

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Данильченко Ю.М.
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Технології комп'ютерного
конструювання верстатів, роботів та машин»**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Розробка несучої системи гравіювального верстату з 4-мя
керованими осями»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи МВ-81мп

Михалевич Вячеслав Вячеславович _____

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович _____

Консультант з _____:

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Данильченко Ю.М.

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Михалевичу Вячеславу Вячеславовичу

1. Тема дисертації «Розробка несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями», науковий керівник дисертації д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження

Несуча система гравіювального верстату.

4. Вихідні дані

Забезпечення несучою системою 4 керовані рухи.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз конструкцій гравіювальних верстатів;
- 2) Конструювання несучої системи гравіювального верстату;
- 3) Технологічне забезпечення гравіювання деталі;
- 4) Розробка складових елементів несучої системи гравіювального верстату;
- 5) Економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Несуча система гравіювального верстату, Станина, Модуль поздовжнього лінійного переміщення, Модулі вертикального та поперечного лінійного переміщення, Обертний стіл.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Аналіз конструкцій гравіювальних верстатів		
	Конструювання несучої системи гравіювального верстату		
	Технологічне забезпечення гравіювання деталі		
	Розробка складових елементів несучої системи гравіювального верстату		
	Економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень		

Студент

Михалевич В.В.

Науковий керівник

Саленко О.Ф.

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Розробка несучої системи гравіювального верстату з 4-мя керованими осями _____

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
АННОТАЦІЯ.....	5
ANNOTATION.....	6
ВСТУП.....	7
АКТУАЛЬНІСТЬ.....	8
МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ	8
ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
ПРАКТИЧНА НОВИЗНА	9
АПРОБАЦІЯ РОБОТИ	9
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГРАВІЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ.....	10
1.1 Особливості процесу різання при гравіюванні. Використовуваний інструмент	10
1.2 Огляд існуючих гравіювальних верстатів	21
1.3 Типи несучих систем верстатів, основні складові.....	28
1.4 Проблеми забезпечення точності та сталості переміщень робочого органу гравіювального верстата.....	32
1.5 Висновки та постановка задач дослідження	33
2 КОНСТРУЮВАННЯ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ	35
2.1 Розробка вимог, що висуваються до несучої системи верстату з урахуванням вимог щодо точності та сталості процесу	35
2.2 Визначення технічних параметрів несучої системи.....	40

					МВ-8113мп.МД000.000.000.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Михалевич В.В.			Розробка несучої системи гравіювального верстату з 4-мя керованими осями	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Саленко О.Ф.				1	122	
<i>Н. Контр.</i>					КПІ ім. Ігоря Сікорського			
<i>Чтв.</i>								

ДОДАТОК 3 – НЕСУЧА СИСТЕМА ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ.....	116
ДОДАТОК 4 – СТАНИНА.....	117
ДОДАТОК 5 – МОДУЛЬ ПОЗДОВЖНЬОГО ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ	118
ДОДАТОК 6 – МОДУЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТА ПОПЕРЕЧНОГО ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ	119
ДОДАТОК 7 – ОБЕРТОВИЙ СТІЛ.....	120

АНОТАЦІЯ

Об'єктом проектування при виконанні магістерської дисертації є несуча система гравіювального верстату з 4-мя керованими осями.

При виконанні дисертації було виконано аналіз конструкції гравіювальних верстатів, визначення особливостей процесу різання при гравіюванні та використовуваний інструмент, розглянуті існуючі типи несучих систем верстатів та їх основні складові, проаналізовані проблеми забезпечення точності та сталості переміщень робочого органу гравіювального верстату.

Магістерська дисертація включає в себе розділи, в яких було виконано конструювання несучої системи гравіювального верстату, висунуто вимоги до несучої системи з урахуванням вимог щодо точності та сталості процесу, визначено її технічні параметри та робоча схема.

При розробці складових несучої системи верстату було визначено основні її складові, виконано вибір приводу руху, спроектована траверса та обертовий стіл, встановлено раціональні конструктивні рішення на основі моделювання динамічних процесів верстату та виконані розрахунки сполучених елементів та пристроїв.

Також дисертація вказує на економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці несучої системи.

Ключові слова – гравіювання, гравіювальний верстат, несуча система, обертовий стіл, траверса, моделювання динамічних процесів.

Мова – ук.

Автор: ст. гр. МВ-81мп Михалевич В.В., під керівництвом проф., д.т.н. Саленко О.Ф.

АННОТАЦИЯ

Объектом проектирования при выполнении магистерской диссертации является несущая система гравировального станка с 4-мя управляемыми осями.

При выполнении диссертации был проанализировано конструкции гравировальных станков, определены особенности процесса резания при гравировке и используемый инструмент, рассмотрены существующие типы несущих систем станков и их основной состав, проанализированы проблемы обеспечения точности и устойчивости перемещений рабочего органа гравировальных станков.

Магистерская диссертация включает в себя разделы, в которых было выполнено конструирование несущей системы гравировальных станков, выдвинуты требования к несущей системы с учетом требований точности и устойчивости процесса, определено ее технические параметры и рабочая схема.

При разработке составляющих несущей системы станка определили основные ее составляющие, выполнен выбор привода движения, спроектированная траверса и вращающийся стол, установлены рациональные конструктивные решение на основе моделирования динамических процессов станка и выполнены расчеты сопряжения элементов и пристройте.

Также диссертация указывает на экономическое обоснование принятых технических решений при разработке несущей системы.

Ключевые слова - гравировка, гравировальный станок, несущая система, вращающийся стол, траверса, моделирование динамических процессов.

Язык – ru.

Автор: ст. гр. МВ-81мп Михалевич В.В., под руководством проф., д.т.н. Саленко О.Ф.

ANNOTATION

The object of design during the master's dissertation is the bearing system of the engraving machine with 4 controlled axes.

The dissertation analyzed the design of engraving machines, determined the features of the cutting process during engraving and the tool used, considered the existing types of bearing systems of machines and their main components, analyzed the problems of ensuring the accuracy and stability of the working body of the engraving machine.

The master's dissertation includes sections in which the construction of the bearing system of the engraving machine was performed, the requirements for the bearing system were set taking into account the requirements for accuracy and stability of the process, its technical parameters, and working scheme were determined.

When developing the components of the machine bearing system, its main components were determined, the choice of the drive was made, the traverse and the rotating table were designed, rational design solutions based on modeling of dynamic machine processes were established and calculations of connected elements and devices were performed.

The dissertation also indicates the economic justification of the technical decisions made in the development of the bearing system.

Keywords - engraving, engraving machine, bearing system, rotating table, traverse, modeling of dynamic processes.

Language – en.

Author: st. gr. MV-81mp Mykhalevych V.V., under the guidance a Proff.,
Ph.d. Salenko O.F.

ВСТУП

Гравіювання - це, мабуть, один з найефектніших способів прикрасити будь-який предмет, надати йому дорожнечу і ексклюзивність. Такий найдавніший вид мистецтва і зараз користується попитом, причому чималим. Тільки не варто стереотипно думати, що він обмежується нанесенням напису на годинник і кільця. Гравіювання значно масштабніше. Їм прикрашають предмети меблів, дорогоцінні прикраси, декор будинку, вироби зі шкіри, ножі, замки і навіть чохла для телефона. І це тільки малий список того, з чим можна працювати гравіювальним приладом. [1]

Найбільш розповсюдженим гравіювальним приладом являється гравіювальний верстат, який може відрізнитись один від одного за конструктивними особливостями, типом різального елемента, вартістю та функціональними можливостями.

Існує безліч компаній-виробників, які виготовляють дані верстати (ALMAZ, Mirtels, Vector, ROUTER та ін.) з різноманітною технічною конфігурацією та широким діапазоном цін. З цього можна зробити висновок, що гравіювальні верстати користуються високою популярністю серед клієнтів.

Можливість верстату виконувати гравіювання застосовуючи при утворенні необхідне зображення більш ніж три координатні осі дає значну перевагу перед більшістю конкурентами. Такий верстат зможе виконувати більш складні операції за менший технологічний час. При цьому, для успіху на ринку такий верстат має входити в нішу таких машин, що дають змогу обробляти деталь тільки за допомогою трьох координатних осей.

Отже, аналізуючи вищесказане, існує ніша на ринку, яку можна заповнити за рахунок виготовлення більш функціонального верстату за розумну стосовно конкурентів ціну.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Гравіювальні верстати користуються великою популярністю серед виробників. Адже виготовлення виробів зі своїм унікальним дизайном позитивно сприймається споживачами. Навіть більше, споживачі готові платити більшу вартість за товар, якщо на ньому буде вигравіювано оригінальний вираз або зображення.

Розповсюдженість різноманітних компаній, що надають послуги по гравіюванню показує, що виготовлення таких верстатів є доволі прибутковим явищем в наші часи.

Для успішної конкуренції на ринку, необхідно створювати та запроваджувати більш функціональні прилади за доступну ціну.

Отже, створення несучої системи для гравіювального верстату з чотирма керованими координатними осями являється достатньо актуальною розробкою.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження магістерської дисертації являється удосконалення та пропозиція технічного рішення для виготовлення несучої системи з чотирма керованими координатними осями.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

До задач дослідження, що будуть вирішені в дисертації відносяться:

1. Аналіз конструкцій гравіювальних верстатів, до якого входять огляд особливостей процесу різання при гравіюванні, використовуваний інструмент, огляд існуючих гравіювальних верстатів, типи несучих систем верстатів та їх основні складові, проблеми забезпечення точності та сталості переміщень робочого органу гравіювального верстату;
2. Конструювання несучої системи гравіювального верстату, до якого входить розробка вимог до несучої системи верстату з

урахуванням вимог щодо точності та сталості процесу, визначення технічних параметрів несучої системи та вибір схеми несучої системи;

3. Розробка складових несучої системи, а саме вибір приводу руху, проектування траверси, розробка обертового стола, встановлення раціональних конструктивних рішень на основі моделювання динамічних процесів верстата та розрахунки сполучених елементів та пристроїв;
4. Економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження магістерської дисертації являється несуча системи гравіювального верстата з чотирма керованими координатними осями.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Предметом дослідження магістерської дисертації являється проектування складових несучої системи гравіювального верстату та моделювання динамічних процесів верстата.

ПРАКТИЧНА НОВИЗНА

Практичною новизною магістерської дисертації являється конструювання нового технічного рішення несучої системи гравіювального верстату з чотирма керованими координатними осями.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Виконано проектний розрахунок рішення несучої системи гравіювального верстату з чотирма керованими координатними осями, що може використовуватись при умові розробки решти комплектуючих верстату.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГРАВІЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

1.1 Особливості процесу різання при гравіюванні. Використовуваний інструмент

Гравіювання - один з найдавніших способів художньої обробки металів і деяких неметалічних матеріалів (кістки, дерева, каменю та ін.). Суть процесу гравіювання – нанесення лінійного малюнка або рельєфу на матеріал за допомогою інструментів. За багато тисячоліть свого існування гравіювання проникла в самі різні галузі виробництва, як художні (ювелірні прикраси, гравюри), так і чисто технічні, наприклад виробництво точних вимірювальних інструментів і приладів (нанесення поділок, градування і цифрування мікрометричних і ноніусних шкал і т. п.). [2]

В залежності від типу обробки розрізняють плоске та об'ємне гравіювання.

Художнє плоске двомірне гравіювання застосовується в ювелірній практиці для декорування поверхні виробу шляхом нанесення контурного візерунка, рисунка, портретних, композиційних або ландшафтних композицій, а також для виконання різноманітних надписів або шрифтових робіт. [3]



Рисунок 1.1 – Нанесення логотипів плоским гравіюванням [4]

Об'ємне тривимірне гравіювання – це спосіб, при котрому інструмент створюється рельєф або об'ємна скульптура із металу. Тривимірне гравіювання поділяється на випукле (позитивне), при котрому рисунок рельєфу вище фону, який заглиблений и знятий (рис. 1.2) та глибинне гравіювання (негативне), при котрому рисунок або рельєф зрізається всередину (рис. 1.3). [3]



Рисунок 1.2 – Барельєф, що виготовлений випуклим об'ємним гравіюванням [5]



Рисунок 1.3 – Вінчальні кільця, написи яких виготовлені глибинним об'ємним гравіюванням [6]

Застосовується об'ємне тривимірне гравіювання доволі часто для обробки поверхні виробу і отримання художніх творів, таких як ювелірні вироби, декоративні предмети і т.п. Крім того, способом об'ємного тривимірного гравіювання виготовляють інструменти та пристосування (пуансони, матриці для штампування, пресувальні форми для ливарного виробництва, кліше для друку, сітценокатні вали, багетні ролики, гравюри, естампи і т.д.). [3]

Існують наступні методи гравіювання:

1. Ручне гравіювання;
2. Механізоване гравіювання без видалення металу;
3. Механізоване гравіювання з видаленням металу;
4. Лазерне гравіювання.

Ручне гравіювання, найбільш важкий метод гравіювання, або як його зараз називають художнє гравіювання - технічно досить складний і особливий вид графічного мистецтва, що вимагає вміння малювати в найвищому ступені, вірної і твердої руки для проведення ріжучим сталевим інструментом по поверхні плавних ліній різної форми і по-різному поглиблених. Помилки в цьому способі гравіювання майже не виправити. Це складний і трудомісткий процес, що вимагає від виконавця великої витримки, майстерності і зосередженості. Декоративне оформлення та прикраса рядових предметів відбувається на підставі певних правил і законів образотворчого мистецтва: дотримання ритму, симетрії, гармонійного поєднання штрихів. Художник-гравер строго і лаконічно відтворює поетапний процес формування виїмок на металі різними прийомами, вибираючи найкращий напрямок систем ліній, змінюючи їх ширину, уникаючи при цьому занадто різких і явно лишніх елементів із загальної композиції візуально-графічні малюнків, штрихові написи і декоративні орнаменти, багатофігурні композиції, пейзажі і т.д. Готова робота відрізняється високими художніми достоїнствами і складається з чітких багатьох груп плавних, коротких, і довгих, більш-менш близьких до паралельності між собою ліній та по місцях перетину іншими лініями, від чого

відбувається виразні штрихи зображують собою розташування світлотіні на предметі. Маленькі квадрати, ромби, трапеції та інші форми іноді вміщують в собі додаткові, виразні штрихи для остаточного вироблення світлотіні. Цей вид гравіювання відрізняється своєю неповторністю і залишається затребуваним незважаючи на високу вартість. [7]



Рисунок 1.4 – Процес ручного гравіювання [8]

До механізованого гравіювання без видалення металу відносять алмазне гравіювання та фотогравірування.

Алмазне гравірування являє собою створення візерунків, орнаментів і малюнків шляхом створення поглиблень на поверхні скла за допомогою алмазного різця. Як інструмент виступає фреза - інструмент з декількома обертовими різцями. Вони проробляють в склі «борозни» V або U-форми глибиною до 3 мм, які потім поліруються і стають основою для геометричних орнаментів. Здійснюється гравірування на верстатах з ЧПК, в які закладається ескіз зображення, намальовані в графічному додатку на комп'ютері. Отримувані вироби відрізняються виразною об'ємністю і глибиною, тому вони особливо підкреслюють індивідуальність інтер'єру. Цей декоративний спосіб обробки скла є прекрасною альтернативою стандартним методом

виготовлення панно, при якому потрібний ескіз вручну збирається з певної кількості окремих плиток. Алмазне гравірування дозволяє наносити зображення на незбиране «полотно», імітуючи стики фацета. До того ж даний метод відмінно "прижився" в меблевій промисловості, де за його допомогою наносяться малюнки на дзеркало або матове скло. [9]

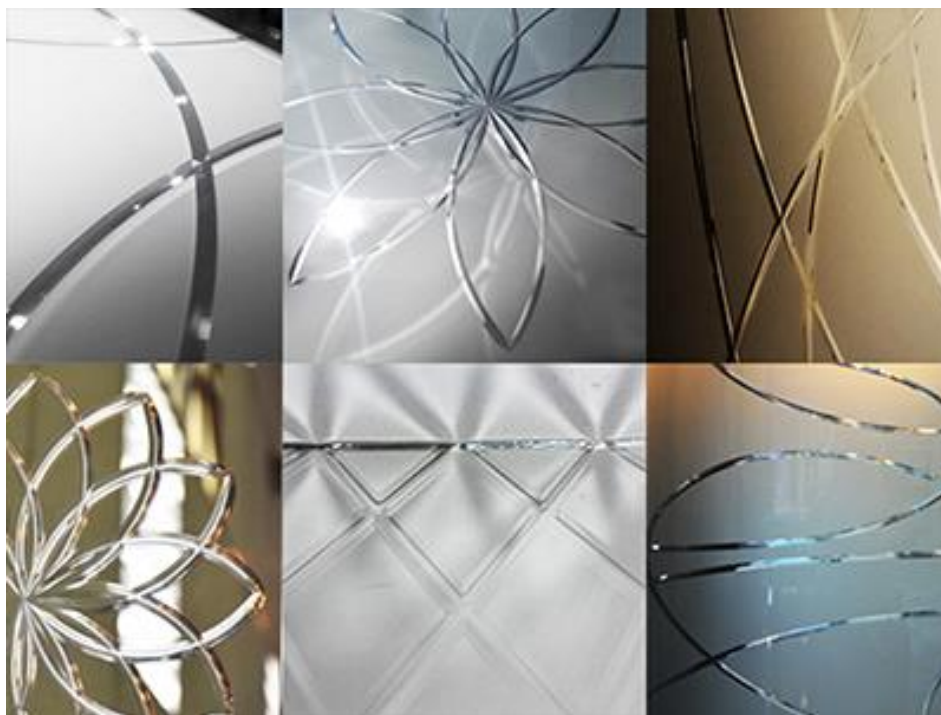


Рисунок 1.5 – Скляні вироби, оброблені алмазним гравіюванням [10]

Фотогравіюванням можна наносити зображення на основу з будь-яких матеріалів. Застосовують два способи – фотодрукований та фотохімічний.

Фотодрукований спосіб полягає в тому, що зображення з негативу шляхом світло копіювання переноситься на заготовку, що покрита фотоемульсією. Підготовлені заготовки укладають на копіювальну установку шаром емульсії вгору, на неї укладають виконані фотографічним способом негатив і включають освітлення. Після експонування заготівлі поміщають у ванну з розчином анілінової фарби на 1-2 хвилини. Пофарбовані заготовки виявляють в холодній воді. Неопромінені ділянки емульсії вимиваються і на поверхні заготовки залишається забарвлене зображення. [11]

Фотохімічний спосіб багато в чому аналогічний фотодрукованому, але відрізняється від нього тим, що можна отримати рельєфне зображення на заготовках з алюмінію, латуні або сталі. Процес нанесення малюнків і написів при фотохімічному способі складається з наступних операцій:

- підготовка поверхні заготовки;
- нанесення світлочутливої кислотостійкої емульсії;
- нанесення малюнка на емульсію шляхом світло копіювання;
- прояв малюнка;
- закріплення малюнка в муфельній печі при $t = 300-400\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- електрохімічне або хімічне травлення місць заготовок, не захищених кислото упорної емульсією;
- оздоблювальні операції і т.д. [11]



Рисунок 1.6 – Виріб, що виготовлений фотогравіюванням [12]

До механізованого гравіювання з видаленням металу відносять ручне гравіювання бор-машиною та гравіювання на верстатах з ЧПК за допомогою різця.

Особливості ручного гравіювання бор-машиною в значній мірі схожі з ручним гравіюванням. Інструмент працює шляхом зняття шару металу з поверхні виробу. Інструментом являється бор-машина, в котру закріплений інструмент – фреза, гравер і т.п. [13]



Рисунок 1.7 – Гравіювання бор-машиною [14]

Гравіювання на ЧПК верстатах - обробка матеріалу за допомогою верстатного обладнання, оснащеного числовим програмним керуванням. Прилади даного типу дозволяють виробляти складні вироби високої точності. Система ЧПК забезпечує автономну або напів-автономну обробку, при якій відсутня необхідність в контролі виробництва оператором. Особливість приладів даного типу полягає в можливості створення композиції практично будь-якої складності. Найчастіше вони використовуються при роботі з дерев'яними та металевими заготовками. Інструменти, за допомогою яких виконується обробка, називаються граверами. Вони дозволяють отримати малюнки поглибленого і опуклого типу. Також композиції можуть бути нанесені за допомогою вдавнених ліній. Менш популярним способом гравіювання є рельєфний штамп. При виготовленні складних орнаментів можуть бути використані кілька способів обробки. [15]

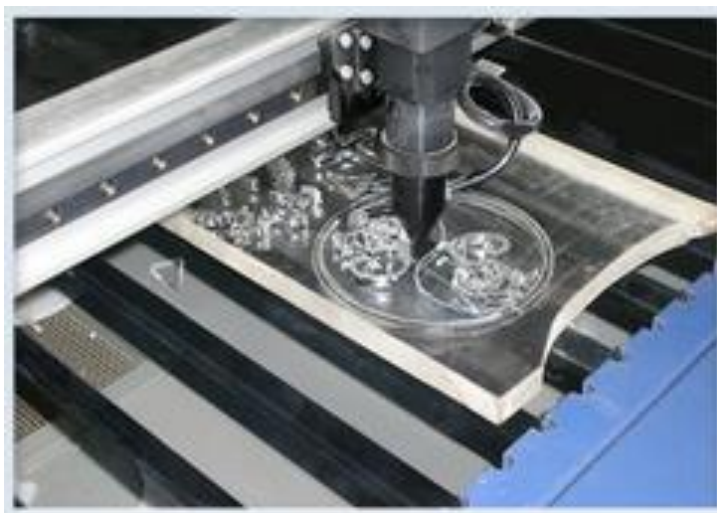


Рисунок 1.8 – Гравірування на ЧПК верстатах [16]

Лазерне гравіювання - це метод нанесення зображення на будь-яку роботу за допомогою сфокусованого лазерного променя. Як правило, це зображення має деяку глибину (рельєф), і в цьому полягає основна відмінність лазерного гравіювання від лазерного маркування. Лазерним гравіюванням часто називають саме зображення, отримане на виробі. Як правило, це логотипи, написи, будь-якої орнамент або малюнок. У лазері (лазерному верстаті) енергія від випромінювача передається через систему оптики або оптичного волокна на фокусуючу систему, де він набуває остаточну фокусування і потрапляє на матеріал. При цьому чим ближче відстань від лінзи до матеріалу, тим точніше і тонше може бути сфокусований промінь, і відповідно, лінії гравіювання. В процесі лазерного гравіювання знімається (випалюється, випаровується) верхній шар або кілька шарів за рахунок чого на поверхні матеріалу виникають поглиблення, поєднання яких дають необхідне зображення або напис. Глибина гравіювання залежить від обраної потужності джерела лазерного випромінювання, від фізичних властивостей оброблюваного матеріалу, а також від режиму обробки матеріалу. [17]

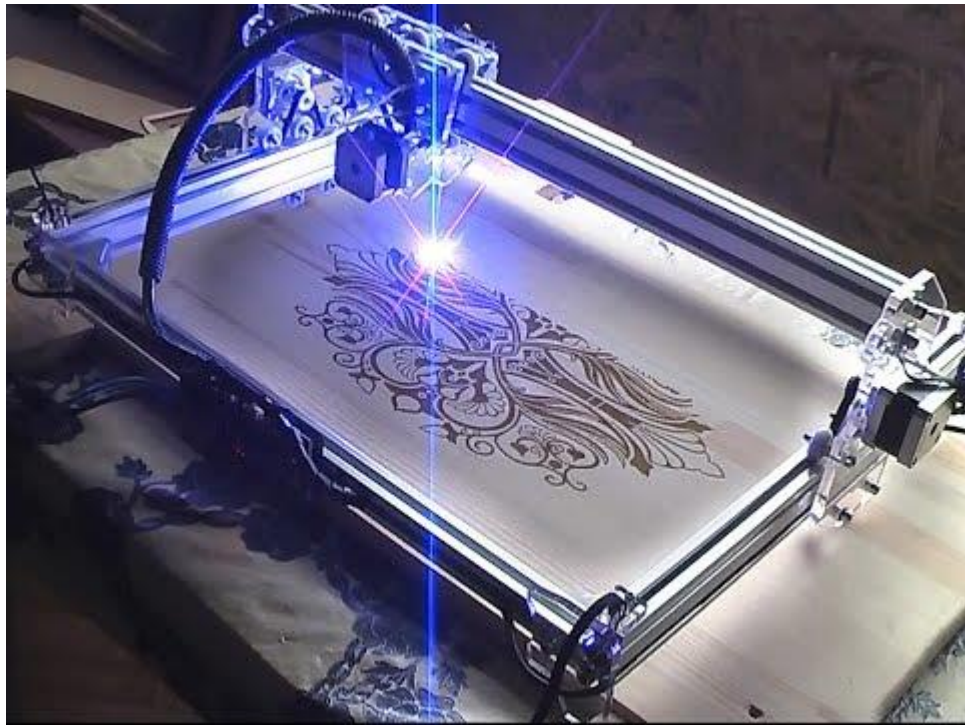


Рисунок 1.9 – Лазерне гравіювання [18]

Проаналізувавши найбільш розповсюджені типи гравіювання, можна зробити висновок, що для кожного типу використовується свій різальний інструмент для обробки заготовки.

