Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

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))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК
МКР.08-26.002.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ПМ-21м
спеціальності 131 – Прикладана механіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
_____ Барановський А.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. вик. каф. ТАМ
_____ Піонткевич О.В.
(прізвище та ініціали)
«14» 12 2022 р.

Опонент: к.т.н., ст. вик. каф. АТМ
_____ Антонюк О.П.
(прізвище та ініціали)
«16» 12 2022 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ
_____ д.т.н., проф. Козлов Л.Г.
(прізвище та ініціали)
«16» 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 13- Механічна інженерія
Спеціальність 131 –Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г. Козлов

(підпис)

«10» жовтня 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Барановський Артем Дмитрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК» керівник роботи к.т.н., ст.вик. кафедри ТАМ Піонткевич О.В. затверджені наказом вищого навчального закладу від 15.09.2022 року №205-А

2. Строк подання студентом роботи 19 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Прототип фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК, оброблюваний матеріал: пластик: акрил, поліпропілен; вироби з дерева, метали: алюмінієві сплави, титан, латунь.

4. Зміст текстової частини: огляд конструкцій та літературних джерел по дослідженню фрезерних верстатів з ЧПК; аналіз конструкцій прототипів фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК; розрахунок та удосконалення конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК; економічне обґрунтування розробки; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація із заявленими основними розрахунками та результатами роботи, складальне креслення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК та удосконаленої деталі «Стойка портала».

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., ст. вик. Піонткевич О. В.	11.10.22	14.12.22
Економічна частина	к.т.н., проф. Лесько О.Й.	26.10.22	25.11.22
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.пед.н., проф. Дембіцька С.В.	26.10.22	14.12.22

7. Дата видачі завдання 18 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	21.10.2022
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	2510.2022
3	Техніко-економічне обгрунтування методів досліджень	26.10.2022
4	Розв'язання поставлених задач	05.11.2022
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11.2022
6	Виконання розділу «Охорона праці безпека в надзвичайних ситуаціях»	14.11.2022
7	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11.2022
8	Перевірка роботи на плагіат	13.12.2022
9	Попередній захист МКР	14.12.2022
10	Нормоконтроль МКР	15.12.2022
11	Рецензування МКР	16.12.2022
12	Захист МКР	21.12.2022

Студент _____ (підпис) А.Д. Барановський

Керівник роботи _____ (підпис) О.В. Піонткевич

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

АНОТАЦІЯ

УДК 621.25

Барановський А.Д. Удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК: магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / А. Д. Барановський. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2022. 116 ст.

На укр. мові. Бібліогр.: 25 назв; рис.: 41; табл. 18.

Метою роботи є удосконалення конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК шляхом дослідження та розробки рекомендацій по вибору фізико-механічних характеристик його елементів і забезпечення ефективних режимів різання.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз існуючих конструкцій та літературних джерел по фрезерним верстатам з ЧПК; розроблено тривимірну модель прототипу; розроблено схему навантаження на елементи конструкції верстата; досліджено вплив сил різання для різних матеріалів на елементи конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК; розроблено рекомендації по вибору елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК.

Вперше знайдено залежність деформації елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК від параметрів режимів різання, що дозволяє забезпечити жорсткість системи верстат-пристосування-інструмент-деталь під час експлуатації.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект. В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

Ключові слова: фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК, режими різання, деформація

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ABSTRACT

Baranovsky A.D. Improving the design of a CNC milling machine: master's qualification work for the competition of the educational qualification level "Master" in specialty 131 "Applied mechanics" / A. D. Baranovsky. – Vinnitsa National Technical University. – Vinnitsa, 2022. 116 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 25 titles; Fig.: 41; table 18.

The aim of the work is to improve the design of a CNC milling and engraving machine by researching and developing recommendations for choosing the physical and mechanical characteristics of its elements and providing effective cutting modes.

To achieve this goal, an analysis of existing designs and literature on CNC milling machines was carried out; developed a three-dimensional model of the prototype; a scheme of loading on the elements of the machine structure was developed; the influence of cutting forces for various materials on the structural elements of a CNC milling and engraving machine was studied; recommendations have been developed for the selection of structural elements of a CNC milling and engraving machine.

For the first time, the dependence of the deformation of the structural elements of a CNC milling and engraving machine on the parameters of the cutting modes was found, which makes it possible to ensure the rigidity of the machine-device-tool-part system during operation.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece of the part, the payback period and the economic effect are calculated.

The work also developed measures for labor protection and safety in emergency situations.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.

Key words: CNC milling and engraving machine, cutting modes, deformation

ЗМІСТ

ВСТУП..... 5

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТАМ З ЧПК 7

1.1 Огляд моделей та конструкцій фрезерних верстатів з ЧПК..... 7

1.2 Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалів для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК 18

1.3 Різальний інструмент для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК . 24

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОТИПУ ФРЕЗЕРНО-ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК 28

2.1 Конструкція та матеріали для прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК 28

2.2 Схема підключення та обладнання системи керування верстата з ЧПК 35

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗЕРНО-ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК..... 40

3.1 Розрахунок режимів різання під час обробки різних матеріалів 40

3.2 Підбір шпинделя для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК 48

3.3 Аналіз фізико-механічних характеристик елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК 49

3.4 Конструкторська документація для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК 63

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ..... 67

4.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи..... 67

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи..... 69

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково- дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру..... 80

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором..... 80

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

4.5 Висновки…….. 85

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ……. 87

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт…….. 87

5.1.1 Вимоги безпеки до робочого місця та обладнання …….. 87

5.1.2 Електробезпека ……. 88

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії……... 90

5.2.1 Мікроклімат …….. 90

5.2.2 Склад повітря робочої зони …… 92

5.2.3 Виробниче освітлення …….. 92

5.2.4 Виробничий шум …….. 93

5.2.5 Електромагнітні випромінювання ……. 94

5.2.6 Психофізіологічні фактори …… 95

5.3 Організація і проведення радіаційного і хімічного захисту …… 96

ВИСНОВКИ…… 98

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 100

ДОДАТКИ…… 103

ДОДАТОК А – ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ…… 104

ДОДАТОК Б – ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА…… 105

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Фрезерні верстати з чистовим програмним керуванням (ЧПК) є сучасними засобами обробки різних матеріалів на одному рівні з точінням, лазерною різкою, обробкою тиском тощо. На процес фрезерування припадають такі операції: торцювання, утворення лисок і уступів, відрізання, гравірування і маркування, нарізання різьби, зубів та шліців, фрезерування шпонкових та Т-подібних пазів тощо. Сучасні фрезерні верстати з ЧПК оснащені надзвичайно точними вузлами, направляючими та системами керування. Система верстат-пристосування-інструмент-деталь (система ВПІД) є досить жорсткою для обробки різних надтвердих та м'яких матеріалів.

Однак, дрібний та середній бізнес в Україні та світі потребував розвитку не промислових зразків фрезерних верстатів з ЧПК. Це зазвичай компактні, настільні фрезерно-гравірувальні верстати з ЧПК, що мають відносно жорстку систему ВПІД, а системи керування в них не забезпечені навіть зворотними зв'язками для коригування позиціонування інструменту. Такі верстати обмежені в номенклатурі оброблюваних матеріалів та мають погіршені показники точності по відношенню із промисловими зразками. Саме тому на сьогоднішній день розробка рекомендацій з удосконалення конструкції фрезерно-гравірувальні верстатів з ЧПК є актуальною задачею.

Мета та задачі роботи дослідження.

Метою роботи є удосконалення конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК шляхом дослідження та розробки рекомендацій по вибору фізико-механічних характеристик його елементів і забезпечення ефективних режимів різання.

Для досягнення мети планується розв'язати такі *задачі*:

– провести аналіз прототипів фрезерних верстатів з ЧПК;

– розробити схеми навантаження на елементи конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК;

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

– дослідити вплив сил різання різних для матеріалів на елементи конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК;

– розробити рекомендації по вибору елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК.

Об'єкт дослідження – фізико-механічні процеси в конструкції верстата.

Предмет дослідження – фрезерно-гравірувального верстат з ЧПК.

Методи дослідження. Імітація та кінцево-елементне моделювання фізико-механічних процесів в конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК за допомогою програмного пакету Autodesk “Invetor”.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше знайдено залежність деформації елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК від параметрів режимів різання, що дозволяє забезпечити жорсткість системи ВПІД під час експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів. Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані при налагоджені серійного випуску фрезерно-гравірувального верстатів з ЧПК. Такі фрезерно-гравірувального верстати з ЧПК будуть мати надійні елементи конструкції з відповідної номенклатурою оброблюваних матеріалів та продуктивності.

Розроблено рекомендації по вибору фізико-механічних характеристик елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК для удосконалення його та забезпечення працездатність.

Особистий внесок магістранта. Основні результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно.

Публікації: Покращення фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача за допомогою CAD/CAE-систем / Барановський А. Д., Гуцалюк А. М., Василишен Б. В., Піонткевич О. В. // Матеріали LI Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2022), Вінниця. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15983.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТАМ З ЧПК

1.1 Огляд моделей та конструкцій фрезерних верстатів з ЧПК

Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) [1, 2, 3] підвищують продуктивність обробки, забезпечують стабільну точність і високу мобільність виробництва, зменшує затрати людських ресурсів безпосередньої участі в процесі розпочатої обробки деталей. А фрезерний верстат з ЧПК є одним з типових (стандартних) верстатів в машинобудуванні. В машинобудування прийнято єдину систему класифікації і умовних позначень для верстатів вітчизняного виробництва, засновано на присвоєння кожному верстата особливого шифру (номера) моделі:

- перша цифра номера моделі верстата означає його групу (токарна, сверлильная, фрезерна і ін.),
- друга – його тип верстата,
- третя цифра (а іноді ще й четверта) характеризують розмір верстата.

У ряді випадків між першою і другою цифрами в номеру моделі верстата вводиться прописна буква, що означає про поліпшення чи модифікацію самого верстата. Іноді прописна буква може ставитися в кінці шифру моделі, що вказує на первну область застосування даної модифікації верстата (наприклад, П - підвищеної точності; Ш - широкоуніверсальний; Ф - з програмним керуванням; ПБ - підвищеної точності, швидкохідний і т.д.).

Всі фрезерні верстати в зазначеній класифікації входять до шостої групи, тому позначення будь-якої моделі фрезерного верстата починається з цифри 6. А верстати фрезерної групи діляться на наступні типи:

1 - консольні вертикально-фрезерні; 2 - фрезерні верстати безперервної дії; 3 - вільна група; 4 - копіювально і фрезерні верстати; 5 - вертикальні беськонсольниє; 6 - поздовжньо фрезерні; 7 - консольні широкоуниверсальні; 8 - горизонтальні консольні; 9 - різні.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Сучасне закордонне маркування фрезерного обладнання не підтримує стандарти маркування вітчизняних зразків. Макрування прив'язане до фірм виробників, але варто звернути на приставку NC, яка відповідає за систему Numerical control. Вона з'явилася першою та передбачала використання жорстко заданих схем керування обробкою. Наступним поколінням варто вважати верстати з CNC – це система Computer numerical control, що ґрунтуються на системі керування побудованій на: мікроконтролері; програмованому логічному контролері; промисловому комп'ютері на основі мікропроцесора.

Залежно від кількості осей фрезерні верстати поділяють:

- 3 осі: це машини з віссю X (зліва направо), віссю Y (вперед і назад) і віссю Z (вгору і вниз) (див. рис. 1.1), що забезпечує фрезерування. Такі машини є найпростішими фрезерними верстатами, легкими в експлуатації та найдешевшими. Однак є недолік, який закладається в не можете отримати доступ до певних ділянок деталі, що обробляється, і геометрія деталі, яку можна досягти, буде менш складною.

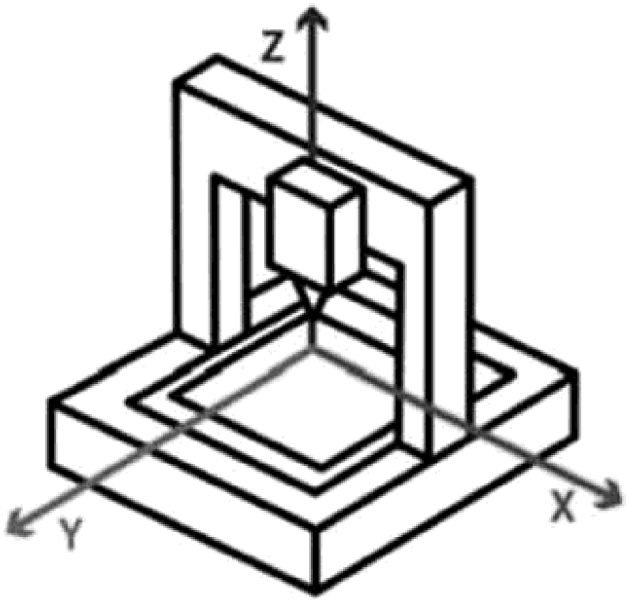


Рисунок 1.1 – Розміщення 3-х осей під час фрезерування, що забезпечує обробку 2D, 2.5D та 3D геометрії деталі

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

- 4 осі: обладнання схоже на попереднє, але для повороту деталі додається додаткова вісь. Четверта вісь називається віссю A, вона забезпечує обертання, поки верстат не обробляє матеріал. Після встановлення деталі в правильне положення, відбувається гальмування по цій осі, а для осей X, Y, Z продовжується обробка деталі. Існують верстати з ЧПК, які дозволяють переміщати X, Y, Z, A одночасно, і вони відомі як верстати з ЧПК безперервної обробки. Такі типи верстатів з ЧПК можуть створювати більший ступінь деталізації, ніж попередні, і використовуються для деталей з порожнинами, дугами, циліндрами тощо... Недоліками таких машин є: знос черв'ячної передачі осі, якщо вона інтенсивно використовується; люфт на валу осі, який може вплинути на точність або надійність машини через вібрації.
- 5 осі: це машини складніші за попередні, у яких додано дві додаткові осі (див. рис. 1.2), щоб покращити свободу пересування. Завдяки цьому забезпечується обробка більш складних частин деталі. При цьому деталь зможе здійснювати обертальні рухи, щоб інструмент верстата мав кращий доступ до всіх ділянок.

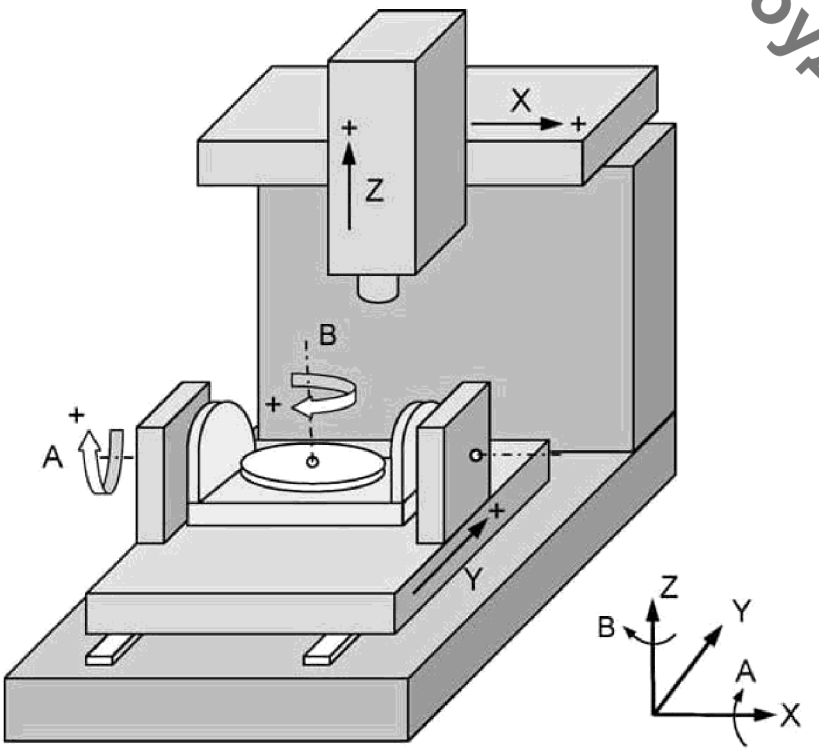
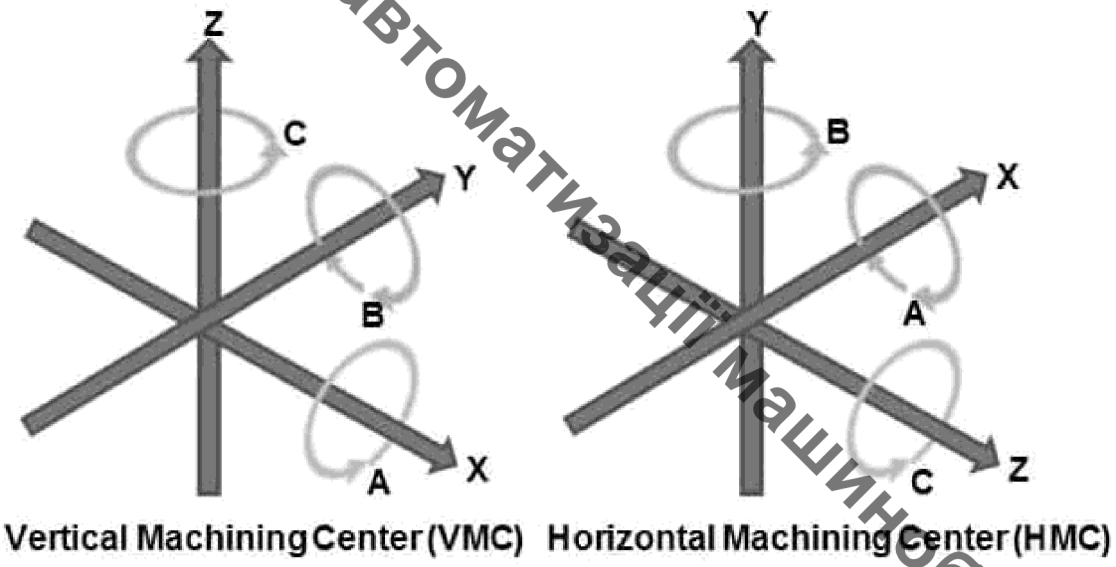


Рисунок 1.2 – Розміщення 5-ти осей під час фрезерування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Перевагами такого верстата є: відсутність ручного переміщення деталі, можливість створювати складну геометрію, краща точність обробки і отримання якісних поверхень з низькою шорсткістю. Що стосується недоліків: це велика вартість та більша складна машина, що ускладнює обслуговування та зменшує надійність роботи.

Крім 3, 4 і 5 осьових фрезерних верстатів, існують види верстатів з ЧПК, що мають до 12 осей (див. рис. 1.3).



а) б)

Рисунок 1.3 – Розміщення до 12-ти осей під час фрезерування:
а) вертикальний механічний центр (VMC);
б) горизонтальний механічний центр (HMC)

Це більш досконалі та дорогі верстатів з ЧПК, але вони не такі поширені.

- 7 осі: фрезерні верстати з ЧПК дозволяють створювати довгі тонкі деталі з великою кількістю частин. Для цих типів верстатів з ЧПК застосовують осі для переміщення заготовки вправо-вліво, вгору-вниз, назад-вперед; обертання інструменту; крім цього ще обертання заготовки, обертання головки інструменту та руху робочого затискача.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

- 9 осі: фрезерні верстати з ЧПК поєднує в собі токарний верстат з 5-осьовою обробкою. В результаті є те, що оператор може обробляти та фрезерувати уздовж кількох площин за допомогою однієї установки, при цьому забезпечуючи велику точність.
- 12 осі: фрезерні верстати з ЧПК мають дві головки VMC і HMC, кожна з яких дозволяє одночасно переміщатися по осях X, Y, Z, A, B і C. Такі верстати є найдорожчими із типів машин, але вони забезпечують підвищену продуктивність і точність в порівнянні з попередніми.

Яскравим представником фрезерного верстата з ЧПК є модель LDM4025 (див. рис. 1.4) [4], що являє собою велику промислову машину для масового виробництва.

Рисунок 1.4 – Фрезерний верстат з ЧПК LDM4025

Фрезерний верстат з ЧПК LDM4025 характеризується високою якістю, продуктивністю та точністю виготовлення деталей. Верстат обладнаний автоматичною системою змащення, системою керування Mitsubishi M70A, повітряним охолодженням, включає якісні деталі та вузли, портал і кабіну для закритої обробки. Робочий стіл фрезерного верстата з ЧПК 4000×2500 мм, а

відстань між колонами 2900 мм. На верстаті встановлено конічний шпиндель BT50 з можливістю обертати фрезу до 8000 об/хв та потужністю двигуна 22 кВт, збільшенням швидкості різання до 7500 мм/хв. Це все дає високу швидкість подачі із забезпеченням максимальна точність.

Компонування функцій декількох видів обладнання, є великою перевагою сучасних верстатів з ЧПК. Так настільний токарно-фрезерний верстат GUYX WMP250V (див. рис. 1.5) здатний виконувати токарні та фрезерні операції із заготовками із чорного та кольорового металу, а також сплавів, пластмас та інших матеріалів, крім того на ньому можна здійснювати свердління.

Рисунок 1.5 – GUYX WMP250V Токарно-фрезерний верстат

Деякі особливості моделі: завдяки отвору в шпинделі можна обробляти довгі прутки, можна нарізати праву і ліву різьби, станина відлита з чавуну, що знижує рівень вібрацій та забезпечує жорсткість, піноль задньої бабки висувається, має конусний отвір. Токарно-фрезерний верстат GUYX WMP250V з ЧПК підтримує фрезерні та токарні роботи з відстанню між центрами 750 мм, змінною, безступінчастою, швидкістю обертання осі, від 50 до 2000 об/хв,

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

потужністю двигуна 750 Вт для токарної обробки та 600 Вт для фрезерування. Вага нетто близько 195 кг, а розміри не надто великі в порівнянні з іншими верстатами, що дозволяє розмістити його на підготовленому столі.

Варто відзначити фрезерно-гравірувальні верстати, що входять до 9-то типу. Фрезерно-гравірувальні верстати мають безліч переваг, якщо порівнювати їх зі стандартним металообробним інструментом. Завдяки числового програмного керуванню обробка деталей здійснюється з високою точністю. Така перевага особливо вигідно у випадках, коли металеві деталі мають відносно складну конфігурацію, адже на звичайному універсальному фрезерному верстаті досягти хорошої якості таких поверхонь надзвичайно складно.

Фрезерно-гравірувальні верстати з ЧПК призначені для фрезерування і гравірування матеріалів мініатюрними граверами і фрезами, що ефективно використовується під час ювелірного виробництва.

Основний тип виробництва для такого устаткування є одиничне, або дрібносерійне. Сфера застосування фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК це такі галузі: ювелірна, меблеве виробництво та виготовлення сувенірів. Асортимент ринку фрезерно-гравірувальних верстатів дозволяє підібрати обладнання з необхідними характеристиками для розкрою листового металу і нанесення написів на вироби.

Переваги використання фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК:

- проста система обслуговування;
- великий функціонал;
- висока якість обробки матеріалів;
- достатня надійність і довговічність;
- високий показник ККД.

За типом конструктивного виконання розрізняють наступні різновиди фрезерно-гравірувальних верстатів:

- автоматичні конструкції, укомплектовані головкою з трьома шпинделями і пневматичним притиском;

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

- настільні фрезерно-гравірувальні верстати з механічним засобом притиску оброблюваної деталі;
- автоматичні конструкції з пневматичним притиском заготовки.

Основним недоліком таких верстатів може бути зменшення їх якості в зв'язку із гонитвою за зменшенням їх вартості. Тому потрібно приділяти суттєву увагу конструкції фрезерно-гравірувального обладнання, щоб не придбати не надійний продукт.

Розглянемо конструкцію фрезерного верстата з ЧПК Fetcoi 6040T (див. рис. 1.6). Він є компактним пристроєм, з можливістю підключення до ПК через USB-кабель. Фрезерний верстат з ЧПК Fetcoi 6040T дозволяє обробляти безліч деталей з різних матеріалів, таких як: алюміній, мідь, срібло, акрил, смола ABS, пінопласт, різної породи дерево, фанера та МДФ тощо. Направляючі для руху портала: вал на опорі по яким рухається портал із фрезою, робочий стіл фіксований та збірний із алюмінієвого профілю. Верстат містить VFD з водяним охолодженням, електродвигун на 1.5 кВт.

Рисунок 1.6 – Fetcoi 6040T 4-осьовий фрезерний верстат з ЧПУ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Фрезерний верстат з ЧПК Kaibrite 3040 є простішої конструкції. Він має схожість з попереднім, однак в даному випадку він має лише 3 осі. Направляючі для руху вузла шпинделя виконані у вигляді валів. Станина є стійкою з алюмінію. Голова шпинделя має потужний шпиндельний електродвигун 0,4 кВт з частотою обертання від 500 до 8000 об/хв. Верстат також без проблем підключається через USB до персонального комп'ютера. Діапазон обробних матеріалів для цього верстату такий самий як для попереднього.

Рисунок 1.7 – Kaibrite 3040 3-осьовий фрезерний верстат з ЧПУ

Найбільш бюджетним варіантом фрезерно-гравірувального верстату з ЧПК є модель CNC 3018-Plus (див. рис. 1.8). Такий верстат має 3 осі для обробки акрилового пластику, алюмінію, полімер вінілхлориду, друкованих плат та дерева. Він економічний і компактний за рахунок відсутності захисних кожухів. Направляючі виконані у вигляді полірованих валів, що закріплені на

торцях гвинтами. Робочий стіл виконаний із алюмінієвого профіля. Голова шпинделя має шпиндельний електродвигун 300 Вт або 500 Вт та до 12000 об/хв. Також замість шпинделя може встановлюватися лазерний гравер у голові шпинделя.

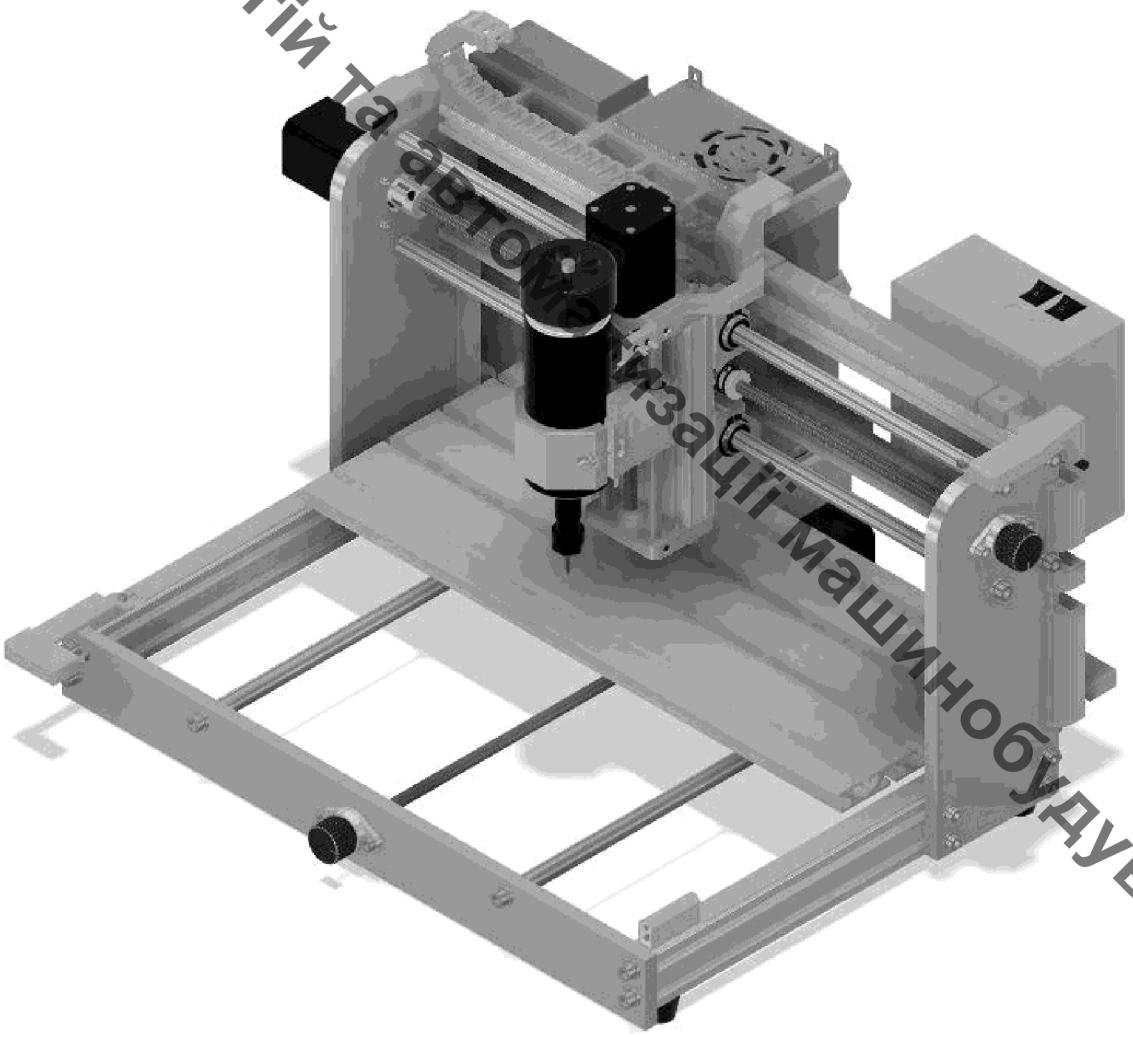


Рисунок 1.8 – 3-осьовий фрезерний верстат CNC 3018-Plus

Ціна на фрезерного верстата з ЧПК може суттєво варіюватися. Промислові зразки для масового виробництва або більш просунуті можуть коштувати тисячі євро (див. рис. 1.4 та 1.5). А базові фрезерні верстати, які продають за кілька сотень євро, вони є дуже доступні навіть для приватного використання (див. рис. 1.6, 1.7, 1.8). Також має місце різниця в ціні між

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

брендами зі схожими характеристиками моделей. Проведено оцінку вартості фрезерних верстатів з ЧПК на 2022 рік. Вказано кількості робочих осей та вид направляючих для забезпечення точності і швидкості забезпечення робочих рухів. Результати оцінки вартості обладнання занесено до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вартість фрезерних верстатів з ЧПК

Модель верстата	Кількість осей	Потужність шпиндельного електродвигуна, кВт	Вид направляючих	Вартість верстата
1	2	3	4	5
LDM4025	5	22	Профіль рейсовий	від 6 360 000 грн
GUYX WMP250V	4	0,75/0,6	Профіль рейсовий	від 90 000 грн
Fetcoi 6040T	4	1,5	Циліндрична рейка	від 45 000 грн
Kaibrite 3040	3	0,4	Полірований вал	від 40 000 грн
CNC 3018-Plus	3	0,3-0,5	Полірований вал	від 23 000 грн

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

1.2 Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалів для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК

Фрезерно-гравірувальні верстати з ЧПК мають широкий асортимент оброблюваних матеріалів [5, 6, 7]. Варто розділяти операції гравірування та фрезерування. Так наприклад для гравірування застосовується зазвичай лазерне обладнання і сили різання під час цієї операції мінімальні. Процес лазерного гравірування – це метод нанесення різного зображення на поверхню (металу, дерева, пластику, тощо), за допомогою сфокусованого лазерного променю, та в залежності від потужності променю поверхня змінює колір або створюється заглиблення в шарі матеріалу. Процес лазерного гравірування вимагає точних переміщень установки для нанесення, постійності підтримки потужності променю та однорідності матеріалу.

Найбільш ресурсозатратний процес вважається саме фрезерування. Під час знімання шару матеріалу фрезою виникають значні сили різання, які впливають на елементи конструкції верстату, і призводять до їх зносу, зносу самої фрези, виникнення негативних процесів вібрації та люфтів. Саме тому матеріали повинні мати специфічну міцність на розрив, термостійкість, твердість і властивість міцності на зсув. До оброблюваних матеріалів фрезеруванням відносять метали, деревину та інші.

Найпопулярніші метали для фрезерування на верстатах з ЧПК виділяються:

- Алюміній (див. рис. 1.9): це найбільш популярний метал для обробки з ЧПК. Він легкий, добре обробляється, міцний і широко розповсюджений: вікона, двері, конструкції транспортних засобів, радіатори тощо. Виділяють серед найбільш використовуваних видів алюмінію: Алюміній 6061 (АД33), Алюміній 7075 (В95).
- Нержавіюча сталь: її не так легко обробляти, але вона поєднує в собі міцність та нержавіючу стійкість. Для обробки на ЧПК найпоширенішими типами є: AISI 304, AISI 303, AISI 316.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

• Низьковуглецеві сталі: Цей залізово-вуглецевий сплав дуже дешевий, що має в своєму складі хром, молібден і марганець. Сплав не має корозійної стійкості, але має схожі фізико-механічні властивості із нержавіючою сталю. Серед найбільш популярних типів для обробки з ЧПК є: AISI 4140 (42ХФА).

