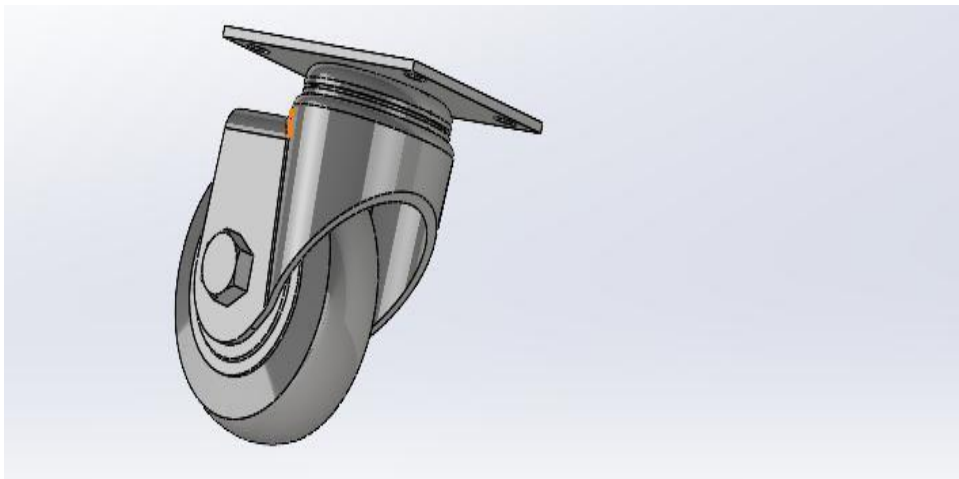


Рисунок 3.8 - Опорне колесо

“Стойка для кріплення ніжки” являє собою металеву деталь (рис. 3.9) для кріплення ніжки і фіксації коліс.

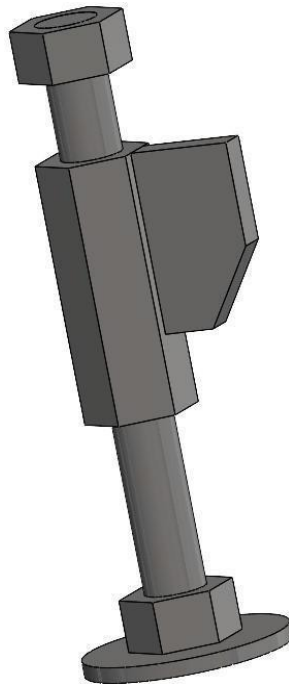


Рисунок 3.9 - Стойка для кріплення ніжки

“Контейнер для відходів” являє собою металичний ящик (рис. 3.10) який знаходиться знизу верстака на дерев’яній накладці.

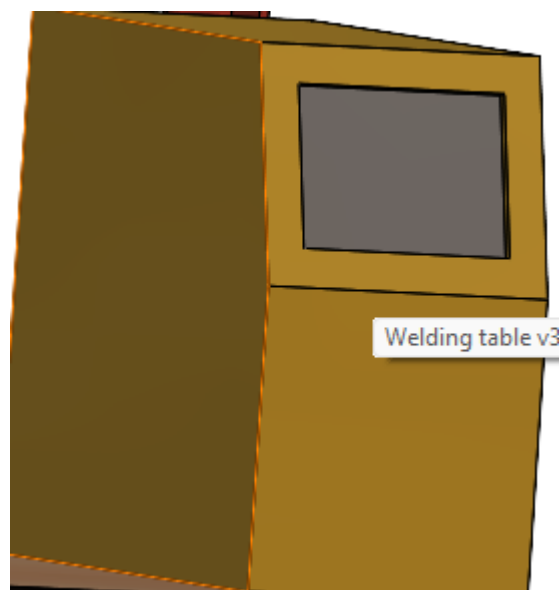


Рисунок 3.10 - Контейнер для відходів

“Рама для кріплення контейнера” являє собою металічну конструкцію яка на котрій буде (рис. 3.11) знаходитись дерев’яна накладка з контейнером для відходів, а також ця рама закріплюється з нижніми ніжками та колесами.