Інструментом для гравіювання можуть бути спеціальні ножі (для ручного гравіювання), алмазні різці (для алмазного механізованого гравіювання без видалення металу), різні електрохімічні сполуки (для фотогравіювання), бор-машини з вставленими різцями або фрезами (для ручного механічного гравіювання з видаленням металу), гравери (для гравіювання на верстатах з ЧПК) та за допомогою здійснення енергії, що передається шляхом опромінення лазером (при лазерному гравіюванні).

Розглянемо конструкції інструментів, що використовуються для гравіювання на гравіювальних верстатах з ЧПК, а саме конструкції граверів.

Конструктивно гравер – шліфувальне обладнання невеликого розміру, яке використовують для невеликих робіт по шліфуванню, фрезеруванню, різанню та свердлінню виробів із різних матеріалів. В його корпус встановлений електродвигун, цанговий патрон в якому кріплять необхідні

насадки. Окремі моделі оснащені гнучким валом, який передає обертання на насадку. Функціональні можливості інструменту визначаються кількістю використовуваних насадок. [19]



Рисунок 1.10 – Гравер з набором насадок [20]

Переважна більшість пропонованих у продажу граверів забезпечують обертання насадок, але існує окрема категорія ударних пристроїв. Такий інструмент не свердлить поверхню матеріалу, а б'є по ній гострим наконечником насадки. Подібне обладнання є вузькоспеціалізованим. Воно призначене виключно для проведення гравіювання на твердих поверхнях. Оскільки шпиндель не обертається, то проводити різання, полірування або шліфування заготовок таким обладнанням не вдасться. [21]

Ударний гравер - це мініатюрний інструмент, спеціально призначений для точного і акуратного гравіювання. Застосовується для створення різних написів на годиннику, браслетах, листах металу, запальничках, кільцях, столових приладах, меблів та інших виробів. Також ударні гравери використовуються для доведення написів на пам'ятниках, після лазерного гравіювання. Точкове гравіювання відмінно підходить для роботи з малюнками по заданому контуру, адже поверхня завжди виходить

шовковистою і приємною на вигляд. Ударний гравер використовується для прикрас, сувенірів і подарунків, брендування продукції символікою фірми, гравіювання малюнків і написів та удосконалення ювелірних виробів. [22]



Рисунок 1.11 - Гравер ударный (бормашина) Ro-use RE-13 [23]

Не випадково такий інструмент носить назву «ударний». У класичних бормашинах обробка матеріалу відбувається шляхом обертання бор-фрези на високій швидкості. Тут же, гравірування досягається за допомогою зворотно-поступального руху спеціального розхідника - ударної голки. Кута ударяються о поверхню кілька тисяч разів на хвилину, таким чином роблячи глибокі і чіткі поглиблення. Нескладно помітити, що в якомусь роді ударний гравер схожий на перфоратор або відбійний молоток. Це дійсно так. Як і відбійний молоток, гравер робить безліч ударів за одиницю часу. [22]

Як вже говорилося вище, ударний гравер працює за принципом міні-перфоратора, тільки зменшеним в розмірах у багато разів. Бормашина з обертовим рухом шпинделя, більш масивні, споживають більше потужності і вимагають особливого догляду. Крім того, необхідно часто міняти оснастку,

використовуючи при цьому цанги різних діаметрів. З ударним гравером все гранично просто - оснащення завжди одне, невеликий корпус, а рівень шуму мінімальний. [22]

1.2 Огляд існуючих гравіювальних верстатів

Гравірувальні верстати - це обладнання, яке використовується для створення написів і зображень на кам'яній, металевій поверхні, виготовлення об'ємних малюнків. З його допомогою виконують нанесення зображень на пам'ятники та статуї, створюють іменні та вуличні таблички, інші вироби. Основними елементами верстата є ріжучі деталі, обвідний датчик і профіль, який зчитує оригінальне зображення або текст, який необхідно перенести на основу. Гравірувальне обладнання відрізняється конструктивними особливостями, типом ріжучого елемента, вартістю і функціоналом. [24]

Розглянемо декілька існуючих конструкцій гравіювальних верстатів, що користуються популярністю на ринку.

Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК MTech F3015 Pro



Рисунок 1.12 - Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК MTech F3015 Pro [25]

Характеристики даного верстату:

- Станина – ціЛЬНОЗварна з товстостінних труб;
- Робоче поле – 3100 × 1600 мм;
- Хід по осі Z – 250 мм;
- Потужність шпинделя – 3 кВт;
- Діапазон частот обертання шпинделя – 0 ... 18000 об/хв;
- Тип передачі – косозуба рейка М1,25;
- Точність позиціонування - $\pm 0,05$ мм;
- Двигуни – крокові;
- Робоча поверхня – вакуумний стіл та механічний прижим;
- Габарити верстату - 3600 × 2100 × 1700 мм;
- Вага – 1100 кг.

MTech F3015 Pro – високопродуктивний фрезерно-гравіювальний верстат з числовим програмним керуванням. Особливістю даного верстату являється вакуумний прижим матеріалу, що являє собою систему трубопроводів, розподільних кранів і вакуумних каналів на робочій поверхні столу.

До переваг застосування такого верстату можна віднести:

- Висока точність позиціонування інструменту відносно заготовки;
- Можливість обробляти заготовки великих габаритів, оскільки верстат оснащений великим робочим полем;
- Висока потужність шпинделя та широкий діапазон частот обертання шпинделя;
- Вакуумний прижим, що дозволяє прискорити час установки заготовки на робочий стіл.

До недоліків даного верстату можна віднести:

- Доцільність застосування такого верстату лише для обробки габаритних заготовок;
- Висока вартість верстату - \$11300.

- Обробка ведеться тільки з 3-ьома керованими осями.

Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК КРЕЧЕТ 2

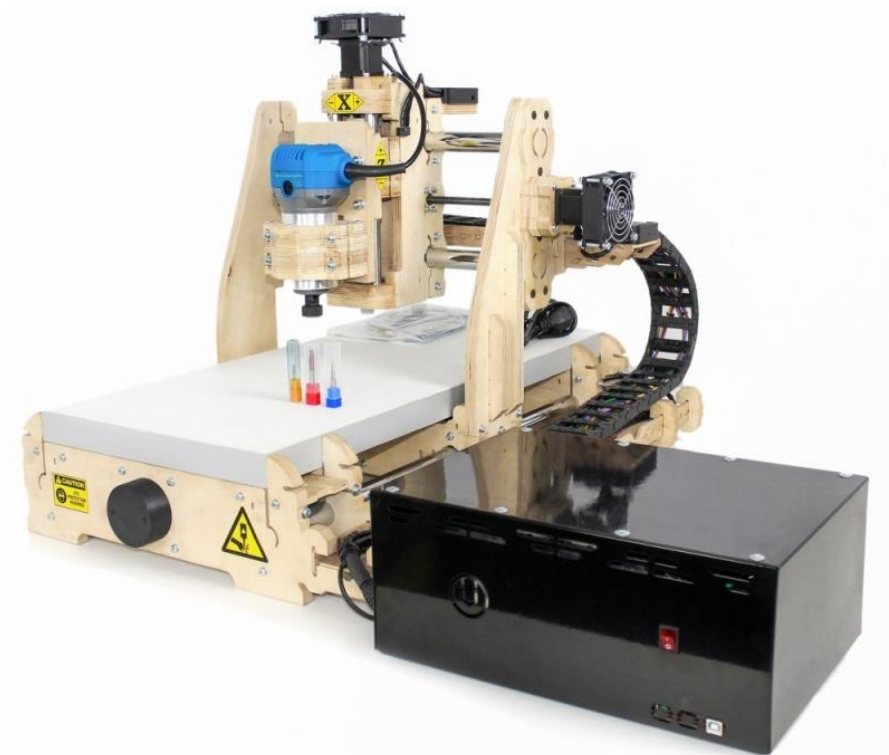


Рисунок 1.13 - Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК КРЕЧЕТ 2 [26]

Характеристики даного верстату:

- Станина – складена;
- Робоче поле – 250 × 340 мм;
- Хід по осі Z – 70 мм;
- Потужність шпинделя – 0,91 кВт;
- Діапазон частот обертання шпинделя – 10000 ... 30000 об/хв;
- Двигуни – крокові;
- Габарити верстату - 500 × 800 × 500 мм;
- Вага – 14 кг.

Кречет 2 – компактний та функціональний фрезерно-гравіювальний верстат, що чудово підходить для хобі та малого бізнесу. Його можливостей достатньо для обробки різних пластиків, фанери, дерева та кольорових

металів. Верстат дозволяє здійснювати як плоску так і об'ємну обробку заготовок.

До переваг застосування такого верстату можна віднести:

- Компактний та неважкий верстат;
- Можливість та доцільність обробки негабаритних деталей;
- Наявність можливості застосування різних типів граверів;
- Високий діапазон частот обертання шпинделя при невеликій його потужності;
- Складена конструкція станини;
- Доступна вартість – 15600 грн.

До недоліків даного верстату можна віднести:

- Достатня похибка обробки – $\pm 0,1$ мм;
- Максимальний діаметр цанги – 6 мм;
- Станина виготовлена з вологостійкої фанери, яка недостатньо міцна на відміну від станин, що виготовлені з кольорового або чорного металу.

Гравіювальний верстат з ЧПК CNC 3018



Рисунок 1.14 – Гравіювальний верстат з ЧПК CNC 3018 [27]

CNC 3018 – гравіювальний верстат з ЧПК, що характеризується простотою конструкції. Як видно з рис. 1.14 – достатньо легкий в обслуговуванні та являється ідеальним варіантом для «початківців».

Характеристики даного верстату:

- Станина – складена;
- Робоче поле – 180 × 300 мм;
- Хід по осі Z – 45 мм;
- Потужність шпинделя – 0,024 кВт;
- Діапазон частот обертання шпинделя – 10000 об/хв;
- Двигуни – крокові;
- Габарити верстату - 400 × 330 × 240 мм.

До переваг застосування такого верстату можна віднести:

- Компактний та неважкий верстат;
- Можливість та доцільність обробки негабаритних деталей;
- Відкрита для обслуговування конструкція;
- Складена конструкція станини;
- Доступна вартість – 8814 грн;
- Взаємозамінні комплектуючі.

До недоліків даного верстату можна віднести:

- Погана якість виготовлення складових елементів верстату;
- Максимальний діаметр цанги – 3 мм;
- Мала точність позиціонування інструменту через дешевизну комплектуючих.

Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК StoCNC 1224



Рисунок 1.15 – Фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК StoCNC 1224 [27]

Характеристики даного верстату:

- Станина – цільна чавунна;
- Робоче поле – 1200 × 2400 мм;
- Хід по осі Z – 100 мм;
- Потужність шпинделя – 2,2 кВт;
- Діапазон частот обертання шпинделя – до 24000 об/хв;
- Двигуни – крокові;
- Вага – 800 кг;
- Точність позиціонування - $\pm 0,05$ мм.

StoCNC 1224 – фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК, що призначений для широкоформатних завдань по гравіюванню різноманітних виробів із дерева, пластику, акрилу, МДФ, виробництва дверей та панелей, архітектурних макетів, різьби по дереву, виробництва реклами, створення форм для виробництва склопластикових виробів, плоскої та об'ємної обробки.

До переваг застосування такого верстату можна віднести:

- Висока точність позиціонування інструменту відносно заготовки;
- Можливість обробляти заготовки великих габаритів, оскільки верстат оснащений великим робочим полем;
- Висока потужність шпинделя та широкий діапазон частот обертання шпинделя;

До недоліків даного верстату можна віднести:

- Доцільність застосування такого верстату лише для обробки габаритних заготовок та в серійному типі виробництва;
- Висока вартість верстату – 168000 грн;
- Обробка ведеться тільки з 3-ьома керованими осями.

Проаналізувавши декілька конструкцій гравіювальних верстатів з ЧПК відомих виробників, можна переконатись, що вибір технічних параметрів, габаритів, технологічних можливостей та конструктивних особливостей залежить від безпосередньо поставлених задач.

Для серійних виробництв крупно габаритних деталей найбільш доцільно використовувати фрезерно-гравіювальні верстати з ЧПК MTech F3015 Pro (рис. 1.12) та StoCNC 1224 (рис. 1.15), оскільки дані верстати зможуть виконати більш технологічні операції для заготовок. Також дані верстати мають можливість встановлювати габаритні інструменти й потужність шпинделя достатньо висока, що дає можливість здійснювати більш важку навантажену обробку.

Верстати КРЕЧЕТ 2 (рис. 1.13) та CNC 3018 (рис. 1.14) призначені для одиничного виробництва, для використання в домашніх цілях та в якості хобі. Такі верстати можуть обробляти різні заготовки, але інструмент та можливості таких верстатів значно обмежені.

Всі розглянуті вище верстати можуть обробляти заготовки лише використовуючи три координатні осі. Наявність четвертої осі значно розширить технологічні можливості верстатів, дозволить проводити більш поверхнево важку обробку заготовок. Оскільки система ЧПК зможе врахувати

четверту робочу координату, таким чином траєкторія буде розрахована більш оптимально, що дозволить також зменшити час обробки деталі.

Отже, впровадження 4-ої робочої координати для фрезерно-гравіювального верстату є доцільним.

1.3 Типи несучих систем верстатів, основні складові

Елементи несучої системи по масі складають 80 ... 85% від маси верстату. Тому економія металу в машинобудуванні найбільш ефективна в напрямку зниження маси саме в цих деталях, і питання розрахунку і оптимального конструювання несучої системи має першочергове значення. [31]

Несуча система утворюється сукупністю елементів верстату, через котрі замикаються сили, що виникають при різанні. До елементів несучої системи відносять станину, що розглядають у взаємодії з фундаментами, корпусні деталі. Елементи несучої системи можуть бути розділені на наступні конструктивні групи: [29]

- Станини та основи:
 - Плити, тумби, і основи без напрямних; [30]



Рисунок 1.16 – Установочна верстатна плита ISEL PT 50 [32]

- Станини – прості горизонтальні з однією системою напрямних, прості вертикальні з однією системою напрямних, станини-основи з круговими напрямними, важкі з декількома системами напрямних; [30]



Рисунок 1.17 – Проста горизонтальна станина верстату [33]

- Станини порталні; [30]

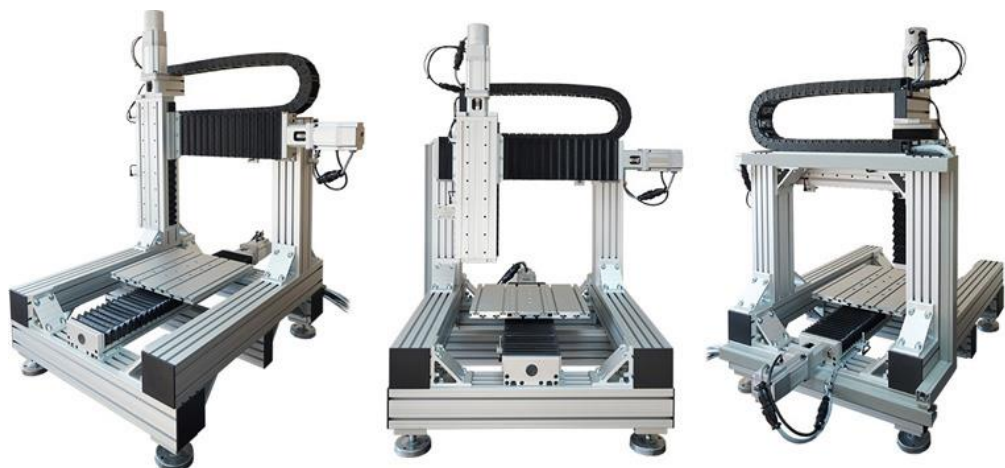


Рисунок 1.18 – Портальний маніпулятор МПЛ-3-03 [34]

- Деталі та вузли для підтримки поступального та обертального переміщення інструменту – супорти, повзуни, револьверні головки, салазки супортів, поперечини супортів, рукава; [30]

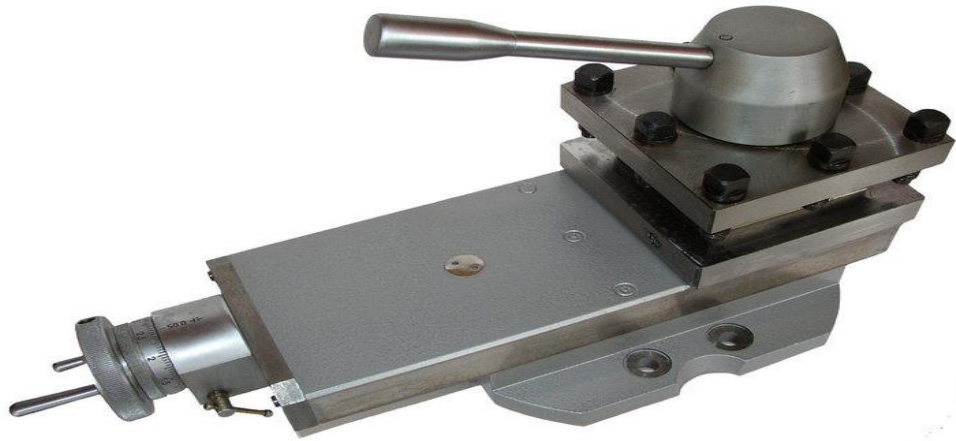


Рисунок 1.19 – Супорт токарного верстату [35]

- Деталі та вузли для підтримки поступального переміщення столу – столи, салазки столів, консолі; [30]

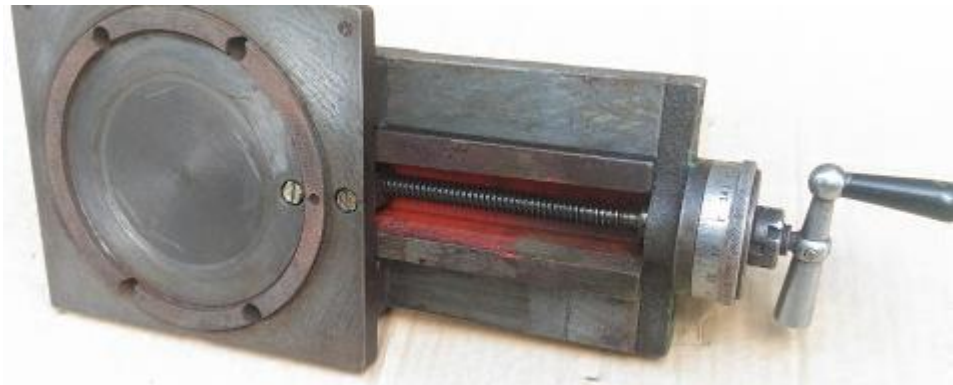


Рисунок 1.20 – Верхні салазки супорту верстата [36]

- Деталі та вузли для підтримки деталей верстату, що обертаються – корпуси коробок, швидкостей та подач, корпуси шпиндельних бабок; [30]

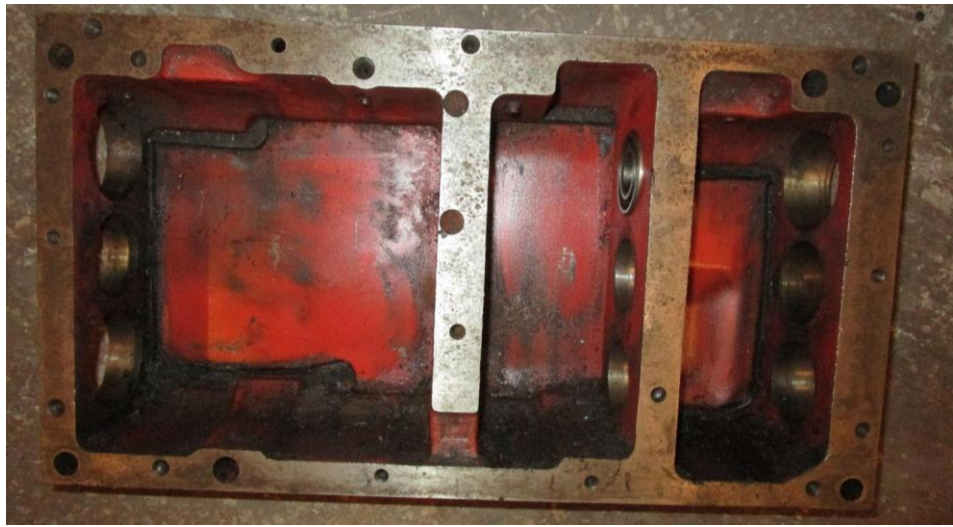


Рисунок 1.21 – Корпус коробки передач верстату [37]

- Деталі та вузли для обертання інструментів та виробів – шпинделі та їх опори, задні бабки, планшайби, обертові колони. [30]

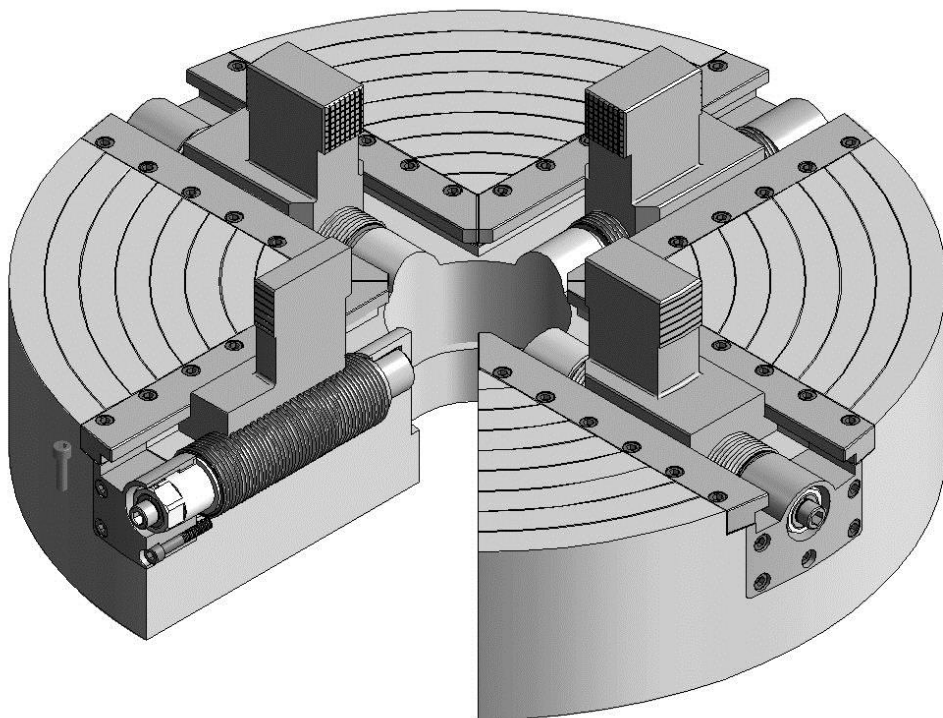


Рисунок 1.22 – Планшайба [38]

1.4 Проблеми забезпечення точності та сталості переміщень робочого органу гравіювального верстата

Випробування верстату на точність, у відповідності до ГОСТ 8-82 повинні визначатись трьома групами показників, що пред'являються до металорізальних верстатів з ЧПК:

- Показники, що характеризують геометричну точність верстатів;
- Показники, що характеризують точність обробки виробів;
- Додаткові показники. [39]

На вищесказані показники впливає забезпечення точності, позиціонування та сталості переміщення робочого органу гравіювального верстату.

Точність позиціонування верстатів з ЧПК відноситься до позиційної точності, яка може бути досягнута шляхом переміщення кожної осі координат верстата під керуванням пристрою цифрового управління. Точність позиціонування верстатів з ЧПК можна розуміти як точність руху верстата. Звичайні верстати подаються вручну. Точність позиціонування визначається головним чином помилкою читання. Рух верстата з ЧПК здійснюється системою цифрового управління і механічною передачею. [40]

На точність позиціонування здійснює вплив, а значить і може контролюватись інтегральними показниками наступні показники точності верстату:

- геометрична точність спряжених поверхонь та взаємне розташування базових деталей;
- точність встановлення шкал вимірювальної системи верстата і її технічний стан;
- стан електронної частини ЧПК, що керує переміщенням робочого органу. [41]

Перший показник, а саме геометрична точність поверхонь несучої системи, значно впливає на розташування робочого органу верстату в процесі обробки заготовок. Від якості виготовлення складових системи залежить і параметр встановлення вимірювальних шкал, і безпосередньо електронна

частина ЧПК. Якщо в системі завантажена теоретична частина несучої системи верстату, але при тому все виготовлена без забезпечення необхідної точності, тоді верстат не зможе забезпечити точність виготовлення деталі або процесу обробки.

Особливо цей показник впливає на робочий орган гравіювального верстату, оскільки операції, що виконуються на таких верстатах достатньо точні. При неякісному виготовленні складових елементів, оброблені деталі, на які наносяться певні зображення гравіюванням будуть спотворюватись, а отже сам процес обробки не буде нести сенсу.

1.5 Висновки та постановка задач дослідження

Як було розглянуто вище, гравіювання являється доволі популярною та застосовуваною операцією.

Цей висновок можна зробити на основі великої кількості існуючих способів та інструментів для обробки, великого асортименту верстатів з ЧПК різноманітної конфігурації та цінової політики різних компаній.

Також існує ніша на ринку, де верстат забезпечує обробку в чотирма керованими осями при незначних відносно конкурентів затратах на придбання такого обладнання.