Рисунок 1.9 – Обробка алюмінію на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК

• Титан: це один із дорогий металів, але він володіє гарними властивостями: низька теплопровідність, міцність і легкість. Піддається механічній обробці важче чим попередні матеріали. Наприклад: Ti-6AI-4V.

• Латунь: це сплав міді та цинку досить легко обробляється. Він має середню твердість і досить високу міцність на розрив. Сфера застосування досить широка: електрична, медична та автомобільна.

• Мідь: метал, який має відмінну властивість до обробки, однак є з високовартісних. Фізико-механічні властивості міді роблять його придатним для застосування в електротехніці, електроніці та тепловій промисловості.

В таблиці 1.2 наведено фізико-механічні властивості металів, які піддають обробці на фрезерно-гравірувальних верстатах з ЧПК.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості металів

Матеріал	Густина, 10^3 кг/м^3	Модуль Юнга, ГПа	Границя текучості, МПа	Границя міцності, МПа
1	2	3	4	5
Алюміній 6061 (АД33)	2,71	68,9	225	265
Алюміній 7075 (В95)	2,85	71,7	500	560
AISI 304 (08Х18Н10)	7,93	193	235	585
AISI 316 (08Х17Н13М2)	7,88	193	205	515
AISI 4140 (42ХФА)	7,85	190	415	655
Ti-6AI-4V	4,429	104	880	900
Латунь (ЛА85-1)	8,6	105	-	295-390
Мідь	8,94	112	90-150	200-250

Популярними матеріалами із деревини для обробки на верстатах з ЧПК розділяють за видами порід:

- тверді породи дерева (див. рис. 1.10): це високоміцні та якісні породи деревини, що мають відповідно високу вартість. Тверді породи дерева мають щільне зерно волокон і це дає їм широке застосування. Інструмент для обробки потрібно підбирати з більшою жорсткістю, так само із системою ВПІД. Обробка деревини проводиться на понижених режимах і це займає багато часу. Однак тверді породи дерева можуть бути кращими за м’які, під час обробки складної форми деталей. Деякі поширені приклади: Фресно, Хайя, Береза, Сересо, Олмо, Червоне дерево, Арсе, Дуб, Ногал.
- м'які породи дерева: більш дешеві заготовки порівняно з попередніми та актуальні для обробки на верстатах з ЧПК з малою потужністю електродвигуна. Основним недоліком є дуже слабкі показники твердості, але це дозволяє зберегти інструмент під час роботи. Деякі поширені м'які породи дерева: Кедро, Кипарис, Абето, Pino, Секоя, Абето.

Варто звернути на вироби з відходів деревини: МДФ та ДВП. МДФ – це деревоволокниста плита середньої щільності, типу штучна деревина, яка

використовується для виробництва меблів, дверей тощо. Матеріал дуже дешевий, оскільки виготовляється з відходів деревини у поєднанні з воском і смолами. Матеріал є щільнішим, ніж ДВП, і обробляється досить легко. Однак, МДФ може мати різний опір в різних напрямках, що впливатиме на обробку та знос фрези. Найбільш поганий показник естетичності для МДФ, оскільки вона не має однорідного зерна натурального дерева. Саме тому потрібно проводити фарбування або декоративне покриття. ДВП в свою чергу виготовляється з кількох тонких листів дерева, що склеєні в різних напрямках волокон. Теж використовується під час виробництва меблів та актуальний за рахунок своєї малою ваги в порівняні з МДФ. Обробка такого матеріалу є складнішою, так як ДВП притаманні відколи частин матеріалу із зони різання.

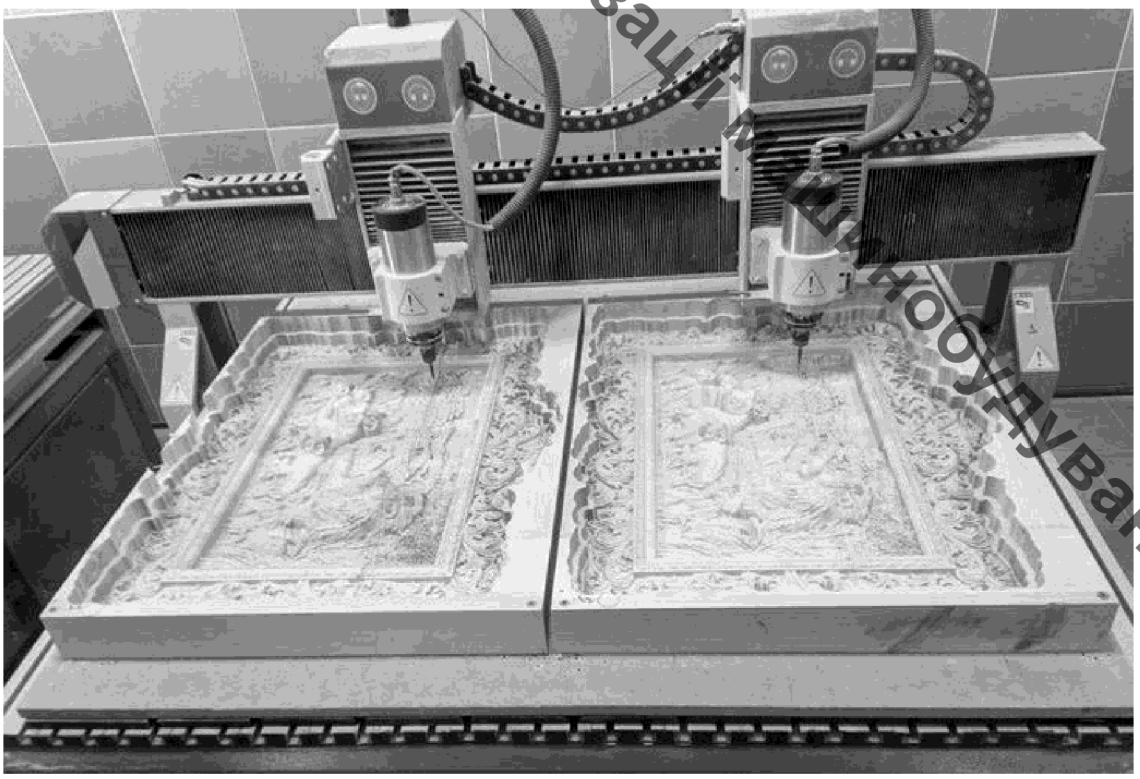


Рисунок 1.10 – Обробка твердої породи дерева на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК

В таблиці 1.3 наведено фізико-механічні властивості деревини в доль волокон, що піддають обробці на фрезерно-гравірувальних верстатах з ЧПК.

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні властивості деревини

Матеріал	Границя міцності при стисненні повздовж волокон, МПа	Границя міцності при статичному згинанні, МПа	Границя міцності при сколюванні повздовж волокон, МПа
1	2	3	4
Береза	87	174	16,2
Сосна	97	172	14,8
Дуб	83	156	16,2
Ясен	87	181	20,0
Кедр	97	169	15,6
МДФ	80	27	-
ДВП	90	8	-

Крім деревини та металів на фрезерно-гравірувальних верстах з ЧПК можна обробляти інші матеріалів, наприклад:

- нейлон: це термопластичний полімер з низьким коефіцієнтом тертя, який в деяких випадках застосовується як альтернативу металу в якості підшипників. Нейлон - це жорсткий, міцний та ударостійкий матеріал. Його зазвичай використовують для резервуарів, електронних деталей, кінематичних передач тощо.
- пінопласт: матеріал, який може мати різні значення жорсткості, дуже легкий і міцний. Може оброблятися за один прохід через мінімальну дію сил різання. Варто звертати на температуру під час обробки, щоб не розплавити виріб.
- пластмаси (акрил, ABS, полікарбонат, поліпропілен, поліуретан, ПВХ, вініл …): за фізико-механічними властивостями може бути дуже міцний та гнучкий, легко обробляється, має низьку температуру деформації, що може призводити до зміни форми деталі під час обробки (нагрівання фрези).

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

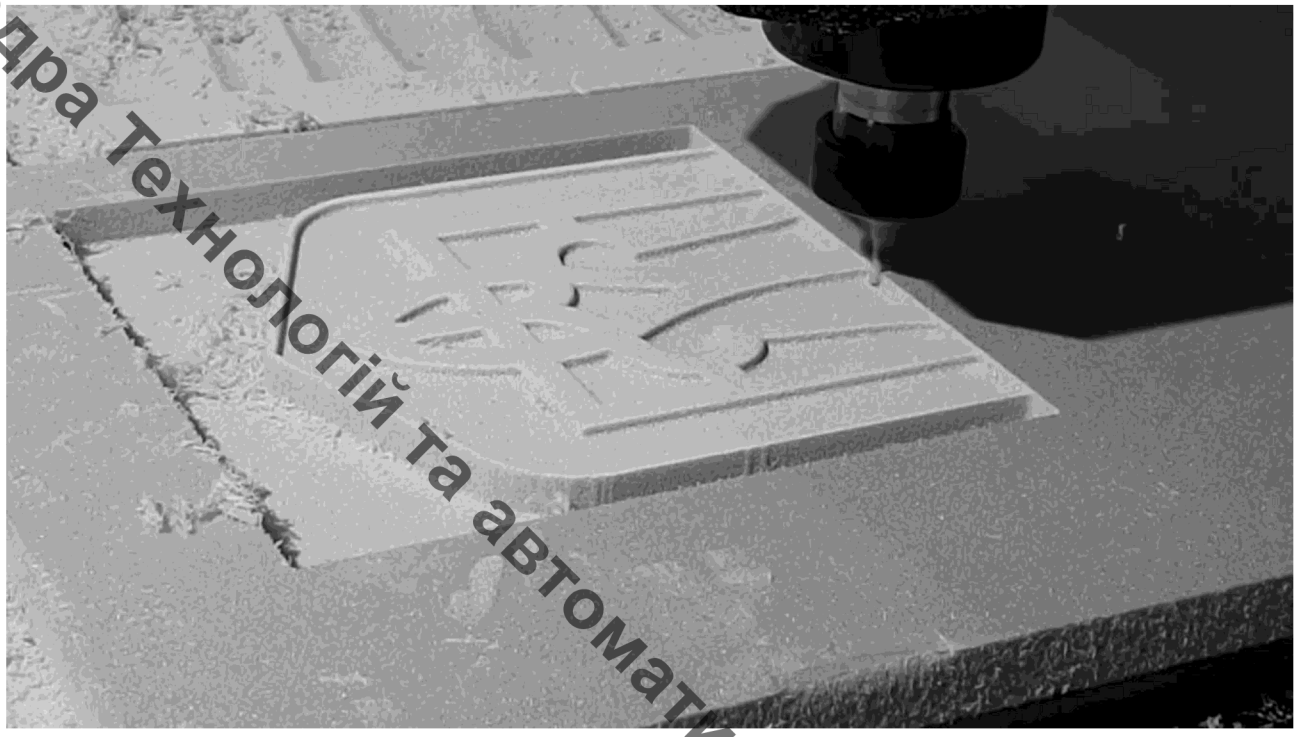


Рисунок 1.11 – Обробка пінопласту на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК

Інші матеріали такі як кераміка, скло, папір, шкіра теж можуть оброблятися на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК. Для них передбачені спеціальні режими різання та використовуються в специфічних сферах діяльності.

В таблиці 1.4 наведено фізико-механічні властивості інших матеріалів, які не назначені вище та піддають обробці на фрезерно-гравірувальних верстатах з ЧПК.

Таблиця 1.4 – Фізико-механічні властивості інших матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м^3	Модуль гнучкості, ГПа	Границя міцності, МПа
1	2	3	4
Пінопласт	15-50	0,1-1	0,05-0,2
Акрил	1180	3	70
Поліпропілен	920	6,7-11,9	250-400
Поліуретан	1180	0,25	50

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

1.3 Різальний інструмент для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК

В залежності від виду обробки призначається відповідний інструмент [8, 9, 10]. Так існує декілька основних операцій обробки деталей під час фрезерування в яких використовуються принципово різні фрези:

– торцева фреза – призначена для обробки плоских, а також ступінчастих великих поверхонь. Торцеві фрези, в залежності від переходів (чорновий, напівчистовий, розкрій, вибірка), мають різну кількість ріжучих зубів. Під час обробки деталей складної форми застосовують фрези з сферичним торцем;

– кінцева фреза – призначена для обробки лисок, уступів, площин і різних пазів. В зв'язку з цим використовуються різні форми інструментів: звичайні і шпонкові фрези в яких може бути конічний або циліндричний хвостик. Кінцеві фрези з пластинами із твердого сплаву, а також для сегментних шпонок дискові фрези та Т-образних пазів із спеціальними однойменними фрезами;

– фасонна фреза – призначена для формування складної геометричної форми у деталі чи профілів. Фасонними фрезами виготовляють шестерні та зубчасті колеса;

– периферійна фреза – в основному призначена для силового фрезерування, а також нарізання складних пазів.

Фрезерний та гравірувальний інструмент (див. рис. 1.12) має свою специфіку конструювання так як їх розміри є малими через обмежені розмірами для кріплення в цанговому патроні. Кількість ріжучих кромок стартує від одної та більше. Міцність та твердість інструменту залежить від матеріалу який обробляється. В основному використовують матеріали з із швидкорізальної сталі або HSS (P6M5, P18): вони мають хорошу жорсткі та одночасно є дешевим варіантом, через що є досить поширені. Зазвичай фрези HSS використовують для фрезерування м'яких матеріалів. Інший тип матеріалу для фрез, що є досить поширений – це тверді сплави карбіду вольфраму (К10, К55, К200): це більш твердіший та стійкіший матеріал ніж попередній. Однак фрези з твердих сплавів дорожчі. Основний напрямок їх використання – це обробка

твердих матеріалів, такі як метали, наприклад, алюміній. Як і більшість фрез, у них може бути 1, 2, 3 і більше ріжучих лез.

Серед найпопулярніших фрез (див. рис. 1.12) для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК використовують такі зразки:

- прямі фрези для алюмінію: вони може бути виготовлений з сплаву карбіду вольфраму, але мають своєрідну геометрію: спіраль з ріжучої кромки має кут 45° для ефективного видалення стружки.
- чорнова фреза: має додаткові зубці на ріжучій кромці фрези та застосовується для початкової чорнової обробки матеріалу. Наприклад, зняття першого шару дерев'яного стовбура тощо.

Рисунок 1.12 – Інструмент для фрезерно-гравірувальних верстаті з ЧПК

- фреза з радіусом: застосовується для фрезерування заготовок щоб зробити увігнуті форми.
- Т-подібна фреза: призначена для виготовлення Т-подібних пазів, таких як на столах деяких верстатів з ЧПК.

Важливим параметром фрези вважають її стійкість та знос. Зношування фрези – це комплексне явище, що виникає в результаті експлуатації

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

інструменту. Внаслідок зносу знижується гострота ріжучих кромок, змінюється вага, геометрія та її механічна стійкість.

Розрізняють декілька видів зносу фрез:

- абразивний знос, що виникає в результаті контакту ріжучої частини з фрагментами стружки, піску і т.д.;

- адгезійний знос – зменшення гостроти ріжучої частини фрези, в результаті тертя один об одного матеріалів;

- дифузійний знос – пошкодження ріжучого інструменту в результаті зміщення атомів контактуючих матеріалів;

- окислювальний знос – передчасний знос фрези через дію зовнішніх чинників.

Стійкість ріжучого інструменту залежить в основному від трьох фізичних параметрів: швидкості різання V, товщини зрізу a і ширини зрізу b. Ця залежність має вигляд:

$$T = C_T / V^{m1} \cdot a^{x1} \cdot b^{y1}, \qquad (1.1)$$

де C_T - постійний коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється, матеріалу різальної частини інструменту та інших умов обробки;

m_1, x_1, y_1 - показники ступенів V, a та b.

Однак параметр стійкості зазвичай виміряний експериментальним шляхом [11, 12] на який варто орієнтуватися під час корегування зносу інструмента.

Основними параметрами фрез є: діаметр та робоча довжина, кут заточування, кількість ріжучих кромок, матеріал та якість виготовлення фрез.

Рекомендовано віддати перевагу фрезі, що має максимальний діаметр і мінімальну довжину під час фрезерування. Коротка фреза з великим діаметром має кращу жорсткість, створює набагато менше вібрацій під час інтенсивної роботи, забезпечує кращу якість знімання матеріалу. Вибираючи фрезу

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

великого діаметра потрібно також врахувати фізичні можливості верстата та потужність шпинделя, щоб забезпечити максимальну продуктивність в процесі обробки.

Обробка м'яких матеріалів проводиться зазвичай із фрезами з гострим кутом заточування ріжучої кромки, а для твердих – тупіший кут в діапазоні від 70 до 90 градусів.

Пластмаси та м'які матеріали найкраще фрезерувати 1-західними фрезами. Деревину та фанеру – 2-західними. Чорні метали – 3-х/4-х західними.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОТИПУ ФРЕЗЕРНО-ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

2.1 Конструкція та матеріали для прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

В якості прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК обрано експериментальну модель CNC 3018-Plus із мережі інтернету [13]. Такий варіант фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК є одним із найдешевших видів цієї продукцією. Так, наприклад, для виготовлення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК використовують такі елементи та матеріали:

- вироби з фрезерованого алюмінію: задня рама осі Y, передня рама по осі Y, ліва рамка осі X, права рамка осі X, зажим шпинделя, верхня рама осі Z, нижня рама осі Z, кріплення ведучого гвинта осі X, кріплення для гвинтового кріплення осі Y;
- екструдовані алюмінієві секції: 15180 V-Slot екструзія – довжина: 440 мм, 2020 екструзія – довжина: 480 мм (свердлені та різьблені кінці M6), 2060 екструзія – довжина: 145 мм (свердлені та різьблені кінці M6), 2040 екструзія – довжина: 320 мм (свердлені та різьблені кінці M6);
- направляючі: направляючі осі Y – діаметр 12 мм, довжина 320 мм (свердлені та різьблені кінці M6); направляючі осі X – діаметр 12 мм, довжина 480 мм (свердлені та різьблені кінці M6); направляючі осі Z – діаметр 8 мм, довжина 165 мм;
- ходові гвинти: ходовий гвинт Y-Axis T8-2 – довжина 230 мм; ходовий гвинт X-Axis T8-2 – довжина 502 мм; ходовий гвинт осі Z T8-2 – довжина 132 мм;
- кріплення: гайки, гвинти, шайби, стопорні кільця;
- електричні компоненти: БЖ S-720-48, БЖ S-250-24, 17HS6401S NEMA17 – 60 мм кроковий двигун (також згадується як 17HS6401-D), кабелі від 4 до 6 контактів XH 2,54 x 100 см, шпиндель 300 Вт, кінцевий вимикач,

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

роз'єми XT60 (штекер і гніздо), драйвера крокових двигунів TMC2208, кулісні перемикачі, модуль Bluetooth JDY-31;

- підшипники та інші різні деталі: LM8SUU, SCV12UU підшипники ковзання в зборі, підшипник KFL08, гайка проти люфту T8-2, D20L25 щелепна муфта, ручне регулювання на вал діаметром 8 мм, гумові ніжки;
- 3D-друковані деталі із пластику: тримачі, корпуси електроніки, кінцеві упори, ковпачки.

Загалом вартість фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus становить до 15 тис. грн. Затрати удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК будуть розраховані в економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи.

На рис. 2.1 показано складальне креслення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus, а на рис. 2.2 розписано позиції розташування основних вузлів. Основні затрати для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus будуть йти на закупівлю комплектуючих: шпинделя, крокових двигунів, контролера, ходових гвинтів та направляючих. Основна більшість з'єднань у верстаті є роз'ємні різьбові, що дозволяє замінювати та модернізувати зношені елементи.

Основні вузли прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus згідно рис. 2.2:

1 – основа верстата;

2 – портал верстата;

3 – тримач шпинделя;

4 – блок живлення;

5 – драйвера крокових двигунів;

6 – плата керування з кнопками;

7 – робочий стіл;

8, 12 – кінцеві вимикачі;

9, 13, 17 – ходові гвинти;

10, 16, 19 – крокові двигуни;

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

11, 14, 18 – направляючі;

15 – голова шпинделя;

20 – шпиндель.

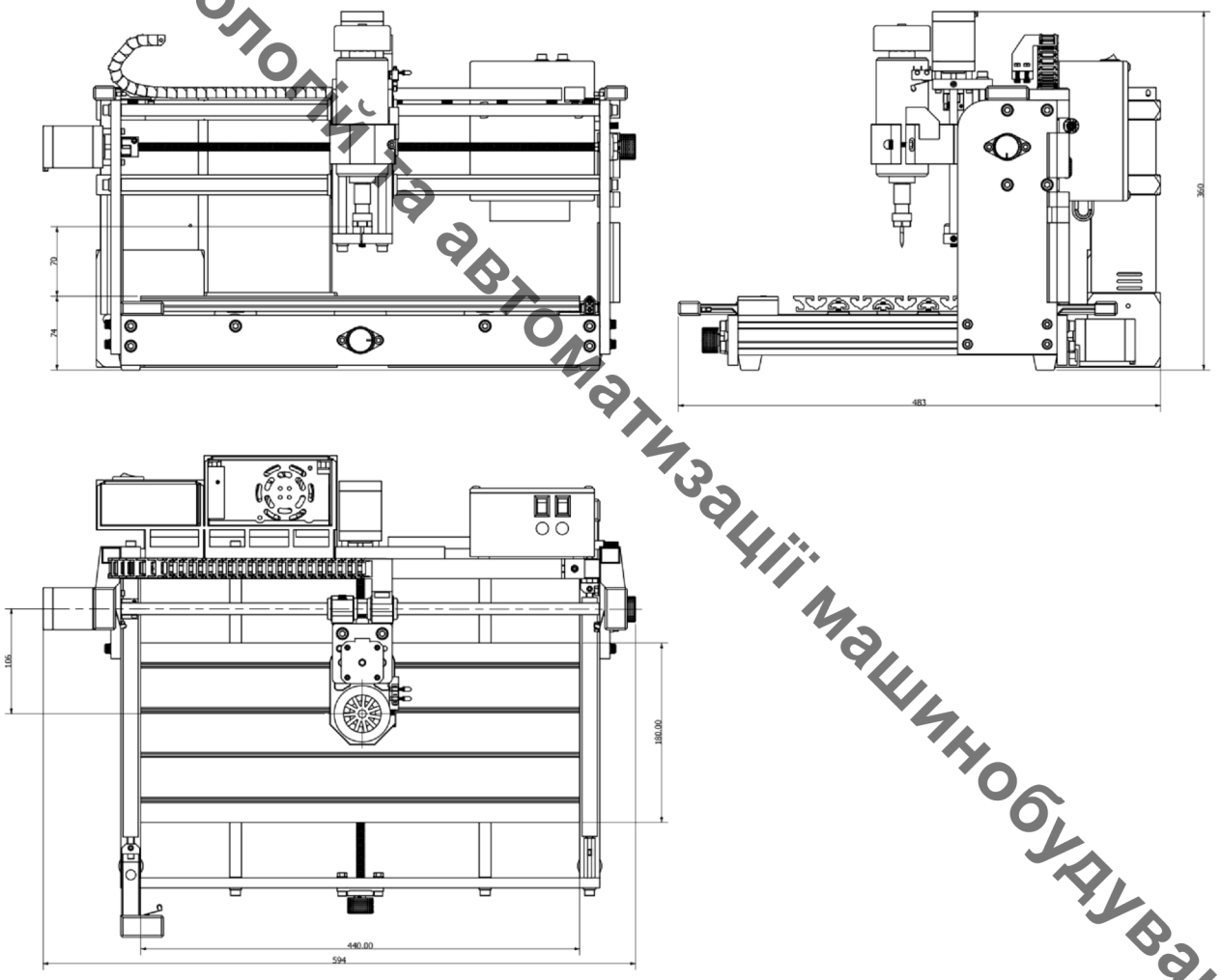


Рисунок 2.1 – Складальне креслення прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus

Загальні характеристики прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus [13]:

- Габарити пристрою: 483x594x360 мм.
- Робочий діапазон гравера: 440x180x60 мм.
- Крокові двигуни: 42 кроковий NEMA 17 1.7A 55 Ncm.
- Тип шпинделя: 300 Вт двигун (12-48 В) 48 В: 12000 об./хв. 400 mN*m.
- Блок живлення: 220/48, 7,3А.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

- Програмне забезпечення: Grbl Controller, ArtCam.
- Оперативна система ПК для обслуговування: Windows XP SP3, win7, win8, win10. (32/64 - біт).
- Вага – 12,3 кг.

Фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus призначений для фрезерування та гравіювання різних матеріалів: пластмаси, деревини, металу (алюміній, золото, свинець, срібло, олово), акрилу, ПВХ та ін..

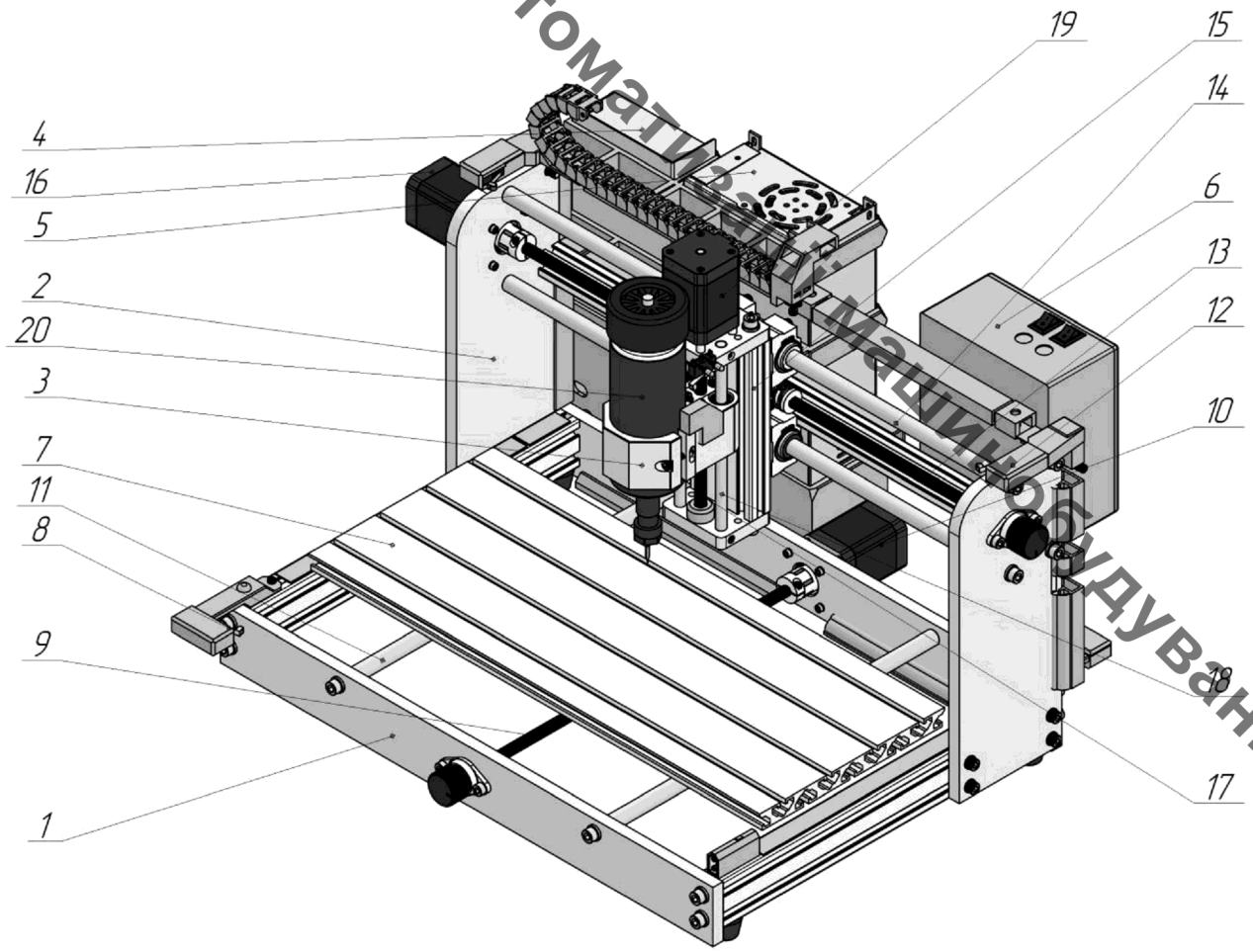


Рисунок 2.2 – Основні вузли прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus

Прототип фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus оснащений вузлом шпинделя, який показано на рис. 2.3.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

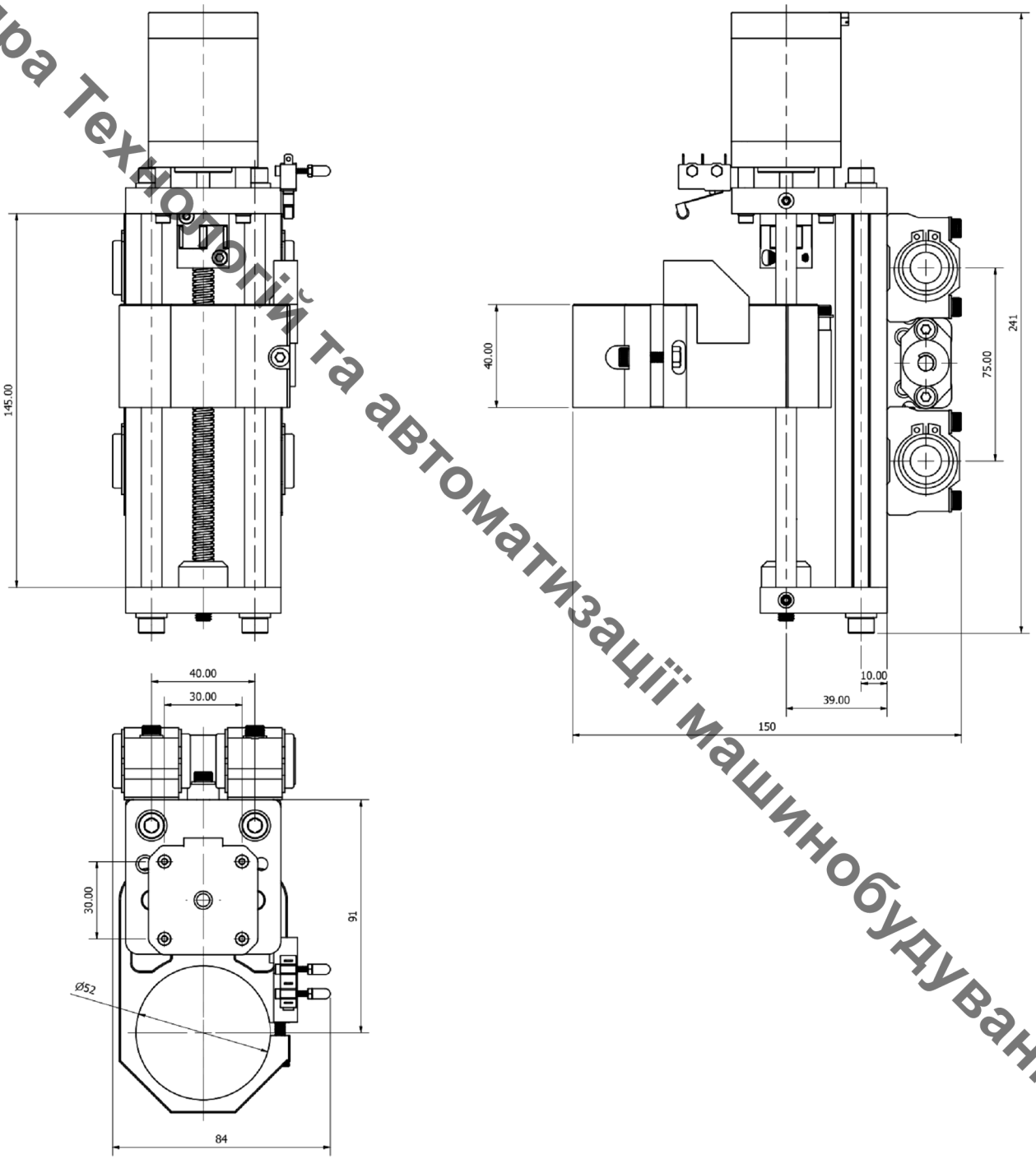
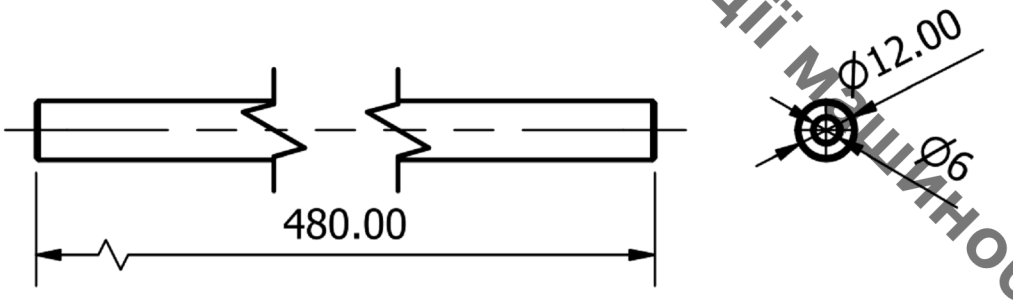


Рисунок 2.3 – Голова шпинделя для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus

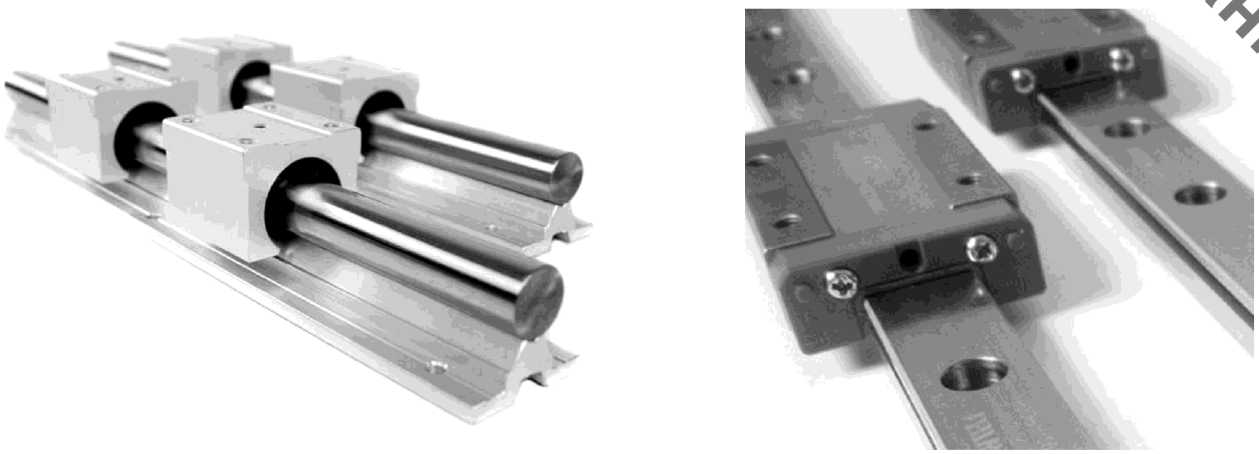
Голова шпинделя дозволяє переміщувати фрезу у вертикальній осі Z та розміщувати в собі шпиндель, який надає фрезі руху обертання. Голова шпинделя має свій крокový двигун і ходовий гвинт з направляючими. Кріпить він до направляючих портала і ходового гвинта осі X. Це найбільш чутлива

частина до вібрацій які виникають під час різання. Величина відхилення вузла шпинделя із зони різання під час фрезерування, що виникає за рахунок нежорсткості ВПІД, призводить до виникнення браку на деталі під час обробки. Щоб підняти жорсткість встановлення даного вузла варто використовувати більш закріплені направляючі типу профільної рейсової. Дослідження жорсткості з різними видами направляючих показано в розділі 3.