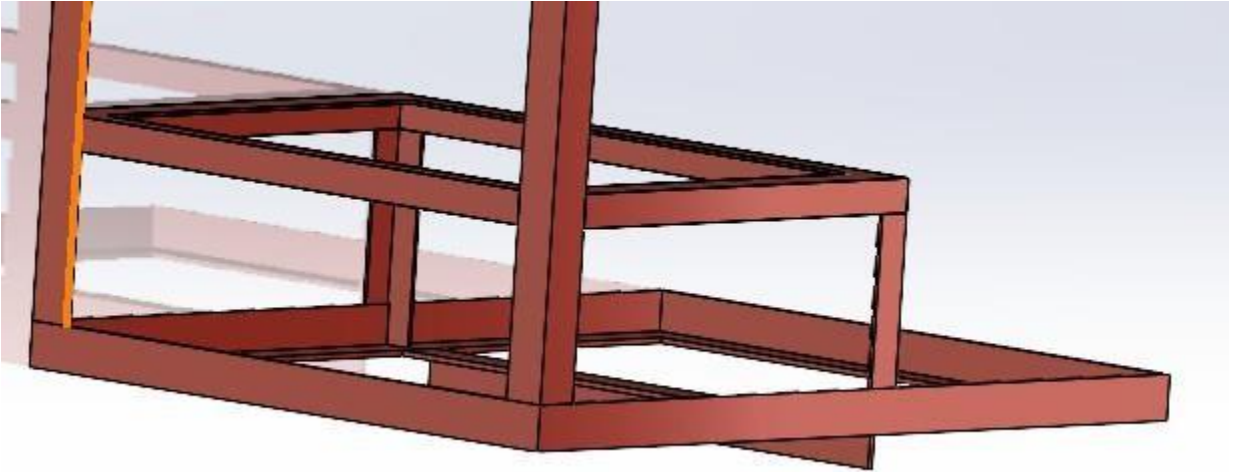


Рисунок 3.11 - Рама для кріплення контейнера

“Дерев’яна накладка” являє собою дерев’яну пластину (рис. 3.12) на котрій знаходиться контейнер для відходів. Також використовується у верхній рамі



Рисунок 3.12 - Дерев’яна накладка

Програмне забезпечення, зокрема SolidWorks, є важливим інструментом у процесі проектування металевго верстака. Його багатфункціональність, зокрема можливість моделювання 3D-об'єктів, створення креслень і проведення чисельних аналізів, забезпечує високу точність і ефективність на всіх етапах розробки конструкції. Використання модулю Simulation дозволяє проводити детальні розрахунки на міцність, деформацію, втомлюваність та теплові впливи, що значно підвищує безпеку і довговічність готового виробу.

SolidWorks забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє ефективно здійснювати проектування навіть для складних конструкцій, таких як металевий верстак. Програма дозволяє значно знизити ризик помилок, оптимізувати конструкцію і забезпечити найкращі умови для виробництва. Крім того, можливість інтеграції з іншими програмами та модулями для управління даними проекту підвищує ефективність та організованість робочого процесу.

Застосування математичного забезпечення в процесі проектування металевго верстака в SolidWorks, а також проведення досліджень у модулі Simulation, дозволяє досягти високого рівня точності та ефективності на всіх етапах розробки конструкції. Використання математичних моделей для моделювання поведінки конструкційних елементів, їхньої взаємодії та аналізу навантажень дає можливість точно передбачити, як верстак буде реагувати на різні робочі умови. Це, у свою чергу, дозволяє здійснювати оптимізацію конструкції з урахуванням не лише її функціональних вимог, але й економічних і технічних обмежень.

Математичні методи, зокрема аналіз даних, теорія оптимізації, а також метод скінчених елементів (МКЕ), є незамінними інструментами для виявлення потенційних слабких місць конструкції. Вони дозволяють здійснювати детальне дослідження напружень, деформацій та інших важливих характеристик матеріалів, що використовуються в конструкції. За допомогою цих методів можна забезпечити стійкість металевго верстака навіть під впливом екстремальних навантажень, таких як удари або постійне використання під високими механічними навантаженнями.