Як і для всіх операцій, операція гравіювання на верстатах з ЧПК мають свої недоліки та проблеми. Однієї із них, та немаловажною є забезпечення точності та сталості переміщень робочого органу верстату.

Отже, розробка та проектування несучої системи з чотирма керованими осями, що забезпечить високу точність позиціонування руху робочого органу, є достатньо актуальною темою дослідження.

Для визначимо вимоги, що висуваються до несучої системи верстату, технічні параметри та схему несучої системи. Виконаємо проектування основних складових елементів (траверси, обертового стола), виберемо привід руху та встановимо раціональні конструктивні рішення на основі

моделювання динамічних процесів верстату. Також здійснимо розрахунок сполучених елементів та пристроїв.

Після цього всього визначимо, чи виготовлення даної несучої системи є економічно обґрунтованим прийнятним технічним рішенням.

Моделювання складових елементів та всієї системи, розробку технічної документації для несучої системи та її складових, симуляцію динамічних процесів, що проходять при процесі обробки у верстаті та здійснення рендеру готового проекту здійснимо в системі автоматизованого проектування «Autodesk Inventor». Дане програмне забезпечення забезпечує спеціальною ліцензією для студентів вищих навчальних закладів. Дана ліцензія дає можливість повністю розробити проект й паралельно набути навичок використання програмного забезпечення при виконанні різноманітних операцій, що зможуть знадобитись в майбутньому.

2 КОНСТРУЮВАННЯ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ГРАВІУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

2.1 Розробка вимог, що висуваються до несучої системи верстату з урахуванням вимог щодо точності та сталості процесу

Для висування вимог до виготовлення несучої системи верстату необхідно ознайомитись з вимогами, що висувають до складових несучої системи нормативні документи.

Розглянемо основні вимоги котрі стосуються верстату, що висуваються по [43], проаналізуємо та визначимо їх застосовуваність до несучих систем.

Стабільність технічних параметрів

«Верстати та їх складові частини повинні бути спроектовані та виготовлені таким чином, щоби при заданих умовах експлуатації їх технічні параметри були достатньо стабільними та мали можливість використовуватись з виключенням будь-яких небезпек, в тому числі випадкового опрокидування, падіння або зміщення верстату, їх вузлів і заготовок.»

Дана вимога цілком може відноситись також до несучої системи, оскільки саме конструкція несучої системи повинна забезпечувати стійкість та унеможливити будь які зміщення всього верстату під час обробки або встановлення/зняття заготовки або інструменту.

Захист від руйнування в процесі експлуатації

«Верстати та їх складові частини повинні витримувати навантаження під час виконання технологічних операцій при режимах, що передбачені для конкретного верстату. Конструкційні матеріали, що застосовуються для виготовлення верстатів, повинні мати достатній опір втомі, старінню, корозії та зношуванню.»

Вимога, що зазначена вище також повинна відноситись до несучої системи верстату, оскільки саме дана система повинна забезпечувати міцнісну цілісність конструкції, стійкість від дії сил та моментів, що виникають під час

попередньо розрахованих та врахованих при конструюванні несучої системи режимах різання.

Попередження падіння та викидання предметів з верстату

«Конструкція верстатів повинна виключати небезпечні моменти, що виникають внаслідок падіння або викидання з верстатів предметів (заготовки, інструмент, стружка, відходи і т.д.)»

Дана вимога передбачає необхідність надійного закріплення заготовки та різального інструменту у місцях, що передбачені конструкцією верстату. Для гравіювальних верстатів середніх розмірів запобігання викиданню стружки або відходів являється важко для реалізації задачею, оскільки замкнутість конструкції виключає можливість вільного доступу до зони обробки та контролю зі сторони оператора. Для процесу гравіювання контроль результату обробки є досить важливим етапом, тому унеможливити виліт стружки або відходів є крайнє важко.

Вимоги до якості зовнішніх поверхонь

«Доступні поверхні робочих частин верстатів, в тому числі пристрої для затиску заготовки або інструменту, що можуть обертатись, не повинні мати гострих кромки та кутів. При наявності на зовнішніх поверхнях приладів частин або поглиблень, що виступають за робочу зону верстату, та котрі при роботі можуть травмувати робітників, повинні мати захисне огороження.»

Дана вимога стосується безпеки при роботі з верстатом (можливість поранитись об гострі кромки та кути) завжди буде актуальна для всіх складових деталей при проектуванні всіх пристосувань.

Вимоги до рухомих частин верстату

«Конструкція, що виготовлення та її розташування рухомих частин верстату повинні виключати ситуації, що можуть нести небезпеку для працівника. При наявності небезпечних місць, при роботі за верстатом, останні повинні бути оснащені захисним пристроями.

Вибір захисних пристроїв проводять у відповідності з функціональним призначенням рухомих частин верстатів:

- а) рухомі частини для передачі сили (приводні шківни, приводні ремені, зубчаті колеса, рейки, вали і т.д.);
- б) рухомі частини, що приймають участь в робочому процесі (різальний інструмент, допоміжний інструмент, оснащення, заготовка і т.д.).»

Виходячи з того, яку конструкцію буде мати несуча система гравіювального верстату, що проектується, деякі вимоги з вищезазначеного можуть не виконуватись. Це обумовлюється функціональним призначенням верстату, його габаритами, технологічними можливостями та типом виробництва, на якому буде використовуватись дане обладнання.

Для гравіювального верстату, що має невеликі габарити, та котрий застосовується в одиничному, або дрібно серійному типі виробництва, в якого сили різання, що виникають під час обробки достатньо малі виникає можливість вибрати альтернативну стратегію забезпечення безпечної роботи за верстатом. А саме проведення інструктажів по охороні праці та примусове й обов'язкове дотримання основних правил роботи за верстатом. Також для вирішення такої проблеми можна залучати до роботи за такими верстатами більш кваліфікованих робітників для унеможливлення виникнення небезпечних ситуацій під час роботи.

Вимоги до пристроїв для переміщення, встановлення та закріплення заготовок та інструменту

«Верстати, виконання на котрих допоміжних операцій (встановлення та зняття оброблюваної заготовки, вимірювання і т.д.) при обертанні оброблюваної заготовки або інструменту може привести до небезпечної ситуації, повинні бути оснащені пристроями, що виконують автоматичне гальмування шпинделю після відключення його приводу.»

Гальмування шпинделя для верстатів з ЧПК (в тому числі для гравіювального верстату з ЧПК) прописано в керуючій програмі на обробку певної деталі. Тому, якщо притримуватись вимог безпечної роботи за верстатом, а саме здійснення певних допоміжних робіт вже після того, як

верстат відпрацює код програми, небезпечні ситуації в таких умовах неможливі.

«Верстати з механізованим або автоматизованим закріпленням заготовок та інструменту оснащують блокуванням, що допускає ввімкнення циклу обробки тільки після затиску заготовку або інструменту.»

Для гравіювального верстату з ЧПК, що має малі габарити та використовуватиметься в одиничному або дрібно серійному виробництві створення конструкції, що передбачає автоматичне закріплення заготовки або інструменту економічно не є доцільним.

«Пристрої для закріплення на верстатах патронів, планшайб, оправок, насадних головок, інструменту та інших знімних елементів повинні виключати можливість самовільного ослаблення при роботі пристроїв, що будуть закріплятись і згвинчування знімних елементів при реверсивному обертанні.»

Дану вимога актуальна для проектування несучої системи верстату на етапі розробки її конструкції. Від цього залежить не тільки точність виготовлення виробу, але і безпека робітника. Тому необхідно після проектування конструкції обов'язково виконати перевірку на міцність та динамічну сталість несучої системи верстату при її розробці.

«Переміщення рухомих частин верстатів в крайніх положеннях повинно бути обмежено пристроями або приладами, що повинні виключати їх перебіг за допустимі межі.»

Обмеження переміщення необхідно обов'язково врахувати в процесі проектування несучої системи. Переміщення рухомих частин (наприклад, переміщення столу, переміщення робочого органу, в який встановлюється інструмент, і т.п.) може призвести до порушення центрово-масових характеристики несучої системи, що в свою чергу може привести до опрокидування верстату, порушення роботи верстату, виникнення попередньо не врахованих вібрацій, сил та моментів, що можуть виникнути в процесі роботи і т.д.

Небезпека, що може бути визнана електричною енергією

«Безаварійна робота верстатів може бути забезпечена (при повному навантаженні або без нього) при коливаннях напруження від мережі $\pm 10\%$ номінального значення. Електрообладнання повинна забезпечувати безаварійну роботу при зміні частоти напруження по ГОСТ 6697.»

Так як для гравіювального верстату з ЧПК будуть використовуватись електродвигуни для переміщення столу, переміщення робочого органу та надання інструменту руху обертання для обробки, тому дана вимога повинна також стосуватись. Від її виконання залежить адекватна робота верстату та його складових й точність переміщення робочих органів верстату.

«Конструкція верстатів повинна виключати небезпеку від накопичення зарядів статичної електроенергії в процесі обробки деталей.»

Такі верстати повинні бути оснащеними приладами для заземлення, що знижують електростатичний заряд з заготовок, що обробляються.

«Для виключення помилок при монтажу (наприклад, замітка про напрямок руху елементів) застосовують знаки або надписи на вузлах, елементах або корпусах верстату. При необхідності в супровідних документах повинна бути вказана додаткова інформація для попередження небезпеки при монтажу.»

Вимоги до монтажу електричного обладнання повинні бути зрозумілими та мати лише одне значення при його трактуванні. Процесом монтажу на підприємствах займаються зазвичай компанії-виробники даного обладнання. Це є більш безпечнішим, оскільки всі непередбачувані ситуації лягають на плечі цієї компанії. Для обладнання, яке проектується та виготовляється на самому підприємстві, монтаж повинен здійснюватися спеціалістами з достатнім досвідом роботи й повністю мати необхідні знання по даній галузі.

Небезпека, що викликана екстремальними температурами

«При експлуатації верстатів повинні бути попереджена можлива небезпека для робітників, що викликана доторканням або находженням в безпосередній близькості від частин верстату температурою більше 42 °C або

від тепла, що виділяється в навколишнє середовище в процесі обробки деталей, а також від температури середовища, в котрій оброблюється деталь. Для верстатів, встановлених в приміщеннях, температура зовнішніх поверхонь верстатів або обмежувальних приладів, що нагріваються в процесі експлуатації, не повинна перевищувати 42 °С у відповідності до ГОСТ 28139.»

Дана вимога не тільки передбачає врахування безпеки роботи робітника, але і термічний вплив на точність обробки. Останнє достатньо суттєво впливає на фінальний результат – результат гравіювання деталі, оскільки успіх даної обробки залежить від точності, яку може забезпечити даний верстат.

Небезпека, що викликана вібраціями

«Конструкція верстатів безпеки, викликана вібрацією, повинна бути знижена до гранично низького рівня із залученням досягнень технічного прогресу і наявних коштів для зниження вібрацій, перш за все у її джерела. Вібраційні характеристики (параметри, точки встановлення, допустимі значення, типові режими роботи при випробуваннях) повинні бути передбачені в експлуатаційній документації на верстати. Контроль - по ГОСТ 12.1.012.»

Вимога повинна бути врахована, оскільки вібрації негативно впливають на точність, особливо для таких точних операцій, як гравіювання.

Вище були розглянуті основні вимоги, що можуть бути висунуті до гравіювального верстату з ЧПК з точки зору забезпечення необхідної точності. Їх треба врахувати безпосередньо на етапі проектування конструкції та забезпечити їх конструкторське виконання.

2.2 Визначення технічних параметрів несучої системи

Перед тим, як визначити технічні параметри несучої системи, необхідно визначитись, в яких умовах буде використовуватись даний верстат та для яких цілей, тобто для деталей яких габаритів, буде застосовуватись дане обладнання.

Проаналізуємо технічне завдання, згідно якого в дрібно серійному виробництві необхідно виконати гравіювання в заготовці, ескіз якої зображений на рис. 2.1.

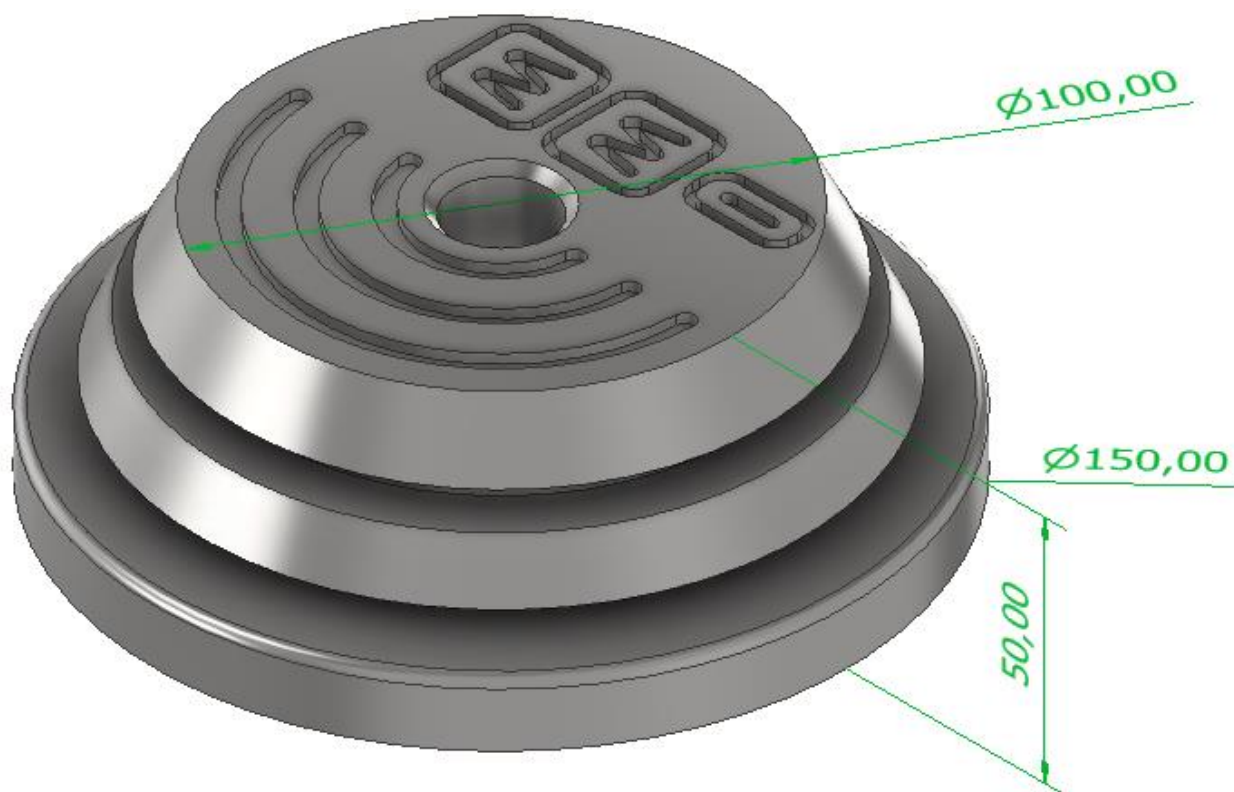


Рисунок 2.1 – Ескіз оброблюваної заготовки

Виходячи з габаритів заготовки, вона повинна встановлюватись на робочий стіл й верстат повинен забезпечити обробку заготовок з наступними розмірами $150 \times 150 \times 50$ мм. Це необхідно врахувати при проектуванні несучої системи гравіювального верстату.

Оскільки гравіювання виконується на глибину 2 мм, верстат повинен бути достатньо потужним для виконання даної обробки. Для цього необхідно виконати розрахунок необхідної потужності, що виникне при обробці деталі, що зображена на рис. 2.1. Або, іншим варіантом являється аналіз аналогічних верстатів, які можуть виконати гравіювання на глибину 2 мм.

Згідно п.1.2. достатнім для процесу гравіювання верстату буде достатньо 0,1 кВт.

Частота обертання шпинделя повинна сягати до 10000 об/хв.

Робоче напруження від мережі 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц.

Для забезпечення точності виготовлення заданого програмою зображення верстат повинен мати високу точність позиціонування. Аналізуючи аналогічні верстат з п.1.2 точність позиціонування повинна сягати наступного значення $\pm 0,05$ мм.

Приймаємо конструкцію несучої системи як складену. Це визве економічний ефект на відміну від литої цільної конструкції. Так, складена конструкція менш жорстка, ніж цільна лита, але в процесі гравіювання не виникає великих зусиль, що зможуть порушити конструкцію несучої системи.

Загальні габарити верстату будуть визначені в процесі проектування.

2.3 Вибір схеми несучої системи

Вибір схеми верстату – основа побудови конструкції несучої системи. На схему несучої системи впливають [44]:

- Положення шпинделя.

Обертання багатолезвійного оброблюваного інструменту (фрези або гравера) виконується при горизонтальному або вертикальному положенні вісі, або шпиндель обертається та встановлюється під заданим кутом до заготовки.

Приймаємо положення вісі шпинделя вертикальне.

- Кількість шпиндельних головок

Конструктивно гравіювальне обладнання може включати один, два і більше шпиндельних головок, що розташовані в різних площинах. Такі верстати розширюють діапазон виконуваних робіт та підвищують важкість поверхонь виробів, що обладнання може виконати.

Для обробки заданої деталі достатньо буде мати одну шпиндельну головку в наявності верстату.

- Конструкція робочого столу

В залежності від компоновки, стіл може переміщуватись в поздовжньому (поздовжньо-гравіювальна компоновка), поздовжньо-

поперечному (горизонтально-гравіювальні та вертикальні гравіювальні агрегати), підніматись або опускатись (консольно-гравіювальні), обертатись навколо своєї вісі (карусельні, барабанного типу). Опціонально пристроєм для повороту заготовки можуть бути оснащені агрегати зі столом, що здійснює поздовжньо-поперечні переміщення (наприклад, горизонтально-гравіювальні, в тому числі консольні, або універсальні). При цьому поворотний пристрій монтується на робочий стіл верстату або вмонтовується в його площину, що дозволяє обробляти як поверхні обертання, так і довгомірних заготовок без додаткових затрат часу на встановлення/зняття заготовки.

Для конструкції несучої системи, що проектується приймаємо наступну схему. Робочий стіл здійснює поздовжній рух. Шпиндельний блок рухається як у вертикальному, так і в поперечному до робочого столу напрямку. На робочому столі змонтований спеціальний поворотний стіл, який може обертати закріпленого на нього заготовку навколо вертикальної вісі шпинделя. Таким чином, дана несуча система має в своєму складі чотири вільні вісі для руху – лінійні рухи вздовж трьох осей та рух обертання навколо вертикальної вісі шпинделя.

- Точність обробки

Точність обробки характеризується не тільки жорсткістю вузлів агрегату і конструкції в цілому, але і можливістю точного позиціонування деталі, що застосовується для різноманітних вимірювальних приладів для контролю конфігурації різальних кромки, переміщення інструменту, а також визначення положення і розмірів деталі.

- Розміри необхідної робочої зони

Розміри необхідної робочої зони основних типів гравіювальних верстатів визначають габарити заготовок, які плануються обробляти на даному обладнанні.

Основні схеми гравіювальних верстатів з ЧПК зображені на рис. 2.2.

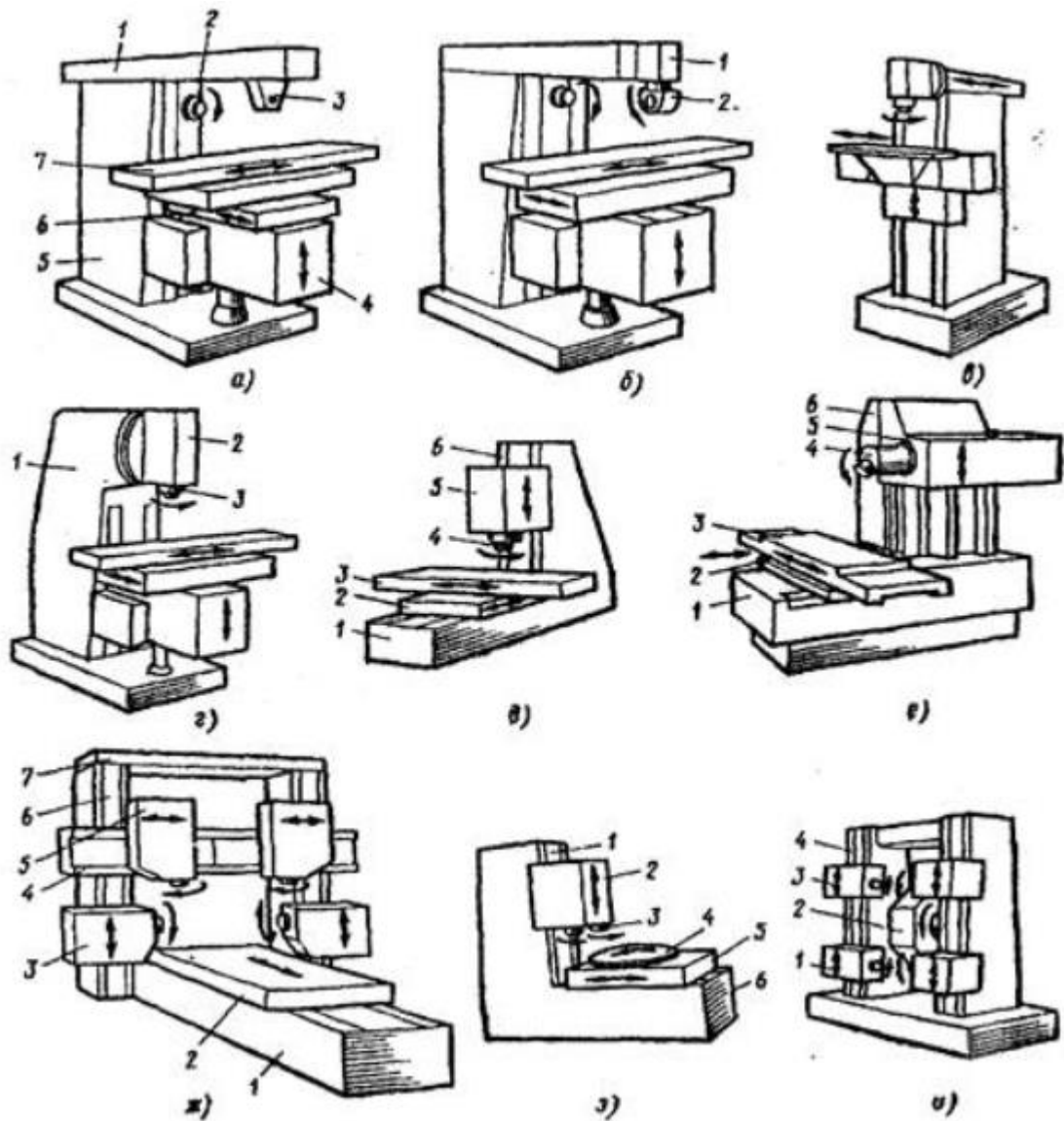


Рисунок 2.2 – Основні схеми гравіювальних верстатів з ЧПК [44]:

- а) універсальний консольний горизонтально-гравіювальний, б) широкоуніверсальний консольний горизонтально-гравіювальний, в) широкоуніверсальний безконсольно-гравіювальний, г) консольний вертикально-гравіювальний, д) безконсольний вертикально-гравіювальний, е) безконсольний горизонтально-гравіювальний, ж) поздовжньо-гравіювальний, з) карусельно-гравіювальний, и) барабанно-гравіювальний

Згідно технічного завдання, робоча зона верстату повинна забезпечувати розташування та обробку деталі, що зображена на рис. 2.1. Згідно даного ескізу, робочий стіл повинен мати можливість виконати базування в ньому заготовки розмірами 600 × 400 × 400 мм.

Виконаємо схематичну модель несучої системи гравіювального верстату з чотирма керованими осями. Її зображено на рис. 2.3.