Наступний найбільш нежорсткий елемент ВПІД, це самі направляючі портала разом з ходовим гвинтом. На рис. 2.5, а продемонстровано направляючі типу полірований вал, що розміщені на прототипі CNC 3018-Plus, і вони являють собою поліровані вали діаметром 12 мм з отворами М6 на торцях для кріплення в стойках портала.



а)



б) в)

Рисунок 2.4 – Основні види направляючих для фрезерних верстатів з ЧПК

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

На рис. 2.5, б та в продемонстровано направляючі типу циліндрична рейка і профіль рейсовий, які встановлюють на дорожчих прототипах, для збільшення жорсткості системи ВПІД. Вони кріпляться зазвичай по всій довжині направляючи з невеликим інтервалом, що дозволяє уникнути відхилення під час навантаження на них.

Наступним елементом фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК, що сприймає навантаження від процесу різання це стойки портала (див. рис. 2.5). Нашому прототипі вони виконані з алюмінієвої плити товщиною 10 мм, однак під час аналізу робочих вузлів інших верстатів з ЧПК були помічені зразки, що укомплектовуються стойками та ніші частики корпусу з відносно дешевої високоякісної фенол-формальдегідної смоли [14].

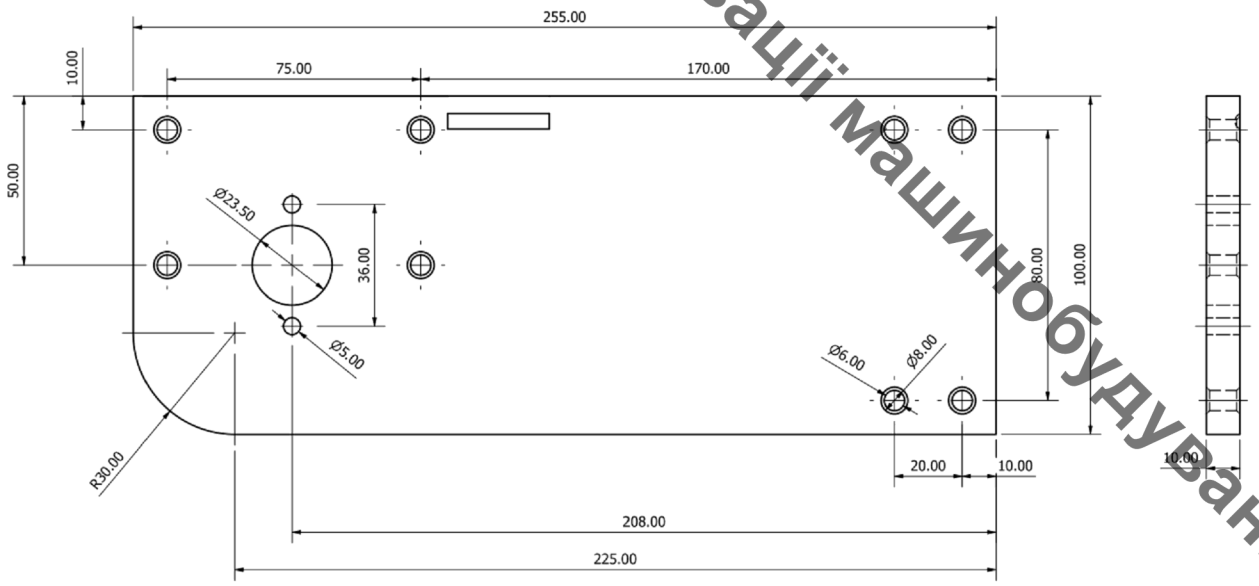


Рисунок 2.5 – Стойка портала фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus

Дослідження матеріалу для частин станини і портала фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК моделі CNC 3018-Plus продемонстровано в розділі 3.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

2.2 Схема підключення та обладнання системи керування верстата з ЧПК

Згідно із прототипом передбачено звичайну систему керування верстатом в 3-х осях. Електрична система керування фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК являє собою складну систему обміну інформації між її елементами (див. рис. 2.6). Основними елементами якої є: персональний комп'ютер (ПК); крокові двигуни (КД); шпиндель; датчики та їх сигнали «Home», «Limit»; блок керування, що включає: блок живлення; плата керування; драйвери осей X, У, Z; USB > LPT підсилювач/порт.

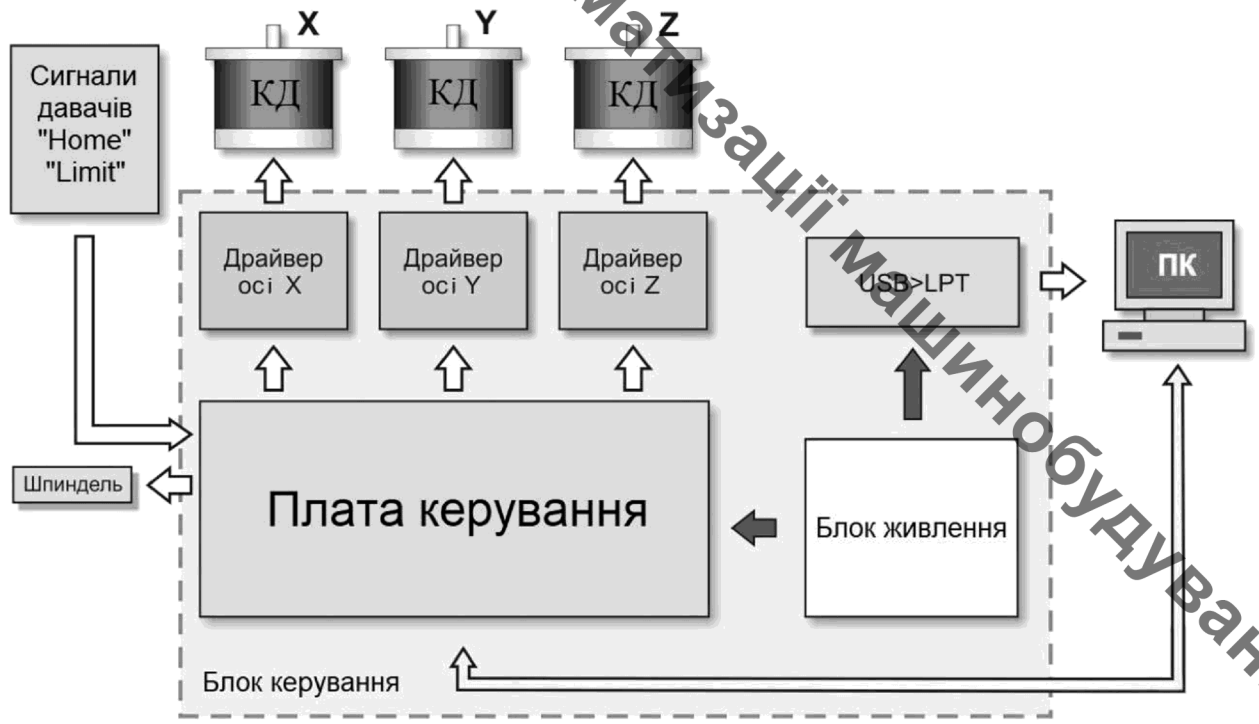


Рисунок 2.6 – Схема обміну інформацією в системі керування верстата з ЧПК на 3-ри осі

На рисунку 2.7 показано реалізацію схеми підключення між обладнанням системи керування верстата з ЧПК, що основана на прототипах для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК на 3 осі. Дану систему керування можна придбати окремо від верстата, якщо потрібно буде зібрати свій власний зразок

фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК, або відновити ушкоджену під час експлуатації.

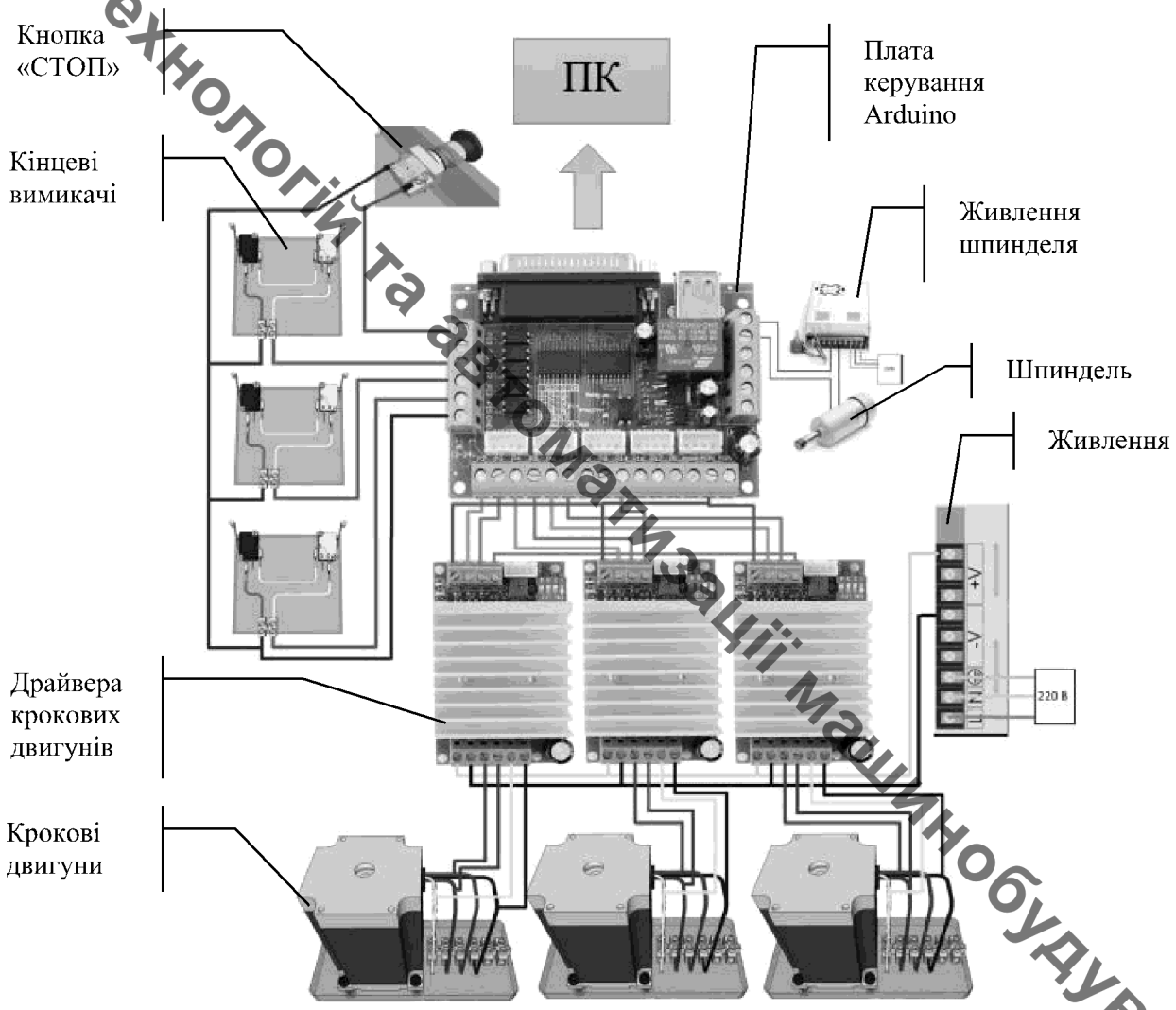


Рисунок 2.7 – Схема підключення обладнання прототипа системи керування верстата з ЧПК на 3-ри осі

Виробники прототипів пропонують використовувати крокові двигуни моделі NEMA 17 або NEMA 23, що дозволяє підібрати потрібну тягову силу крокового двигуна згідно потреб (0,47 Нм та 1,9 Нм, відповідно). Робоча напруга для крокових електродвигунів становить 3В, сила струму 2,5А (NEMA 17) та 3А (NEMA 23). Кут кроку для обох двигунів однаковий: 1,8° (200 кроків на повний оберт валу крокового двигуна). Вартість крокових двигунів стартує від: 300 грн для NEMO 17, та 650 грн для NEMO 23.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

а) б)

Рисунок 2.8 – Крокові двигуни а) NEMA 17 та б) NEMA 23

В залежно від комплектації шпинделя підбирають відповідний блок живлення по потужності. Бувають прототипи в яких окремі блоки живлення на крокові двигуни та на шпиндель. Для крокових двигунів вибираємо блок живлення S-250-24 (див. рис. 2.9). Його основні характеристики: напруга вхідна (AC) : 220 V; напруга з вихід (CD): 24 V; вихідний струм: 10A; ефективність: 85%; габаритні розміри: 100x20x200 мм. Вартість такого блока живлення стартує від 900 грн.

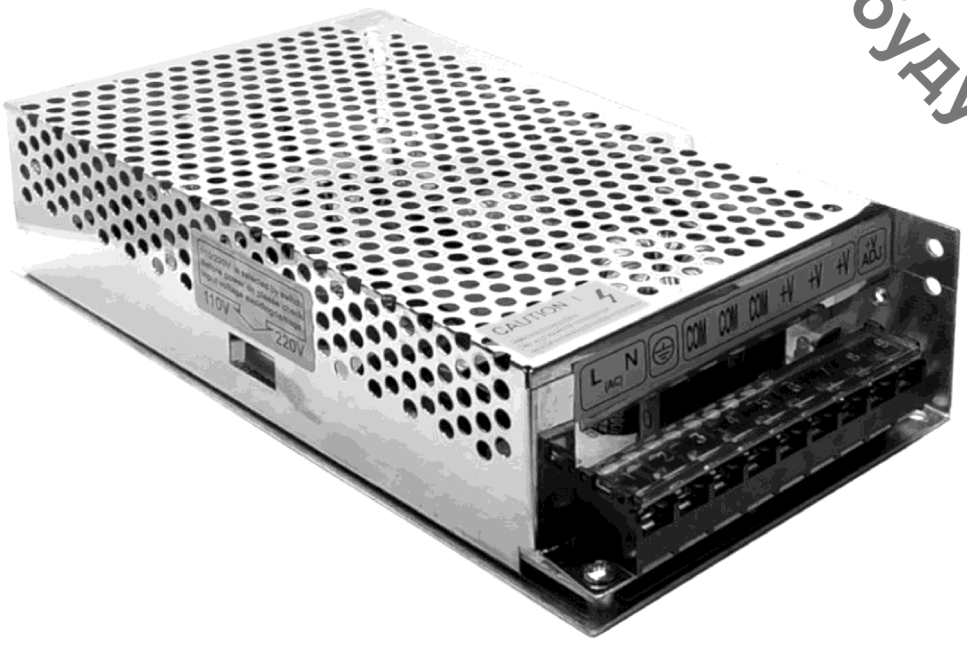


Рисунок 2.9 – Блок живлення S-250-24

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Для керування крововими двигунами використовуємо драйвера TMC2208 (див. рис. 2.10). Технічні характеристики драйвера TMC2208: напруга живлення: від 4,7В до 36 В; піковий струму: 2 А; мікро крок: 2, 4, 8, 16 та 256.

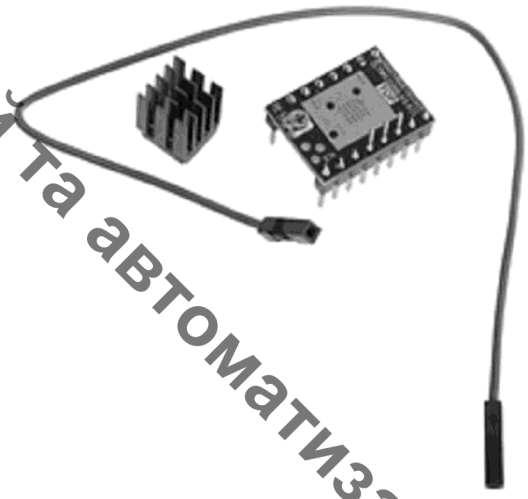


Рисунок 2.10 – Фото драйвера TMC2208 для крокових двигунів

В якості шпинделя в прототипах восновному використовуються екземпляри потужністю від 300 Вт до 1500 Вт. Варіант шпинделя, який буде встановлено на удосконаленій конструкції проведемо шляхом розрахунку покращення продуктивності верстату з ЧПК.

Мозком блоку керування та всього фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК є плата керування Arduino UNO моделі ATmega328 (див. рис. 2.11).

Рисунок 2.11 – Плата керування Arduino UNO моделі ATmega328

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

В якості плати керування можна підібрати любий мікроконтролер з аналоговими виходами для керування кроковими двигунами. Проте плата керування Arduino UNO є одним із бюджетних варіантів, тому обираємо його.

Основні технічні характеристики Arduino UNO моделі ATmega328 представлено нижче [15]: робоча напруга пристрою - 5В; напруга живлення пристрою – від 7 до 12В; максимальна напруга живлення до 20В; максимальний струм одного виходу - 40 мА; тактова частота пристрою - 16 МГц.. Arduino UNO моделі ATmega328 має цифрових входів/виходів – 14 штук та аналогових входів – 6 шт. Пристрій містить Flash-пам'ять на 32 кБ з яких 0.5 кБ використовує загружчик.

У комплекті з електронікою можливе керування числом оборотів шпинделя, з програми керування верстатом MACH3 (див. рис. 2.12). В контролері керування верстатом з ЧПК передбачений ШІМ вихід, позначений на корпусі контролера крокових двигунів, як PWM.

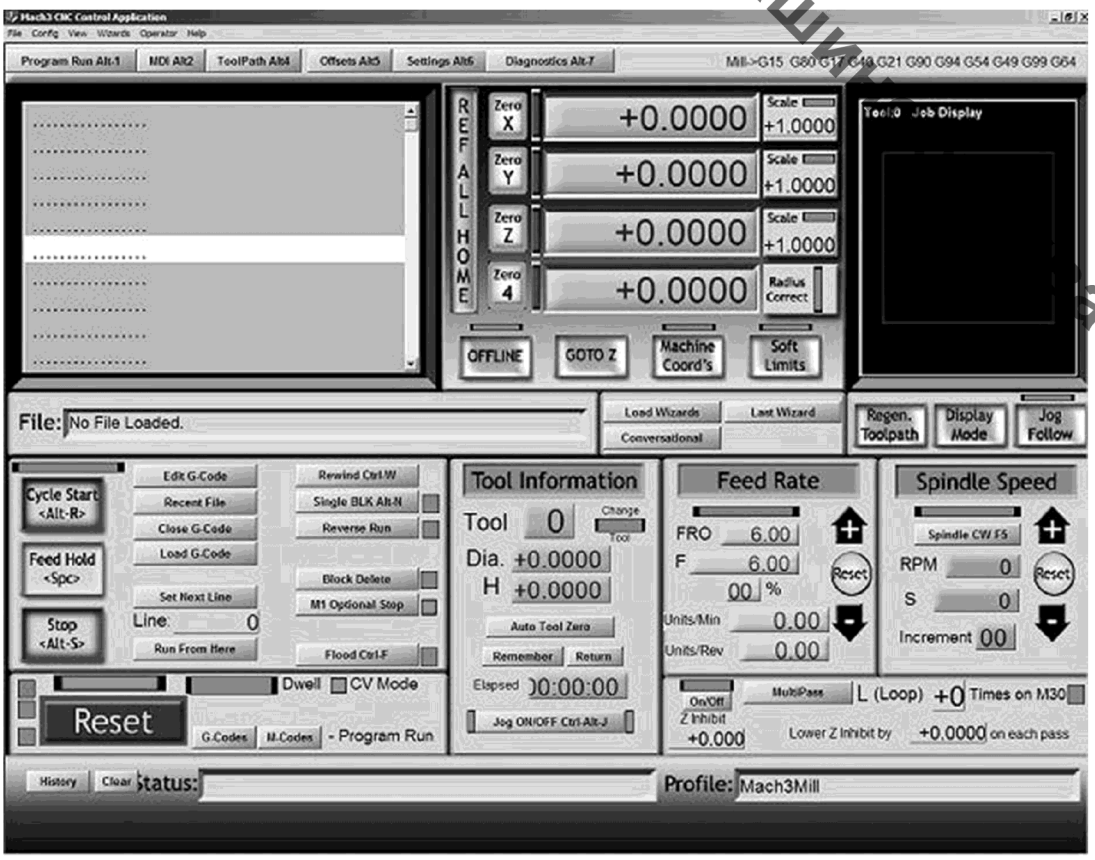


Рисунок 2.12 – Програми керування верстатом MACH3

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗЕРНО-ГРАВІРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

В даному розділі удосконалено конструкцію прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Усі результати отримано шляхом дослідження конструкції прототипів фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК в програмному продукті Autodesk «Inventor». Основні розрахунки направлені на аналіз частин конструкції на міцність.

3.1 Розрахунок режимів різання під час обробки різних матеріалів

Розрахунок режимів різання для фрезерно-гравіруванного верстата з ЧПК нічим не відрізняється від розрахунку для звичайних фрезерних верстатів з ЧПК. Однак, через низьку жорсткість системи ВПІД маємо занижені режими різання. Це впливає на глибину різання (t), подачу (S) та частоту обертання фрези (n). Також необхідно враховувати: тип та характеристику використовуваного шпинделя; парамтери ріжучого інструменту; фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу.

Частота обертання шпинделя розраховується за такою формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} [хв^{-1}], \tag{3.1}$$

де D – діаметр різальної частини робочої фрези, мм;

π – число Пі, що дорівнює 3.14;

V – швидкість різання – це шлях пройдений крайньою точкою ріжучої кромки фрези за одну хвилину, м/хв.

В свою чергу швидкість різання (V) рекомендовано підбирати для кожного матеріалу в таких діапазонах: пластик – 300…400 м/хв; оргскло – 100…150 м/хв; дерево – 200…450 м/хв; алюміній твердий, латунь, бронза, мідь

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

– 120…250 м/хв; алюміній м'який – 120…500 м/хв; магній – 150…300 м/хв; сталь – 35…50 м/хв; чавун – 40…60 м/хв; титан – 20…30 м/хв.

Якщо розрахункова частота обертання фрези, за рахунок її малого діаметра, приймає значення надто більше чим може забезпечити шпиндель, то у цьому випадку встановлюють максимальне число обертів для шпинделя під час обробки.

Розрахунок подачі (*S*) зводиться до розрахунку швидкості переміщення різального інструменту (осі X/Y) та обчислюється за такою формулою 3.2:

$$S = f_z \cdot z \cdot n[мм/хв], \quad (3.2)$$

де *fz* – подача на один зуб фрези підбирається із таблиці 3.1, мм;

z - кількість зубів у фрези;

n - частота обертання шпинделя, $хв^{-1}$. Швидкість врізання по висоті (вісь Z) потрібно підбирати в 1/3 – 1/5 швидкості подачі (S).

Таблиця 3.1 – Подача на один зуб фрези для розрахунку режимів різання.

Матеріал	Подача на зуб *fz*, мм В залежності від діаметра фрези *D*, мм				
	0,5	1-2	3-4	5-6	8-10
Пластик	0,02	0,06	0,15	0,2	0,3
Оргскло	0,02	0,05	0,1	0,18	0,25
Дерево	0,02	0,035	0,055	0,09	0,12
Алюміній твердий, латунь, бронза, мідь	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07
Алюміній м'який	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08
Магній	0,005	0,01	0,015	0,02	0,03
Сталь	0,005	0,01	0,015	0,02	0,03
Чавун	0,005	0,015	0,02	0,03	0,04
Титан	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Під час призначення глибини фрезерування за один прохід (вісь Z) потрібно враховувати залежність її значення від жорсткості та довжини ріжучої кромки фрези, а також жорсткості верстата. Зазвичай глибини фрезерування за один прохід підбирається досвідченим шляхом. В таблиці 3.2 наведено рекомендації щодо вибору глибини фрезерування на один прохід. Якщо під час фрезерування виникають якісь вібрації, або виходить різ низької якості – потрібно зменшити глибину різання за прохід і провести корекцію швидкості подачі.

Для розрахунку сили різання на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК використовуємо формулу 3.3:

$$Pc = \frac{10 \cdot Cp \cdot B^{u} \cdot t^{x} \cdot S^{y} \cdot z}{D^{q} \cdot n^{w}} K_{Mp}[H], \qquad (3.3)$$

де B – ширина фрези, мм;

t – глибина різання, мм;

Cp, x, y, u, q, w – коефіцієнти пропорційності для розрахунку сили різання під час фрезерування;

K_{Mp} – коефіцієнт різання, що враховує міцність оброблюваного матеріалу.

Для перевірки достатності потужності шпинделя зазвичай розраховують потужність, яка затрачається на фрезерування з врахуванням коефіцієнту корисної дії:

$$N = \frac{Pc \cdot V}{1020 \cdot 60 \cdot \eta}[кВт], \qquad (3.4)$$

де η – коефіцієнт корисної дії шпинделя, що дорівнює 85% для розглянутого шпинделя.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Таблиця 3.2 – Режими різання фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

Матеріал	Тип роботи	Тип фрези	Частота, об/хв	Подача (X,У), мм/с	Подача (Z), мм/с	Примітки
Акрил	V - гравірування	V подібний гравер d=32мм, A=90…60 град, T=0,2 мм.	до 18000	5	1-2	По 5 мм за прохід
	Розкрій, Вибірка	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	до 18000	15	5-6	Зустрічне фрезерування. Не більше 3 мм за прохід. ЗОР
ПВХ до 10 мм	Розкрій, Вибірка	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	1800-24000	10-20	5-6	Зустрічне фрезерування.
Двухшаровий пластик	Гравірування	Плоский гравер	1800-24000	15-20	5-6	По 0,3-0,5мм за прохід. Шаг не більше 50% від плями контакту (T)
Композит	Розкрій	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	15000-18000	10-12	1-2	Зустрічне фрезерування.
Дерево ДСП	Розкрій, Вибірка	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	18000-22000	10-15	2-3	Зустрічне фрезерування. По 5 мм за прохід
		Фреза спіральна 2-заходна компресійна d=6мм	20000-21000	15-17	3-4	Не більше 10 мм за прохід
	Гравірування	Фреза спіральна 2-заходна кругла d=3,175мм	до 15000	10	2-3	Не більше 5 мм за прохід
		Конічний гравер d=3,175мм або 6мм	18000-24000	15-20	5-6	Не більше 5 мм за прохід. Шаг не більше 50% від плями контакту (T)
	V - гравірування	V подібний гравер d=32мм, A=90…60 град, T=0,2 мм.	до 15000	10-12	2-3	Не більше 3 мм за прохід
МДФ	Розкрій, Вибірка	Фреза спіральна 1-заходна з видаленням стружки вниз d=6мм	20000-21000	15-17	3-4	Не більше 10 мм за прохід. При вибірці крок не більше 45% від d
		Фреза спіральна 2-заходна з видаленням стружки вниз d=6мм	20000-21000	18-20	4-5	Не більше 10 мм за прохід
Латунь ЛС 59, Л-63, Бронза БрАЖ	Розкрій Фрезерування	Фреза спіральна 2-заходна d=2мм	15000	12	1-2	По 0,5мм за прохід. ЗОР
	Гравірування	Конічний гравер A=90, 60, 45, 30 град	до 24000	4	1-2	По 0,3мм за прохід. Шаг не більше 50% від плями контакту (T) ЗОР
Алюмінієві сплави Д16, АД31	Розкрій Фрезерування	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	15000-18000	12-20	1-2	По 0,2-0,5мм за прохід. ЗОР
Магній	Гравірування	Конічний гравер A=90, 60, 45, 30 град	12000-15000	12	2-3	По 0,5мм за прохід Шаг не більше 50% від плями контакту (T)
Титан	Фрезерування	Фреза спіральна 1-заходна d=3,175мм або 6мм	2500-3000	6-10	0,5-1	По 0,1-0,3мм за прохід. ЗОР

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Для розрахунку впливу процесу різання на елементи фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК потрібно оперувати даними крутного моменту, що виникає під час фрезерування. Розрахунок крутного моменту виконуємо за формулою 3.5:

$$Mc = \frac{Pc \cdot D}{2 \cdot 100}[Нм]. \quad (3.5)$$

Використовуючи формули 3.1 – 3.5 та табличні значення режимів різання 3.1, 3.2 підбираємо параметри режимів різання (див. табл. 3.3), що забезпечать максимально допустимі значення потужності шпинделя, які не перевищують 1,5 кВт та крутний момент 0,62 Нм, а також розрахуємо швидкість та силу різання та час на обробку (див. табл. 3.4).