Крім того, математичне забезпечення дає можливість не тільки підвищити надійність конструкції, а й значно зменшити витрати на виробництво, оскільки дає точне уявлення про оптимальні параметри матеріалів та геометрії конструкції. Тому математичне моделювання не лише сприяє забезпеченню безпеки та довговічності верстака, але й дає змогу значно знизити витрати на його виготовлення та експлуатацію.

В цілому, математичні методи, що використовуються в SolidWorks та модулі Simulation, є необхідними для забезпечення високої якості проекту. Вони не лише допомагають виявити й усунути можливі недоліки конструкції на етапі проектування, а й сприяють досягненню максимальної ефективності виробничого процесу. У кінцевому підсумку це дозволяє створити металевий верстак, який відповідає всім вимогам безпеки, надійності та економічної ефективності, забезпечуючи тривалий строк експлуатації та мінімальні витрати на обслуговування.

ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнуто поставленої мети – створено систему автоматизованого проєктування металевих верстаків із використанням SolidWorks, яка дозволяє здійснювати точне 3D-моделювання, перевірку міцності конструкції та генерування технічної документації відповідно до сучасних вимог.

1. **Проаналізовано** сучасний стан галузі проєктування металевих верстаків, виявлено ключові недоліки традиційного ручного моделювання, зокрема високу трудомісткість та вірогідність помилок;
2. **Систематизовано** вимоги до функціональної, геометричної та експлуатаційної надійності конструкції верстака, враховуючи фактори навантаження, жорсткості та адаптивності до виробничих умов;
3. **Розроблено** параметричну 3D-модель металевих верстаків, що охоплює основні конструктивні елементи – каркас, стільницю, опори, кріплення – з можливістю змінювати геометричні параметри відповідно до вхідних даних.
4. **Застосовано** модуль SolidWorks Simulation для аналізу напружено-деформованого стану конструкції, визначено критичні зони, що дозволило підвищити безпеку і довговічність моделі;
5. **Реалізовано** систему перевірки введених параметрів з обмеженням на недопустимі значення та контроль допустимих меж, що забезпечує коректність початкових даних та підвищує стабільність роботи програми;
6. **Представлено** автоматизовану генерацію технічної документації (креслень і специфікацій BOM), що скорочує час на оформлення виробничої інформації та мінімізує помилки;
7. **Досліджено** можливості інтеграції SolidWorks з іншими програмами та модулями, що забезпечує зручність командної роботи, версіонування та контроль змін у процесі розробки;
8. **Установлено**, що використання SolidWorks у процесі проєктування забезпечує високу точність, знижує витрати часу на виготовлення, дозволяє знаходити оптимальні інженерні рішення та покращує техніко-економічні показники конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глазунова І. В. "Основи проектування машин і механізмів." – Київ: Вища школа, 2017 - 302 с.
2. Мухін О. В. "Проектування верстаків та робочих місць у машинобудуванні." – Харків: Фоліо, 2018 – 396 с.
3. Сидоренко І. О. "Метод скінчених елементів у проектуванні машин." – Київ: Наукова думка, 2015 – 302 с.
4. SolidWorks Simulation: User's Guide. – Dassault Systèmes, 2021 – 297 с.
5. Основи проектування металевих конструкцій. – Київ: Техніка, 2016 – 353 с.
6. Виноградова Т. С. "Моделювання в SolidWorks." – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 421 с.
7. Харчев М. І. "Математичні методи та моделювання в інженерії." – Львів: Львівська політехніка, 2014.А – 423 с.
8. Nudehi, S. S., & Steffen, J. R. (2025). *Analysis of Machine Elements Using SOLIDWORKS Simulation 2025*. SDC Publications – 556 с.
9. Kurowski, P. (2025). *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2025*. SDC Publications – 586 с.
10. Shih, R. H. (2025). *Introduction to Finite Element Analysis Using SOLIDWORKS Simulation 2025*. SDC Publications - 500 с.
11. Cadartifex, Willis, J., & Dogra, S. (2024). *Solidworks 2024: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users*. SDC Publications - 125 с.
12. SOLIDWORKS PDM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solidworks.softico.ua/solidworks-pdm/> (Дата звернення 12.04.2025).
13. Lani Tran CSWE (2024). *Preview this book Mastering Surface Modeling with SOLIDWORKS 2024*. SDC Publications - 85 с.
14. AR та VR у мобільних застосунках: практичні рішення для бізнесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.webxpert.lt/uk/blog/mobilni-dodatky-ar-vr> (Дата звернення 09.05.2025).