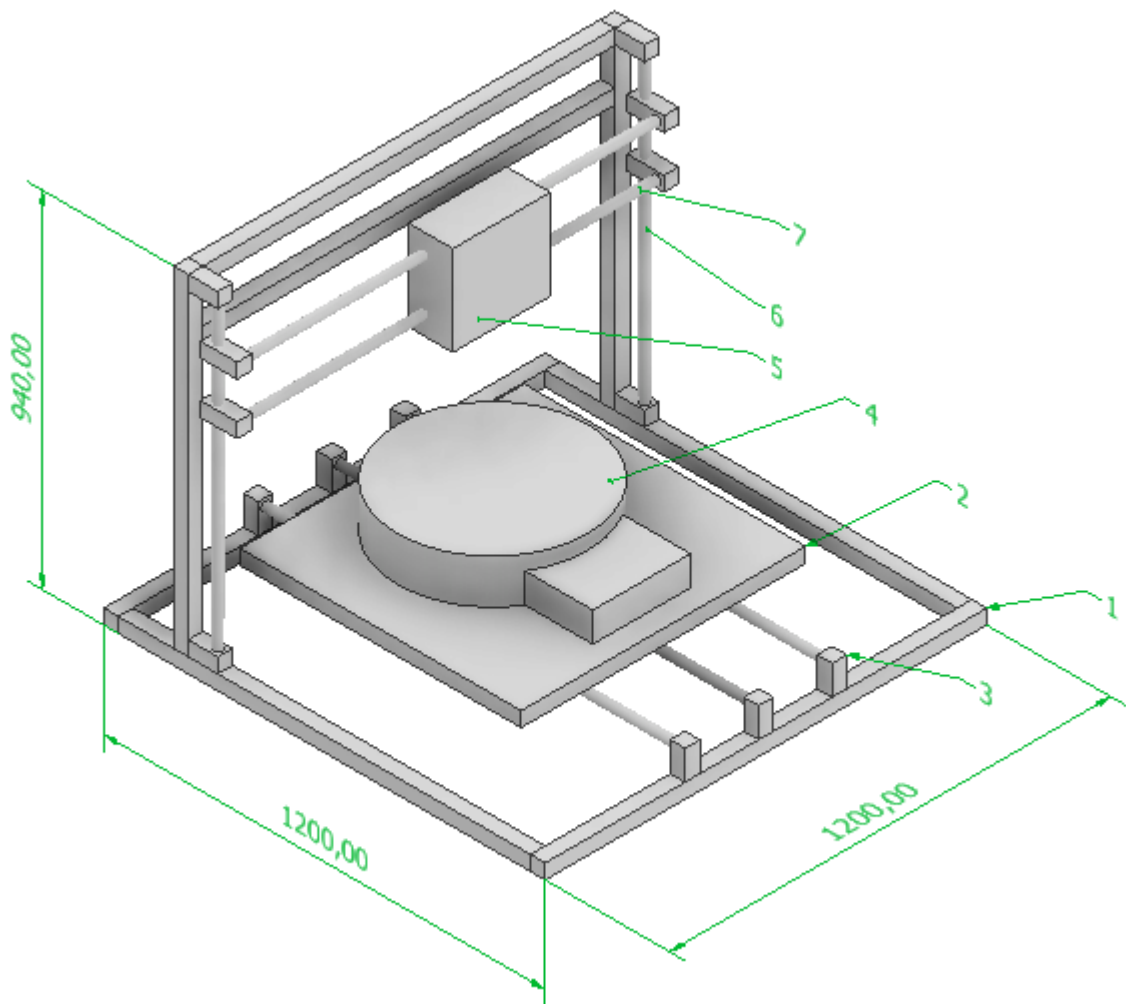


Рисунок 2.3 – Схематична модель несучої системи гравіювального верстату з чотирма керованими осями:

1 – станина, 2 – робочий стіл, 3 – напрямна система поперечного руху стола, 4 – обертовий стіл, 5 – шпindelна головка, 6 – напрямна система вертикального переміщення шпindelної головки, 7 – напрямна система поздовжнього переміщення шпindelної головки

Зображена вище несуча система складається зі станини 1. Дана станина 1 з'єднується між собою за допомогою механічного закріплення з надійною фіксацією. На поздовжніх балках станини 1 встановлені основи напрямної системи поздовжнього руху стола 2. На напрямну систему 2 закріплюється

робочий стіл 3. Така комбінація дозволяє здійснювати поздовжній рух заготовки. На робочому столі 3 встановлений та закріплений обертовий стіл 4. Даний обертовий стіл 4 здійснює поворот закріпленої на неї заготовки навколо вісі обробки різальним інструментом. Шпindelна головка 5 рухається в поздовжньому напрямку завдяки напрямній системі поздовжнього руху шпindelної головки 7. Дана система змонтована на напрямній системі вертикального переміщення шпindelної головки 6. Таким чином, шпindelна головка може переміщуватись як у вертикальному, так і в поздовжньому напрямках.

Таким чином, дана схема несучої системи гравіювального верстату забезпечує керування завдяки системі ЧПК чотирьох керованих осей.

Габарити такої несучої системи сягають $1200 \times 1200 \times 940$ мм, що забезпечує можливість обробки заданої деталі, що зображена на рис. 2.1, що і являлось основою технічного завдання.

Дана несуча система забезпечує вимоги до неї, що вказані в п. 2.1.

Її складові будуть розглянуті далі.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРАВІЮВАННЯ ДЕТАЛІ

3.1 Розрахунок режимів різання при обробці деталі

Виконаємо розрахунки режимів різання на обробку деталі, що зображена на рис. 2.1. Приймаємо матеріал оброблюваної деталі – конструкційна сталь 40Х ГОСТ 1050-88.

В якості різального інструменту для розрахунку режимів різання умовно в якості гравірувальної головки приймаємо шпонкову цільну твердосплавну фрезу по ГОСТ 16463-80 за [45] табл.76 с.179. Приймаємо фрезу з наступними значеннями конструкційних параметрів: $d = 2e8$ мм, $l = 4$ мм, $L = 25$ мм. Ескіз інструменту зображений на рис. 3.1.

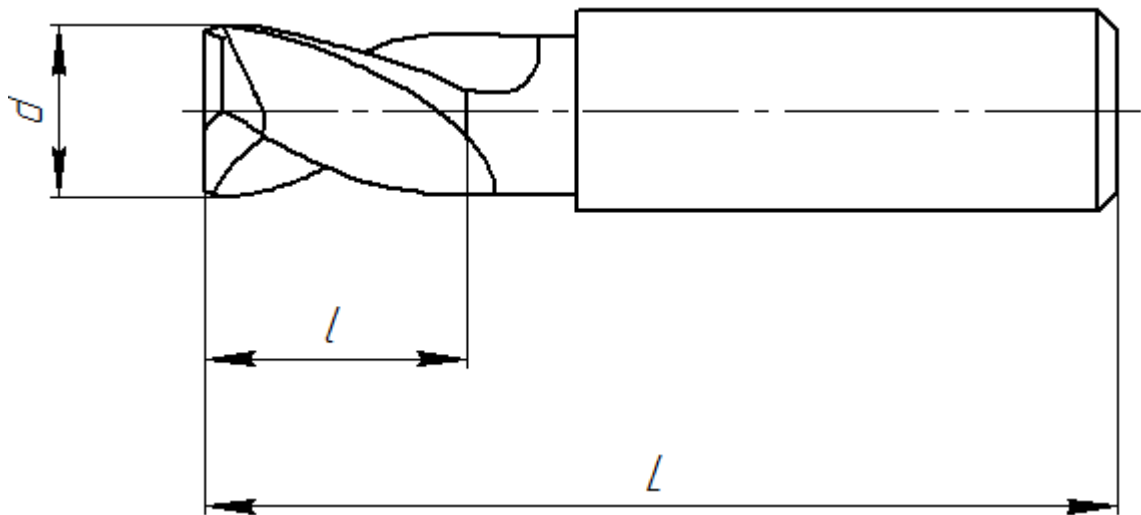


Рисунок 3.1 – Шпонкова цільна твердосплавна фреза по ГОСТ 16463-80

Для закріплення заготовки використаємо ручні лещата. Її конструкція зображена на рис. 3.2.

Лещата складаються з корпусу 1, на котрий змонтована призма 2. По призмі базується заготовка дискової форми. Затиск здійснюється за рахунок переміщення рухомої губки 3, що виконана у формі пластини. Переміщення рухомої губки виконується за рахунок обертання ручки 5, котра закріплена у

ходовий гвинт 4. Ходовий гвинт 4 в свою чергу торцем приєднаний до рухомої губки 3.

Таким чином, за рахунок затиску заготовки, вона є готовою до подальшої механічної обробки.

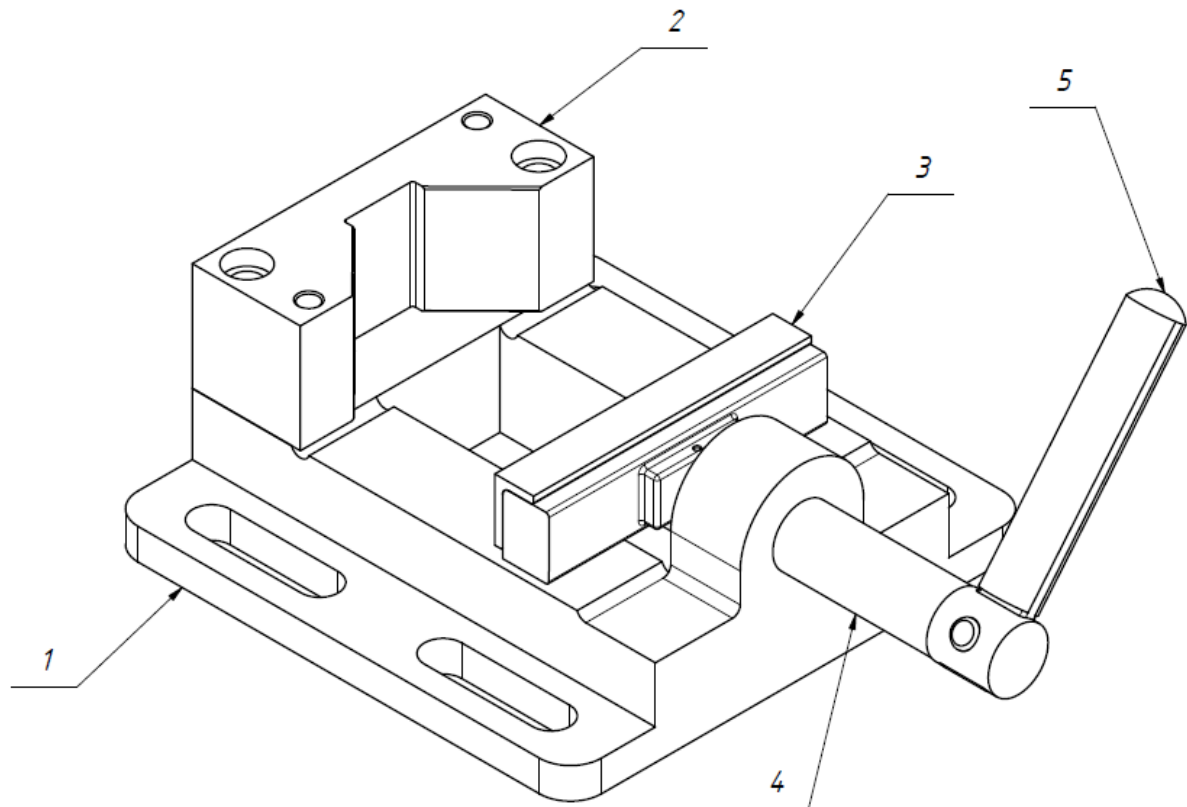


Рисунок 3.2 – Лещата ручні

В якості мастило охолоджуючої рідини використовується рідина, вимоги котрої вказані в ГОСТ Р 50558-93.

Для контролю точності виготовлення гравіювальної поверхні достатньо мати штангенциркуль з нутроміром ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89.

Глибина різання при гравіюванні шпонковою фрезою являється глибиною впадини, що утворюється внаслідок операції і становить $t = 2$ мм.

При гравіюванні розрізняють подачу на один зуб S_z , подачу на один оберт S та хвилинну подачу $S_{хв}$ котрі знаходяться в наступному співвідношенні:

$$S_{\text{хв}} = Sn = S_z n z \quad (3.1)$$

Де, n – частота обертання інструменту;

z – кількість зубів різального інструменту.

За [45] табл.38 с.286 при діаметрі інструменту до $d = 6$ мм та при осьовому врізанні на глибину гравіювання подача на один зуб при обробці становить $S_z = 0,006$ мм/зуб.

Швидкість різання при обробці визначається за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y z^p} K_V = \frac{12 \times 2^{0,3}}{80^{0,26} \times 2^{0,3} \times 0,006^{0,25} \times 2^0} \times 0,75 = 10,35 \text{ м/хв} \quad (3.2)$$

Де, C_v, q, m, x, y, p – табличні значення коефіцієнту та показників степенів;

z – кількість зубів різального інструменту;

S_z – подача на зуб різального інструменту;

T – період стійкості різального інструменту;

t – глибина різання;

D – діаметр різального інструменту;

K_V – поправочний коефіцієнт при визначенні швидкості різання.

За [45] табл.39 с.287 при обробці шпонковою фрезою значення коефіцієнтів та показники степенів рівні $C_v = 12, q = 0,3, m = 0,26, x = 0,3, y = 0,25, p = 0$.

Кількість зубів шпонкової фрези по ГОСТ 16463-80 згідно конструкції становить $z = 2$.

Період стійкості різального інструменту за [45] табл.40 с.290 при обробці шпонковою фрезою за конструкцією з зовнішнім діаметром $D = 2$ мм приймаємо $T = 80$ хв.

Поправочний коефіцієнт при визначенні швидкості різання K_V визначається за наступною формулою:

$$K_V = K_{MV} K_{PV} K_{IV} = 0,75 \times 1 \times 1 = 0,75 \quad (3.3)$$

Де, K_{MV} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

$K_{ПV}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання.

$K_{ИV}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання.

Коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу визначається за наступною формулою:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 1 \times \left(\frac{750}{1000} \right)^1 = 0,75 \quad (3.4)$$

Де, K_{Γ}, n_V - коефіцієнт та показник степені, що характеризують групу сталі по оброблюваності;

σ_B – межа міцності заготовки.

За [45] табл.2 с.262 при обробці Сталі 40Х ГОСТ 1050-88 шпонковою фрезою із твердого сплаву - $K_{\Gamma} = 1, n_V = 1$.

Для Сталі 40Х ГОСТ 1050-88 - $\sigma_B = 1000$ МПа.

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання за [45] табл.5 с.263 при стані поверхні заготовки без кірки становить $K_{ПV} = 1$.

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання за [45] табл.6 с.263 при матеріалі твердого сплаву фрези Т15К6 - $K_{ИV} = 1$.

При цьому, частота обертання різального інструменту буде становити:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \times 10,35}{\pi \times 2} = 1647,25 \text{ об/хв} \quad (3.5)$$

Розраховані вище швидкість різання V та частота обертання різального інструменту n будуть дійсними, оскільки внаслідок використання верстату з ЧПК регулювання частоти обертання шпинделю відбувається безступінчасто.

Головна складова сили різання при гравіювання – тангенціальна сила різання. Вона визначається за наступною формулою:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y z}{D^q n^w} K_{MP} = \frac{10 \times 125 \times 2^{0,85} \times 0,006^{0,75} \times 2}{2^{0,73} \times 1647,25^{-0,3}} \times 1,09 = \quad (3.6)$$

$$= 589,02 \text{ Н}$$

Де, C_p, q, x, y, w – табличні значення коефіцієнту та показників степенів;

z – кількість зубів різального інструменту;

S_z – подача на зуб різального інструменту;

t – глибина різання;

D – діаметр різального інструменту;

n – частота обертання шпинделя;

K_{MP} – поправочний коефіцієнт при визначенні тангенціальної сили різання.

При обробці Сталі 40Х ГОСТ 1050-88 шпонковою твердосплавною фрезою за [45] табл.41 с.291 значення коефіцієнту та показників степенів становлять $C_p = 125, x = 0,85, y = 0,75, u = 1, q = 0,73, w = -0,3$.

При обробці Сталі 40Х ГОСТ 1050-88 поправочний коефіцієнт при визначенні тангенціальної сили різання визначається за наступною формулою:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{1000}{750} \right)^{0,3} = 1,09 \quad (3.7)$$

Де, n – показник степені;

σ_B – межа міцності заготовки.

Для твердого сплаву Т15К6 при визначенні тангенціальної сили різання при гравіюванні за [45] табл.9 с. 264 та при обробці Сталі 40Х ГОСТ 1050-88 з межею міцності при розтязі $\sigma_B = 1000 \text{ МПа} - n = 0,3$.

Визначимо решту складових сили різання, що виникає під час обробки. Дані сили зображені на рис. 3.3.

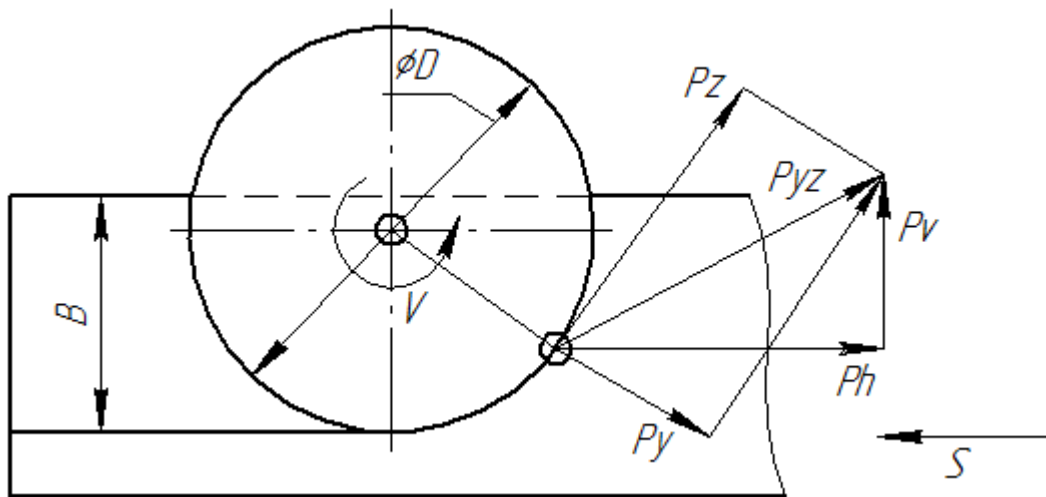


Рисунок 3.3 – Схема напрямків сил різання при гравіюванні

За [45] табл.42 с.292 визначимо всі складові сили різання:

- Горизонтальна складова сили різання (сила подачі):

$$P_h = 0,7 \times P_z = 0,7 \times 589,02 = 412,31 \text{ Н} \quad (3.8)$$

- Вертикальна складова сили різання:

$$P_v = 0,65 \times P_z = 0,65 \times 589,02 = 382,86 \text{ Н} \quad (3.9)$$

- Радіальна складова сили різання:

$$P_y = 0,35 \times P_z = 0,35 \times 589,02 = 206,16 \text{ Н} \quad (3.10)$$

- Осьова складова сили різання:

$$P_x = 0,53 \times P_z = 0,53 \times 589,02 = 312,18 \text{ Н} \quad (3.11)$$

Ефективна потужність різання визначаємо за наступною формулою:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \times 60} = \frac{589,02 \times 10,35}{1020 \times 60} = 0,1 \text{ кВт} \quad (3.12)$$

3.2 Симуляція гравіювання деталі

Виконаємо симуляцію гравіювання заданої деталі в системі автоматизованого проектування КОМПАС-3D. Компанія, що виготовляє дане програмне забезпечення надає безкоштовну студентську ліцензія для виконання різного роду навчальних проектів (курсовий проект, розрахункова робота, магістерська дисертація).

Виконаємо процес симуляції в декілька етапів.

Система координат

На даному етапі визначаємо та встановлюємо систему координат, а також вибираємо систему ЧПК. Центр осі координат встановлюємо в центрі підшови заготовки. Систему ЧПК приймаємо NC-201M.

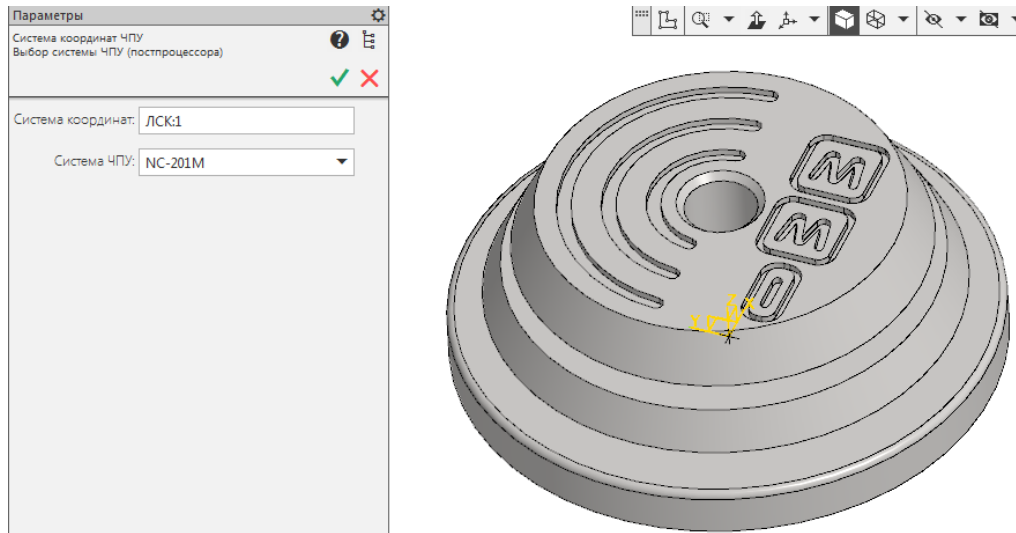


Рисунок 3.4 – Вибір системи ЧПК та встановлення центру осей координат

Заготовка, інструменти

Визначимо заготовку для обробки як деталь, але без гравіювання (рис. 3.5).

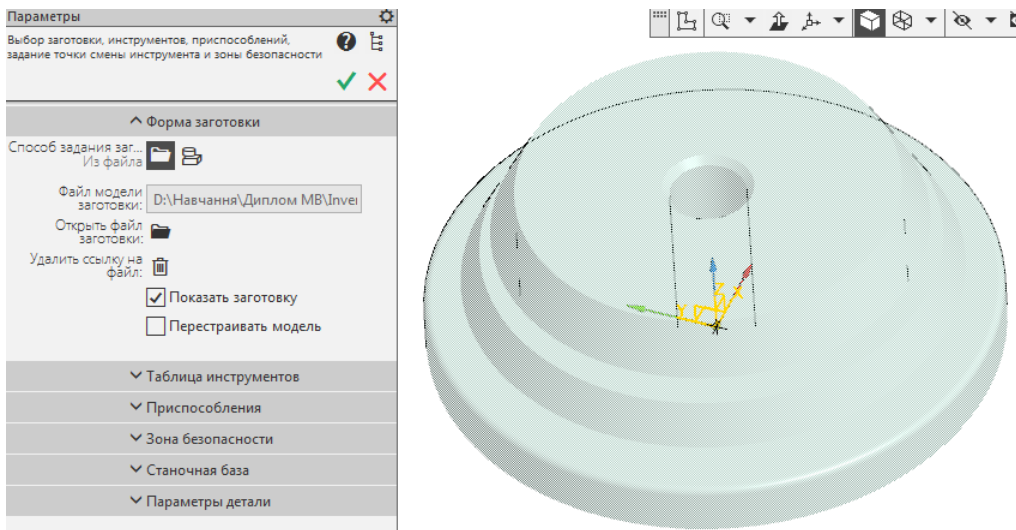


Рисунок 3.5 – Визначення заготовки

Виберемо інструмент – фреза нестандартна та задаємо параметри згідно ГОСТ 16463-80 для шпонкової твердосплавної фрези (рис. 3.6).

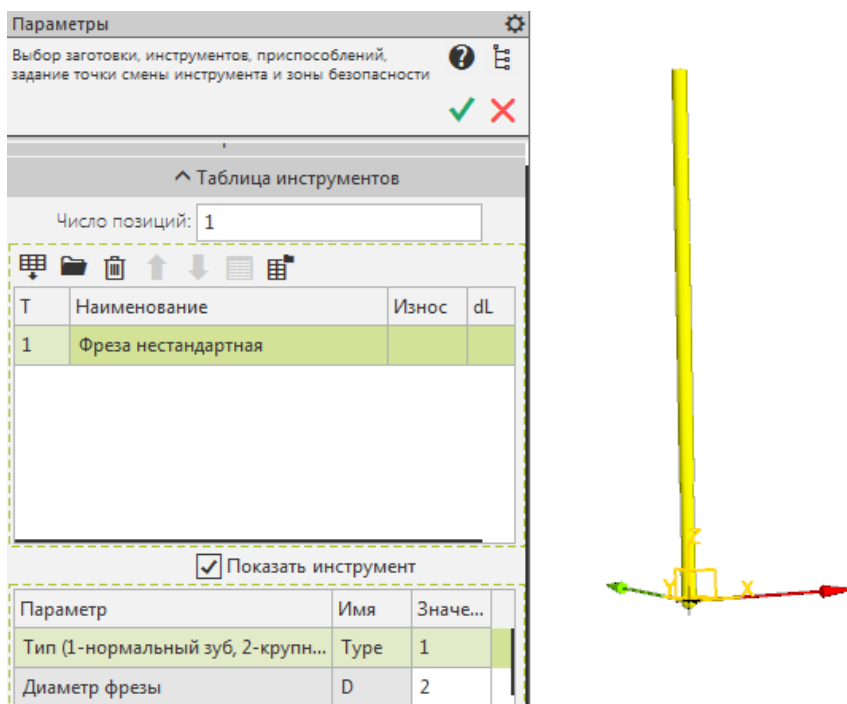


Рисунок 3.6 – Вибір різального інструменту

В якості пристосування для закріплення заготовки виберемо лещата (рис. 3.7).