Таблиця 3.3 – Параметри режимів різання під час фрезерування

№	Матеріал	Вид обробки	Фреза D, мм	Частота об/хв	Глибина різання мм	Подача мм/с	Кількість зубів	Міцність МПа	Шлях обробки мм
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Акрил	Розкрій, вибірка	6	12000	1,8	0,1	1	70	500
2	Акрил	Гравірування	3,175	12000	0,5	0,7	1	70	500
3	Поліпропілен	Розкрій, вибірка	6	18000	0,15	0,15	2	300	500
4	Дерево	Розкрій, вибірка	6	15000	1,4	0,055	2	87	500
5	Дерево	Гравірування	3,175	12000	0,5	0,6	1	87	500
6	Латунь	Фрезерування	2	15000	0,8	0,05	2	585	500
7	Алюмінієвий сплав АД33	Розкрій, фрезерування	3,175	18000	1,2	0,08	1	265	500
8	Алюмінієвий сплав В95	Розкрій, фрезерування	3,175	15000	1	0,04	1	560	500
9	Титан	Фрезерування	3,175	3000	0,4	0,02	1	900	500
10	AISI 304	Фрезерування	3,175	5000	0,6	0,015	1	800	500

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування

Таблиця 3.4 – Рекомендовані режими різання під час фрезерування

№	Матеріал	Вид обробки	Швидкість м/хв	Сила різання Pc*, Н	Потуж. кВт	Крутний момент Нм	Час на обробку, хв
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Акрил	Розкрій, вибірка	226,19	19,43	0,08	0,58	83,33
2	Акрил	Гравірування	119,69	34,56	0,08	0,55	11,90
3	Поліпропілен	Розкрій, вибірка	339,29	20,82	0,14	0,62	55,56
4	Дерево	Розкрій, вибірка	282,74	20,66	0,11	0,62	151,52
5	Дерево	Гравірування	119,69	36,82	0,08	0,58	13,89
6	Латунь	Фрезерування	94,25	61,88	0,11	0,62	166,67
7	Алюмінієвий сплав АД33	Розкрій, фрезерування	179,54	35,89	0,12	0,57	104,17
8	Алюмінієвий сплав В95	Розкрій, фрезерування	149,62	31,60	0,09	0,50	208,33
9	Титан	Фрезерування	29,92	10,16	0,01	0,16	416,67
10	AISI 304	Фрезерування	49,87	10,16	0,01	0,16	555,56

В таблиці 3.4 сила різання *Pc** розраховувалася не за формулою 3.3, а як прямо пропорційна залежність міцності оброблюваного матеріалу σ, подачі S, глибини різання t, ширини фрезерування B та обернено пропорційна залежність від діаметру D фрези. Так як на більшість матеріалів із досліджуваного списку в літературі немає рекомендацій.

Побудуємо графіки порівняння режимів різання для різних матеріалів під час обробки на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК (див. рис. 3.1).

а)

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

б)

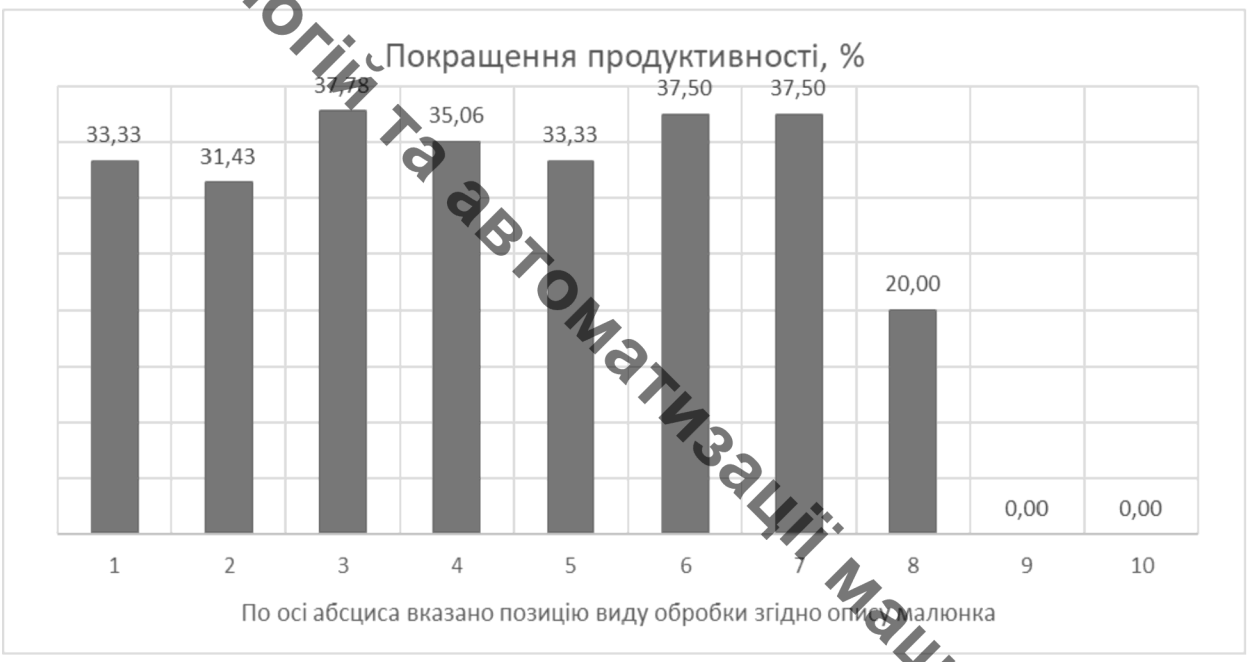
в)

Рисунок 3.1 – Графіки режимів різання для різних матеріалів (нумерація згідно таблиць 3.3 та 3.4) під час обробки їх на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК з потужністю шпинделя в 1.5 кВт де: а) швидкість різання *V*; б) сила різання *Pc**; в) час на обробку *To*

В додатку Б вказано параметри та режими різання для шпинденя потуєністю 300 Вт. В результаті порівняння продуктивності роботи різних шпинедлів нам вдалося підвищити продуктивність фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК майже на 40% по деяким видам матеріалу. Результати порівняння показано на рис. 3.3, а. Однак затрати потужності шпинделя зростуть (див. рис. 3.3, б), але якщо перевести ці витатит в грошовий

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування

еквівалент, то економія часу в 20-24 хв, буде збільшувати витрати на електроенергію в 5-15 копійок. Для матеріалів 9 (титану) та 10 (сталі) не вдалося покращити режими різання, так як згідно рекомендації гравірувальним інструментом та відповідним обладнанням не можливо їх покращити.



а)

б)

Рисунок 3.2 – Покращення продуктивності а) та збільшення витрати потужності б) для шпинделя 1,5 кВт на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК в порівнянні із роботою цього верстата для шпинделя 300 Вт

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

3.2 Підбір шпинделя для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

В таблиці 3.5 наведено основні характеристики шпинделя для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК та їх вартість.

Таблиця 3.5 – Порівняння шпинделів для фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПК

Потужність, кВт	0,3	0,5	0,8	1,5	2,2
Напруга, В	12-48	110-220	110-220	110-220	110-220
Частота обертання, об/хв	3000-12000	3000-12000	6000-24000	6000-24000	6000-24000
Ном. момент, Нм	0,4	0,5	0,52	0,62	0,58
Діаметр кріплення, мм	52	52	65	80	80
Тип цангового затискача	ER11	ER11	ER11	ER11	ER11
Ціна, грн	1670	2200	4500	6700	9000

Згідно попередніх розрахунків в підрозділі 3.1 розраховано покращення продуктивності роботи фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК майже до 40% на окремих видах робіт та матеріалів, а при цьому вартість роботи зростатиме не суттєво, в зв'язку з незначними затратами електроенергії. Таким чином обраний шпиндель забезпечує частоту обертання не менше 240000 об/хв, крутний момент до 0,62 Нм, а потужність 1,5 кВт (див. рис. 3.3). Для шпинделя потрібно передбачити окреме джерело живлення.

Перевагами даного шпинделя є: 1) мале биття, що робить його хорошим вибором для ювелірного гравіювання; 2) відносно низький рівень шуму; 3) цанга ER11, що широко застосовується на прототипах даного виду.

До недоліків слід віднести: 1) додаткове джерело живлення для шпинделя; 2) потужність, що обмежена можливістю застосування фрез до 4мм; 3) часті перегріви у роботі, що вимагає хорошого охолодження.

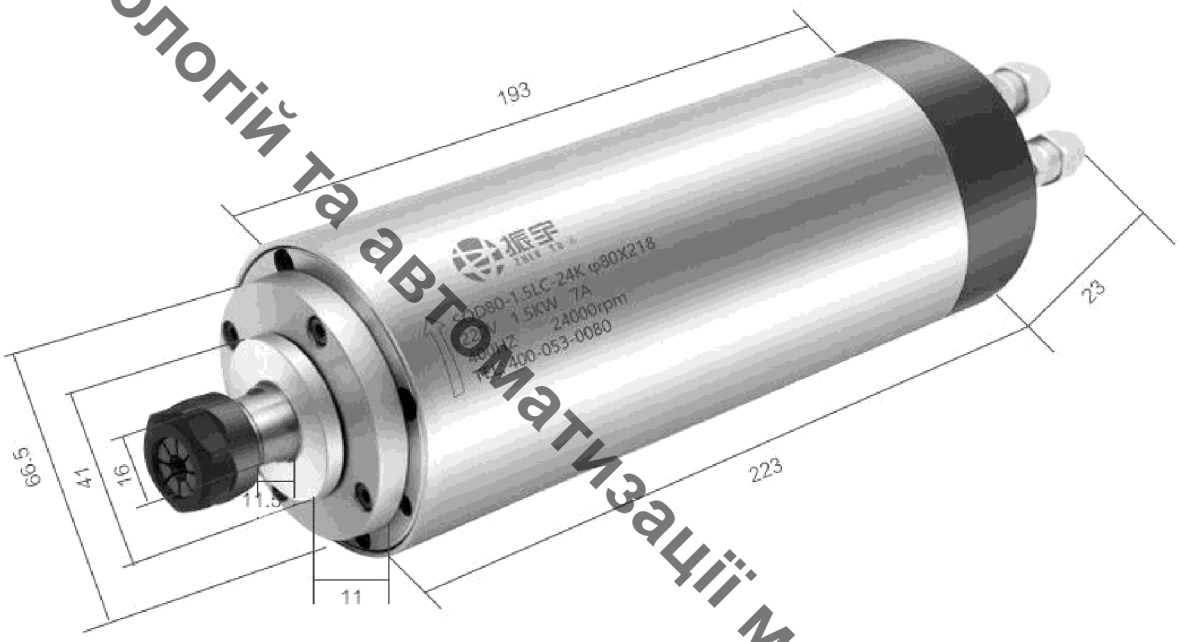


Рисунок 3.3 – Фото шпинделя потужністю 1,5 кВт з розмірами

3.3 Аналіз фізико-механічних характеристик елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

Під час аналізу фізико-механічних характеристик елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК будемо використовувати тривимірну модель прототипу завантажену в програмному пакеті Autodesk Inventor [16]. Продемонстровано print scrin з робочого столу програмного пакету Autodesk Inventor на рисунку 3.4.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

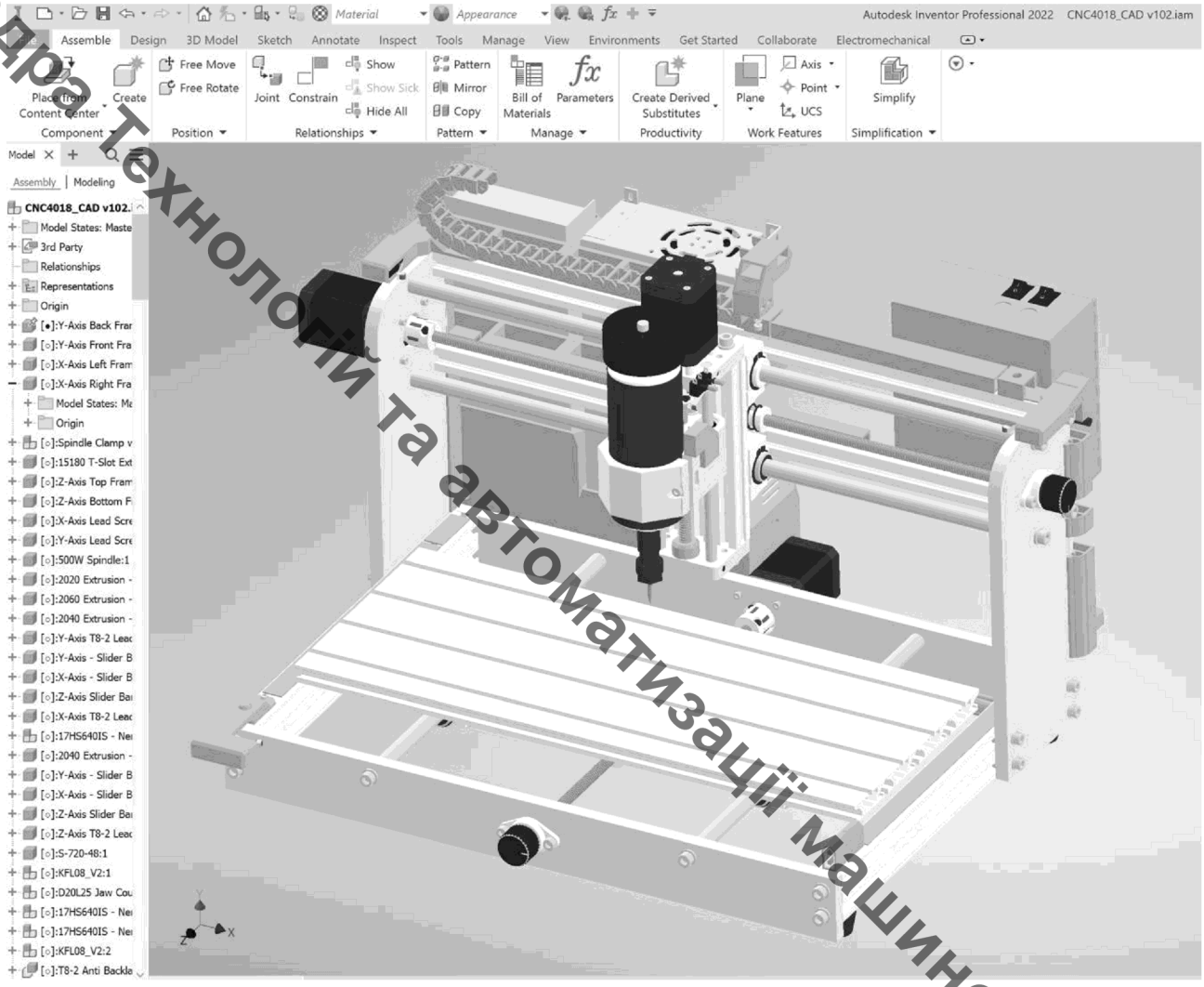


Рисунок 3.4 – Тривимірна модель прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК в програмному пакеті Autodesk Inventor

На рисунку 3.4 розташовано багато елементів, які не приймають участі процесі різання безпосередньо: пластикові канали для кабелів, кінцеві вимикачі, місця кріплення системи керування, блоку живлення тощо. Тому доцільно спростити конструкцію фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК до несучою конструкції.

На рисунку 3.5 показано несучу конструкціє фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК разом з основними вузлами.

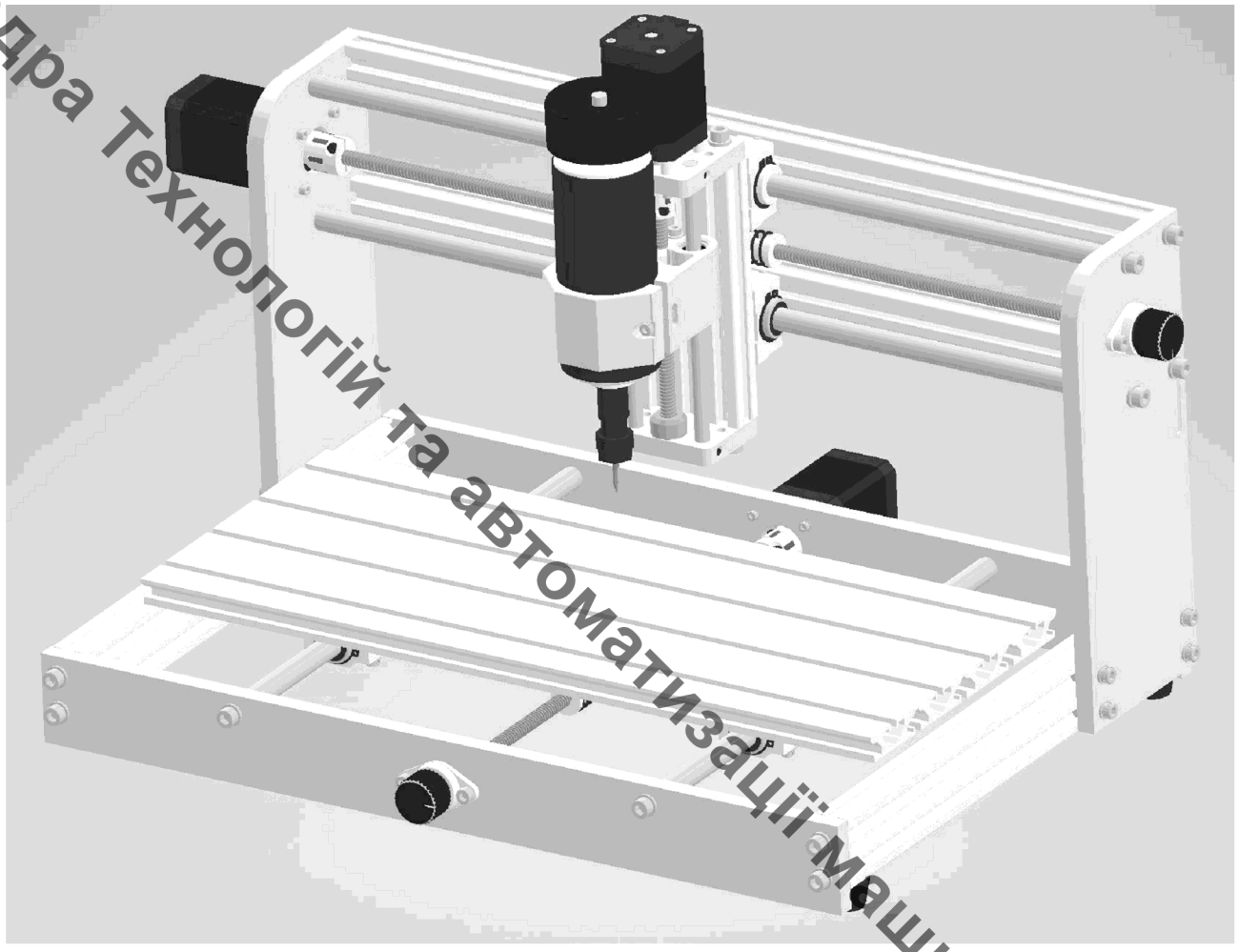


Рисунок 3.5 – Несуча конструкція фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК разом з основними вузлами

Так як до основи верстата портал закріплюється нерухомо гвинтовими з'єднаннями, то в цьому місці розділимо нашу несучу конструкцію на досліджувані елементи: основа верстата та портал. В свою чергу портал буде мати вигляд див. рис. 3.6, конструкцію якого теж потрібно дослідити окремо, а саме голову шпинделя, що рухається на поперечних направляючих. Після спрощення та розділення верстата на досліджувані елементи конструкції (див. рис. 3.7): основа верстата, портал, голова шпинделя.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

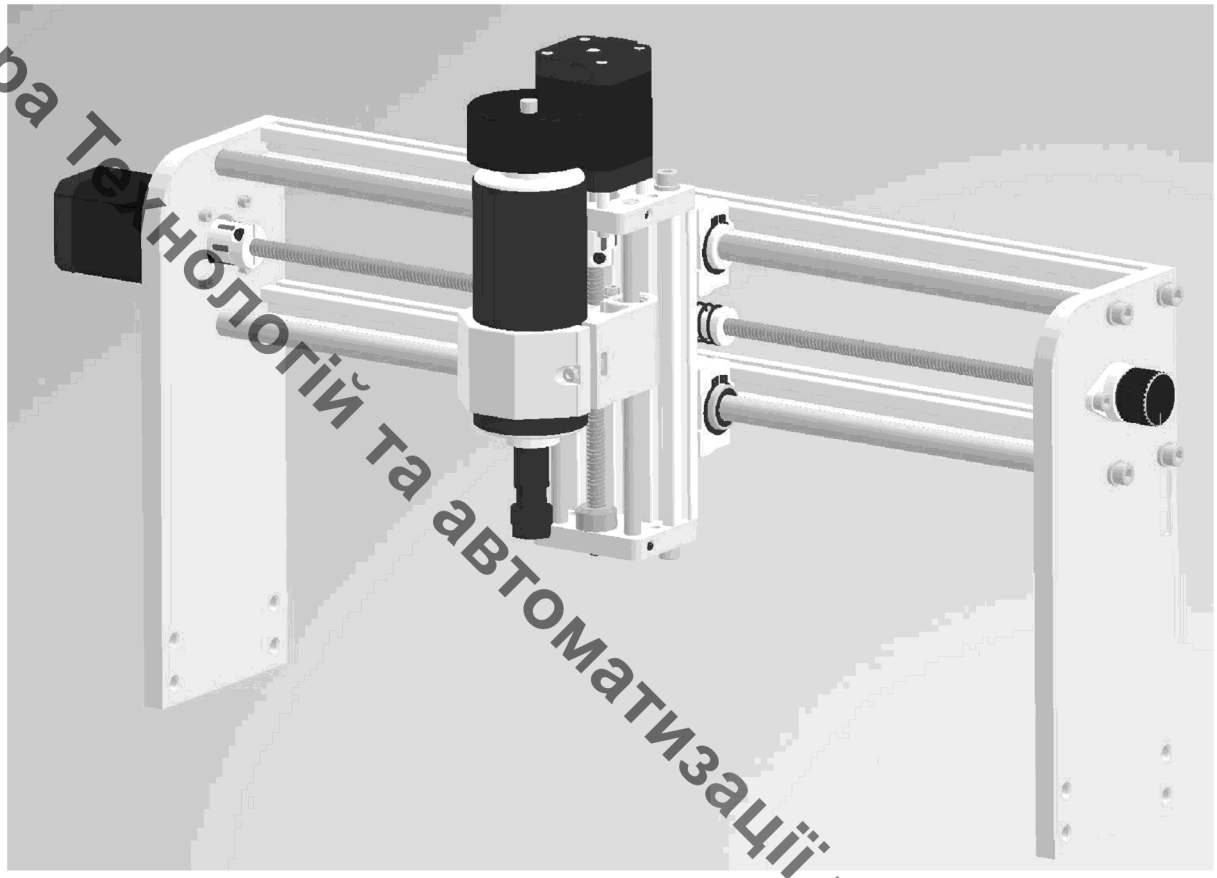
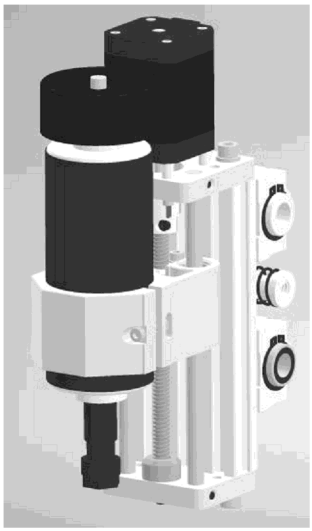


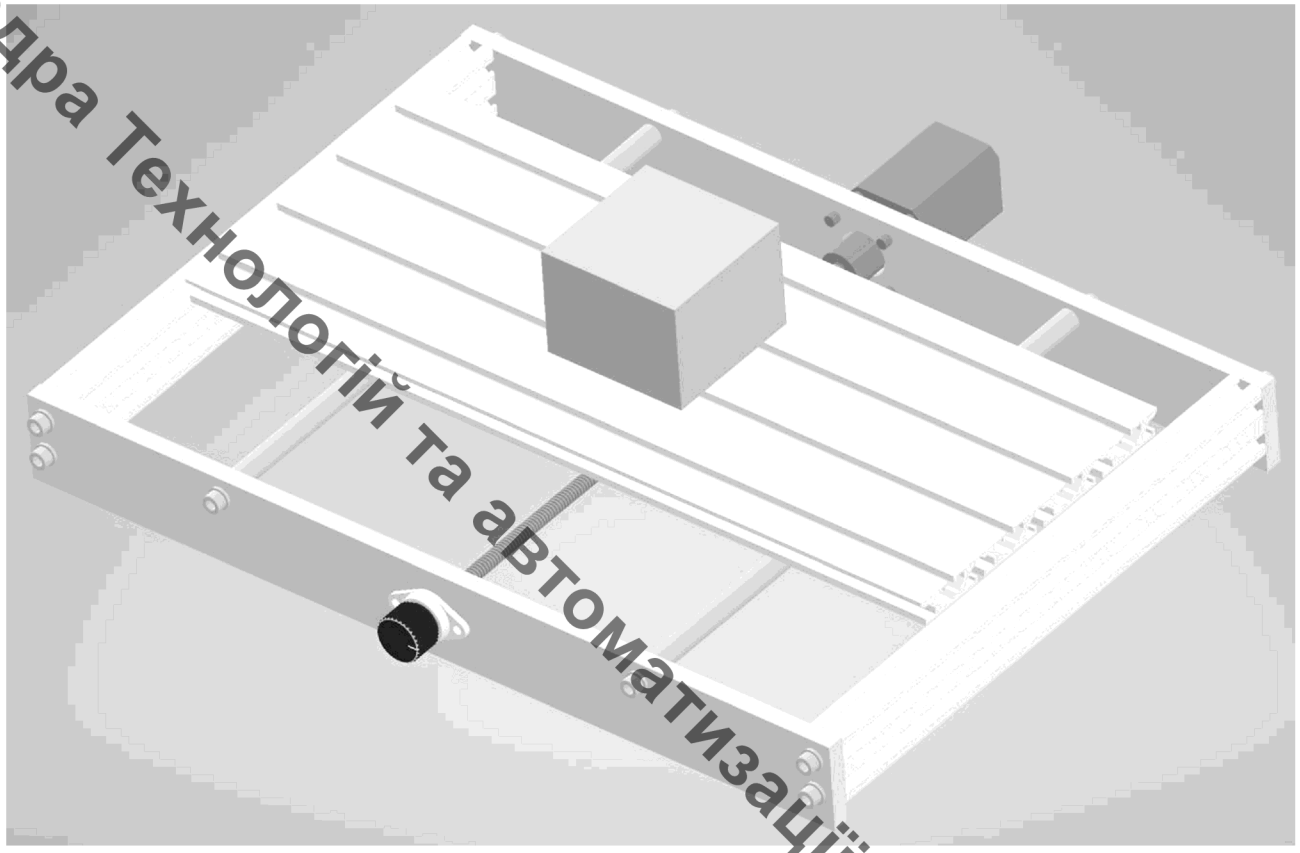
Рисунок 3.6 – Портал фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК



а)

б)

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування



в)

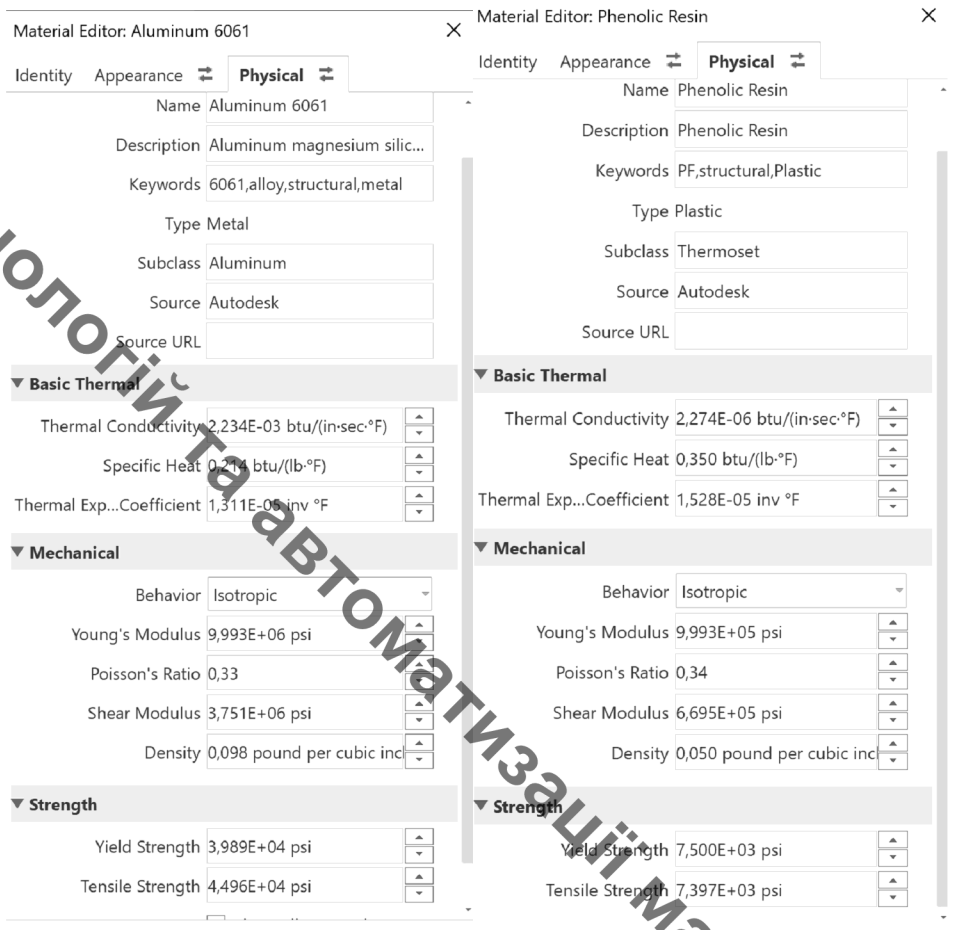
Рисунок 3.7 – Досліджувані елементи конструкції: а) голова шпинделя, б) портал та в) основа верстата

Проводимо аналіз дії режимів різання під час фрезерування латуні на елементи конструкції за допомогою статичного аналізу. В записці буде порівняно конструктивне виконання елементів основи верстата та портала із алюмінію та фенол-формальдегідної смоли. Обраний результат буде продемонстровано в записці, а проміжні розрахунки перенесено в додаток Б.

Першим кроком для статичного аналізу – це вибираємо матеріал деталей. Для стойок портала та перемичок основи верстату ми обрали матеріали алюмінієвий сплав 6061 та фенол-формальдегідну смолу (див. рис. 3.8).

Фенол-формальдегідна смола по фізико-хімічним властивостям дещо поступається алюмінієвому сплаву 6061, однак в неї достатньо міцності, щоб забезпечувати відповідні показники. Тим більше смола є дешевшою в 2 рази за алюмінієвий сплав.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



а) б)

Рисунок 3.8 – Вибір матеріалів для елементів конструкції

Другий крок – це корегування взаємозв’язків між деталями, щоб відбувалося коректне передавання дії сили від режимів різання (див. рис. 3.9).