15. Хмарні сервіси для освітнього процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/embed/01000f1q-4bd2.docx.html> (Дата звернення 10.05.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

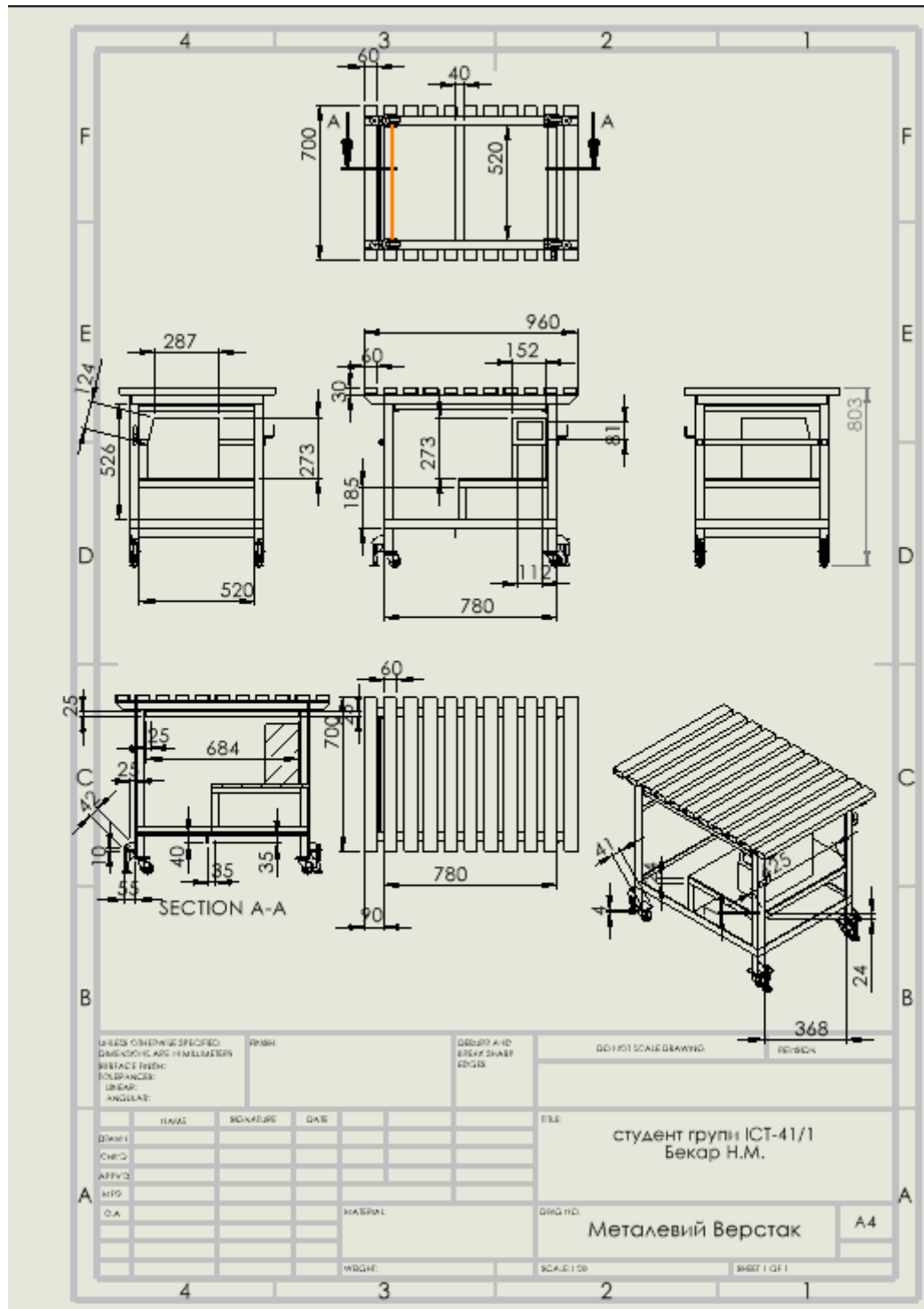


Рисунок А.1 - Креслення металевго верстака

Додаток Б



Рисунок Б.1 - Металевий верстак

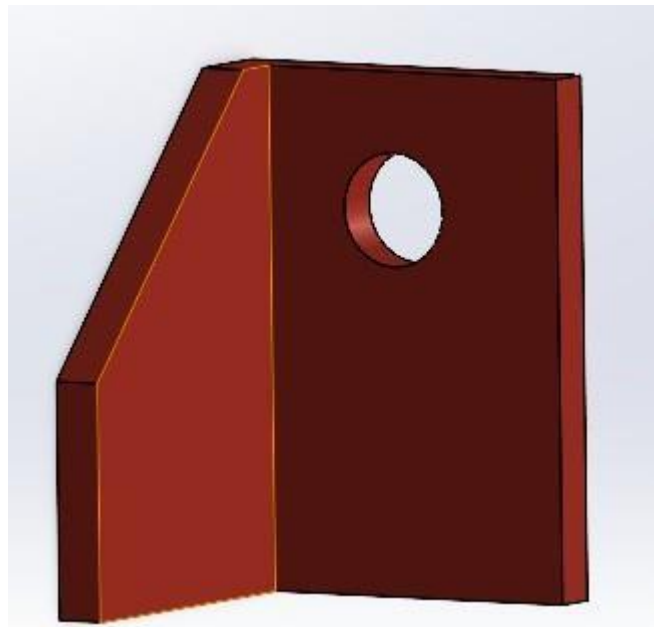