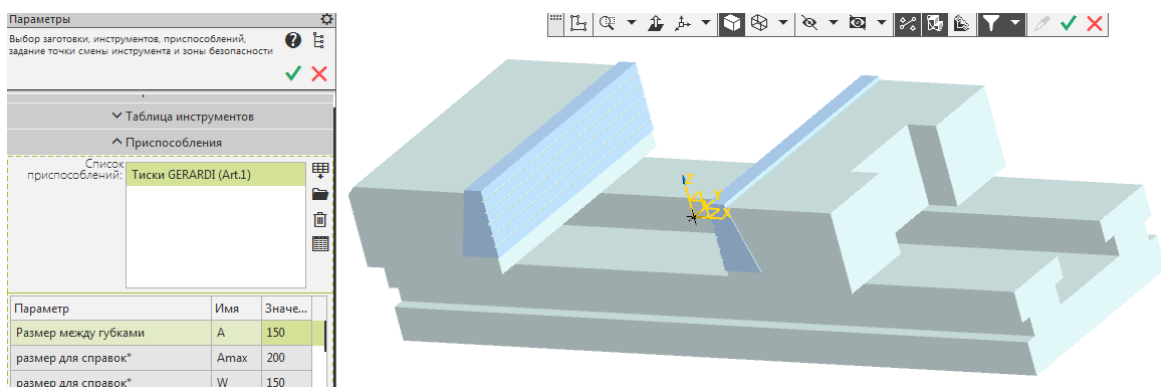


Рисунок 3.7 – Вибір пристосування для закріплення заготовки

3D Контур

Задаємо траєкторію обробки. Траєкторія являється кромками гравіювання (рис. 3.8). Далі буде виконана корекція на величину радіусу різального інструменту ($r = 1$ мм).

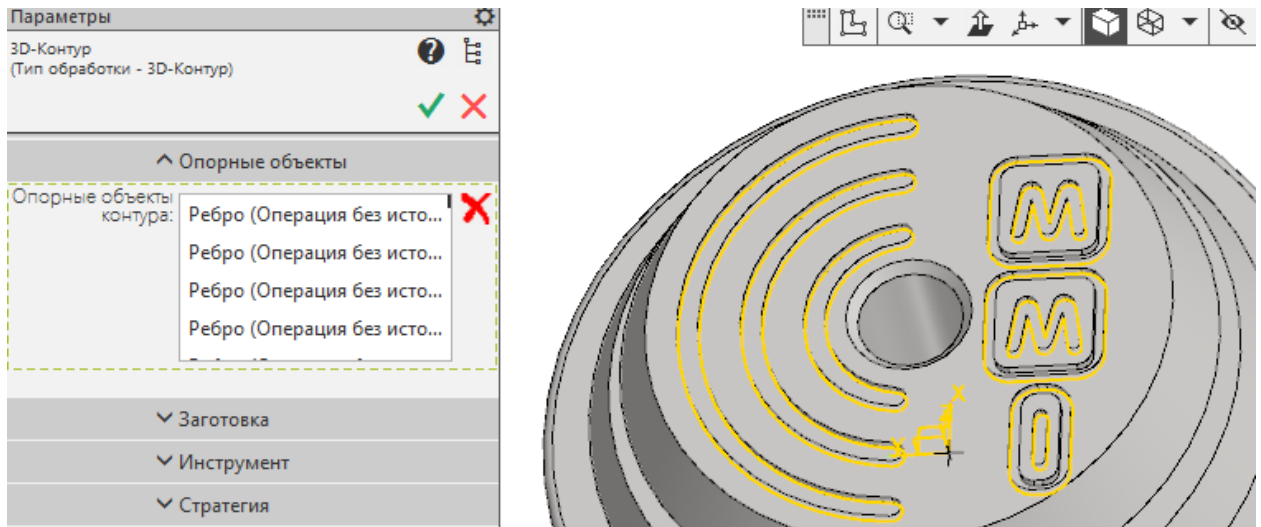


Рисунок 3.8 – Траєкторія обробки

Задаємо режими різання, що були розраховані в п.3.1 та вмикаємо опцію охолодження під час обробки (рис. 3.9).

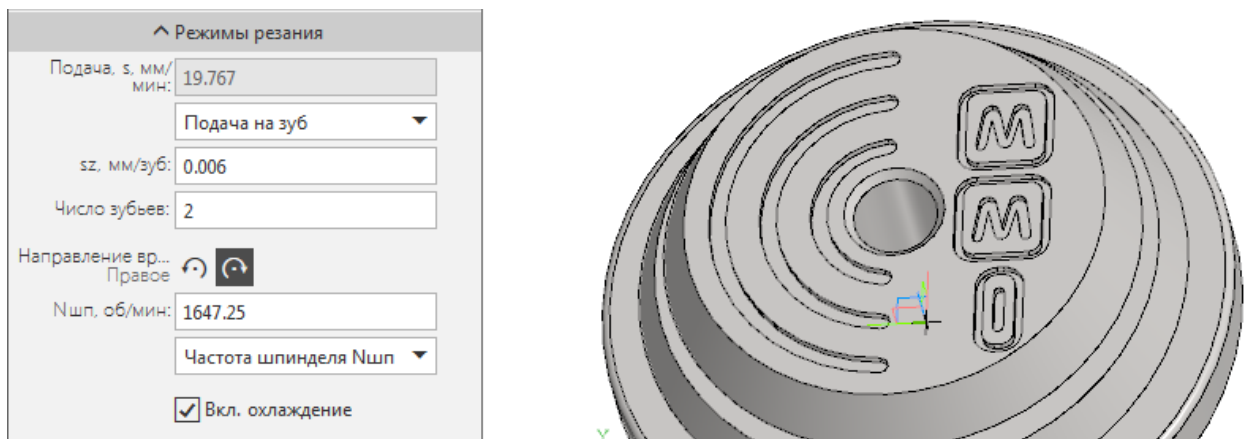


Рисунок 3.9 – Задання режимів різання

Результатом отримаємо керуючу програму, котру можна відобразити й проаналізувати всі технологічні моменти обробки (рис. 3.10).

4 РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

Враховуючи вище зазначені вимоги до верстату, вимоги до обробки заданої деталі, що зображена на рис. 2.1, та опираючись на раніше прийняту концепцію схеми несучої системи, що зображена на рис. 2.3, виконаємо проектування несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями.

4.1 Основні складові несучої системи

Виконаємо конструктивне проектування несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями. Ескіз з компонентами креслення (основні види та перерізи) зображений на рис. 4.1.

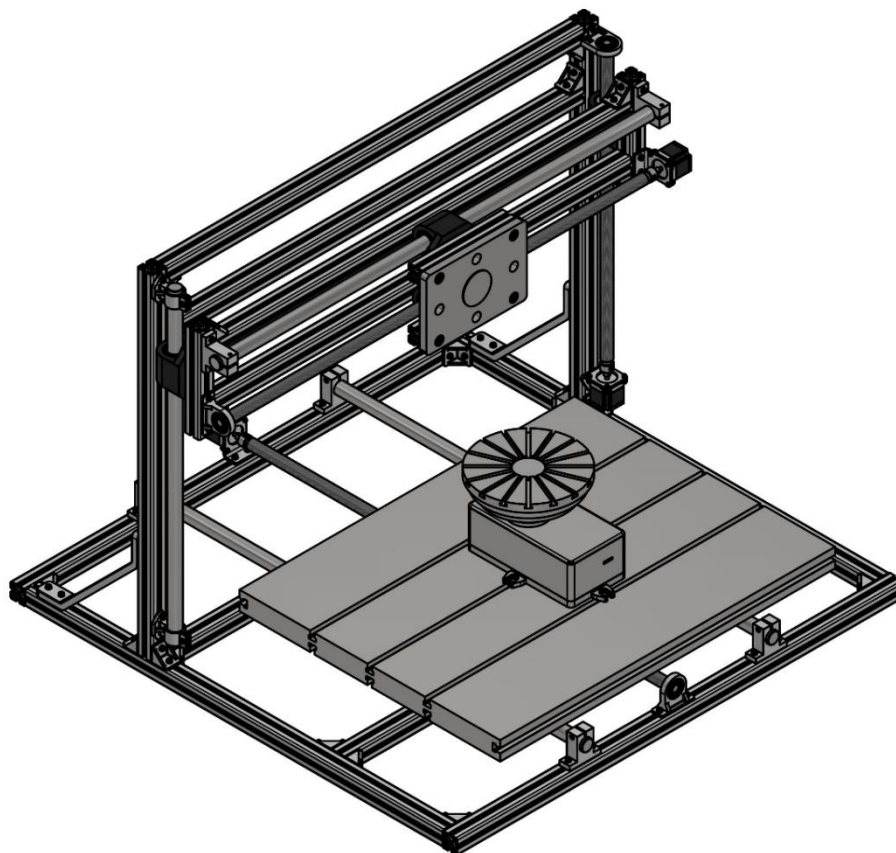


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями

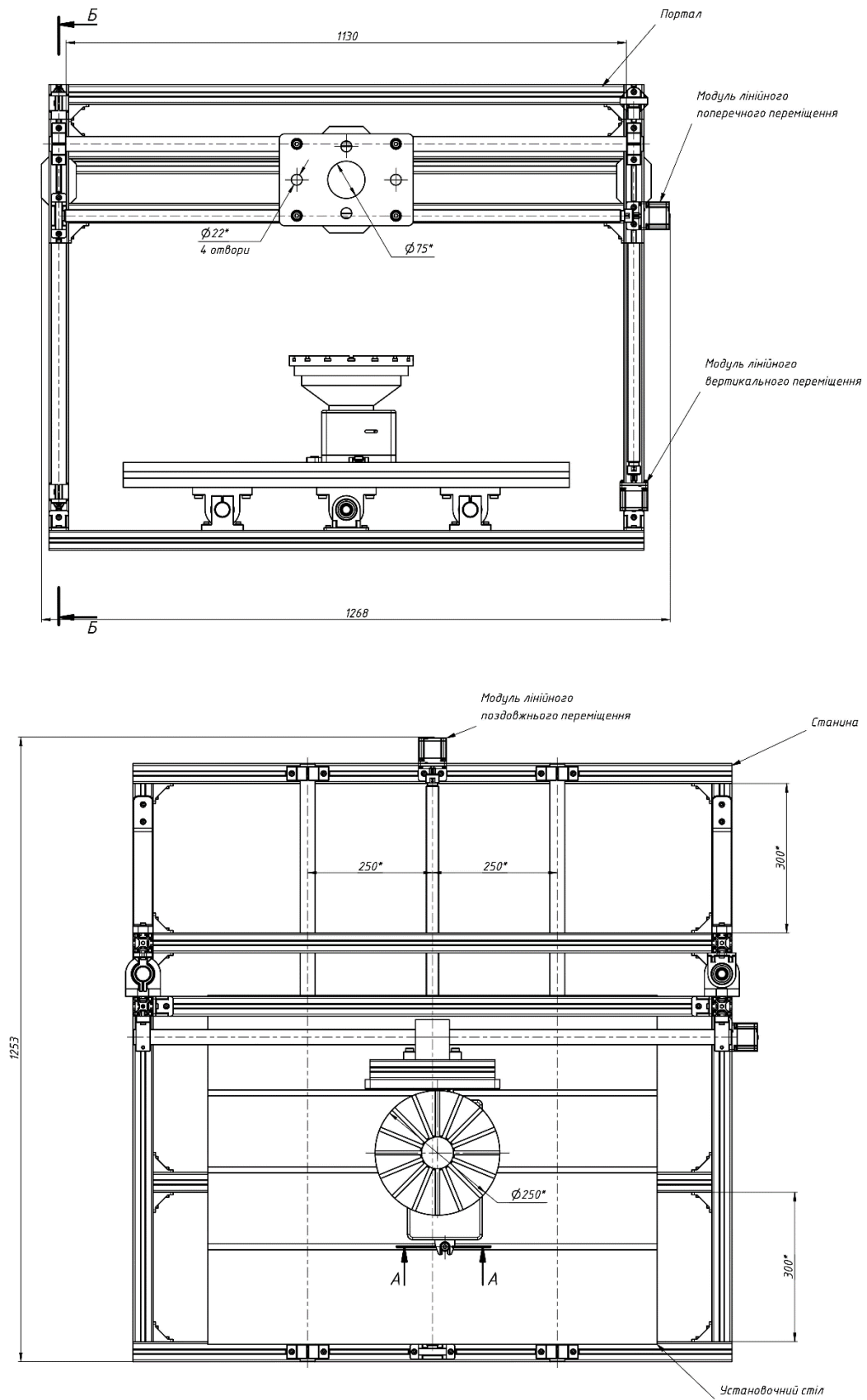


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями (продовження)

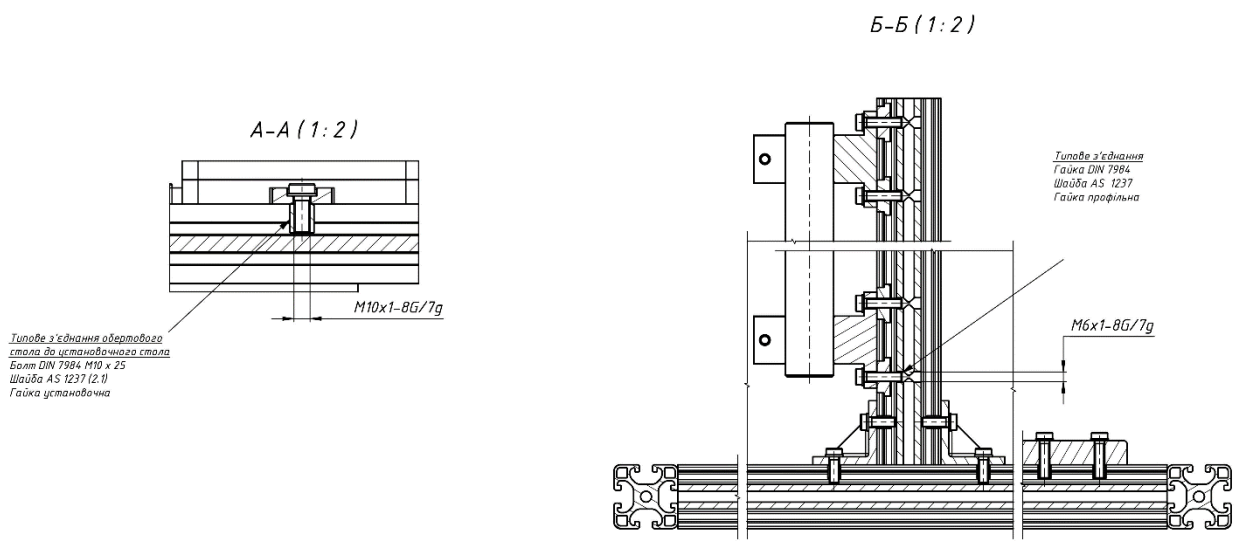
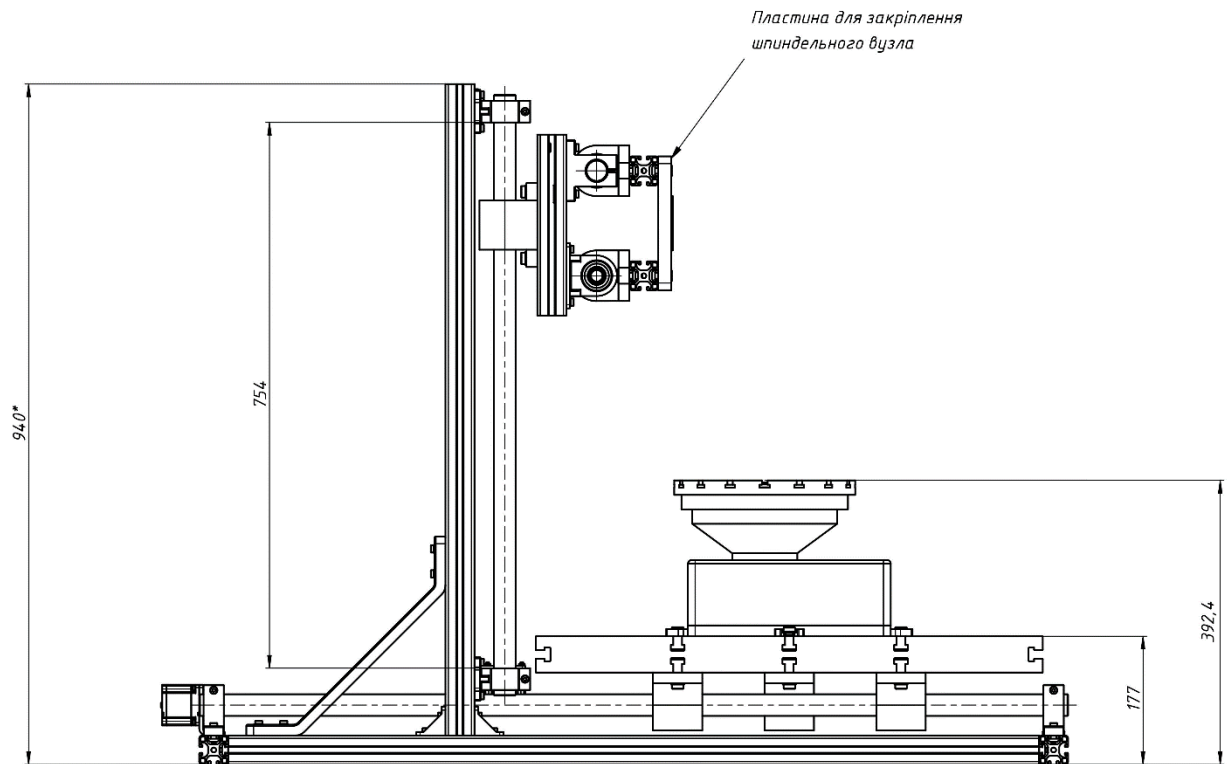


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями (закінчення)

Несуча система складається зі складеної станини. Дана станина утворена завдяки алюмінієвому профілю. Станина складається з підшви (сукупність профілів, котрі базуються на опорну поверхню) та порталу (сукупність вертикально встановлених профілів). На станину встановлюються всі його компоненти.

До них входять механізований модуль лінійного поздовжнього переміщення, на котрому змонтований установочний стіл, котрий забезпечує лінійне поздовжнє переміщення заготовки відносно гравіювальної головки.

На установочний стіл встановлюється обертовий механізований стіл. Даний стіл забезпечує обертове переміщення закріпленої на ньому заготовки відносно осі різального інструменту.

На портал станини встановлюється механізований модуль вертикального лінійного переміщення. Даний модуль забезпечує вертикальне переміщення різального інструменту відносно закріпленої на обертовому столі заготовки в пристосуванні.

По напрямній та ходовому гвинту вертикального модуля переміщення змонтований механічний модуль поперечного лінійного переміщення. Він забезпечує поперечне переміщення гравіювальної головки відносно інструменту.

Таким чином, дана конструкція забезпечує чотири рухомі координати: три лінійні переміщення, з котрих два лінійних переміщення різального інструменту та одне лінійне переміщення заготовки, та одне кругове переміщення заготовки відносно різального інструменту.

Розглянемо конструкцію складових елементів більш детально в наступних розділах.

4.2 Проектування станини несучої системи

Розглянемо конструкцію спроектованої станини для несучої системи гравіювального верстату. Ескіз з компонентами креслення (основні види та перерізи) зображений на рис. 4.2.

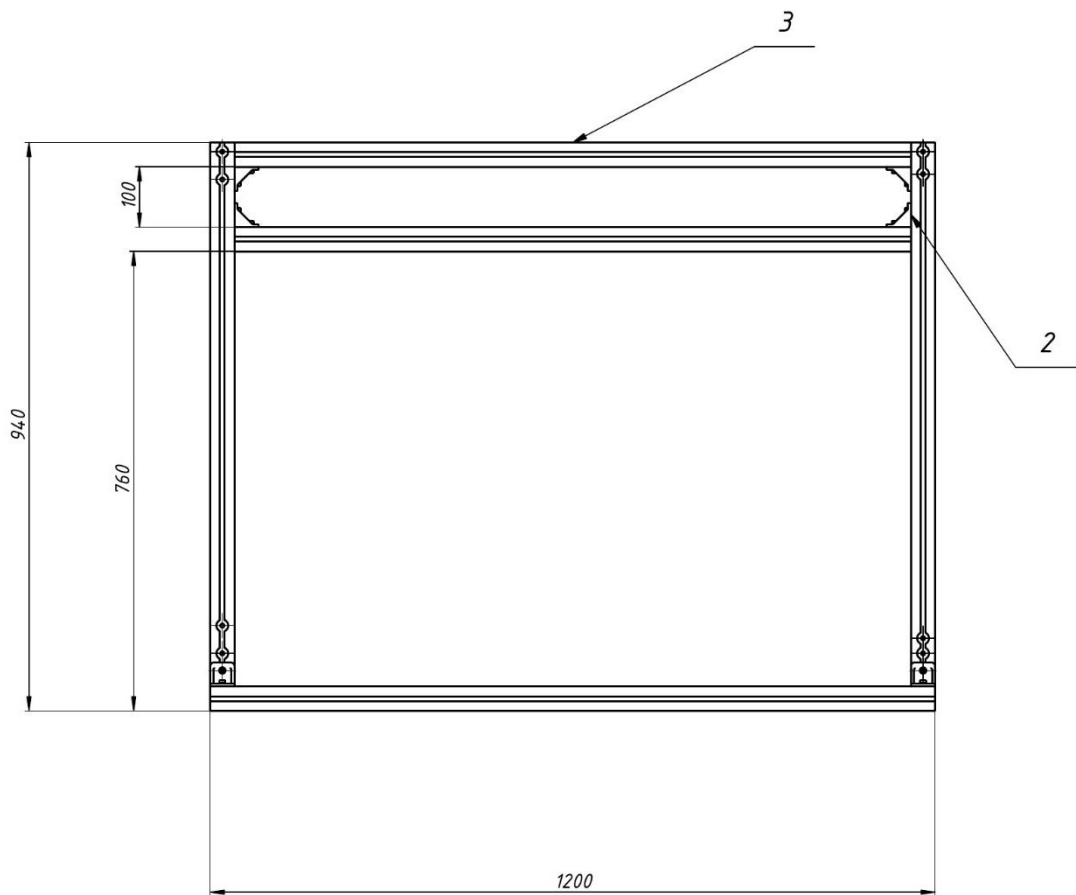
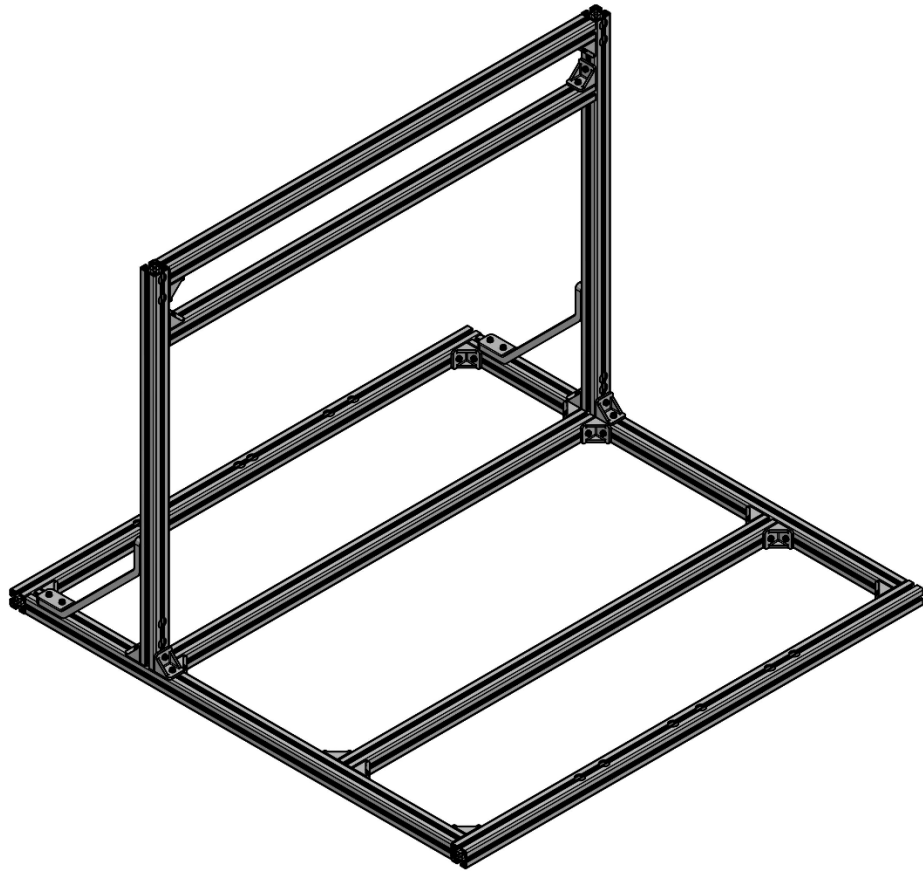