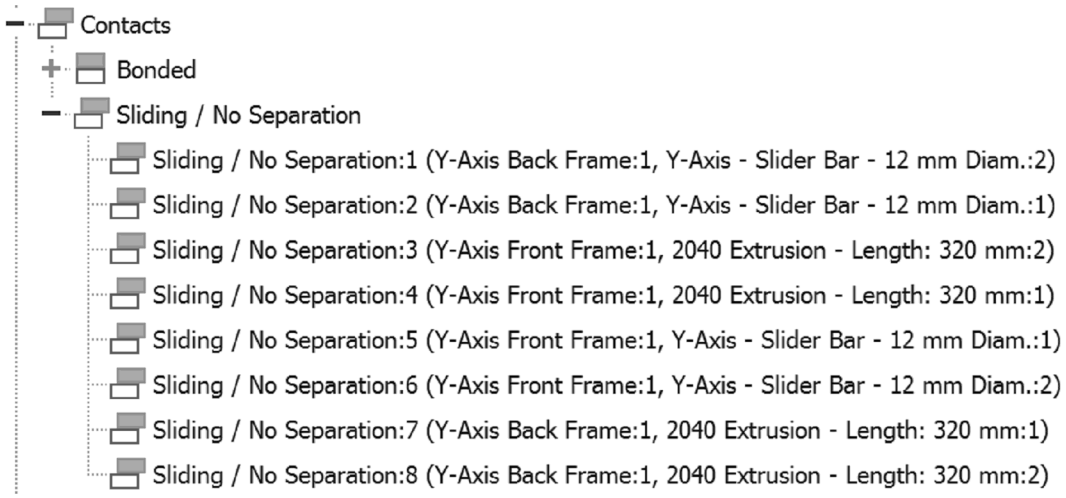


Рисунок 3.9 – Відкориговані взаємозв’язків між деталями

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Третій крок – задаємо сили різання, крутний момент та силу тяжіння, що діє на компоненти об’єкта моделювання, а також виставляємо обмеження: фіксація елементів, що закріплені нерухомо, елементи, які можуть обертатися, або рухатися шляхом тертя в зоні контакту. При цьому вхідними параметрами є сила різання Pc*=61,88 Н, сила радіальна, що складає 40% від сили різання Py*=0,4·61,88=24,75 Н та крутний момент від сили різання Mc=0,62 Нм. (див. рис. 3.10)

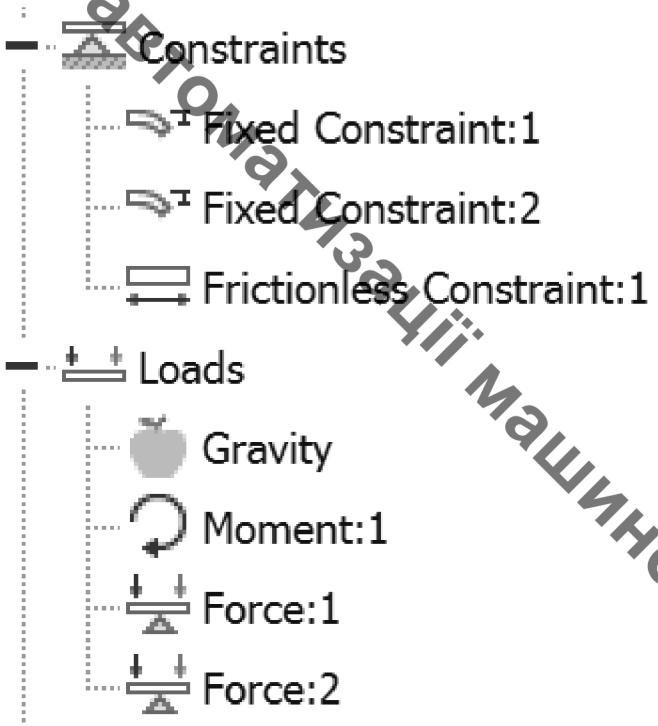
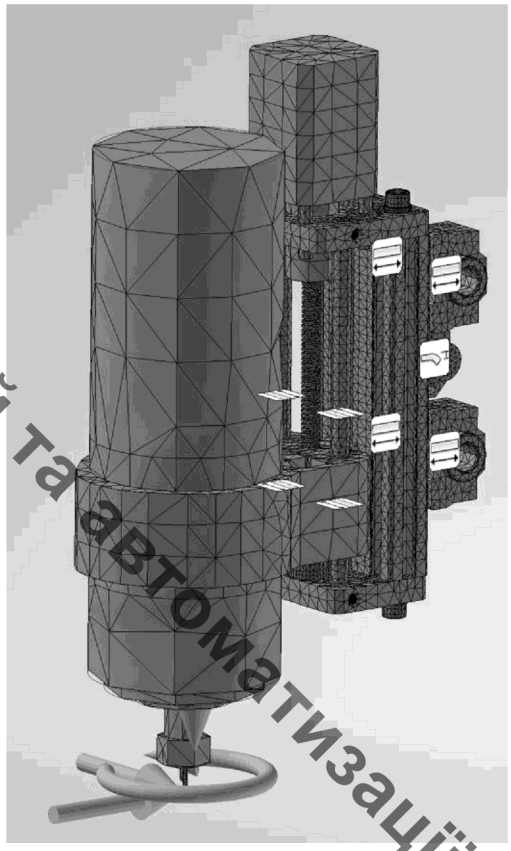


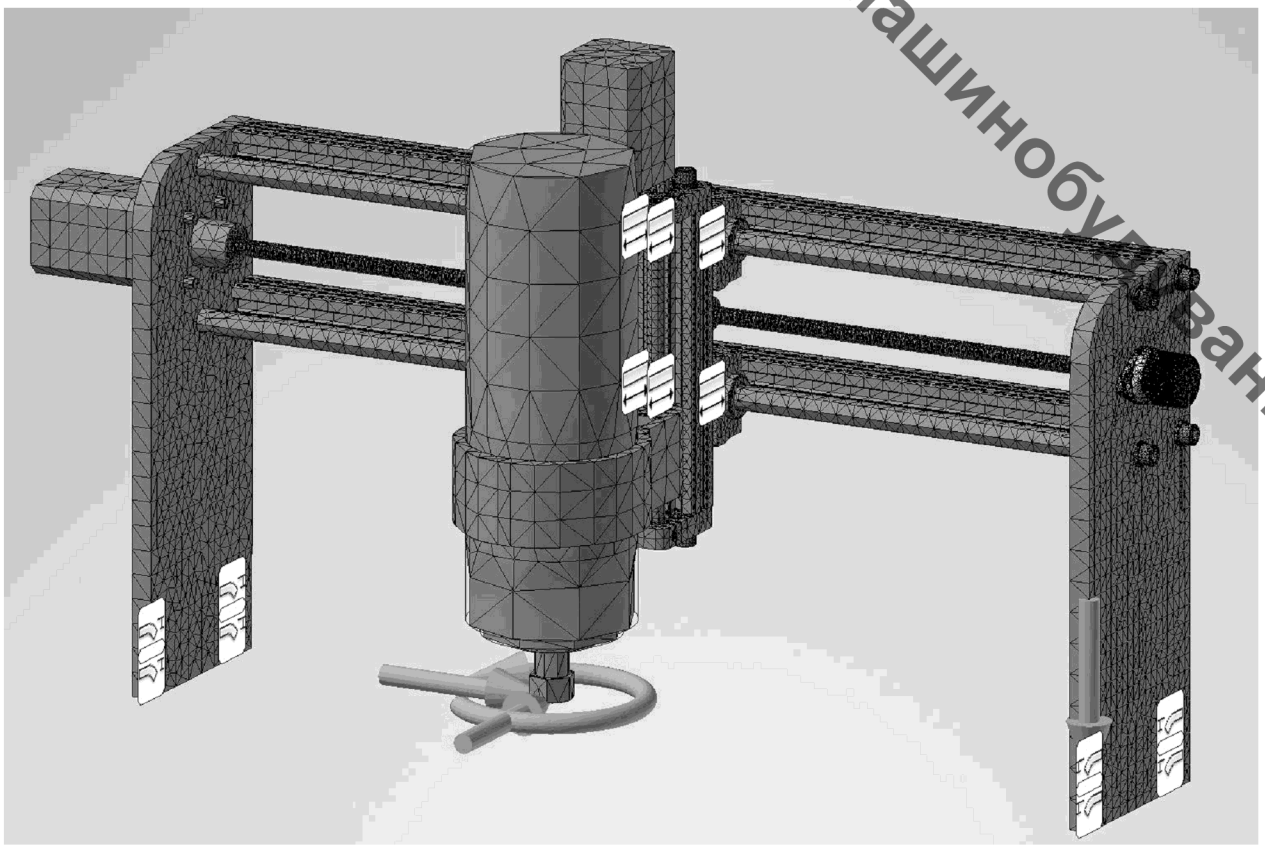
Рисунок 3.10 – Сили, момент та конструктивні обмеження, що діють на компоненти об’єкта моделювання

В четвертому кроку розбиваємо елементи конструкції на кінцево-елементні частинки (див. рис. 3.11), що дозволяє проводити розрахунки на міцність.

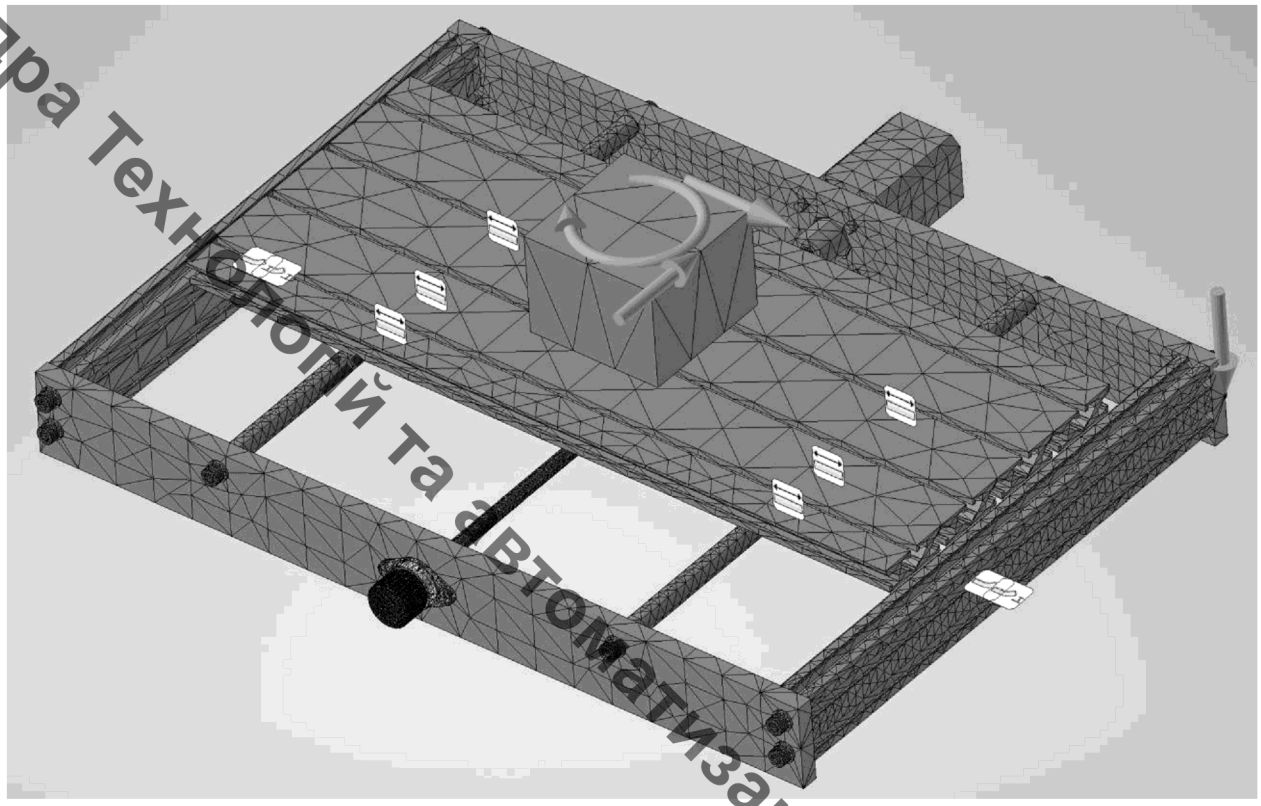
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



а)



б)



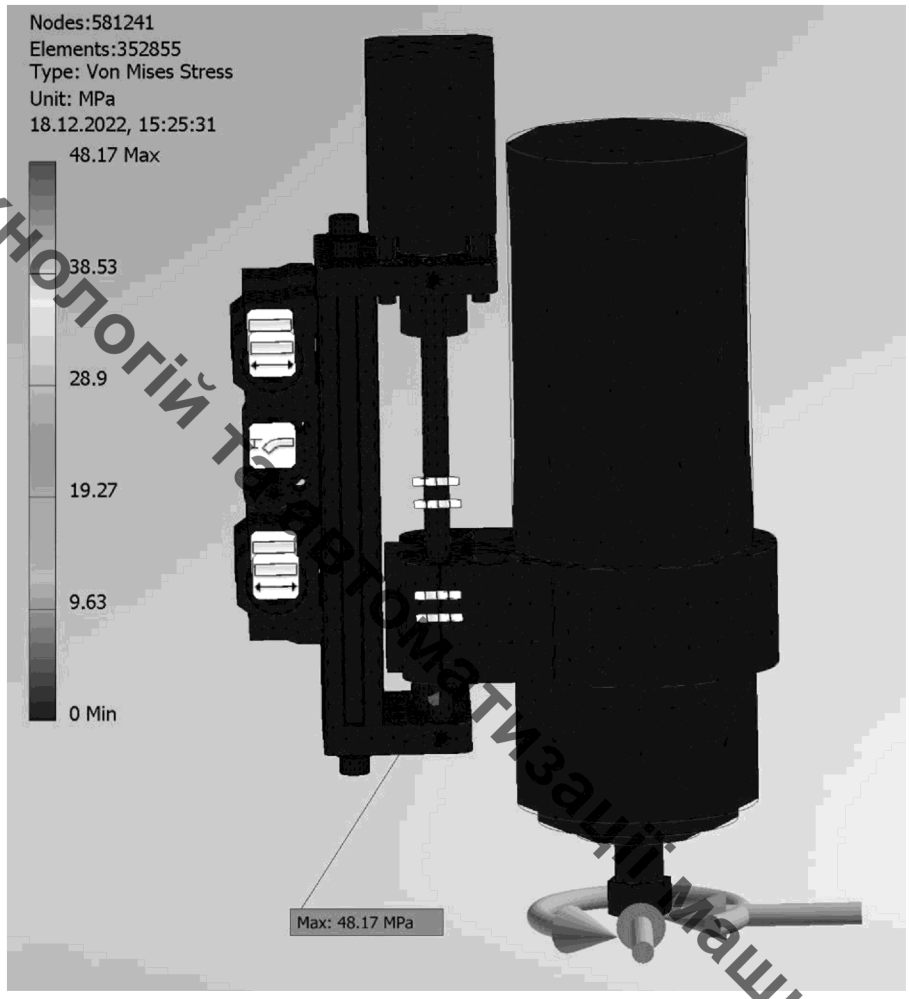
в)

Рисунок 3.11 – Елементи конструкції вестата розбиті на кінцево-елементні частинки для розрахунків: а) голова шпинделя, б) портал та в) основа верстата

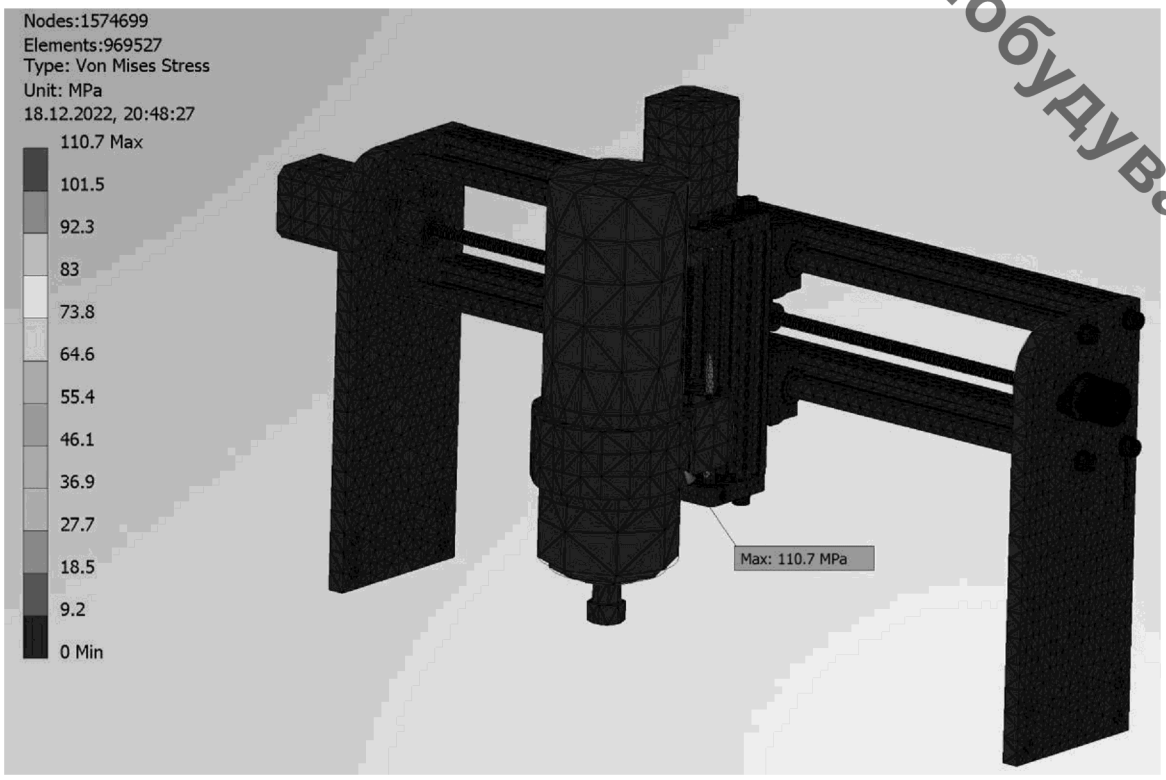
Результати розрахунків показано в напруженнях по Мізесу, що є еквівалентними напруженнями на елементи конструкції (див. рис. 3.12). На рис. 3.13 показано елементи конструкції з їх видовженням під час дії процесу різання. А на рис. 3.14 показано запас міцності для елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК, що досягається після дії сил та моментів під час фрезерування латуні.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

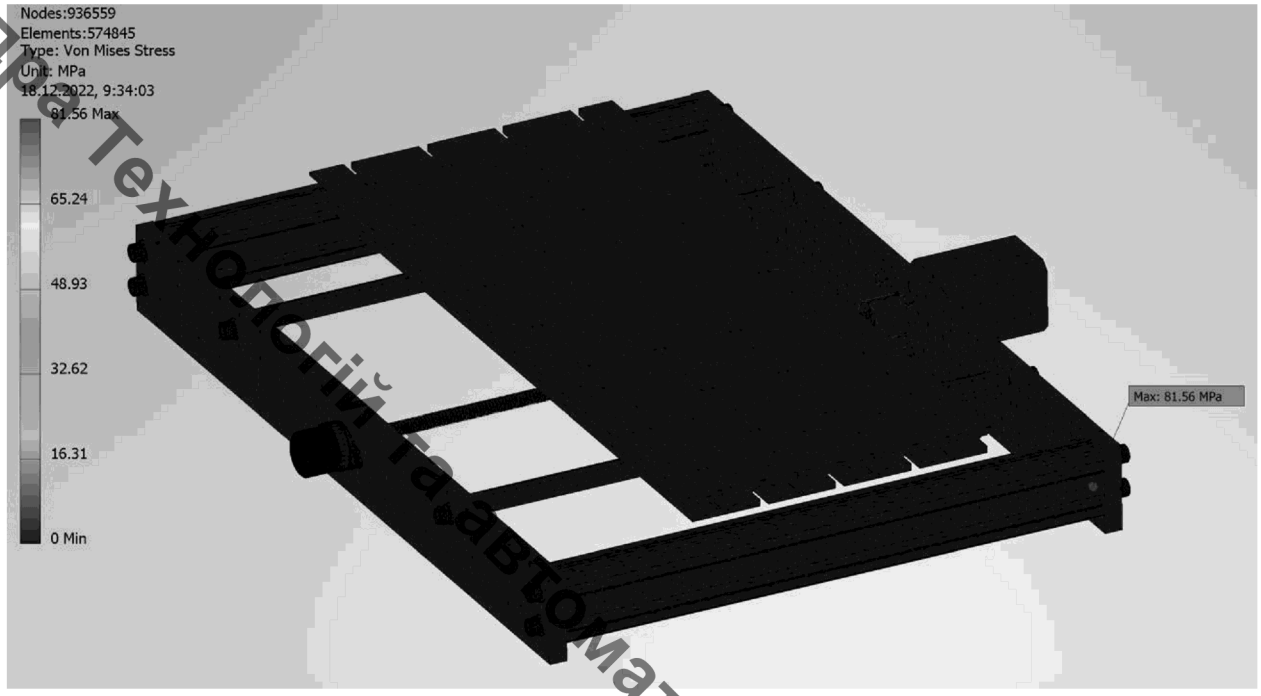


а)



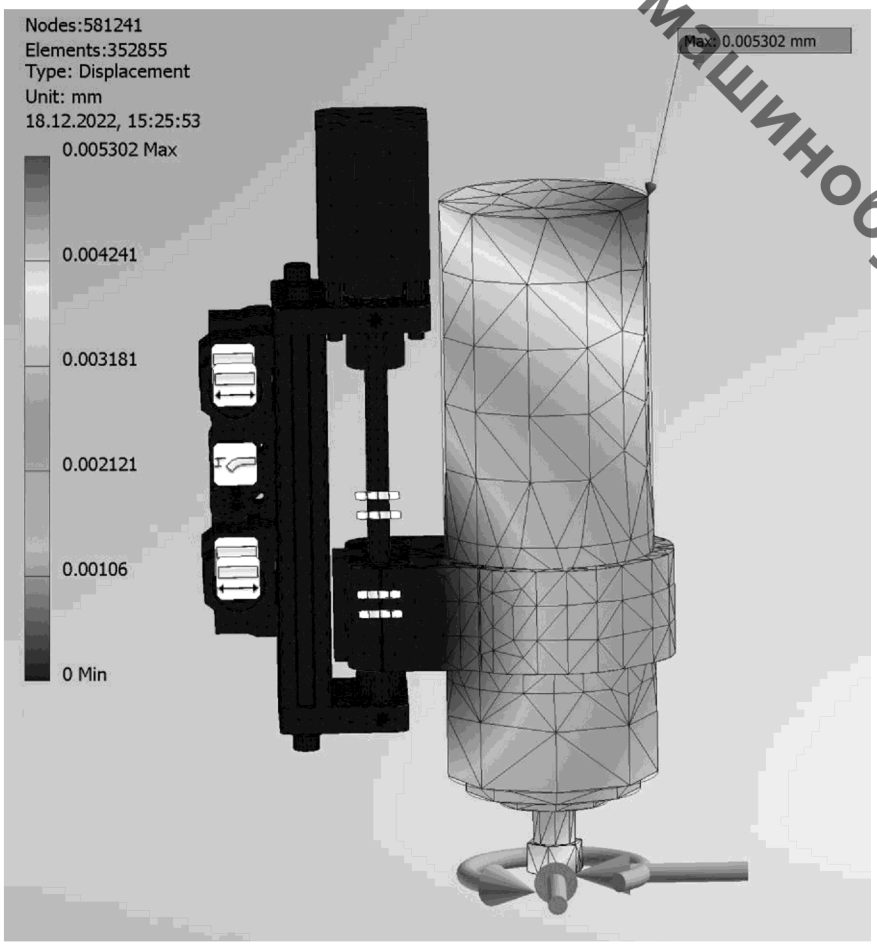
б)

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування



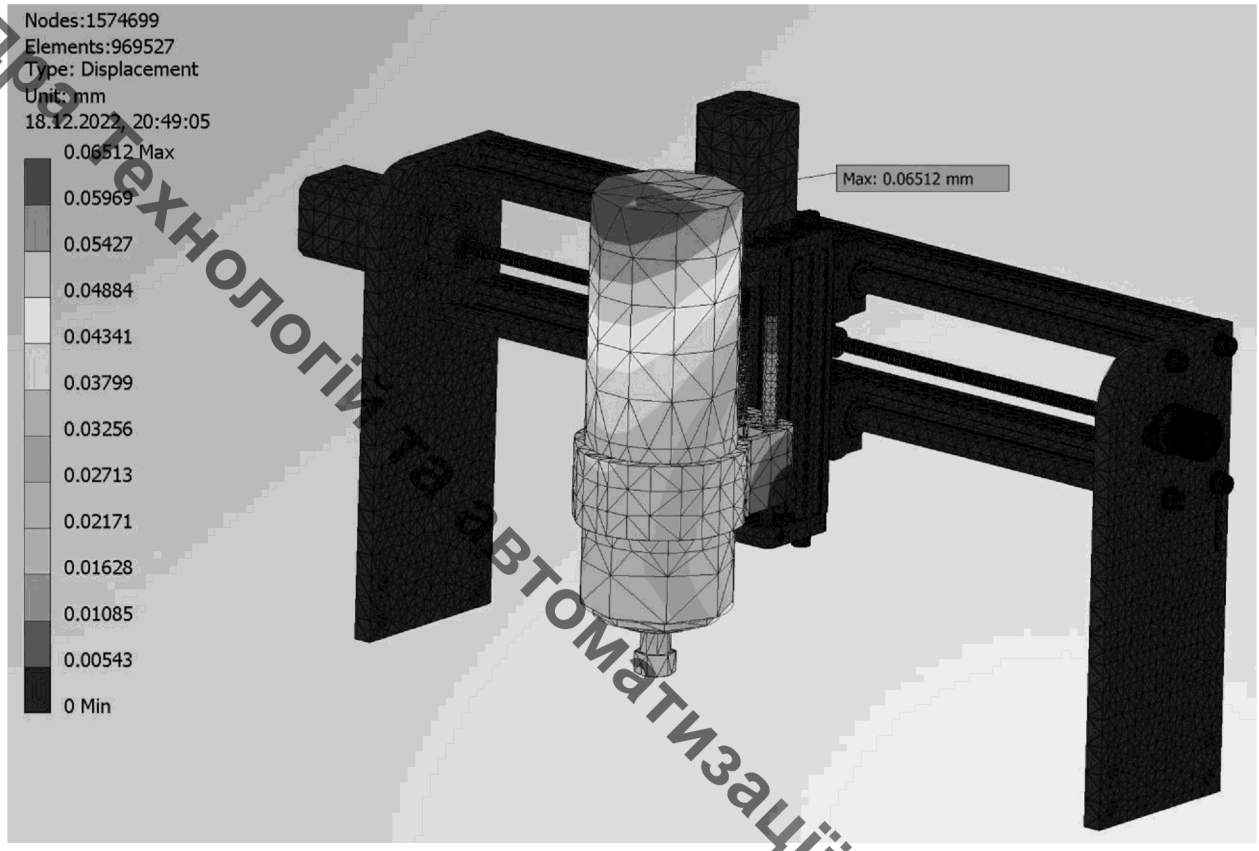
в)

Рисунок 3.12 – Напруження в елементах конструкції верстата по Мізесу під дією сил фрезерування

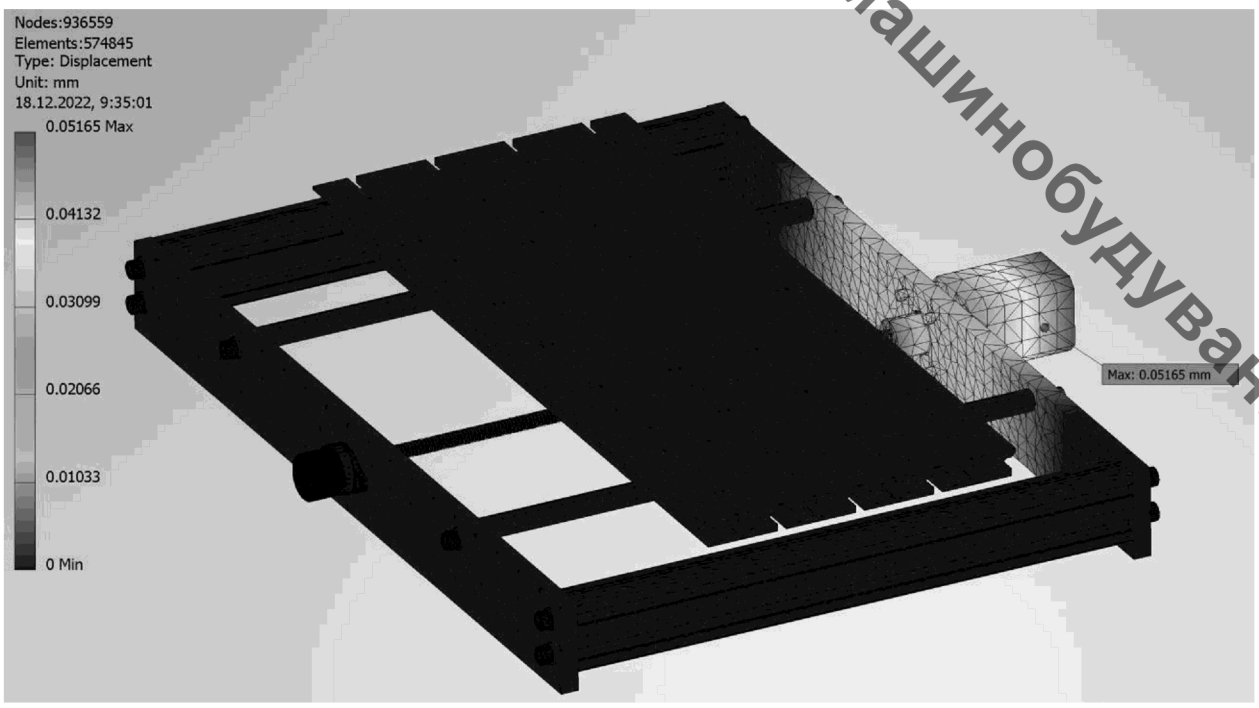


а)

Кафедра технології та автоматизації машинобудування



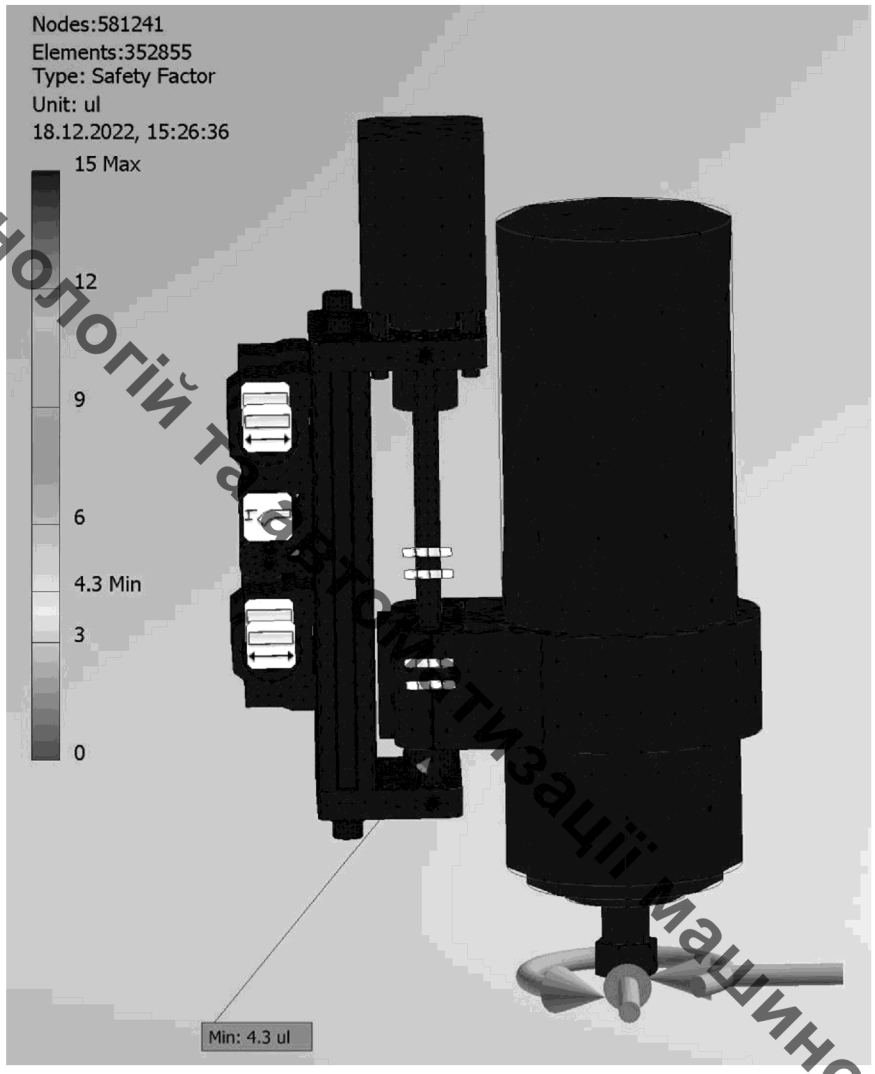
б)