Рисунок Б.2 - Кутовий з'єднювач

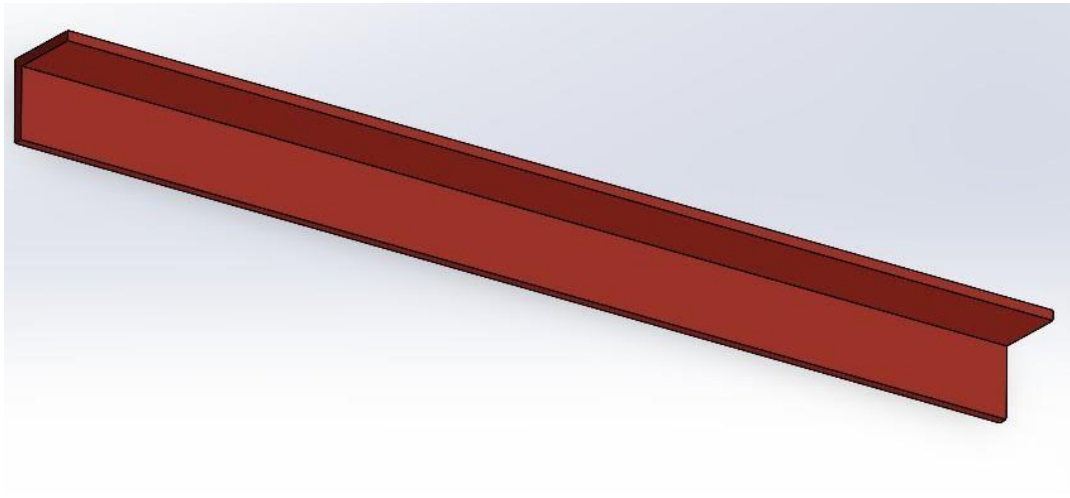


Рисунок Б.3 - Кутовий з'єднювач

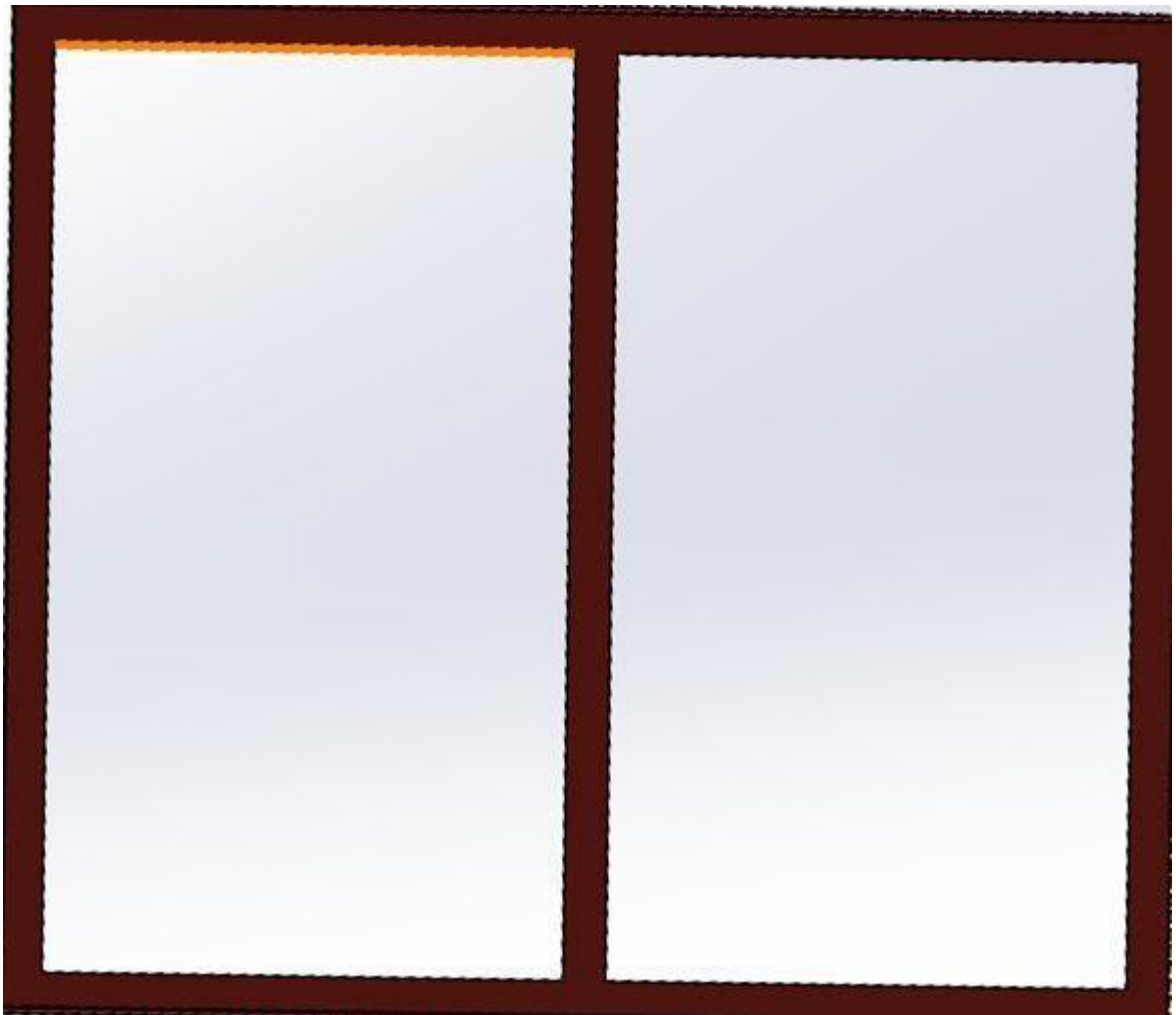


Рисунок Б.4 – Верхня рама