Рисунок 4.2 – Станина несучої системи гравіювального верстату

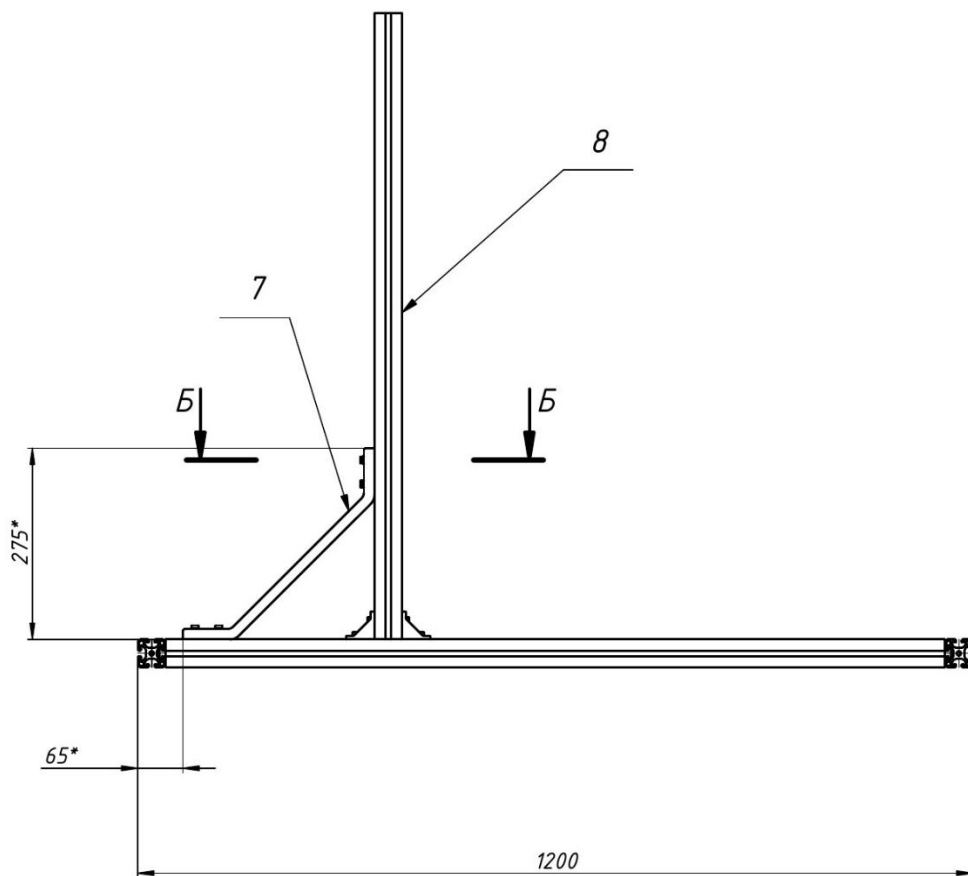
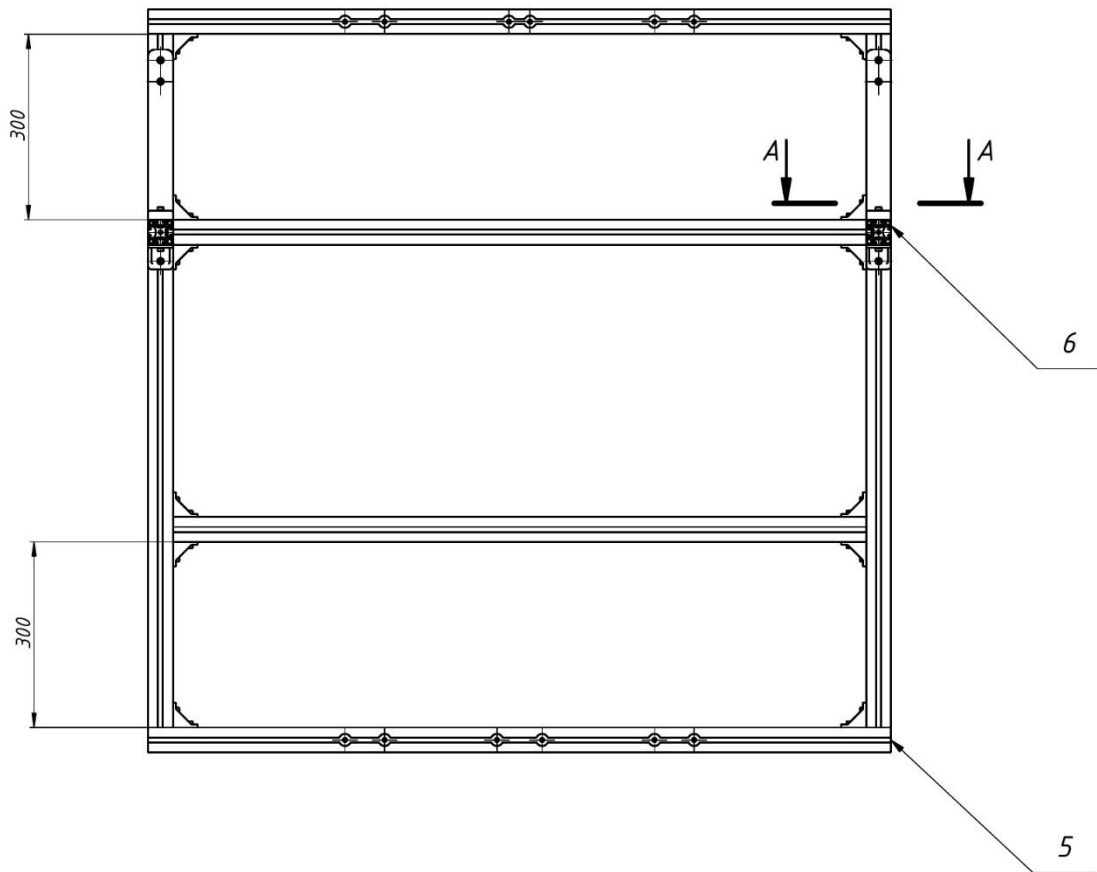
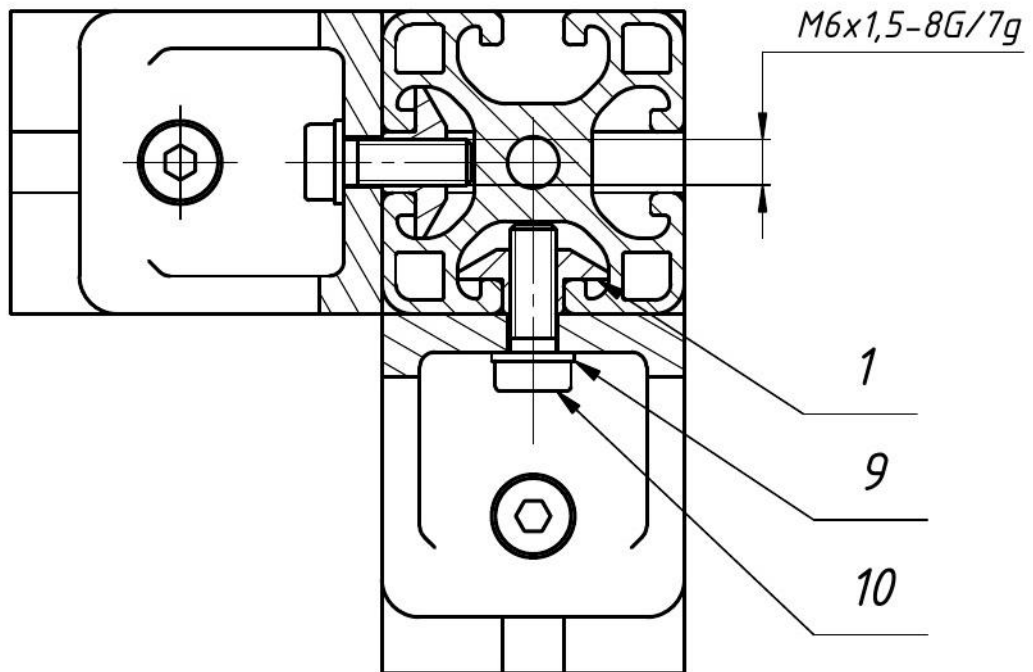


Рисунок 4.2 – Станина несучої системи гравіювального верстату
(продовження)

A-A (1:1)
Типове з'єднання кронштейнів
та профілів між собою



Б-Б (1:1)
Типове з'єднання ребер посилення
та профілів між собою

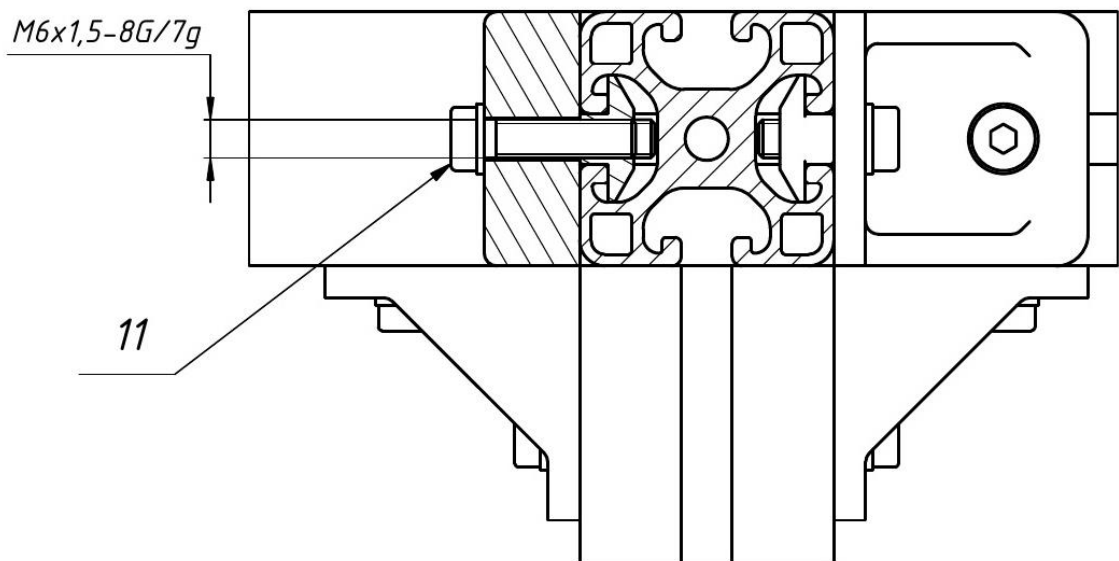


Рисунок 4.2 – Станина несучої системи гравіювального верстату
(закінчення)

Оснoву стaнiни склaдaє aлюмiнiєвi профiля рiзнoї довжини, пoперечний пeрeрiз якoгo зoбрaжений нa рiс. 4.3.

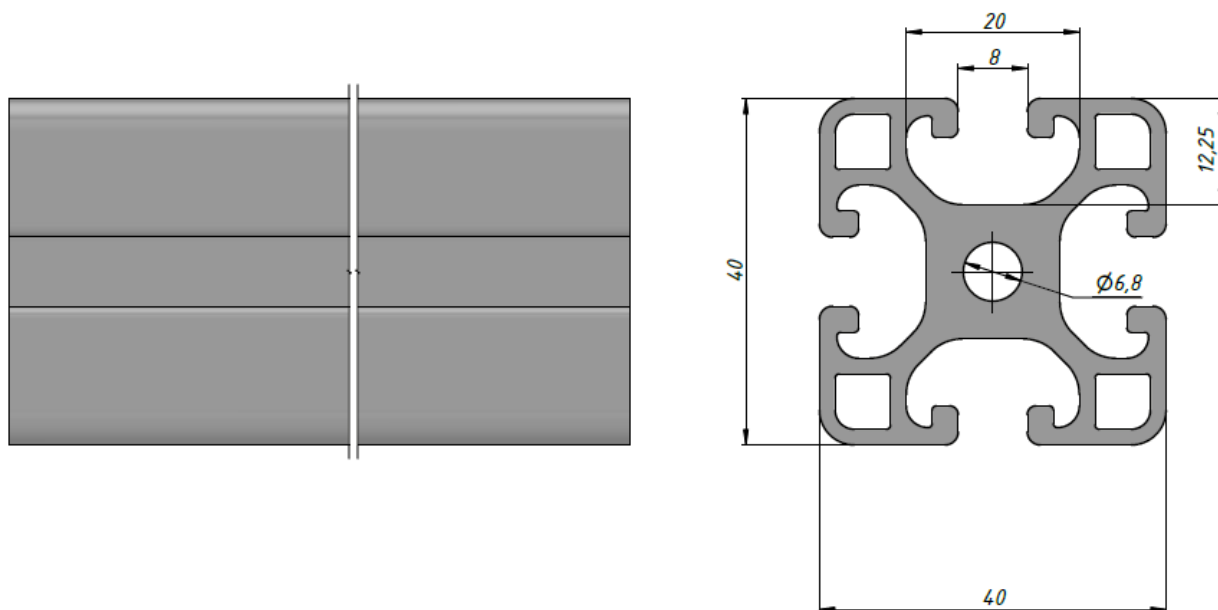


Рисунок 4.3 – Алюмінієвий профіль

Конструкцію станини формують алюмінієві профіля з наступними довжинами:

- Профіль $L = 1120$ мм – 6 штук – [3];
- Профіль $L = 1200$ мм – 2 штуки – [5];
- Профіль $L = 900$ мм – конфігурація №1 – 1 штука – [6];
- Профіль $L = 900$ мм – конфігурація №2 – 1 штука – [8];

Профіля закріплюються між собою завдяки кронштейну [2] (рис. 4.4), гайки профільної [1], шайби [9] та болтів різної довжини [10] та [11]. Типове закріплення зображено на перерізі А – А на рис. 4.2.

Завдяки такому закріпленню забезпечується міцність та правильне розташування профілів між собою в станині. Міцність забезпечується за рахунок затиску кронштейну до профілів з двох взаємно перпендикулярних напрямків. Таким чином, зсув, що мене виникати внаслідок вібрацій під час обробки деталей різанням буде невілюватися.

Оскільки на станину встановлюються всі компоненти несучої системи, забезпечення відсутності вібрації та правильного розташування встановлювальних отворів, що забезпечується використанням кронштейнів (рис. 4.4).

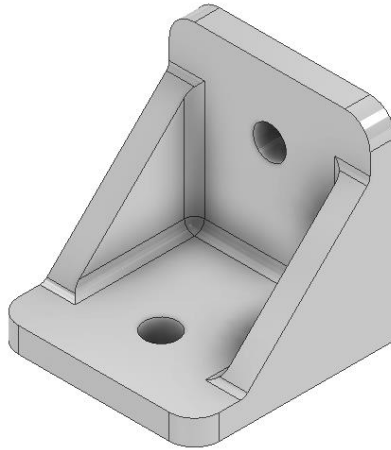


Рисунок 4.4 – Кронштейн для закріплення та базування профілів станини

Для забезпечення стабільності розташування порталу відносно підшви станини використовуються ребра посилення **7** (рис. 4.5).

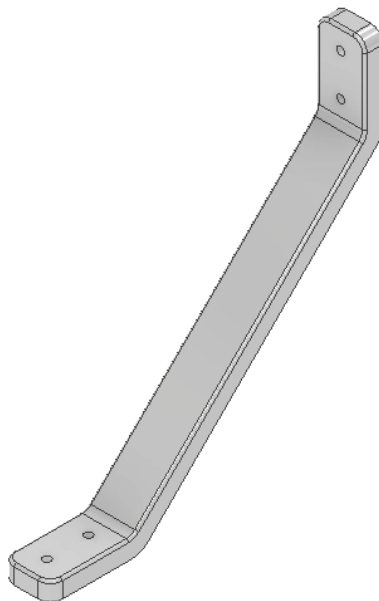


Рисунок 4.5 – Ребро посилення для підтримки підшви та порталу станини

Внаслідок великого значення відношення довжини профілю до його периметру, без додаткових підтримок в якості ребр посилення [7] не буде забезпечуватись стійкість порталу, правильність його розташування. Тому в станині встановлені два ребра посилення [7]. Їх встановлення зображено на перерізі Б – Б, що зображено на рис. 4.2.

4.3 Проектування модуля поздовжнього лінійного переміщення

Розглянемо конструкцію спроектованого модуля поздовжнього лінійного переміщення для несучої системи гравіювального верстату. Ескіз з компонентами креслення (основні види та перерізи) зображений на рис. 4.6.

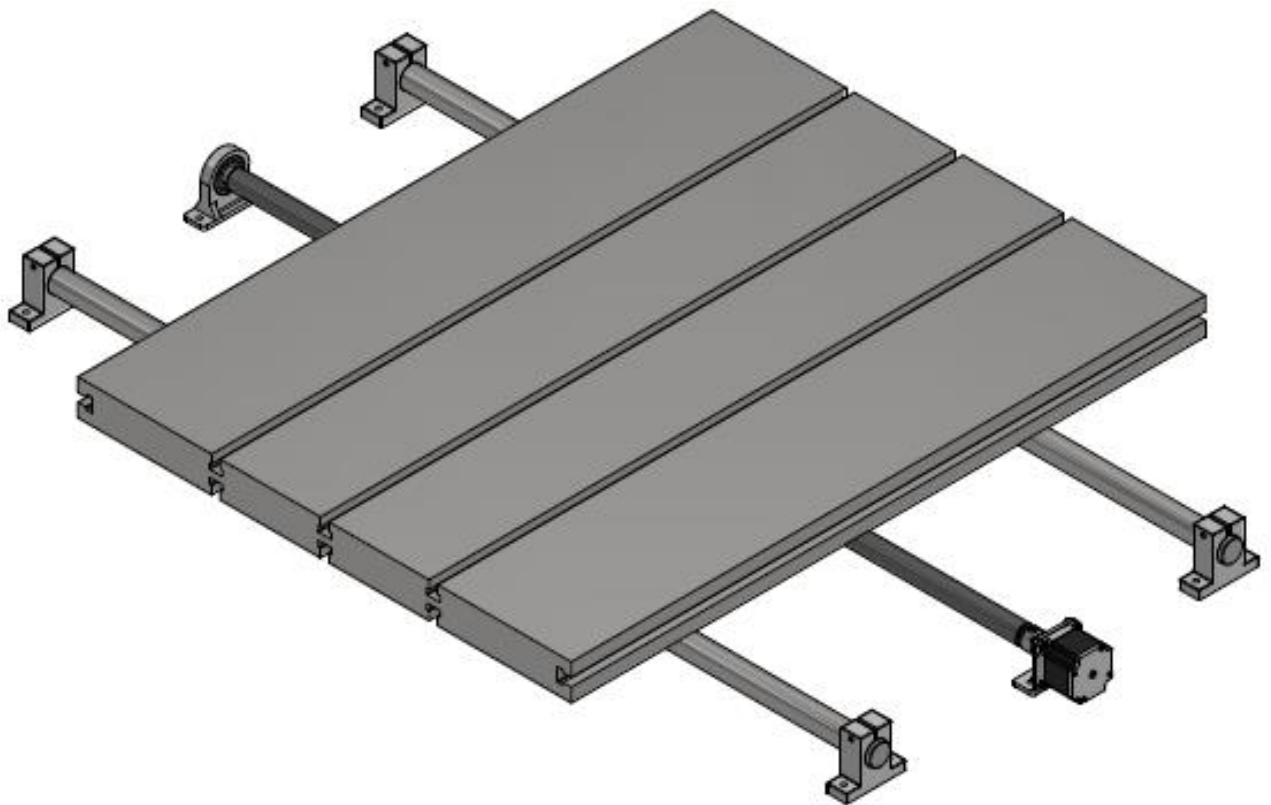
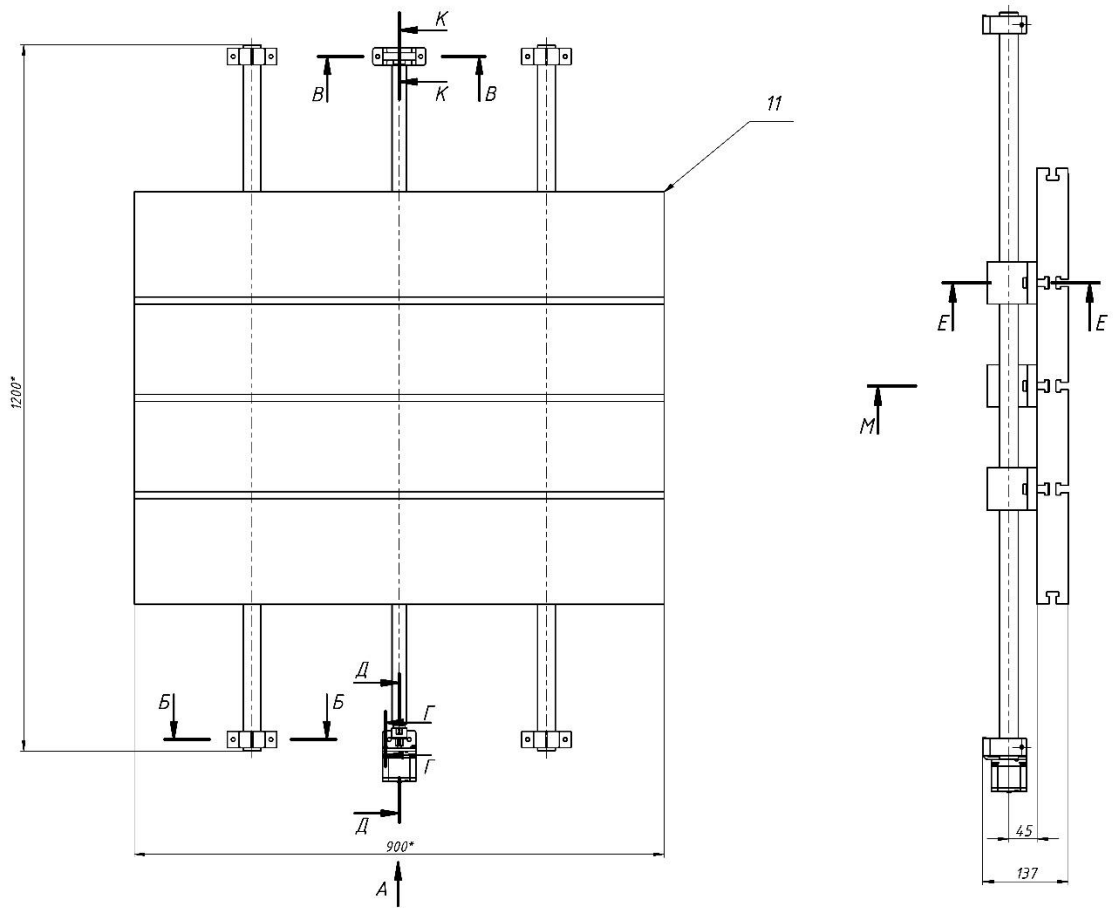


Рисунок 4.6 – Модуль поздовжнього лінійного переміщення для несучої системи гравіювального верстату



A

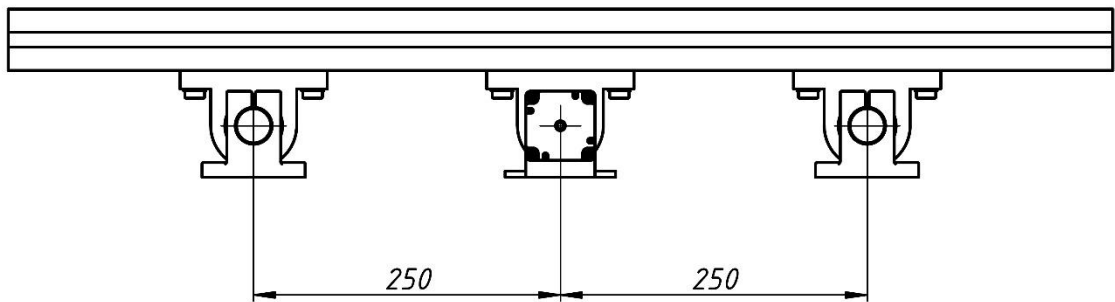


Рисунок 4.6 – Модуль поздовжнього лінійного переміщення для несучої системи гравіювального верстату (продовження)

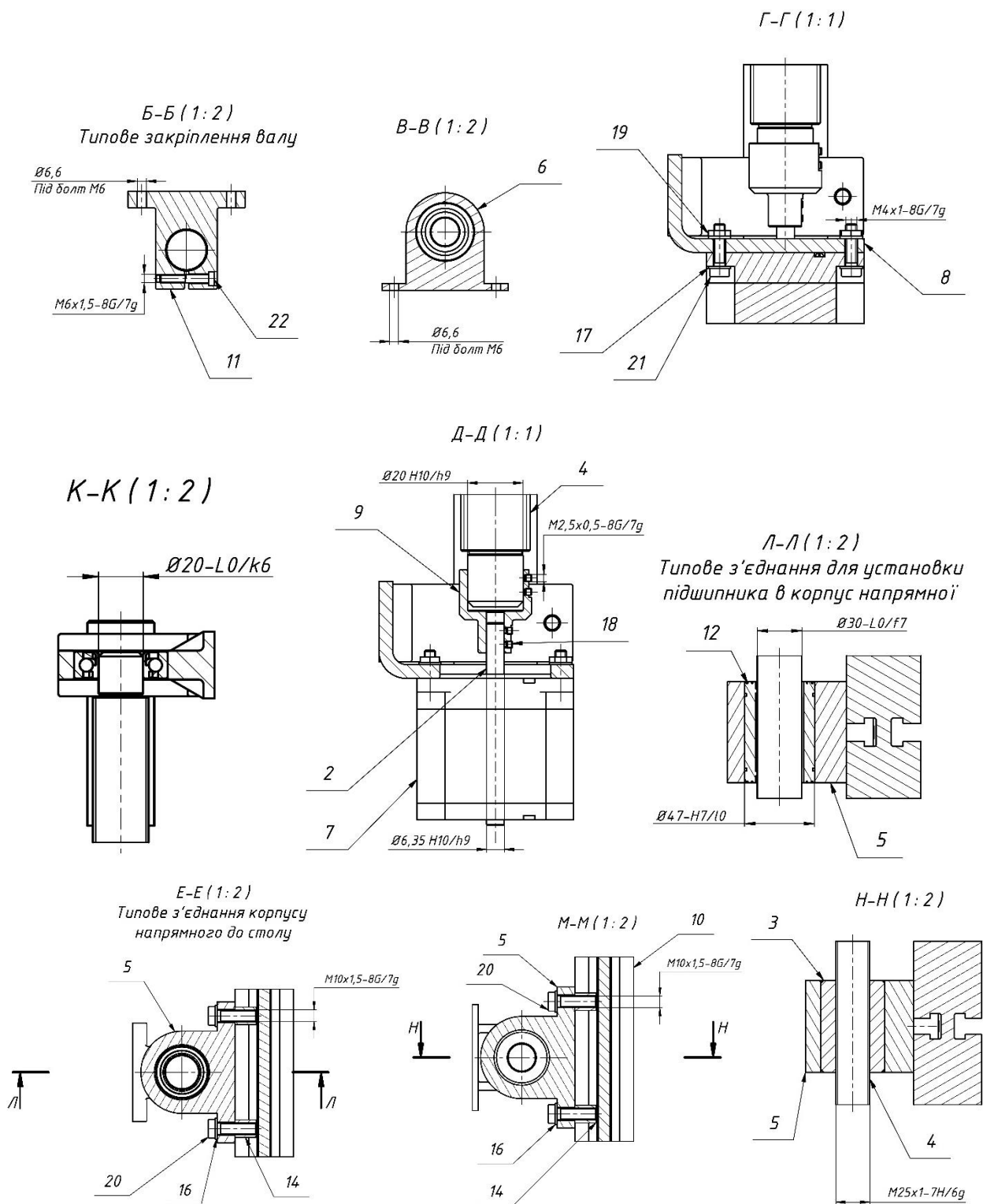


Рисунок 4.6 – Модуль поздовжнього лінійного переміщення для несучої системи гравіювального верстату (закінчення)

Даний модуль забезпечує переміщення столу з закріпленої на ньому заготовкою. Дане переміщення являється механізованим.