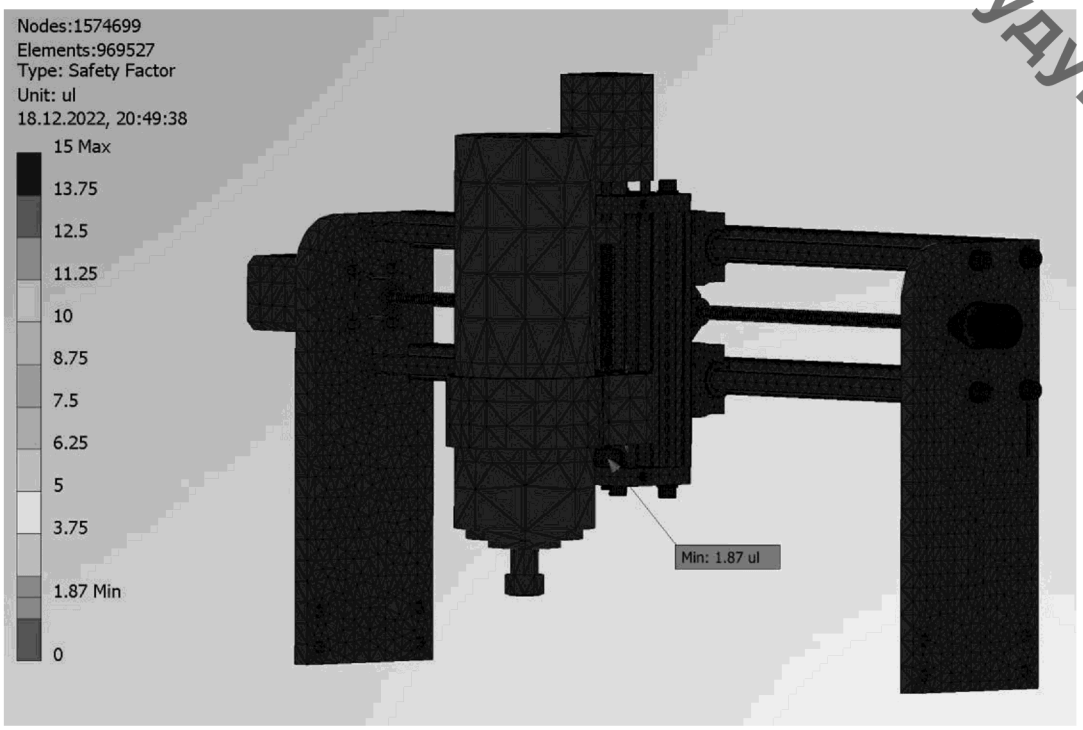
в)

Рисунок 3.13 – Максимальне зміщення елементів констукції верстата під дією сил фрезерування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

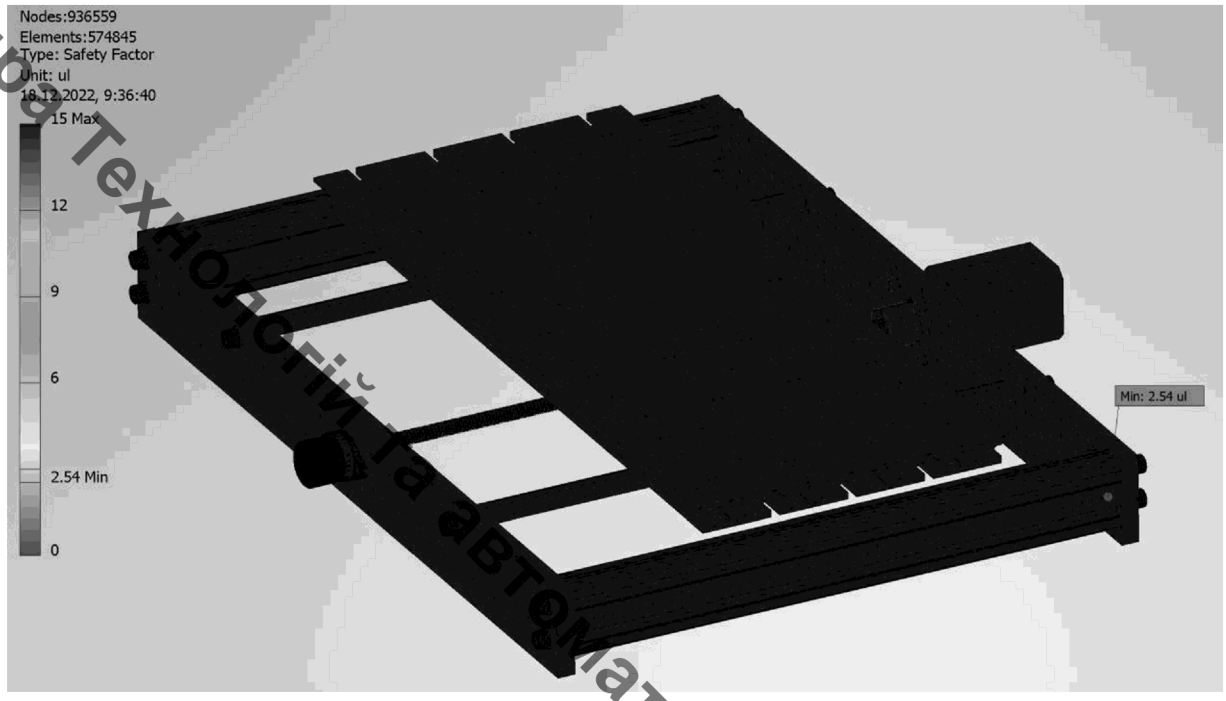


а)



б)

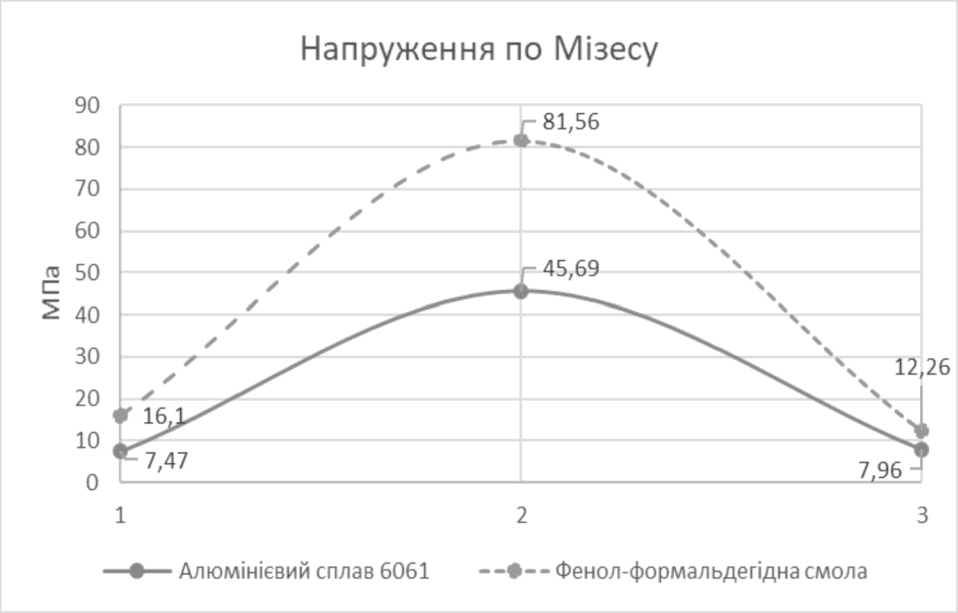
Кафедра Технології та автоматизації машинобудування



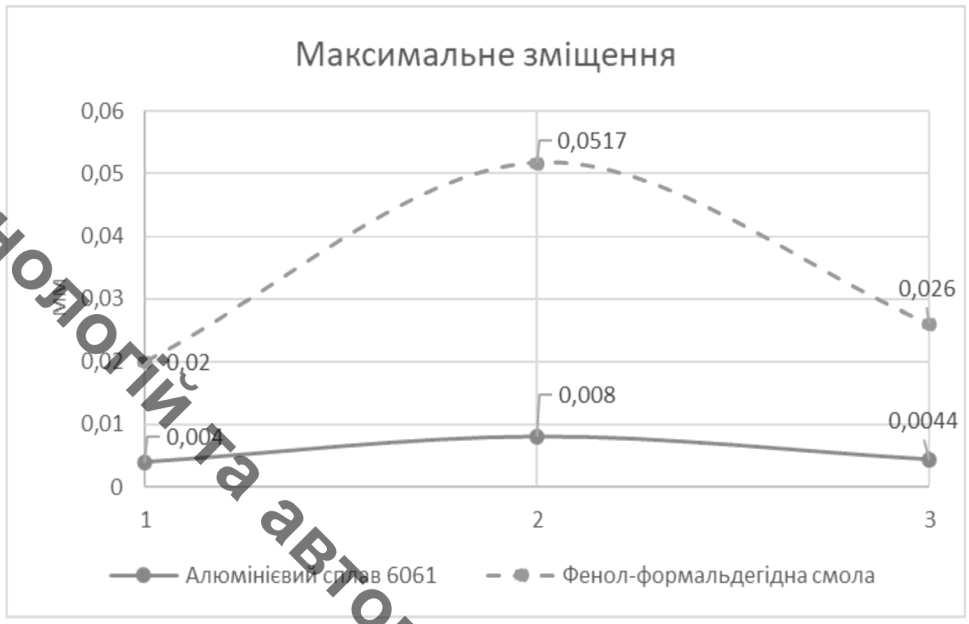
в)

Рисунок 3.14 – Значення коефіцієнту запасу міцності для елементів конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

За проміжними результатами побудовано залежності зміни напруження по Мізесу та максимальне зміщення елементів конструкції основи верстата. Дані представлено графічно на рисунку 3.15.



а)



б)

Рисунок 3.15 – Залежності зміни напруження по Мізесу а) та максимального зміщення б) елементів конструкції основи верстата

Отже, із отриманих залежностей приймаємо для перемичок матеріал з фенол-формальдегідної смоли, який дає максимальне зміщення 0,0517 мм, яке можна буде в подальшому враховувати в програмі під час обробки. Такий же матеріал приймаємо для стойок портала, так як всі параметри міцності і жорсткості така конструкція забезпечує.

3.4 Конструкторська документація для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК

Фрезерно-гравірувальний верстат з удосконаленою конструкцією основи та портала призначений для фрезерування та гравірування різних видів матеріалу, параметри яких вказані в таблицях 1.2-1.4. Найбільш міцний матеріал, який можна фрезерувати – це титан, однак продуктивність цього процесу буде суттєво низькою. Наші дослідження в підрозділі 3.1 дозволили удосконалити конструкцію фрезерного верстата з ЧПК потужнішим

Кафедра Технологія автоматизації машинобудування

шпинделем, що дало можливість покращити продуктивність обробки майже в на 40%.

Удосконалений фрезерно-гравірувальний верстат (див. рис. 3.16) оснащений сучасною електронікою, а саме системою керування на основі Arduino UNO з програмним забезпеченням MATH3. Таким чином фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК є досить гнучким в напрямку перепрограмування на нову продукцію. Схема підключення системи керування показана на рисунку 2.7.

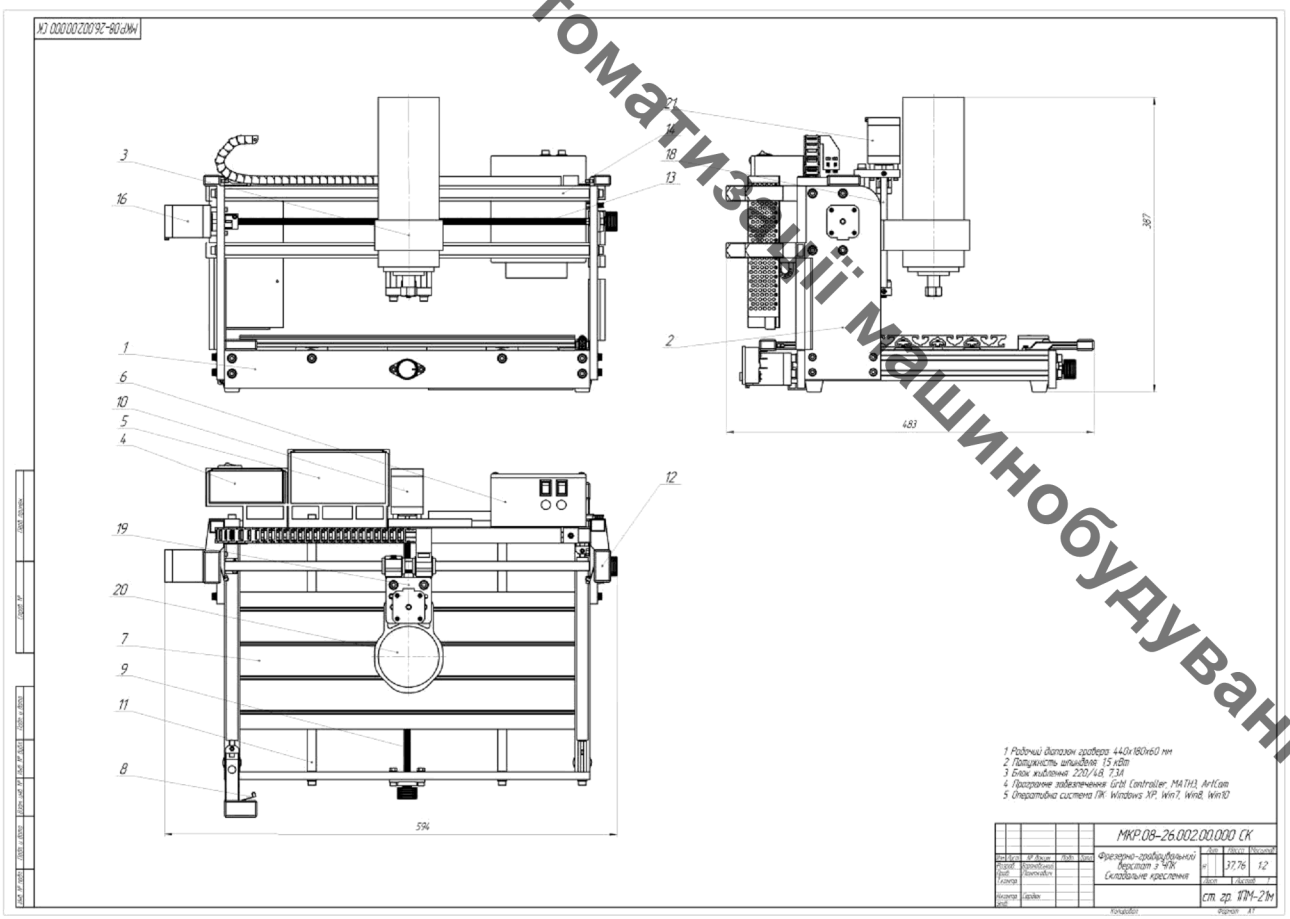


Рисунок 3.16 – Складальне креслення удосконаленого фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК потужністю 1,5 кВт

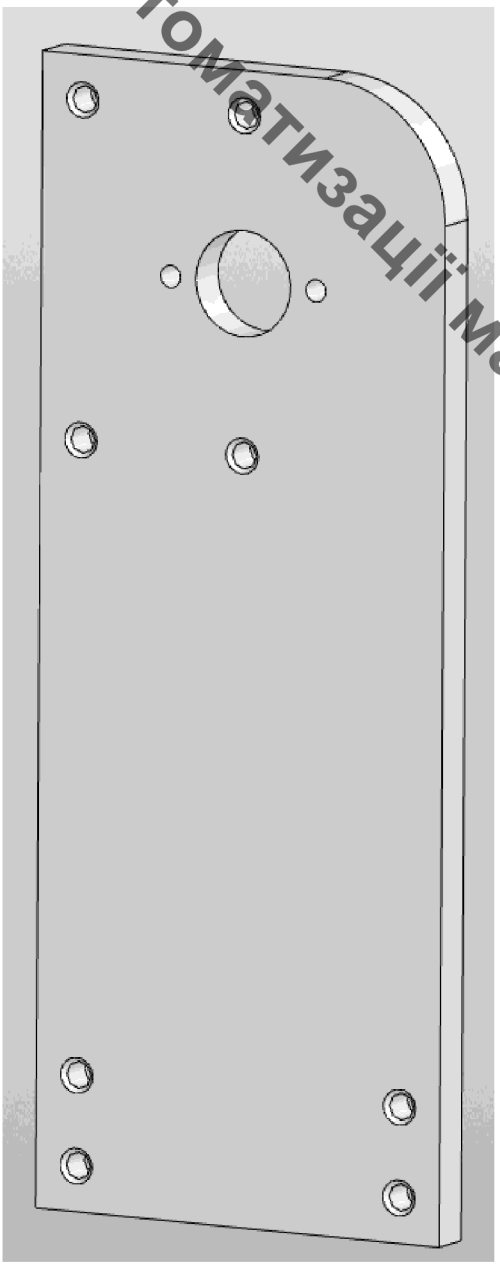
Основними елементами конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК можна виділити: основа верстата – 1; портал верстата – 2; тримач шпинделя – 3; блок живлення S-250-24 – 4; драйвера крокових двигунів

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

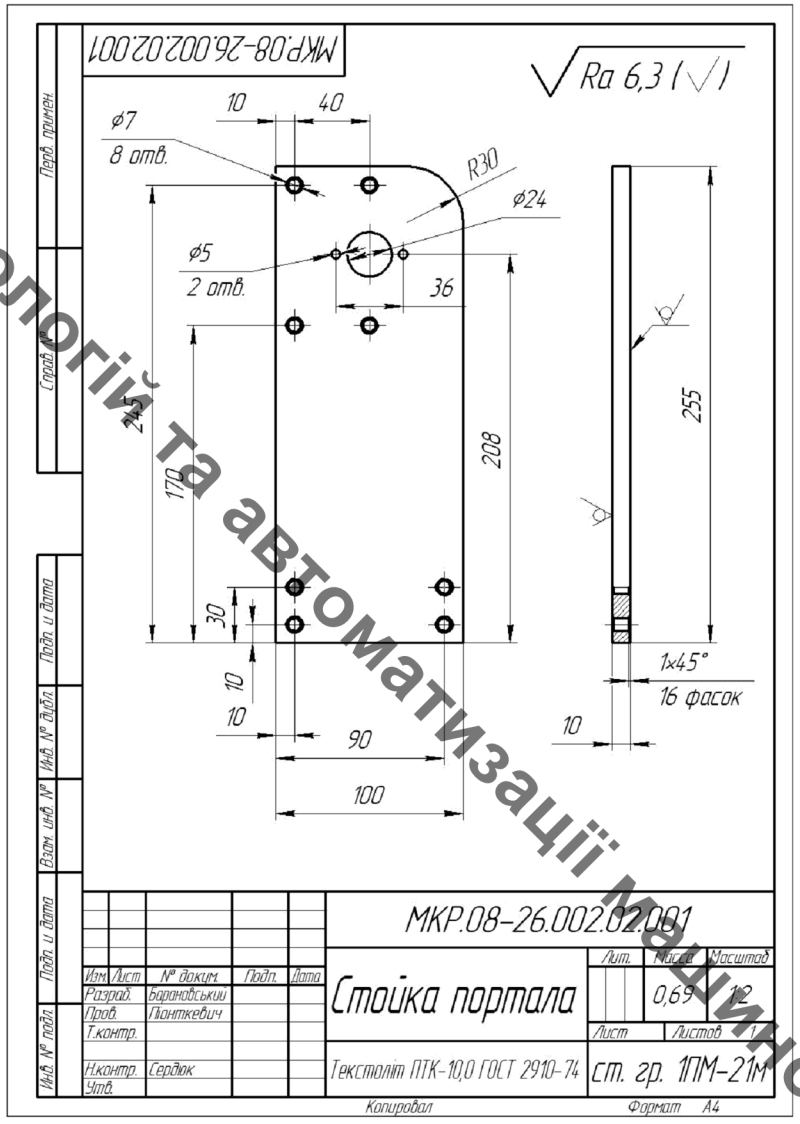
TMC2208 – 5; плата керування з кнопками – 6; робочий стіл 440x180x60 мм – 7; кінцеві вимикачі – 8 та 12; ходові гвинти – 9, 13 та 17; крокові двигуни NEMA 23 – 10, 16 та 21; направляючі – 11, 14 та 18; голова шпинделя – 19; шпиндель SQD80-1.5LC-24K – 20.

На рисунку 3.17, а представлено тривимірну модель стойки портала, яку розраховано та удосконалено у Вінницькому національному технічному університеті. Розроблено робоче креслення для деталі стойка портала на рис. 3.17, б.



а)

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



б)

Рисунок 3.17 – Тривимірна модель а) та робоче креслення б) деталі «Стойка портала»

Особливістю деталі «Стойка портала» є її матеріал: Фенол-формальдегідна смола, яка є відносно міцною та твердий, що задовольняє наші вимоги міцності згідно розрахунків. Деталь «Стойка портала» виготовляється шляхом вирізання на лазері з фенол-формальдегідна плити.

Робоче креслення деталі «Стойка портала» (див. рис. 3.17, б), є не складним, а процес виготовлення потребує розрахувати розкрій фенол-формальдегідна плити, що виконується в напівавтоматичному режимі на лазерному верстаті з ЧПК [17, 18].

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

4.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання *комерційного потенціалу розробки*, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ма критеріями [19]. Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зводимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Дерібо О.В.	Сердюк О.В.	Савуляк В.В.
1	2	3	4
1. Технічна здійсненність концепції	2	3	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	1	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	3	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	3	2

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	1	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	1	2	1
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	3	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	4
Сума балів	$СБ_1$=33	$СБ_2$=35	$СБ_3$=34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{33+35+34}{3} = 34$		

Згідно результатів оцінювання можна охарактеризувати рівень комерційного потенціалу розробки «вище середнього» ($\overline{СБ}$=34), а також розкрити такі аспекти:

- розробка може бути реалізована на таких підприємствах як КНВО «Форт», ООО «Вінницький інструментальний завод», ВАТ «Вінницький завод тракторних агрегатів»;

- загальна якість розробки має високі показники: збільшується асортимент матеріалів для обробки та надійність виробу із забезпеченням запасу міцності робочих частин;

- за рахунок покращених фізико-механічних показників робочих частин удосконаленої конструкції фрезерного верстата з ЧПК є корисною для суспільства в якості економії енергетичних ресурсів та забезпечення співвідношення ціна-якість;

- ринками збуту продукції можуть бути підприємства України, що хочуть мати фрезерно-гравірувальне обладнання;

- потенційними покупцями нового товару можуть бути підприємства з одиничним та серійним виробництвом виробів сувенірів та різних комплектуючих з матеріалів: алюмінію, титану, пластмаси;

- оскільки загальний ресурс роботи пропонованого фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК є досить великим, тому будемо вважати, що його покупка підприємством буде разовою. Також оцінивши новизну, та техніко економічні показники можна припустити, що пристрій буде зберігати свою актуальність протягом 5 років.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) $З_о$, якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

$$З_о = \frac{М}{Т_р} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (4.2)$$

де М – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2022 році величини окладів рекомендується брати до 142000 грн. за місяць для працівників професійної, наукової та технічної діяльності;

$Т_р$ – число робочих днів в місяці; приблизно $Т_р$ = (21…23) дні, Приймаємо 22 робочих дні;

t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Таблиця 4.2 – Розрахунки основної заробітної плати розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
Керівник проектувальник	13000	590,91	20	11818
Інженер-конструктор 1-ї категорії	11000	500	20	10000
Технік 1-ї категорії	7150	325	3	975
			Всього	22793

Основна заробітна плата робітників $З_р$, якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

$$З_р = \sum_{1}^{n} t_i \cdot C_i \ [грн.], \qquad (4.3)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_м \cdot K_{мкс} \cdot K_c}{T_р \cdot T_{зм}} \ [грн./год], \qquad (4.4)$$

де $М_м$ – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи на 2022 рік або мінімальної місячної заробітної плати, Мм=6700,00 грн./міс.;

$К_{мкс}$ – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду: 1,35 – 3 розр.; 1,7 – 5 розр.; 2 – 6 розр.;

$К_с$ – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати: приймаємо 1,8.

$Т_р$ – число робочих днів в місяці; Прийняте $Т_р$ = 22 дні;

$Т_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Тоді

$$C_3 = \frac{6700 \cdot 1,35 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 92,51 \text{ (грн/год);}$$

$$C_5 = \frac{6700 \cdot 1,7 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 116,49 \text{ (грн/год);}$$

$$C_6 = \frac{6700 \cdot 2 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 137,05 \text{ (грн/год).}$$

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Таблиця 4.3 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка. грн.	Величина оплати на робітника грн.
Лазерна різка	1,1	6	137,05	150,76
Фрезерна з ЧПК	2,2	5	116,49	256,28
Збірка виробу	1,2	3	92,51	111,01
Всього				518,05

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10…12% від суми основної заробітної плати розробників та робітників за формулою:

$$З_{дод} = Н_{дод}(З_о + З_Р) \text{ [грн.]}, \quad (4.5)$$

$$З_{дод} = 0,11(22793 + 518,05) = 2564,22 \text{ (грн.)}.$$

Відрахування на соціальні заходи. До статті «Відрахування на соціальні заходи» належать відрахування внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування та для здійснення заходів щодо соціального захисту населения (ЄСВ — єдиний со- ціальний внесок). Розраховуються за формулою:

$$З_н = (З_о + З_р + З_д) \cdot \frac{Н_{зп}}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (4.6)$$

де $З_о$ – основна заробітна плата розробників, грн.;

$З_р$ – основна заробітна плата робітників, грн.;

$З_д$ – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$Н_{зп}$=22% – норма нарахування на заробітну плату.

$$З_н = (22793 + 518,05 + 2564,22) \cdot \frac{22}{100} = 5692,56 \text{ (грн)}.$$

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Сировина та матеріали. Витрати на матеріали М, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{1}^{n} Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i - \sum_{1}^{n} В_i \cdot Ц_в \ \text{[грн.]}, \qquad (4.7)$$

де $Н_i$ – витрати матеріалу *i*-го найменування, кг;

$Ц_i$ – вартість матеріалу *i*-го найменування, грн./кг.;

$К_i$ – коефіцієнт транспортних витрат, $К_i$ = (1,1…1,15) приймаємо 1,1;

$В_i$ – маса відходів матеріалу *i*-го найменування, кг;

$Ц_в$ – ціна відходів матеріалу *i*-го найменування, грн/кг;

n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.4 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Фенол-формальдегідна плита	154	3	0,3	0	508,2
Лист Д16Т товщин. 10 мм	359	1	0,1	65	388,4
Лист Д16Т товщин. 40 мм	359	1	0,6	65	355,9
				Всього:	1252,5

Розрахунок витрати на комплектуючі $К_в$, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$К_в = \sum_{1}^{n} Н_j \cdot Ц_j \cdot К_j \text{ [грн.]}, \quad (4.8)$$

де $Н_j$ – кількість комплектуючих *i*-го виду, шт.;

$Ц_j$ – ціна комплектуючих *i*-го виду, грн.;

$К_j$ – коефіцієнт транспортних витрат, $К_і$ = (1,1…1,15) приймаємо 1,1;

n – кількість видів комплектуючих.

Всі необхідні данні для розрахунку витрат на комплектуючі вироби зведемо в таблицю 4.5

Таблиця 4.5 - Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Лінійний підшипник SC10UU	10	60	600
Плата керування Arduino	1	134	134
Лінійний вал SFC8 500мм	2	93	186
Крокові двигуни NEMO 23	3	650	1950
Блок живлення S-250-24	1	900	900
Драйвера TMC2208	3	234	702
Шпиндель потужністю 500 Вт	1	4110	4110
Інші дрібні комплектуючі	100	10	1000
		Всього	9582

Спецустаткування для наукових робіт. Проектування та удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси виконувалася на ноутбуці ASUS VivoBook X571GT-BQ073 Star Black. Балансова вартість спецустаткування розраховується за формулою:

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

$$B_{спец} = \sum_{1}^{k} Ц_i \cdot C_{пр.j} \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (4.9)$$

де $Ц_i$ – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{пр.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, (K_i = 1,10…1,12) приймаємо 1,1;

k – кількість найменувань устаткування;

$$B_{спец} = 23999 \cdot 1 \cdot 1.1 = 26398,9 \text{ (грн).}$$

Програмне забезпечення для наукових робіт

При виконанні МКР використовуються програми, які є у вільному доступі та на підприємстві.

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн]}, \quad (4.10)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Оф. приміщення	90000	15	1	500
Вир. прим.	150000	15	1	833,33
Ноутбук	23999	5	1	400
Фрезерна з ЧПК	500000	15	1	2777,78
Лазерна різка	1200000	15	1	6666,67
Інше обладнання	10000	5	1	166,67
			Всього	11344,45

Паливо та енергія для науково-виробничих цілей. Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{W_{yi} t_i Ц_e K_{вni}}{\eta_i} \text{ [грн]}, \qquad (4.11)$$

W_{yi} - встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i - тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

$Ц_е$ - вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії);

$К_{вт}$ - коефіцієнт, що враховує використання потужності, приймаємо 0,75;

$\eta_і$ - коефіцієнт корисної дії обладнання, приймаємо 0,8.

При цьому вартість електроенергії розраховується:

$$Ц_е = (Ц_{опт} + Ц_{розп} + Ц_{пост})(1 + {ПДВ}/{100\%}) \quad (4.12)$$

$Ц_{опт}$ - середня оптова ціна електроенергії, яка визначається оператором ринку, грн за 1кВт·год

$Ц_{розп}$ - вартість розподілу електроенергії окремою енергорозподільчою компанією (без ПДВ), грн за 1кВт·год;

$Ц_{пост}$ - вартість постачання електроенергії від енергорозподільчої компанії до конкретного споживача (без ПДВ), грн за 1кВт·год.

$$Ц_е = (1806,11 + 345,64 + 3309.36) \cdot (1 + 0,2)/10^3 = 6,55 \text{ грн}$$

Таблиця 4.7 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук	0,3	160	314,4
Фрезерна з ЧПК	4	0,5	13,1
Лазерна різка	5	1,2	39,3
Інше обладнання	2	10	131
Всього			497,8

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Службові відрядженняВитрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% (приймаємо 22%) від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$B_{св} = \frac{H_{св}}{100\%}(З_о + З_р) \text{ [грн.]}, \quad (4.13)$$

$$B_{св} = 0,22(22793 + 518,05) = 5128,43 \text{ (грн).}$$

Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації. До статті «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» належать витрати на проведення досліджень, що не можуть бути виконані штатними працівниками або наявним обладнанням організації, а виконуються на договірній основі іншими підприємствами, установами і організаціями незалежно від форм власності та позаштатними працівниками.

Таких робіт не передбачено під час виготовлення зразка. Адже всі дослідження проведено на нашому підприємстві. Тому витрати на цю статтю дорівнюють 0.

Інші витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$I_в = \frac{H_{ів}}{100\%}(З_о + З_р) \text{ [грн.]}, \quad (4.14)$$

$$I_в = 0,5(22793 + 518,05) = 11655,53 \text{ (грн).}$$

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Накладні (загальновиробничі) витрати. До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов’язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов’язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

$$B_{нзв} = \frac{H_{нзв}}{100\%}(З_о + З_р) \text{ [грн.]}, \qquad (4.15)$$

$$H_{нзв} = 1,25(22793 + 518,05) = 29138,81 \text{ (грн).}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи. Цей показник розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат:

$$B_{заг}=22793+518,05+2564,22+5692,56+1252,5+9582+26398,9+0+$$
$$+11344,45+497,8+5128,43+0+11655,53+29138,81=126566,25 \text{ (грн)}$$

Загальні витрати ЗВ на завершення науково—дослідної (науково—технічної) роботи та оформлення її результатів, із врахуванням того розробка знаходиться на стадії розробки впровадження зразка:

$$ЗВ=126566,25/0,9=140629,17 \text{ (грн).}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково- дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру

Комплексний показник рівня науково-дослідної роботи

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.15)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи, I = 2...5, приймаємо 3;

n – коефіцієнт використання результатів роботи: n = 3, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок;

T_C – коефіцієнт складності роботи, T_C = 1...3, приймаємо 2;

R – коефіцієнт результативності роботи: результати роботи плануються вище відомих, то R = 4;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн;

t – час проведення дослідження, років.

$$K_p=(3^3\cdot 2\cdot 4)/(140{,}629\cdot 0{,}083)=18{,}51$$

Так як K_p>1, то науково-дослідна робота є ефективною.

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

Оскільки у нас удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК, то майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних: збільшення кількості споживачів пристрою, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик – 10 шт; кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

нової науково-технічної розробки – 500 шт; вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки – 23000 грн; зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науковотехнічної розробки в аналізовані періоди часу 10000 грн.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 лютого 2023 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2023-го, 2024-го, 2025-го, 2026-го та 2027-го років.

З 2028 року ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку $П_i$, що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta П_i = \sum_{1}^{n} \Delta Ц_o \cdot N + Ц_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - 9/100) \text{ [грн]}, \qquad (4.16)$$

де $\Delta Ц_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

$Ц_o$ – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. коефіцієнт $\lambda = 0{,}8333$;

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ρ– коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати ρ = 0,2...0,3; візьмемо ρ = 0,25;

ϑ – ставка податку на прибуток. ϑ = 18%.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора $П_i$ протягом першого року від реалізації нашої розробки (2022 р.) складе:

$$\Delta П_1 = (10000 \cdot 1550 + 33000 \cdot 50) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 607371,54 \text{ (грн.)}$$

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{1}^{т} \frac{\Delta П_i}{(1+\tau)^t} \text{ [грн]}, \qquad (4.16)$$

де $\Delta П_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

т – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{607371,54}{(1+0,1)^2} + \frac{607371,54}{(1+0,1)^3} + \frac{607371,54}{(1+0,1)^4} + \frac{607371,54}{(1+0,1)^5} = 1750260,05 \text{ (грн.)}.$$

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{інв} \cdot ЗВ \text{ [грн]}, \qquad (4.17)$$

де $k_{інв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{інв}$ =2...5, приймаємо 2.

$$PV=2 \cdot 140629,17=281258,34 \text{ (грн).}$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$Е_{абс} = (ПП – PV) \text{ [грн]}, \qquad (4.18)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

Якщо $Е_{абс} \leq 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $Е_{абс} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Тоді

$$Е_{абс} = (1750260,05 – 281258,34) = 1469001,71 \text{ (грн.).}$$

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Оскільки $E_{абс} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів роботи може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій $E_в$. Для цього користуються формулою:

$$E_в = \sqrt[T_ж]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \qquad (4.19)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$T_ж$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_в = \sqrt[5]{1 + \frac{1469001,71}{281258,34}} - 1 = 0,44 = 44\%.$$

Далі, розрахована величина $E_в$ порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{мін}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \qquad (4.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні d = (0,23...0,27);

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина f = (0,05...0,2), але може бути і значно більше.

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Якщо величина $E_в > \tau_{мін}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

Спочатку спрогнозуємо величину $\tau_{мін}$. Припустимо, що за даних умов:

$$\tau_{мін} = 0,25 + 0,1 = 0,26=26\%.$$

Оскільки $E_в = 44\% > \tau_{мін} = 26\%$, то інвестора може бути зацікавлений у вкладенні грошей в дану наукову розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_в} \text{ [років].} \qquad (4.21)$$

Якщо $T_{ок} < 3…5$-ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

$$T_{ок} = \frac{1}{0,44} = 1,44 \text{ (років).}$$

Це свідчить про можливу доцільність фінансування даної наукової розробки.

4.5 Висновки

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на розробку нового технічного рішення, на його виробництво та впровадження, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Визначення капітальних витрат на розробку нового технічного рішення включало витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали і таке інше. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та 4 ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою. Термін окупності вкладених коштів у реалізацію наукового проекту становить $T_{ок}$=1,44 роки. Крім того відносна ефективність вкладень $E_{в}$=44% є більшою за мінімальну ставку дисконтування $\tau_{мін}$=26%, що може зацікавити у фінансуванні даної наукової розробки. Приведена вартість прибутків становить ПП=1750260,05грн.

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – «Удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК». При роботі на фрезерному верстаті по металу може спостерігатися наявність ряду шкідливих і небезпечних факторів, до яких відносяться:

- електрична напруга;
- дрібна металева стружка;
- відлітаючі шматочки металу;
- підвищена температура поверхні оброблюваних деталей та інструментів;
- високий рівень вібрації;
- рухомі частини машини та механізми, рухомі вироби, заготовки, матеріали;
- недостатнє освітлення робочої зони, наявність прямого та відбитого відблиску;
- надмірне забруднення повітря;
- підвищена напруга уваги.

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

5.1.1 Вимоги безпеки до робочого місця та обладнання

Загальні вимоги безпеки, які висуваються до металообробних верстатів, визначені державним стандартом, а додаткові вимоги, викликані особливостями їх конструкції та умов експлуатації, вказуються в нормативно-технічній документації на верстати.

До самостійної роботи на фрезерних верстатах мають допуск особи:

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

- досягли віку 18 років, мають обов'язковий періодичний медичний огляд при відсутності будь-яких медичних протипоказань для самостійної роботи на фрезерних верстатах;
- мають вищу або середню спеціальну освіту, пройшли спеціальне навчання або мають відповідний досвід роботи на фрезерних верстатах;
- пройшли вступний інструктаж з електробезпеки з присвоєнням III групи допуску;

Захисні пристрої, огороджуючі зону обробки, повинні захищати працюючого від стружки і змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР). Конструкція захисних пристроїв не повинна обмежувати технологічних можливостей верстата і викликати незручності при роботі, прибиранні, налагодженні, а при відкриванні — не забруднювати підлогу змащувально-охолоджувальною рідиною. У всіх випадках кріплення захисних пристроїв повинно бути надійним і не допускати самовідкривання.

Автомати та напівавтомати обладнають автоматичним блокуванням, що не допускає включення робочого циклу при відкритому захисному кожусі, якщо це може призвести до травмування. Поверхні захисних кожухів, як і самих верстатів, органів управління, верстатних приладдя і пристосувань, не повинні мати гострих країв і задирок, які можуть травмувати працюючого.

Оглядові вікна в захисних пристроях (екранах) повинні виготовлятися з прозорого спеціального матеріалу в кілька шарів загальною товщиною не менше 10 мм.

Пруткові токарні автомати і пруткові револьверні верстати слід по всій довжині прутків оснащати огородженнями, що мають шумопоглинаючі пристрої.

5.1.2 Електробезпека

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки [20]. Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою.

Безпечні умови електробезпеки в робочому приміщенні потрібно підтримувати режимом вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°С. Виконати необхідні заходи у вигляді захисного занулення і заземлення.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови виробничих приміщень (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042−99) можна оцінювати за сукупністю таких факторів, як температура (t, °С), відносна вологість (φ, %), швидкість руху повітря (V, м/с) та величина інтенсивності теплового опромінення (Е, Вт/м2).

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови − поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [21]. Допустимі мікрокліматичні умови − поєднання параметрів

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [21].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму [22].Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105−140 Вт (90−120 ккал/год.) − категорія Іа та 141−175 Вт (121−150 ккал/год.) − категорія Іб. До категорії Іа належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Іб належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо категорію робіт, як Іб. Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [22].

Допустимі параметри мікроклімату наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, *X*
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

Необхідно обладнати виробниче приміщення необхідними кліматичним приладами. Вжити заходів з енергоефективності будівлі.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

5.2.2 Склад повітря робочої зони

При виконанні даного виду робіт існує небезпека виділення шкідливих речовин у повітря та надлишку пилу, тому потрібен контроль за складом повітря робочої зони та при збільшенні допустимих норм проводити заходи, щодо усунення надлишку шкідливих речовин.

Необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану; не нехтувати регулярним прибиранням робочого приміщення. Обов'язково проводити роботи в засобах індивідуального захисту:

- працювати на фрезерному верстаті виключно при включеній витяжній вентиляції, у захисних окулярах;
- встановлюючи на верстат оброблювану деталь і пристосування, почистити їх від стружки і масла;
- добре почистити дотичні базові та кріпильні поверхні для забезпечення правильної установки та міцності кріплення;

5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [24] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.2:

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Таблиця 5.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО,%			
						Штучне освітлення		Природнє освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

Необхідно вчасно замінювати лампи та світильники, що вийшли з ладу та слідкувати за чистотою скла вікна.

5.2.4 Виробничий шум

Звук або шум виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. Звуки, що передаються будівельними конструкціями, називаються структурними, а ті що поширюються у повітряному середовищі, прийнято називати повітряним шумом. Будь-який небажаний звук називають шумом. Шум шкідливий для здоров'я, зменшує працездатність, підвищує рівень небезпеки. Тому необхідно передбачати заходи захисту від шуму. А для цього потрібно володіти відповідними знаннями. Як правило, шум нас дратує: заважає працювати, відпочивати, думати. Але шум може впливати і позитивно. Такий вплив на людину чинить, наприклад, шелест листя дерев, помірний стукіт дощових крапель, рокіт морського прибою. Позитивний вплив спокійної приємної музики відомий з давніх часів. Тому

різноманітні оздоровчі процедури супроводжуються спокійною симфонічною або блюзовою музикою.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [24]. За цими нормами рівень шуму не може перевищувати 65 Дб.

Оскільки при виконанні робіт шум може перевищувати нормовані значення в 2 рази, пропонуються такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією: зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя (пластмаса, гума, деревина та ін), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.; зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання; зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

5.2.5 Електромагнітні випромінювання

Електромагнітні поля мають потужний вплив на людський організм. Вони негативно впливають майже на усі системи організму. Тому треба створювати певні методи захисту від їх дії. Найпоширенішими з таких методів є такі:

- зменшення щільності потоку енергії, якщо дозволяє даний технологічний процес або обладнання.
- захист часом (тобто обмеження часу знаходження у зоні джерела ЕМП).
- захист відстанню.
- екранування робочого місця чи джерела.
- раціональне планування робочого місця.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

- застосування засобів попереджувальної сигналізації.

- застосування засобів особистого захисту.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал, який знаходиться у зоні дії деяких радіоелектронних засобів необхідним є ряд захисних заходів: організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні.

На етапі проектування взаємне розміщення об'єктів має бути забезпечено таким чином, щоб інтенсивність опромінення була мінімальною. Також треба заздалегідь попіклуватися про зменшення часу перебування персоналу у зоні опромінення. Потужність джерел випромінювання повинна бути найменшою з можливих.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори небезпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Небезпечні та шкідливі психофізіологічні виробничі чинники залежно від характеру дії поділяють на такі групи:

– фізичні перевантаження (статичні, динамічні);

– нервово-психічні перевантаження (розумові перевантаження, перевантаження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження)

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [25].

Оптимальні умови праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Організація і проведення радіаційного і хімічного захисту

Відповідно до положень Закону України “Про правові засади цивільного захисту” радіаційний і хімічний захист включає виявлення вогнищ радіаційного і хімічного забруднення та проведення його оцінки, організацію та здійснення дозиметричного і хімічного контролю, забезпечення засобами радіаційного і хімічного захисту, запровадження режимів радіаційного захисту, організацію та проведення спеціальної та санітарної обробки.

Радіаційний і хімічний захист забезпечується шляхом здійснення таких заходів: завчасне накопичення і підтримання в постійній готовності засобів радіаційного та хімічного захисту, обсяги і місця зберігання яких визначаються диференційовано відповідно до зон можливого ураження; своєчасне

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

впровадження засобів, способів і методів виявлення та оцінки масштабів і наслідків аварій, руйнувань на РНО і ХНО; створення уніфікованих засобів захисту, приладів радіаційної, хімічної розвідки та дозиметричного контролю; надання населенню можливості придбання в особисте користування засобів радіаційного та хімічного захисту; розроблення типових режимів радіаційного захисту населення і функціонування об'єктів в умовах радіоактивного забруднення місцевості; завчасне обладнання РНО і ХНО засобами для проведення спеціальної обробки одягу, майна і транспортних засобів, а також санітарної обробки населення, постраждалого внаслідок НС; розроблення загальних критеріїв, методів та методик спостережень щодо оцінки радіаційної та хімічної обстановки.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) було удосконалено конструкцію фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК шляхом імітаційного моделювання, що забезпечило необхідний запас міцності елементів конструкції.

Під час роботи над першим розділом МКР було проведено аналіз фізико-механічних властивостей матеріалів. Проведено огляд конструкцій та параметрів сучасних фрезерних верстатів з ЧПК.

В другому розділі проведено аналіз конструкції прототипу фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. А також описано електроніку системи керування та схему її підключення на основі Arduino UNO.

В третьому розділі розглянуто рекомендації по підбору параметрів для режимів різання різних матеріалів на фрезерно-гравірувальному верстаті з ЧПК. Зроблено підбір 2 варіанти режимів різання для різних матеріалів з різними шпинделями в 0,3 та 1,5 кВт. Проведено розрахунок покращення продуктивності роботи в 20 – 37,78% за рахунок використання шпинделя 1,5кВт замість 0,3кВт. Покращення продуктивності дає збільшення витрат майже в 60%, однак за рахунок економії часу в 20-24 хв на обробку ми затрачаємо 5-15 копійок, тому такі витрати є доцільними. Виконано статичний аналіз на міцність конструкції фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Встановлено, що найменший запас міцності припадає на голову шпинделя, і він становить 1,87. Знайдено залежність максимального зміщення елементів основи верстата, за рахунок дії сил різання, від позиціонування стола верстата. Найбільше значення при модифікації перемичок основи верстата, виробами з матеріалу фенол-формальдегідної смоли, становить 0,0517 мм. Це значення в подальшому можна враховувати для корекції параметрів різання. Також рекомендовано замінити матеріал стойки портала з алюмінієвого сплава на матеріал на основі фенол-формальдегідної смоли. Розроблено конструкторську

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

документацію на фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК потужністю 1,5 кВт. Розроблено креслення та тривимірна деталі «Стойка портала».

Четвертому розділ МКР розраховано економічну доцільності виготовлення виробу в якому зазначено, що річний прибуток виробника складе більше 1750,26 тисяч грн з терміном окупності за 1,44 роки.

В останньому розділі МКР розкрито питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Проаналізовано всі умови праці присутні на дільниці механічної обробки, включаючи: виробничу санітарію, пожежну безпеку, освітлення, шум і т.д., а також дія іонізуючих та електромагнітних випромінювання на електронні та електричні системи.

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Онофрейчук Н.В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням: підручник. Львів: Світ, 2019. 352 с

2. Стискін Г.М., Ревнівцев М.П., Берізко М.М., Гаєвський В.Д. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів : Видавництво «Оріяна-Нова», 2002. 207 с.

3. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах / Г.М. Стискін, М.П. Ревнівцев, В.В. Томашенко, М.М. Берізко. К.: Техніка, 2005. 512с.

4. Фрезерні верстати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/36360/tovaroznavstvo/frezerni_verstati

5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів: у 2-х кн. Книга 1 -Львів, 2002. — 264 с.

6. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник. Київ : Літера ЛТД, 2019. 224 с.

7. Технологія конструкційних матеріалів. /М.А.Сологуб, І.О.Рожнецький, О.І.Некоз та ін. // Під ред. М.А.Сологуба. — 2 вид., виправ, та доп.: Підручник для студентів механічних спеціал. Вищих навч. закл. — К.: Вища шк., 2001. — 274 с.

8. Металорізальні інструменти [Текст] : навч.посіб. / С.В. Швець. - Суми: СумДУ, 2019. - 272 с.

9. Інструменти з надтвердих матеріалів / Під ред. М.В. Новікова – Київ: ІНМ НАНУ, 2001. -528 с.

10. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с.

11. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.

12. Жорнік Н.І. Діяльність науково-технічної школи професора М.Ф.Семка у контексті розвитку науки про різання матеріалів в Україні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.28.01 / Н.І. Жорнік ; Харк. націон. техн. ун-т «ХПІ». – Харків, 2005. – 20 с.

13. Каталог сайту: «Máquina de grabado CNC 3018 Plus mejorada, Control GRBL con husillo de 300/500W, enrutador de madera CNC, corte, grabador láser de fresado Pcb» Інтернет ресурс: https://es.aliexpress.com/i/1005001475089229.html?gatewayAdapt=glo2esp

14. Матеріали в техніці [Текст]: навч. посіб. / Ю. В. Дзядикевич. - Т. : Економічна думка, 2009. - 204 с.

15. ARDUINO UNO REV3 [Електронний ресурс] – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3.

16. Покращення фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача за допомогою CAD/CAE-систем / Барановський А. Д., Гуцалюк А. М., Василишен Б. В., Піонткевич О. В. // Матеріали LI Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2022), Вінниця. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15983.

17. Пупань Л.І. Лазерні технології у машинобудуванні : навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 109 с.

18. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О. Лазерна поверхнева обробка матеріалів: монографія. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.

19. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

20. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.energiy.com.ua/PUE.html

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

21. НАКАЗ від 16.10.2013 № 749 Про затвердження Правил охорони праці під час холодного оброблення металів. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1871-13#Text

22. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972

23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

25. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТКИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: *Удосконалення конструкції фрезерного верстата з ЧПК*

Тип роботи: *магістерська кваліфікаційна робота*

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ *Кафедра технологій та автоматизації машинобудування*

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Піонткевич Олег Володимирович, к.т.н.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	**98,8**
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	**1,2**

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення с недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____ *Барановський А. Д.*

(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку *Сердюк О.В.*

(прізвище, ініціали)

Експерт _____ д.т.н., проф. зав.кафедри Козлов Л.Г.

(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

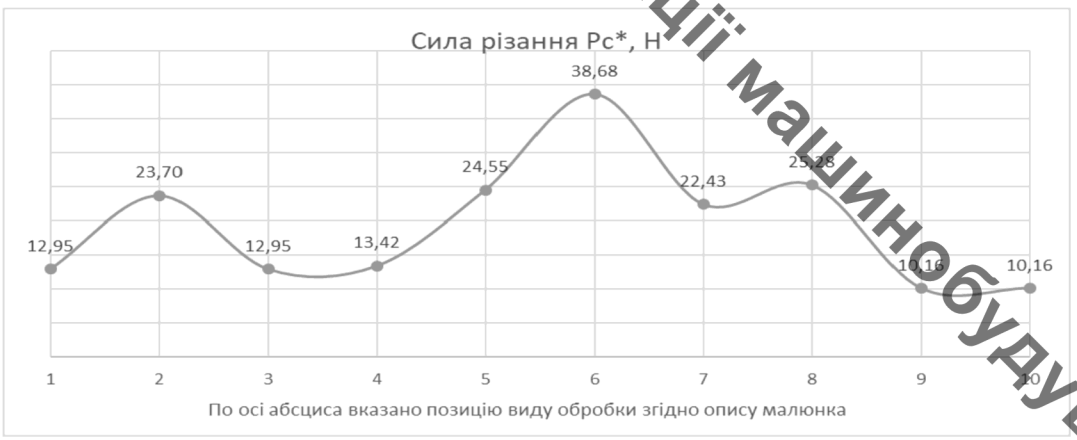
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

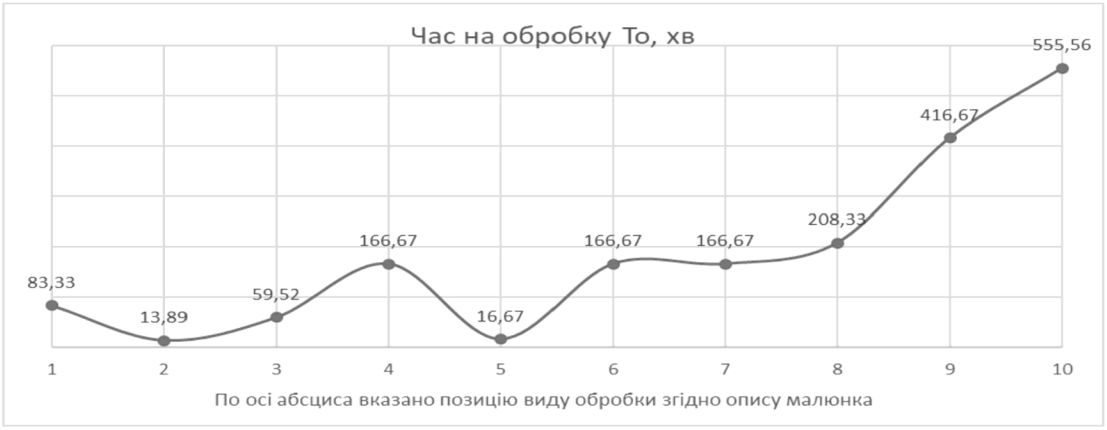
РЕЗУЛЬТАТИ ПІДБОРУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ШПИНДЕЛЯ 300 ВТ

За допомогою аналітичних формул розраховано режими різання (див. рис. Б.1 та табл. Б1) для обробки різних матеріалів на шпинделі 300 Вт. Підібрано параметри режимів різання (див. табл. Б.2).

а)



б)



в)

Рисунок Б.1 – Графіки режимів різання для різних матеріалів (нумерація згідно таблиць Б.1 та Б.2) під час обробки із шпинделем в 300 Вт

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування

Таблиця Б.1 – Рекомендовані режими різання під час фрезерування

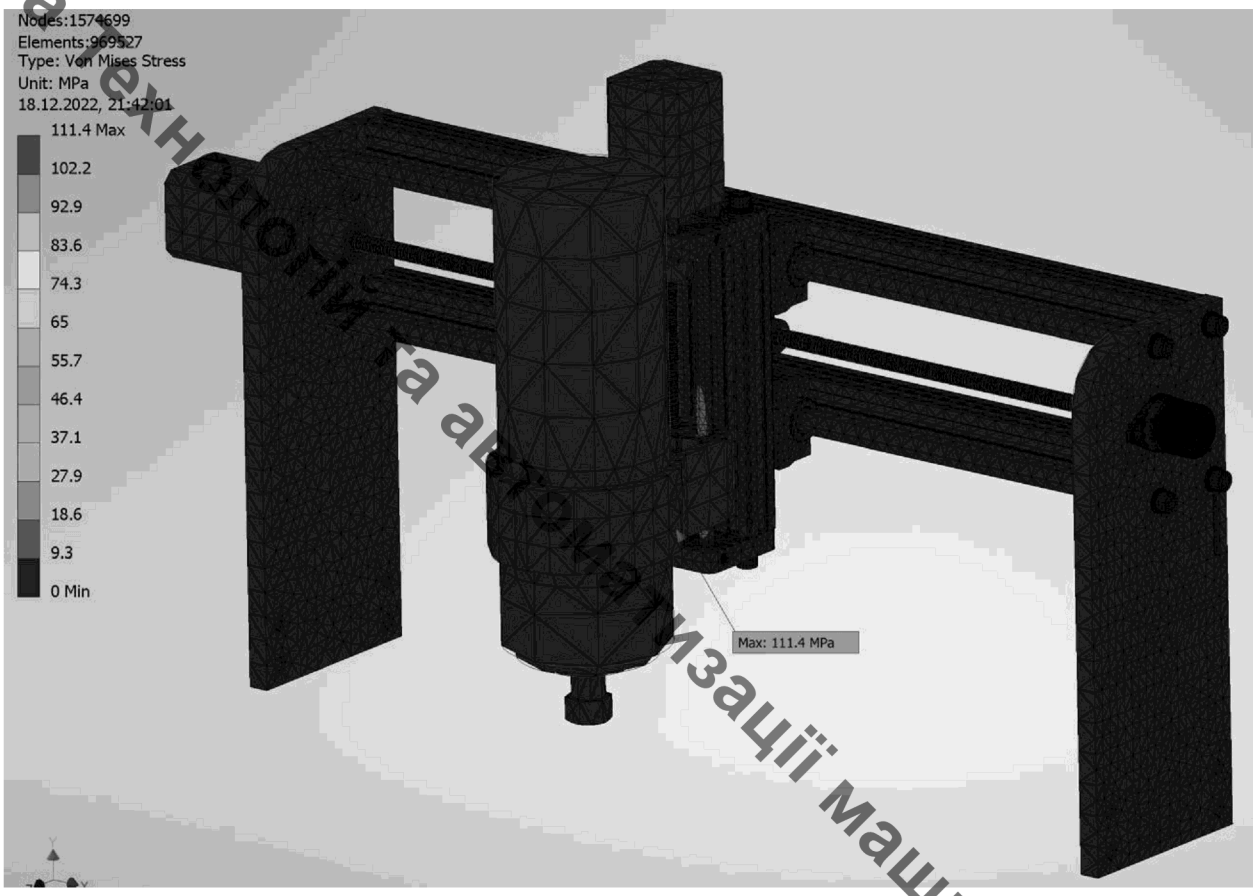
№	Матеріал	Вид обробки	Швидкість м/хв	Сила різання Pc*, Н	Потуж. кВт	Крутний момент Нм	Час на обробку, хв
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Акрил	Розкрій, вибірка	188,50	12,95	0,05	0,39	83,33
2	Акрил	Гравірування	99,75	23,70	0,05	0,38	13,89
3	Поліпропілен	Розкрій, вибірка	226,19	12,95	0,06	0,39	59,52
4	Дерево	Розкрій, вибірка	226,19	13,42	0,06	0,40	166,67
5	Дерево	Гравірування	99,75	24,55	0,05	0,39	16,67
6	Латунь	Фрезерування	75,40	38,68	0,06	0,39	166,67
7	Алюмінієвий сплав АД33	Розкрій, фрезерування	119,69	22,43	0,05	0,36	166,67
8	Алюмінієвий сплав В95	Розкрій, фрезерування	119,69	25,28	0,06	0,40	208,33
9	Титан	Фрезерування	29,92	10,16	0,01	0,16	416,67
10	AISI 304	Фрезерування	49,87	10,16	0,01	0,16	555,56

Таблиця Б.2 – Параметри режимів різання під час фрезерування

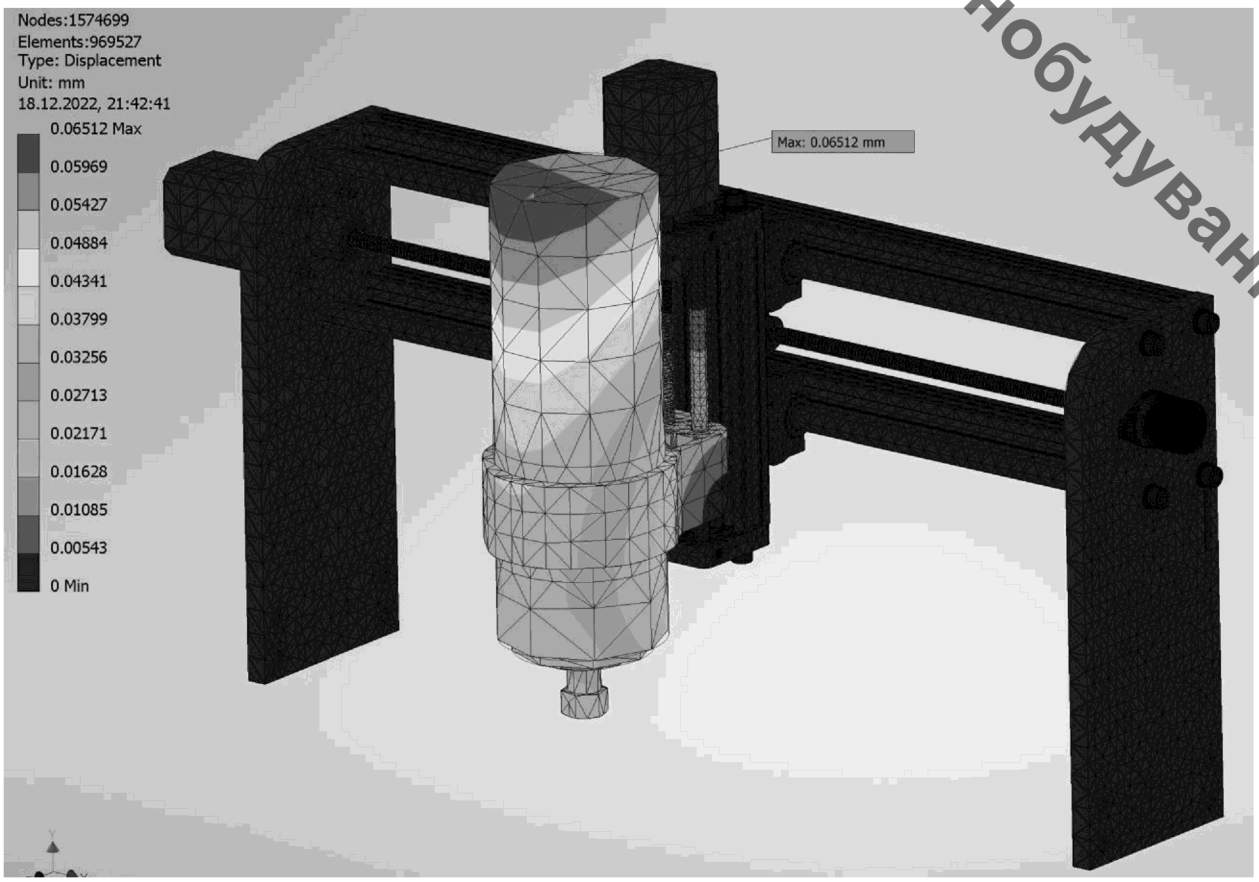
№	Матеріал	Вид обробки	Фреза D, мм	Частота об/хв	Глибина різання мм	Подача мм/с	Кількість зубів	Міцність МПа	Шлях обробки мм
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Акрил	Розкрій, вибірка	6	10000	1,2	0,1	1	70	500
2	Акрил	Гравірування	3,175	10000	0,4	0,6	1	70	500
3	Поліпропілен	Розкрій, вибірка	6	12000	0,1	0,14	2	300	500
4	Дерево	Розкрій, вибірка	6	12000	1	0,05	2	87	500
5	Дерево	Гравірування	3,175	10000	0,4	0,5	1	87	500
6	Латунь	Фрезерування	2	12000	0,5	0,05	2	585	500
7	Алюмінієвий сплав АД33	Розкрій, фрезерування	3,175	12000	1,2	0,05	1	265	500
8	Алюмінієвий сплав В95	Розкрій, фрезерування	3,175	12000	0,8	0,04	1	560	500
9	Титан	Фрезерування	3,175	3000	0,4	0,02	1	900	500
10	AISI 304	Фрезерування	3,175	5000	0,6	0,015	1	800	500

Кафедра технології автоматизації машинобудування

ПРОМІЖНІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРИКЛАДНІЙ ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR

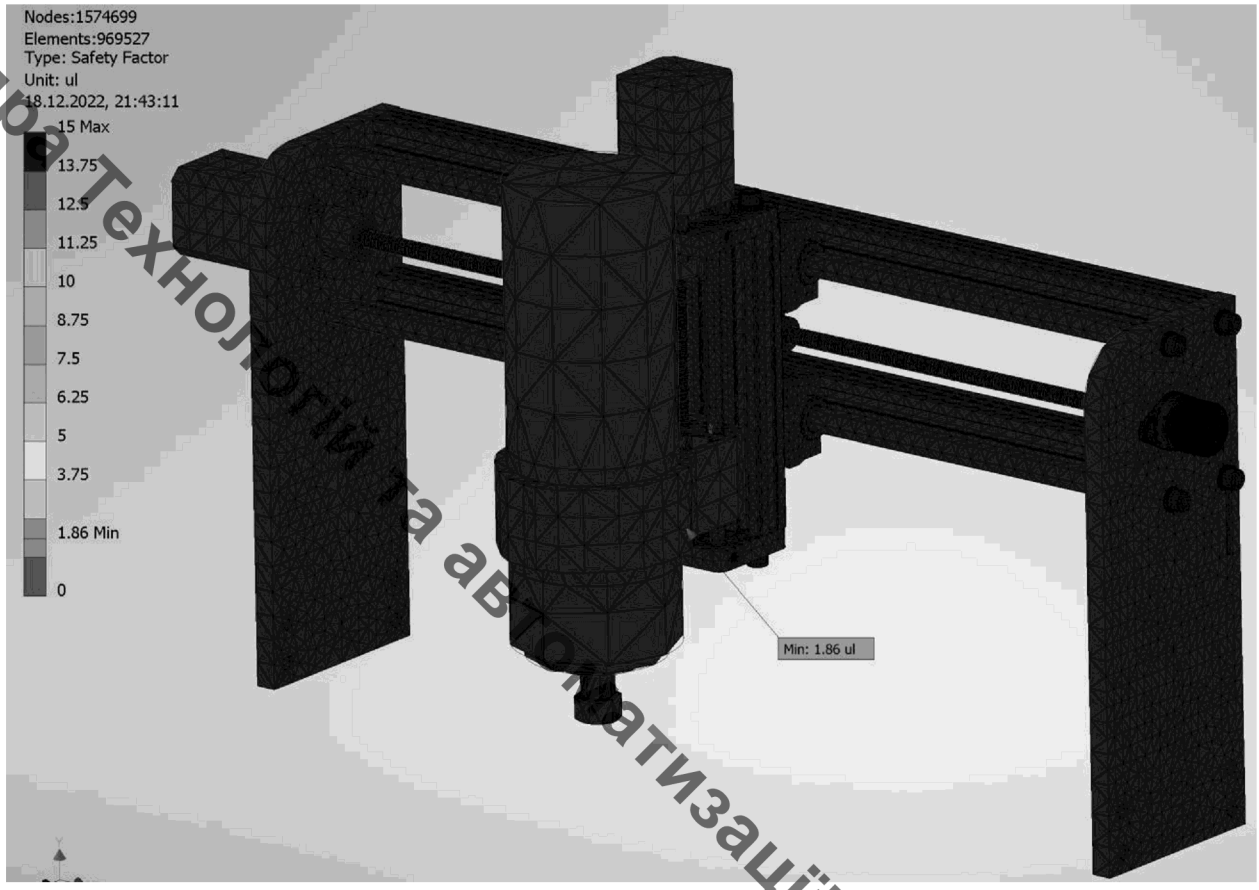


а)