Розглянемо елементи модуля поздовжнього лінійного переміщення для несучої системи гравіювального верстату.

Напрямні вали **1** модуля монтуються в опори валу **11** (рис. 4.7).

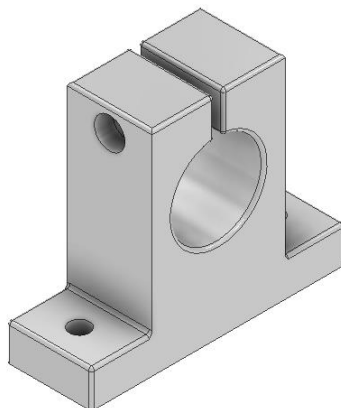


Рисунок 4.7 – Опора валу модуля поздовжнього лінійного переміщення

Вал затискається за рахунок деформації верхньої частини корпусу, в котрому виконаний різьбовий отвір. Затиск здійснюється за рахунок гвинта **22** та зображений на перерізі Б – Б на рис. 4.6. В опорі валу виконані два отвори $\varnothing 6,6$ мм, через котрі здійснюється закріплення його до профілю станини.

Даний модуль являється механізованим та забезпечується завдяки використанню крокового двигуна **7** (рис. 4.8).

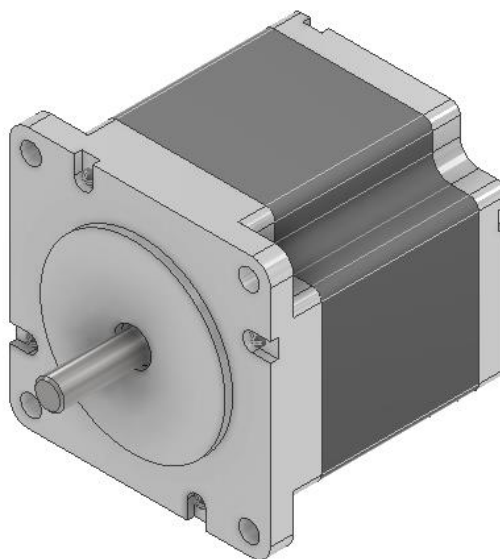


Рисунок 4.8 – Кроковий двигун *FL57STH56 – 2006A*

Його основні характеристики зображені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики *FL57STH56 – 2006A*

Тип двигуна	Кроковий
Крок	1,8°
Габарит фланцю	<i>NEMA 23</i> (57 мм)
Струм/фаза	2 А
Крутний момент	0,8826 Нм
Опір/фаза	1,8 Ом
Інерційний момент ротору	0,00003 кг · м ²
Кількість виводів	6
Довжина	56 мм
Діаметр валу	6,35 мм

Кроковий двигун [7] закріплюється до кутника установлювального [8] (рис. 4.9) за допомогою болтів [21], шайб [17] та гайок [19]. Закріплення зображено в перерізі Г – Г на рис. 4.6.

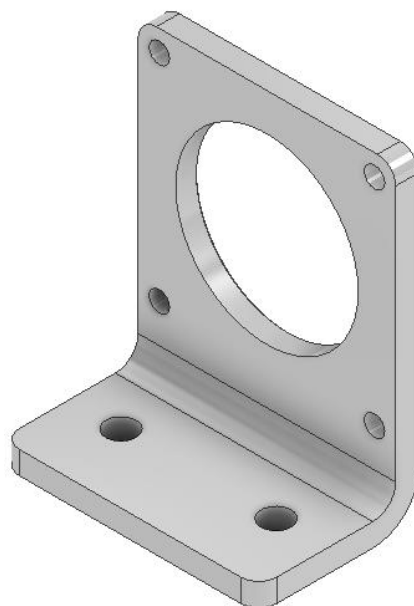


Рисунок 4.9 – Кутник установлювальний

Даний кутник [8] встановлюється на профіль станини. Для цього в кутнику виконані два отвори $\text{Ø}6,6$ мм, через котрі здійснюється закріплення його до профілю станини.

Від валу двигуна [7] крутний момент на ходовий гвинту [4] здійснюється за рахунок муфти [9] (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Муфта

Вал двигуна [7] та ходовий гвинт [4] в муфті [9] закріплюється за допомогою гвинтів [18]. Встановлення зображена на перерізі Д – Д на рис. 4.6.

Ходовий гвинт [4] має в своєму складі різьбу $M25 \times 1 - 6g$, та дві шийки для закріплення в муфті [9] та в підшипнику опорному [13].

Підшипник опорний [13] встановлений в корпусі підшипник [6] (рис. 4.11). Даний корпус закріплюється до профілю станини через два отвори $\text{Ø}6,6$ мм.

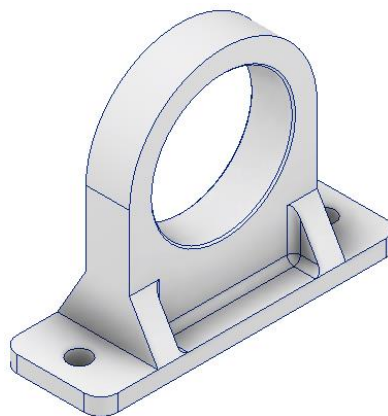


Рисунок 4.11 – Корпус підшипника опорного

Установочний стіл [10] (рис. 4.12) здійснює поздовжнє лінійне переміщення за рахунок переміщення п'яти корпусів [5] (рис. 4.13), в чотирьох з яких для напрямних валів [1] встановлені підшипник кочення [12]. В одному корпусі [5] встановлена втулка різьбова [3], котра переміщується за рахунок обертання пари гвинт-гайка по ходовому гвинту [4].

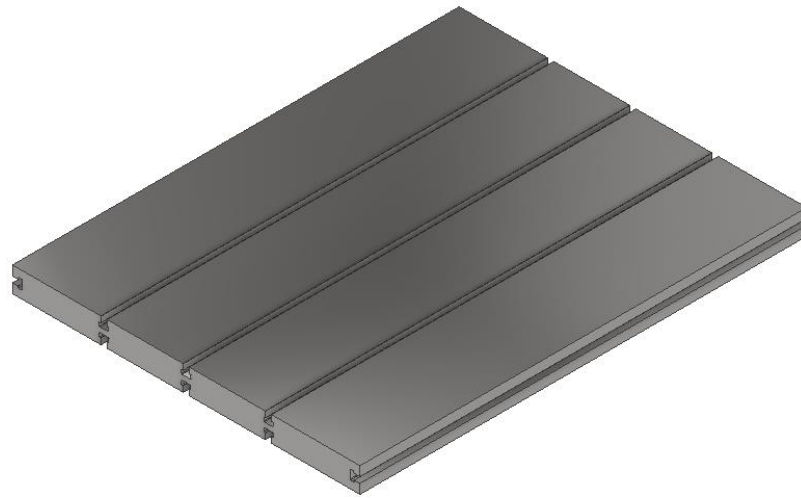


Рисунок 4.12 – Установочний стіл

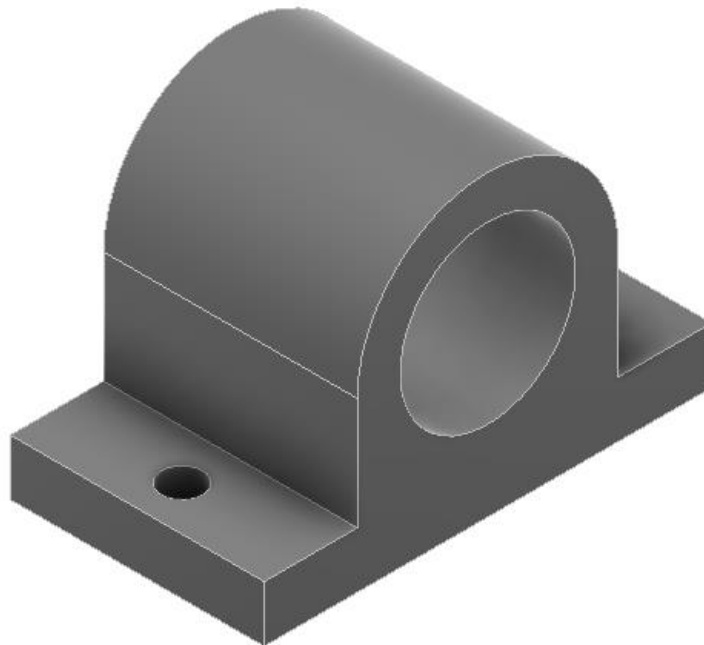


Рисунок 4.13 – Корпус

Корпуси [5] закріплюються до установочного столу [10] за допомогою болтів [20], шайб [16] та установлювальних гайок [14]. Встановлення зображено на перерізах Е – Е та М – М на рис. 4.6.

Отже, вищерозглянутий модуль забезпечує механізоване поздовжнє переміщення установочного столу за допомогою крокового двигуна.

4.4 Проектування модулів вертикального та поперечного лінійних переміщень

Розглянемо конструкцію спроектованих модулів вертикального та поперечного лінійних переміщень для несучої системи гравіювального верстату. Ескіз з компонентами креслення (основні види та перерізи) зображений на рис. 4.14.

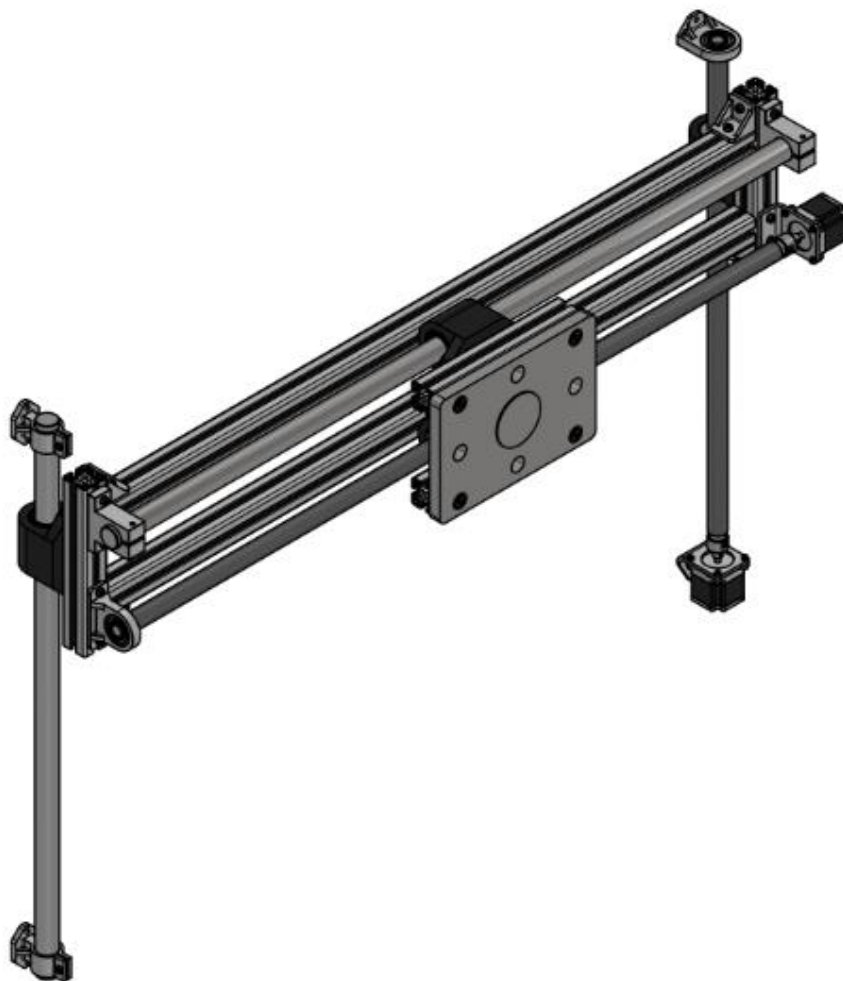


Рисунок 4.14 – Модулі вертикального та поперечного лінійних переміщень для несучої системи гравіювального верстату

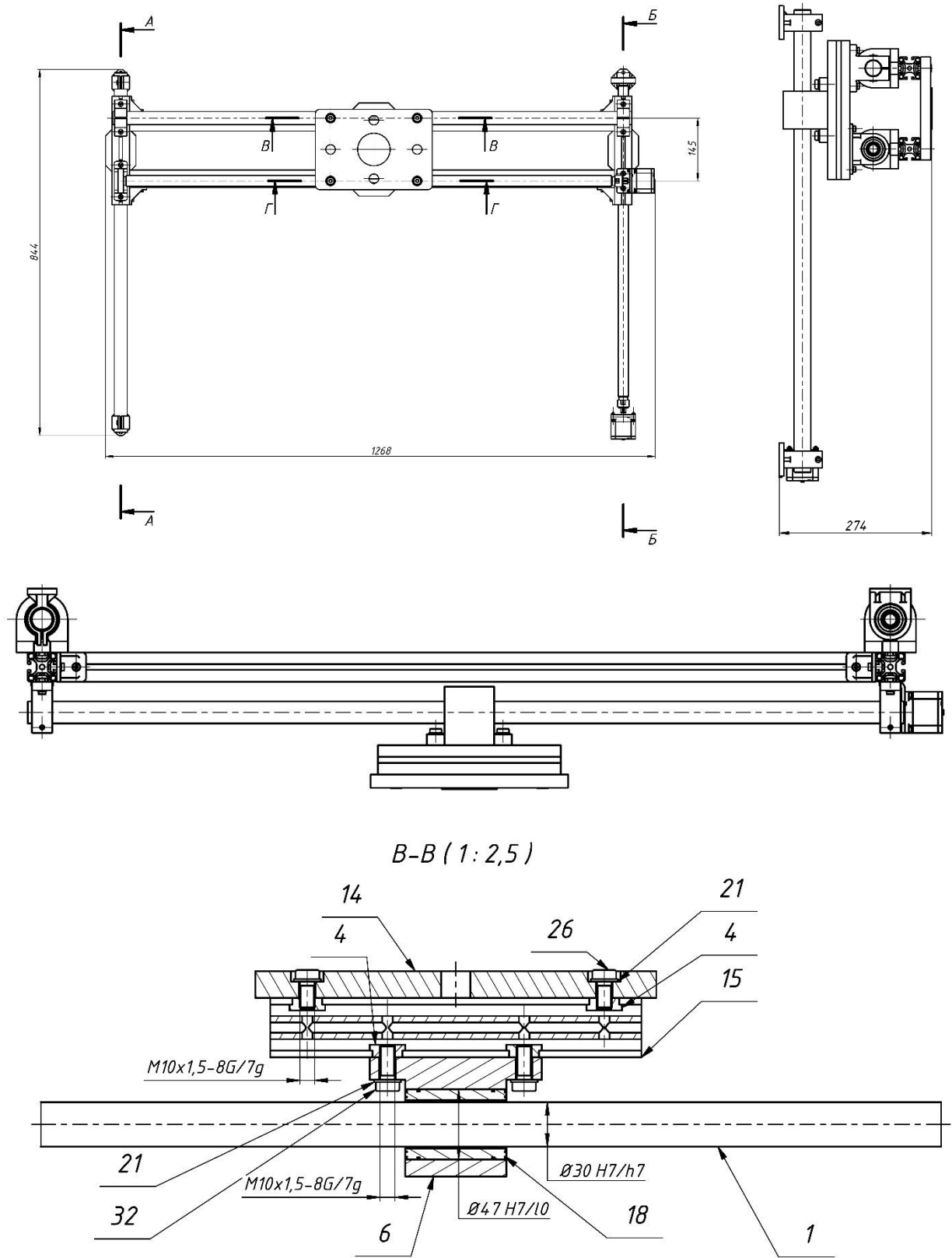


Рисунок 4.14 – Модулі вертикального та поперечного лінійних переміщень для несучої системи гравіювального верстату (продовження)

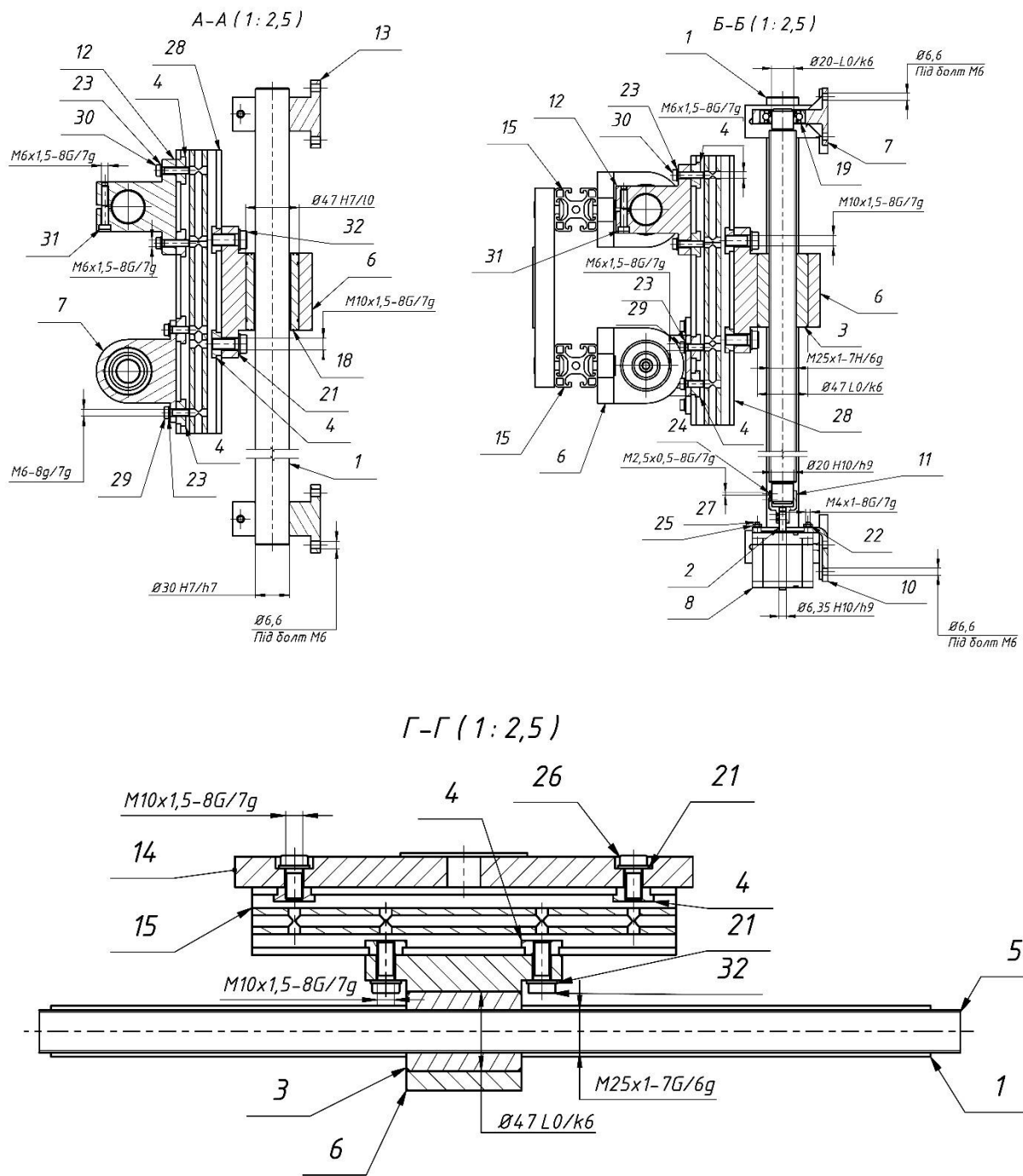


Рисунок 4.14 – Модулі вертикального та поперечного лінійних переміщень для несучої системи гравіювального верстату (закінчення)

Дані модуля забезпечують вертикальне та поперечне переміщення шпиндельного блоку, в котрий встановлюється різальний інструмент.

Розглянемо елементи модулів вертикального та поперечного лінійних переміщень для несучої системи гравіювального верстату від зворотного, а саме від шпиндельної бабки до закріплення модулів в профілях станини.

Шпindelний вузол через гвинти, шайби та гайки за допомогою двох отворів $\varnothing 22$ мм закріплюється до основи шпindelного вузла [14] (рис. 4.15).

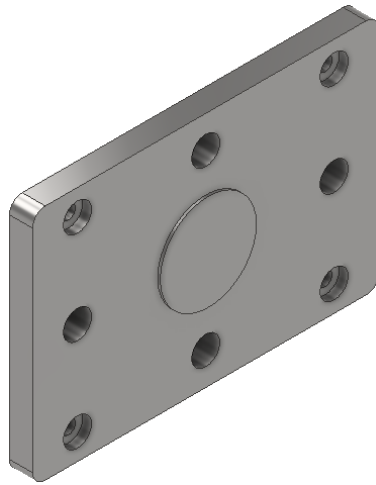


Рисунок 4.15 – Основа шпindelного вузла

Шпindelний вузол [14] закріплюється до двох профілів [15] довжиною $L = 250$ мм за допомогою гвинтів [26], шайб [21] та гайок профільних [4]. Встановлення його зображено на перерізах В – В та Г – Г на рис. 4.14.

До профілів [15] закріплюються два корпуси [6] (рис. 4.16) в котрі встановлені підшипник кочення [18] та втулка різьбова [3]. Ці корпуси встановлюються до профілів [15] за допомогою гвинтів [32], шайб [21] та профільних гайок [4]. Встановлення їх зображено на перерізах В – В та Г – Г на рис. 4.14.

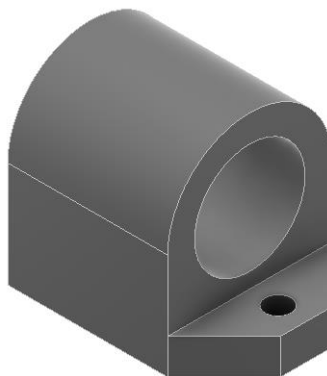


Рисунок 4.16 – Корпус

Один із корпусів [6] рухається по напрямному валу [1]. Інший корпус [6] – по ходовому гвинту [5].

Вал [1] закріплюється в опорі валу [12] (рис. 4.7) з двох сторін. Ці корпуси встановлюються на профіля [17] за допомогою гвинтів [30], шайб [23] та профільних гайок [12]. Встановлення його зображено на перерізі А – А на рис. 4.14.

Ходовий гвинт [5] має різьбу $M25 \times 1 - 6g$, та дві шийки для закріплення в муфті [11] та в підшипнику опорному [19]. Підшипник опорний змонтований в корпусі підшипника [7] (рис. 4.11). Даний корпус встановлюється на профіль [17] за допомогою гвинтів [29], шайб [23] та профільних гайок [4]. Встановлення його зображено на перерізі А – А на рис. 4.14.

Ходовий гвинт [5] обертається за рахунок передачі крутного моменту від крокового двигуна [8] (рис. 4.8) через муфту [11] (рис. 4.10). З'єднання здійснюється за рахунок гвинтів [24]. З'єднання зображено на перерізі Б – Б на рис. 4.14. Кроковий двигун [8] встановлений через установлювальний кутник [20]. Цей кутник встановлюється за допомогою гвинтів [29], шайб [23] та профільних гайок [4]. Встановлення його зображено на перерізі Б – Б на рис. 4.14.

Отже, вище був описаний модуль поперечного переміщення шпіндельного вузла з різальним інструментом. Опишемо модуль вертикального переміщення.

До профілів [15] за допомогою гвинтів [32], шайб [21] та профільних гайок [4] закріплюються корпуси [6] (рис. 4.16). Встановлення їх зображено на перерізах А – А та Б – Б на рис. 4.14.

Один із корпусів [6] рухається по напрямному валу [1]. Інший корпус [6] – по ходовому гвинту [5].