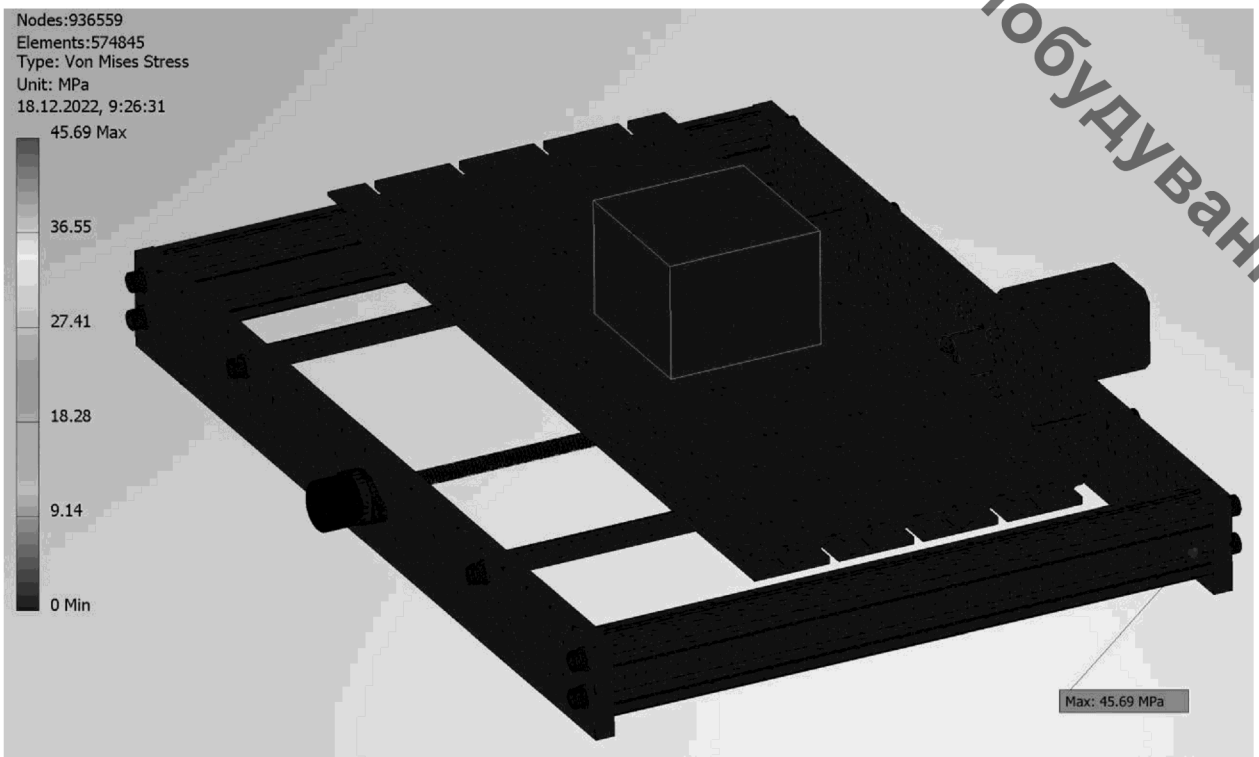
б)

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



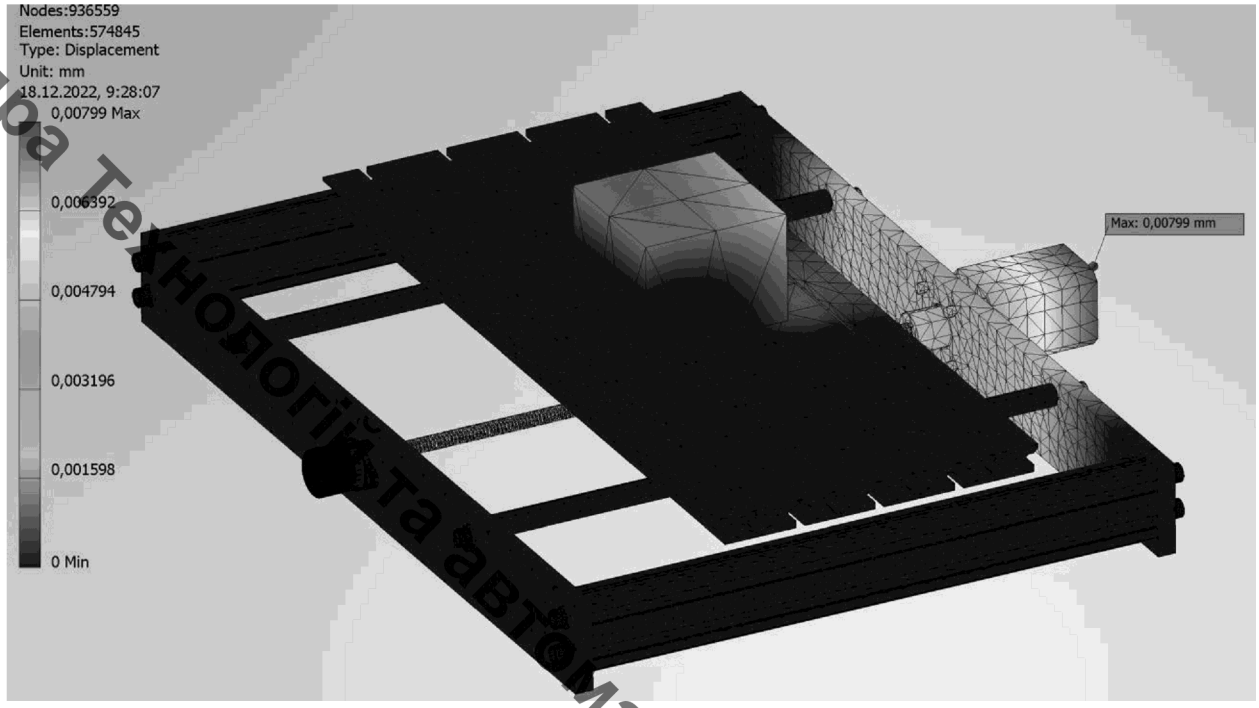
в)

Рисунок Б.2 – Напруження по Мізесу, деформація та коефіцієнт запасу міцності для голови шпинделя, що розміщена на порталі з алюмінієвими стойками

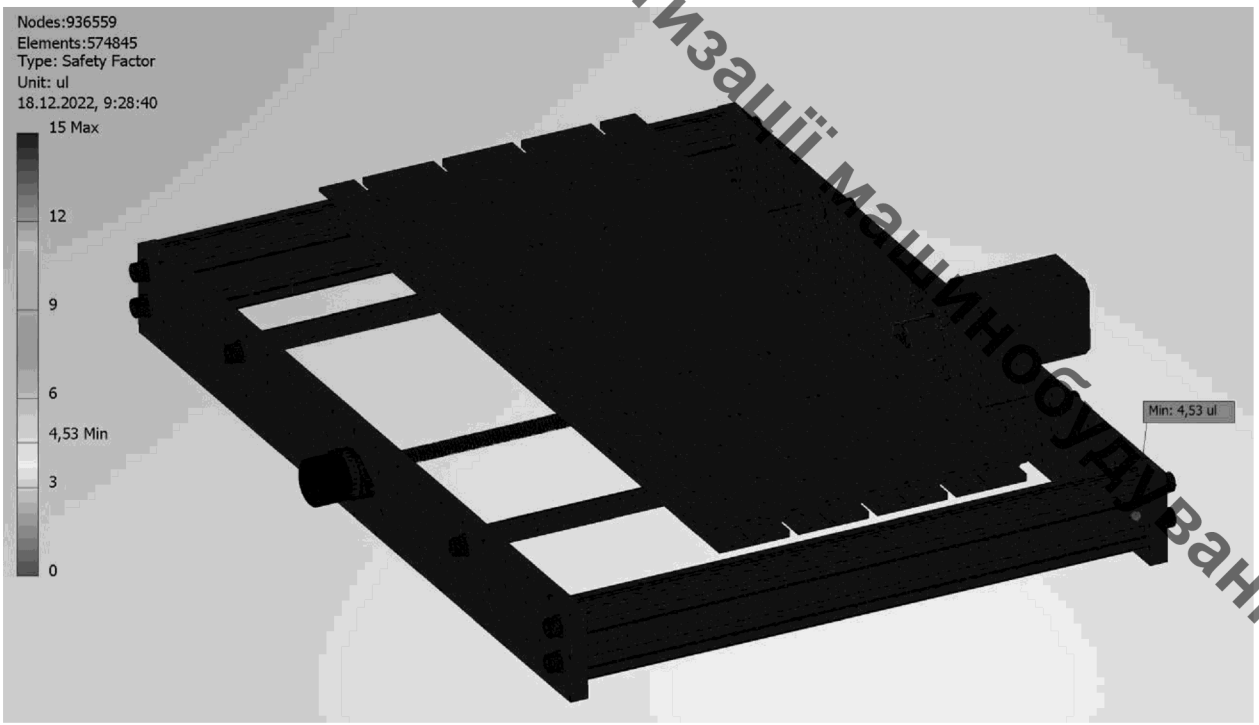


а)

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування



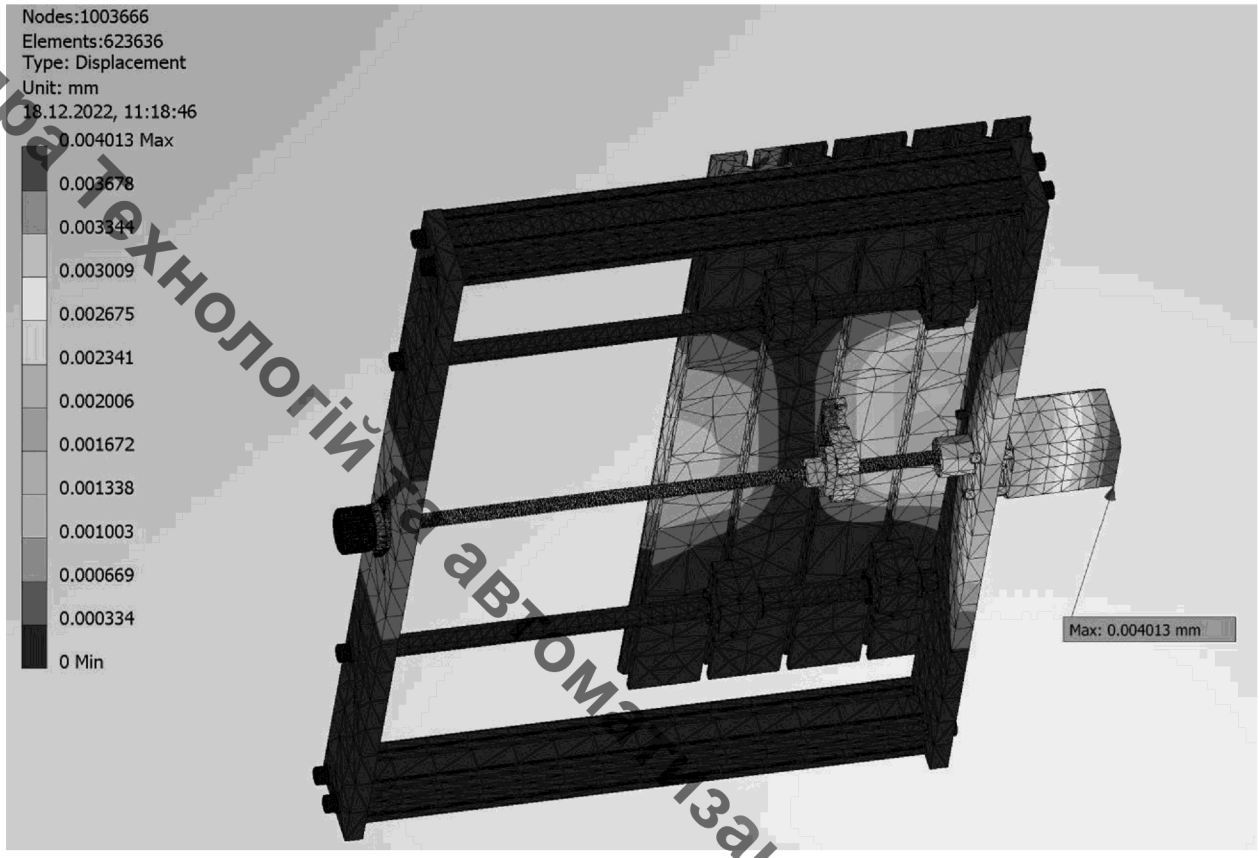
б)



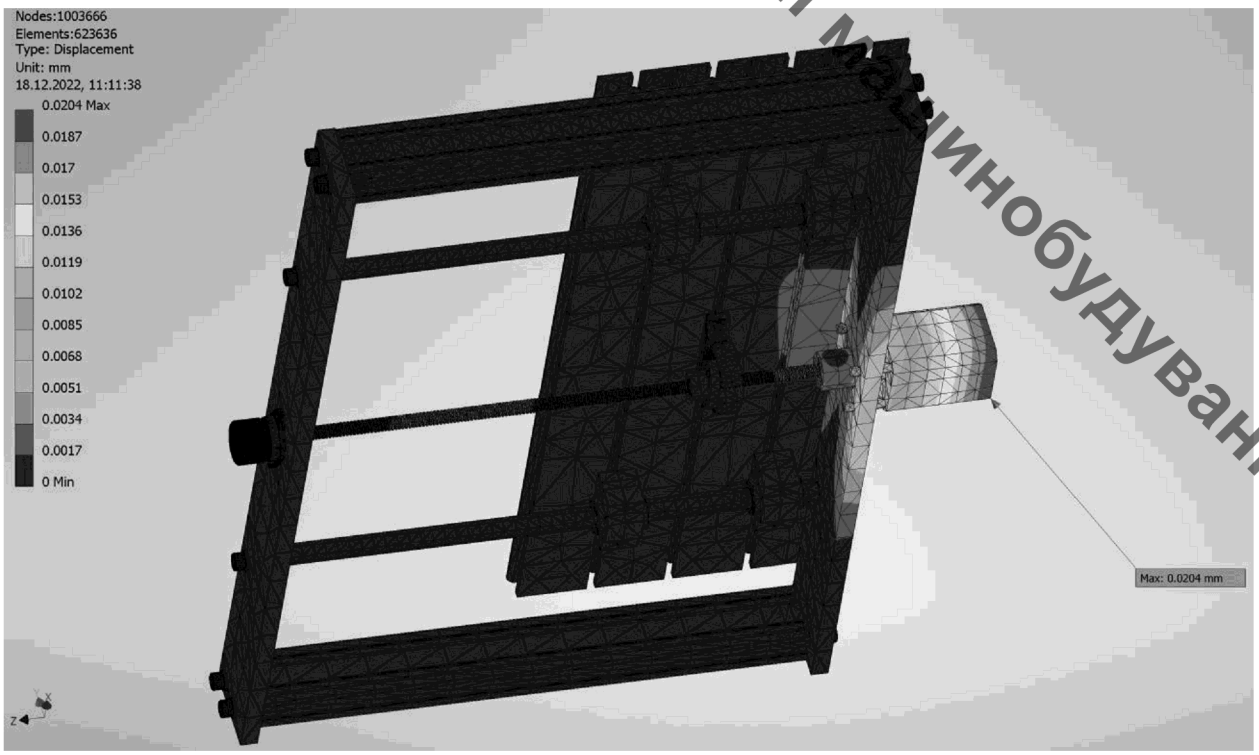
в)

Рисунок Б.3 – Напруження по Мізесу, деформація та коефіцієнт запасу міцності для основи верстата з алюмінієвими перемичками в якого стіл перетинає середину повздовжньої подачі

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування



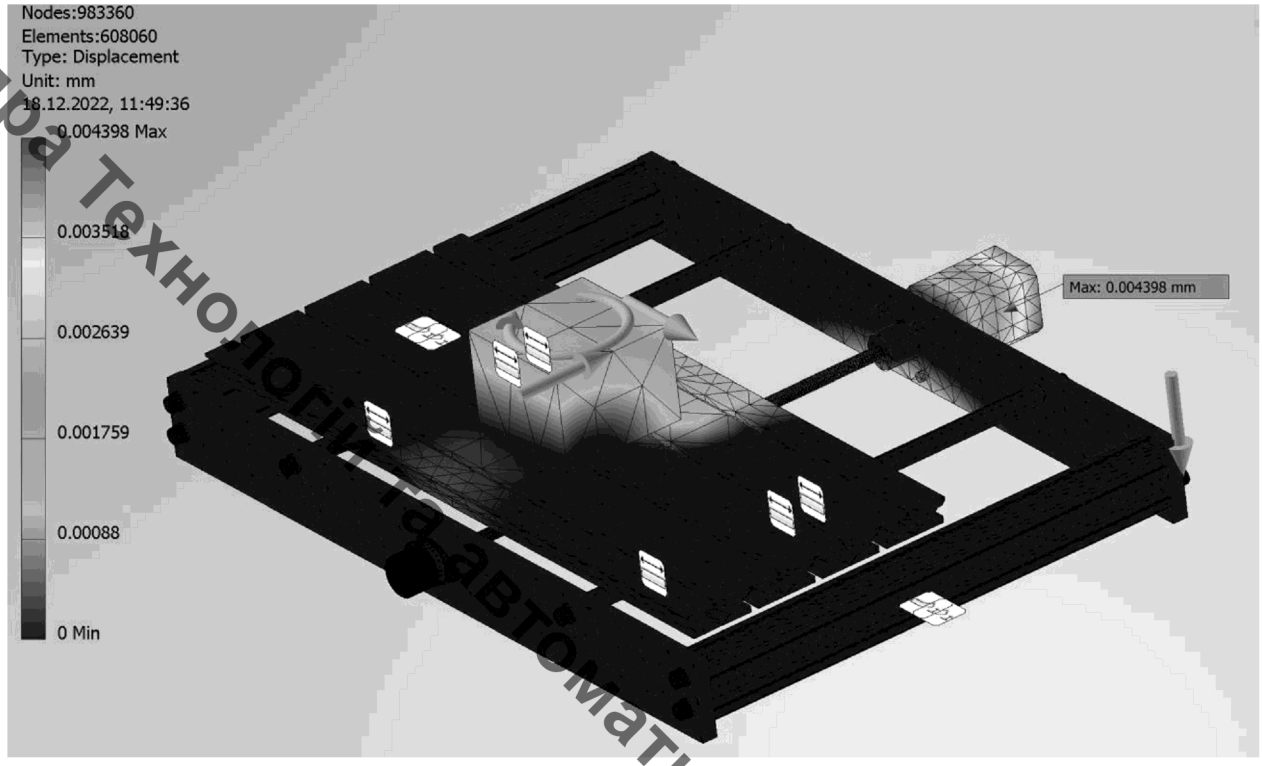
а)



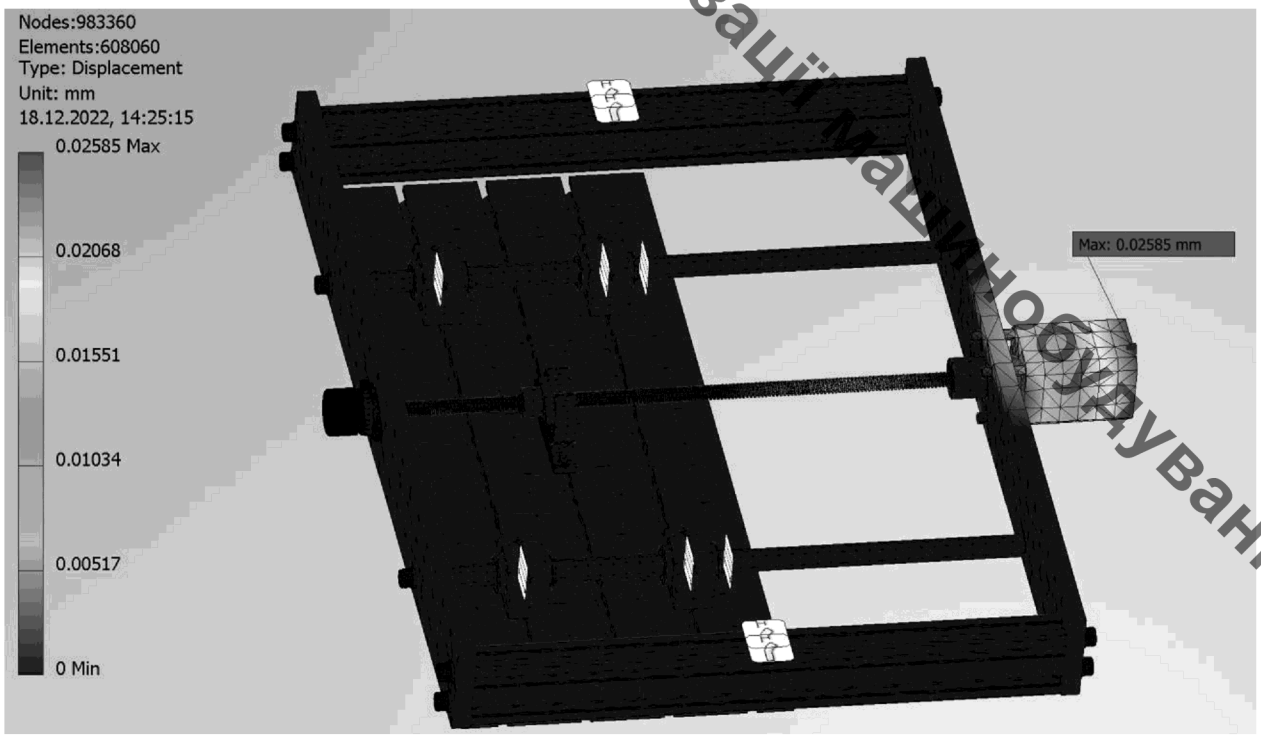
б)

Рисунок Б.4 – Деформація елементів основи верстата з алюмінієвою а) та фенол-формальдегідну б) перемичками в якого стіл знаходиться на початку руху повздовжньої подачі

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

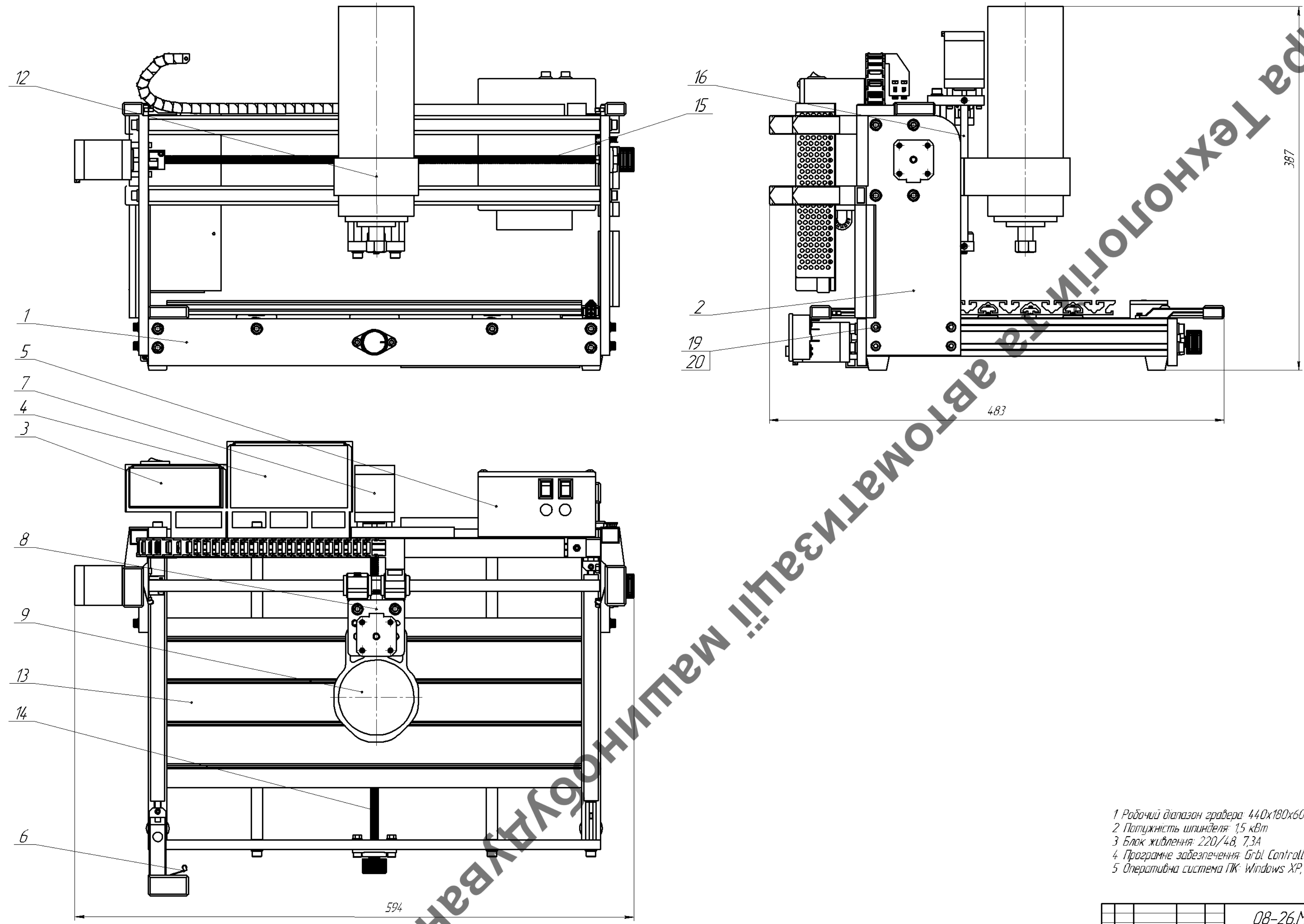


а)



б)

Рисунок Б.5 – Деформація елементів основи верстата з алюмінієвою а) та фенол-формальдегідну б) перемичками в якого стіл знаходиться на кінці руху повздовжньої подачі



1 Робочий діапазон гравера: 440х180х60 мм
2 Потужність шпинделя: 1,5 кВт
3 Блок живлення: 220/48, 7,3А
4 Програмне забезпечення: Grbl Controller, MATH3, ArtCam
5 Оперативна система ПК: Windows XP, Win7, Win8, Win10

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	08-26.МКР.002.00.000 СК			
Розроб.		Барзновський		12.12	Фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК. Складальне креслення	Літ. Н	Маса 37,76	Масштаб 1:2
Перев.		Піонткевич		12.12		Лист	Листів 1	
Т.контр.								
Н.контр.		Сердюк		14.12		ст. гр. 1ПМ-21м		
Затв.		Козлов		16.12				

Копіював Формат А1

08-26.МКР.002.00.000 СК

Інв. № подл. | Підп. і дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підп. і дата | Справ. № | Перв. примен.

Кафедра Технології та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
A4			08-26.МКР.002.00.000.ПЗ	Пояснювальна записка		
				Сборочные единицы		
		1	08-26.МКР.002.01.000 СК	Основа верстата	1	
		2	08-26.МКР.002.02.000 СК	Портал верстата	1	
		3	08-26.МКР.002.03.000 СК	Блок живлення S-250-24	1	
		4	08-26.МКР.002.04.000 СК	Драйвера крокових двигунів TMC2208	1	
		5	08-26.МКР.002.05.000 СК	Плата керування з кнопками	1	
		6	08-26.МКР.002.06.000 СК	Кінцевий вимикач	2	
		7	08-26.МКР.002.07.000 СК	Крековий двигун NEMA 23	3	
		8	08-26.МКР.002.08.000 СК	Голова шпинделя	1	
		9	08-26.МКР.002.09.000 СК	Шпиндель SQD80-1.5E6-24K	1	
				Детали		
		12	08-26.МКР.002.00.012	Тримач шпинделя	1	
		13	08-26.МКР.002.00.013	Робочий стіл 440x180x60 мм	1	
		14	08-26.МКР.002.00.014	Ходовий гвинт основи	1	
		15	08-26.МКР.002.00.015	Ходовий гвинт портала	1	
		16	08-26.МКР.002.00.016	Ходовий гвинт голови	1	

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Барановський		12.12
Пров.		Піонткевич		12.12
Н.контр.		Сердюк		14.12
Утв.		Козлов		16.12

08-26.МКР.002.00.000

Фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК

Лит.	Лист	Листов
Н	1	2

ст. гр. 1ПМ-21м

Копировал

Формат А4

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Стандартные изделия		
		19		Винт М6-6gх10 ГОСТ 11738-84	8	
		20		Шайба А 6.37 ГОСТ 10450-78	8	

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

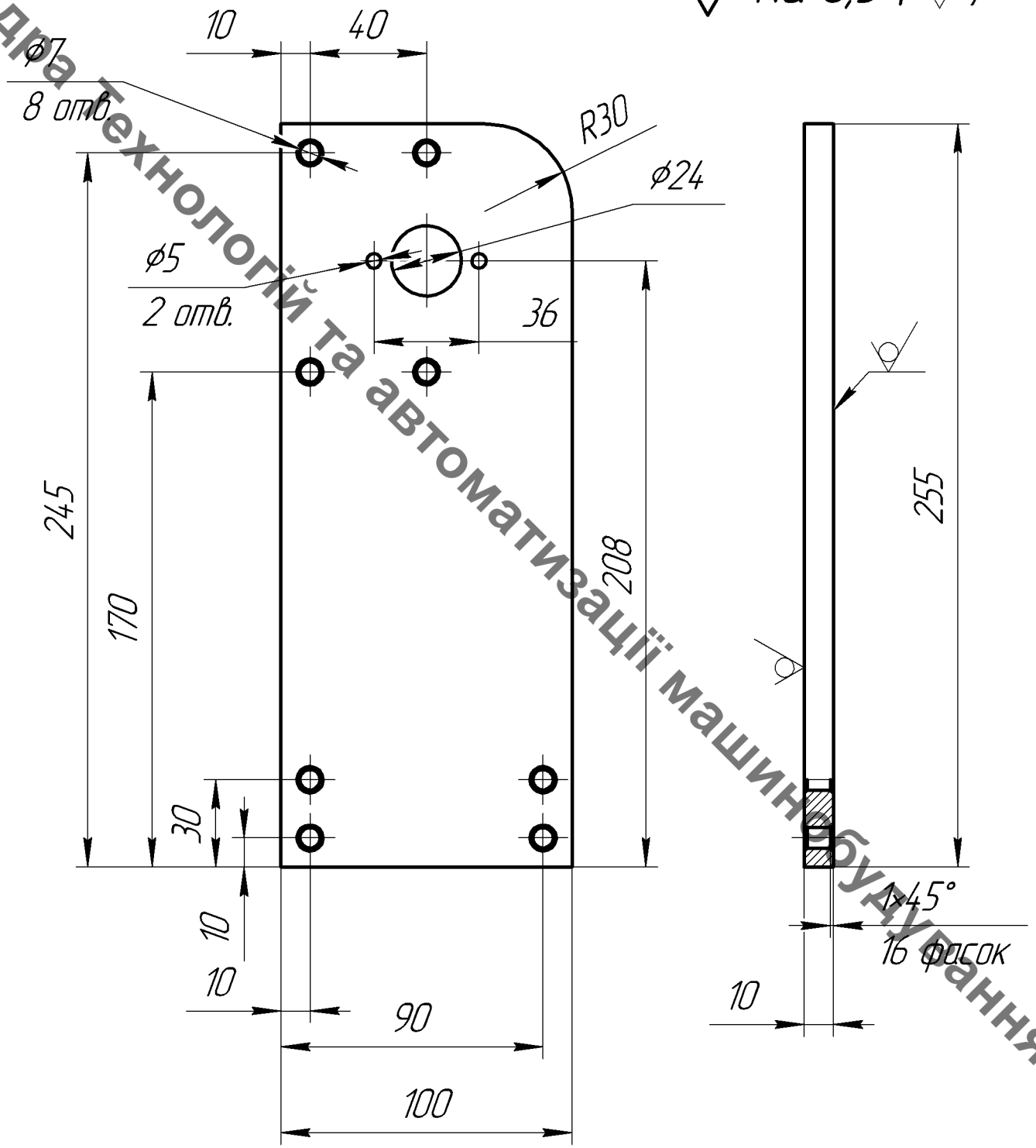
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08-26.МКР.002.00.000	Лист 2

Копировал Формат А4

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

08-26.МКР.002.02.001

Ra 6,3



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Барановський		12.12
Пров.		Піонткевич		12.12
Т.контр.				
Н.контр.		Сердюк		14.12
Утв.		Козлов		16.12

08-26.МКР.002.02.001

Стойка портала

Текстоліт ПТК-10,0 ГОСТ 2910-74

Лит.	Масса	Масштаб
	0,69	1:2
Лист	Листов 1	

ст. гр. 1ПМ-21м

Копировал

Формат А4

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.