Ходовий гвинт [5] має різьбу $M25 \times 1 - 6g$, та дві шийки для закріплення в муфті [11] та в підшипнику опорному [19]. Підшипник опорний змонтований в корпусі підшипника [7] (рис. 4.17). Даний корпус встановлюється на профіль станини через два отвори $\varnothing 6,6$ мм. Встановлення його зображено на перерізі Б – Б на рис. 4.14.

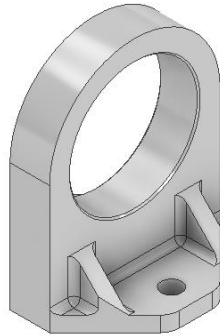


Рисунок 4.17 – Корпус підшипника опорного

Ходовий гвинт [5] обертається за рахунок передачі крутного моменту від крокового двигуна [8] (рис. 4.8) через муфту [11] (рис. 4.10). З'єднання здійснюється за рахунок гвинтів [24]. З'єднання зображено на перерізі Б – Б на рис. 4.14. Кроковий двигун [8] встановлений через установлювальний кутник [10] (рис. 4.18). Цей кутник встановлюється на профіль станини через два отвори $\varnothing 6,6$ мм. Встановлення його зображено на перерізі Б – Б на рис. 4.14.

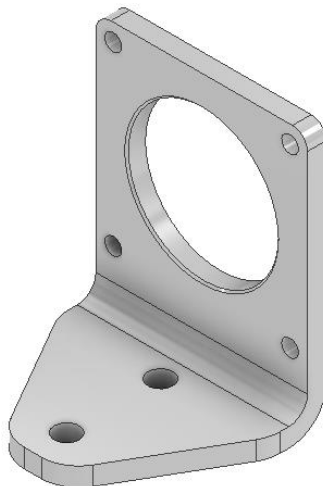


Рисунок 4.18 – Кутник установлювальний

Вал [1] закріплюється в опорі валу [13] (рис. 4.19) з двох сторін. Ці корпуси встановлюються на профіля станини через два отвори $\varnothing 6,6$ мм. Встановлення його зображено на перерізі А – А на рис. 4.14.

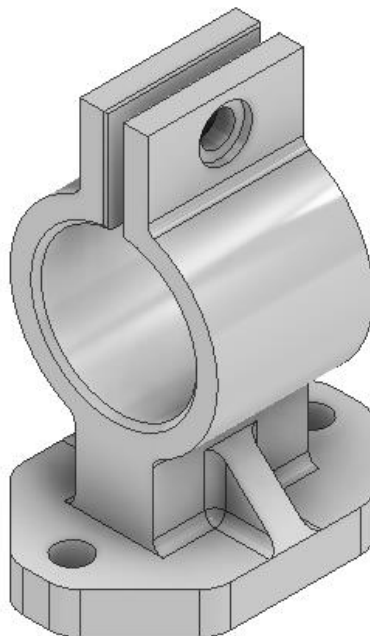


Рисунок 4.19 – Опора валу

Отже, вище був описаний модуль вертикального переміщення шпindelного вузла з різальним інструментом.

Дані модуля забезпечуються несучу систему двома лінійним керуванням осям.

4.4 Проектування обертового столу

Розглянемо конструкцію спроектованого обертового столу для несучої системи гравіювального верстату. Ескіз з компонентами креслення (основні види та перерізи) зображений на рис. 4.20.

Обертовий стіл – універсальне обладнання, що призначене для кріплення на ньому заготовки і надання їй під час обробки певних видів рухів. Для забезпечення механізації даного пристосування виконаємо даний стіл з

можливість керування обертання за рахунок механічного обертання через двигун.

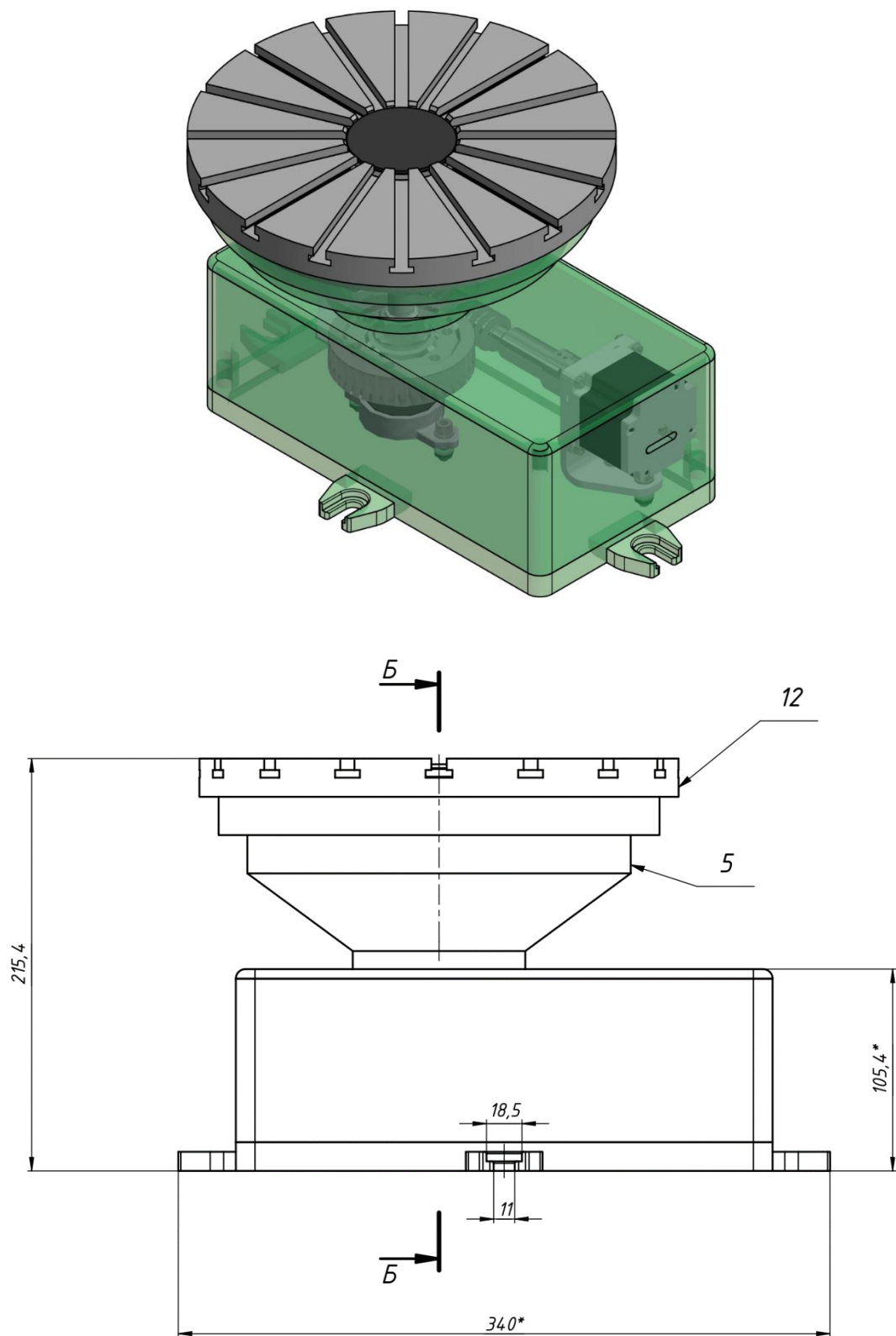


Рисунок 4.20 – Конструкція обертового столу

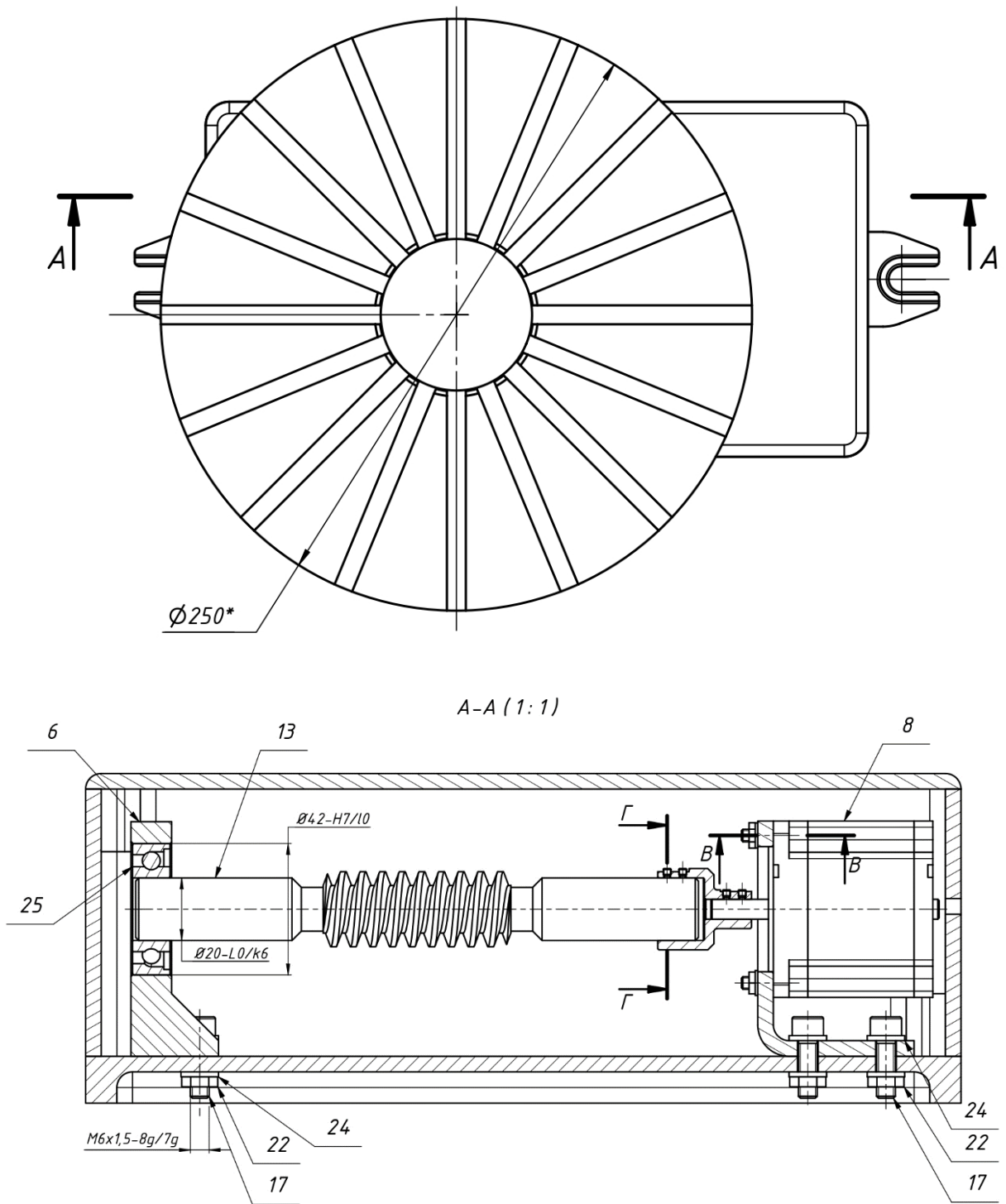


Рисунок 4.20 – Конструкція обертового столу (продовження)

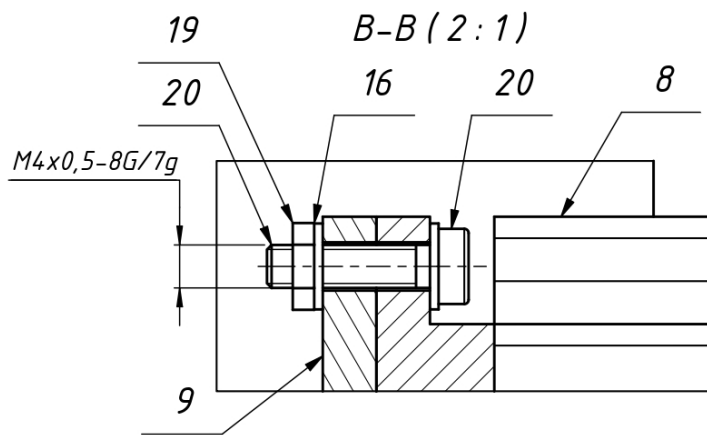
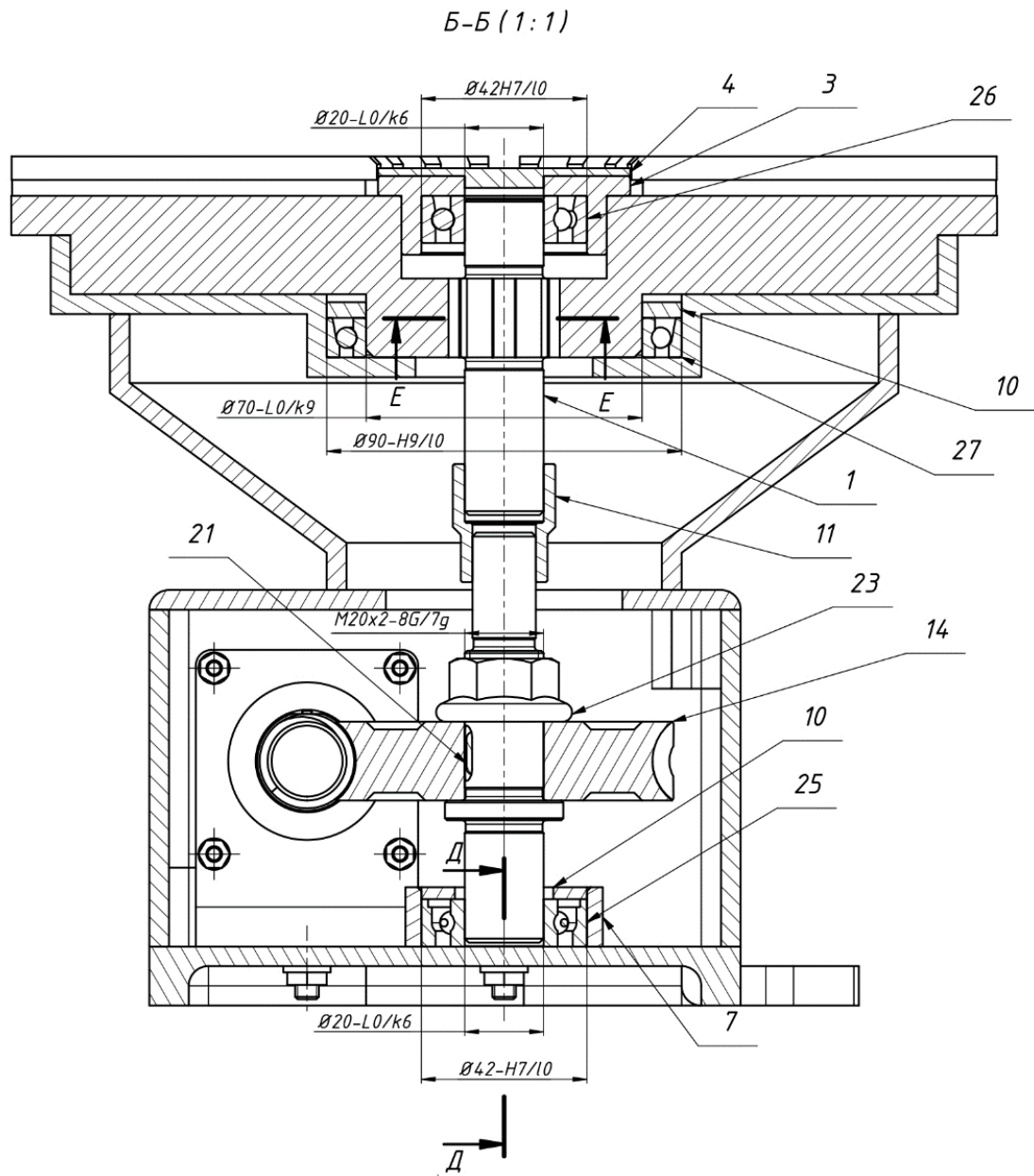


Рисунок 4.20 – Конструкція обертового столу (продовження)

Д-Д (1:1)

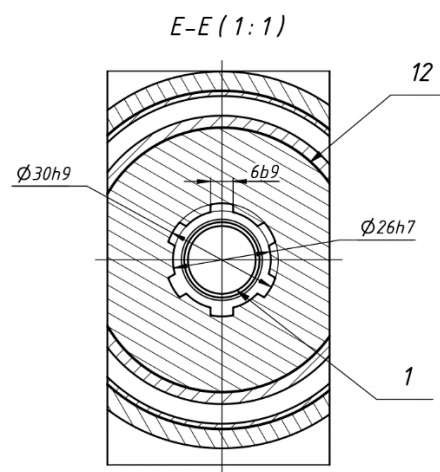
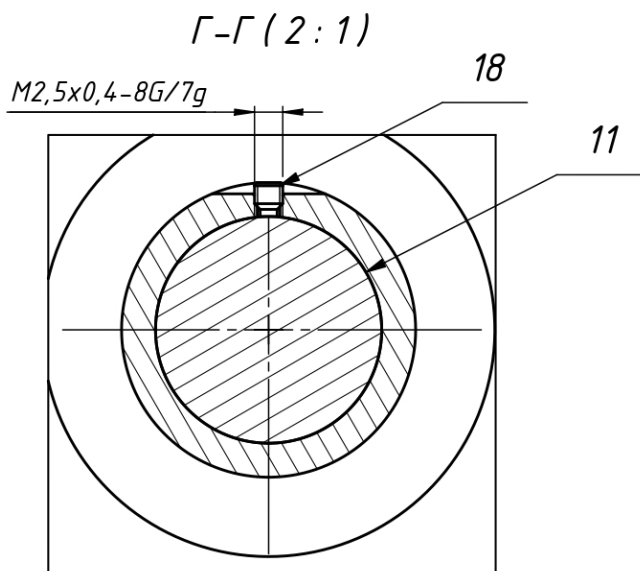
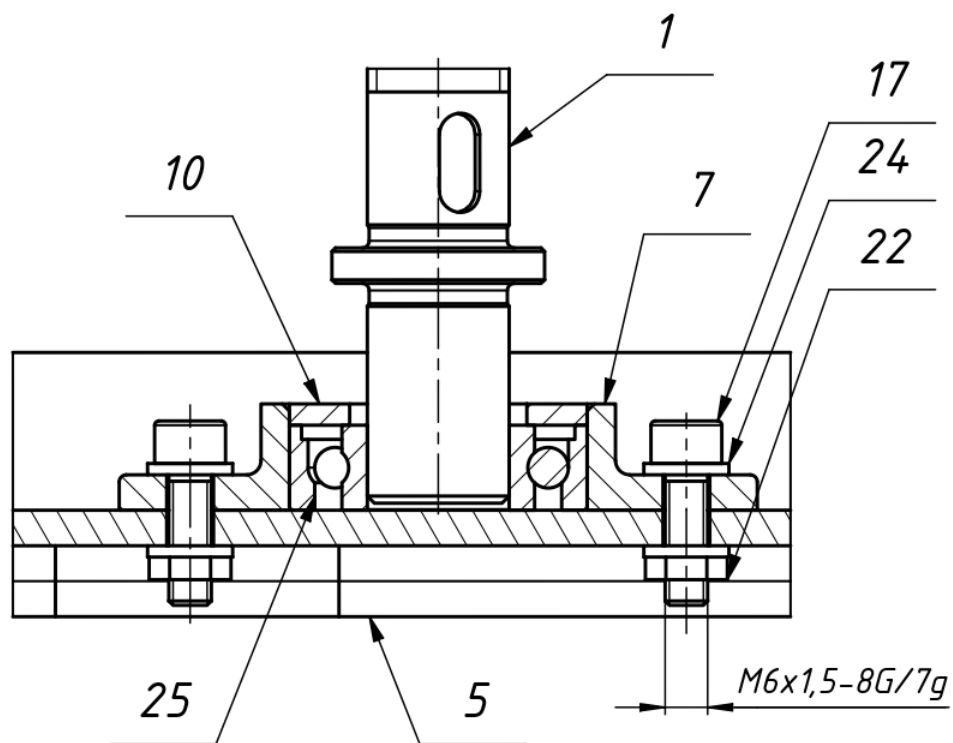


Рисунок 4.20 – Конструкція обертового столу (закінчення)

Джерелом руху обертового столу являється кроковий двигун *FL57STH56 – 2006A* [8] (рис. 4.8). Він закріплений до корпусу столу [5] (рис. 4.21) через кутник установлювальний [9] (рис. 4.18).

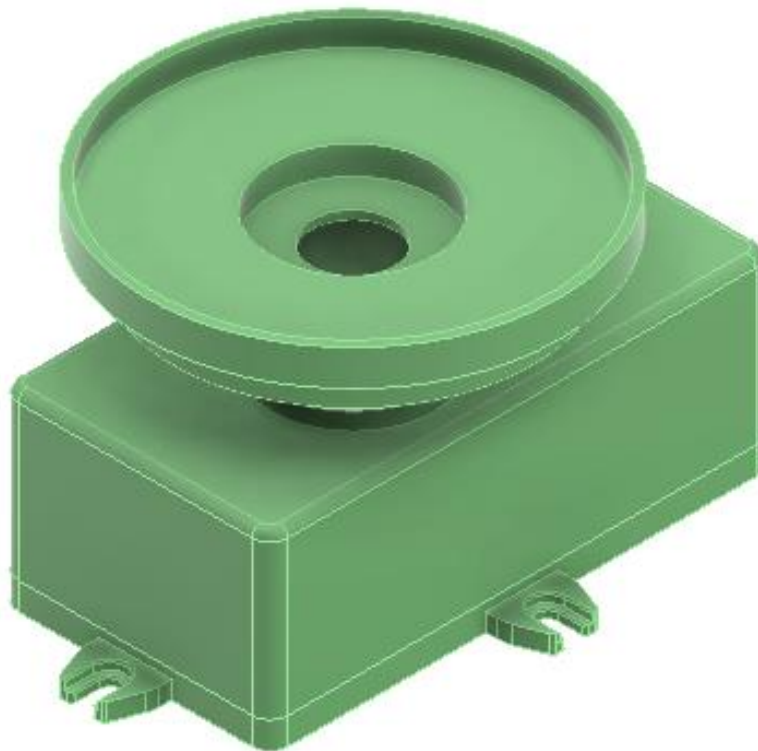


Рисунок 4.21 – Корпус столу

Вал двигуна [8] через муфту [11] (рис. 4.10) передає крутний момент на черв'як [13] (рис. 4.22).

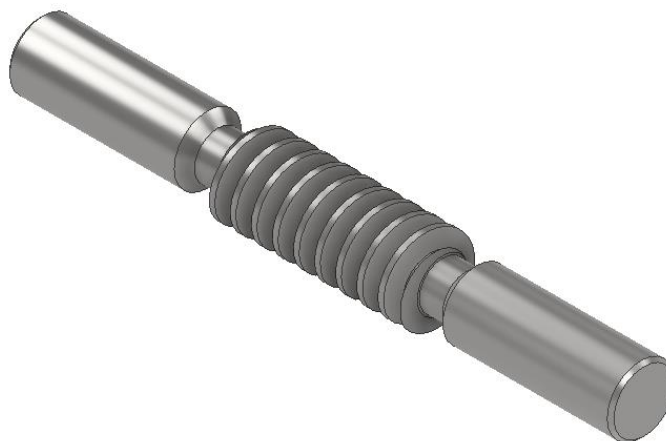


Рисунок 4.22 – Черв'як

Черв'як [13] опирається на підшипник [25], котрий встановлений в корпус підшипника [6] (рис. 4.23), що закріплений в корпусі [5].

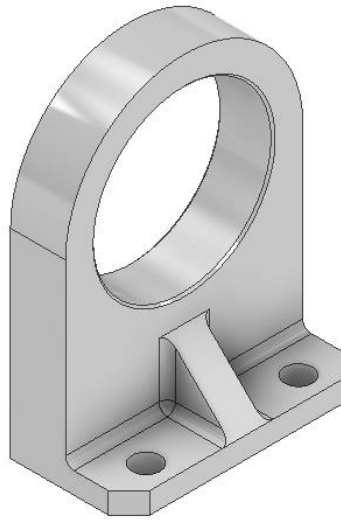


Рисунок 4.23 – Корпус підшипника

Обертний момент від черв'яка [13] передається на черв'ячне колесо [14] (рис. 4.24), котре через шпонку [21] посаджений на вал [1] (рис. 4.25).



Рисунок 4.24 – Черв'ячне колесо

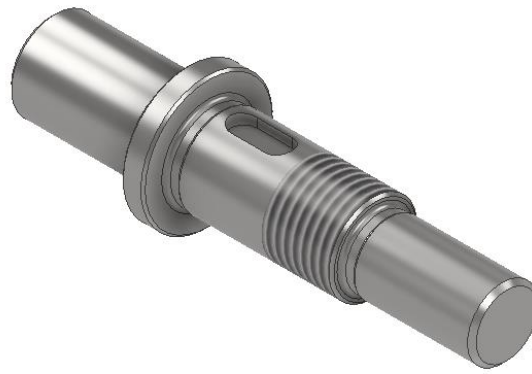


Рисунок 4.25 – Вал

Вал **1** опирається в підшипник **25**, котрий запресований в корпус підшипника **7** (рис. 4.26). Цей корпус підшипника змонтований в корпусі столу **5**.

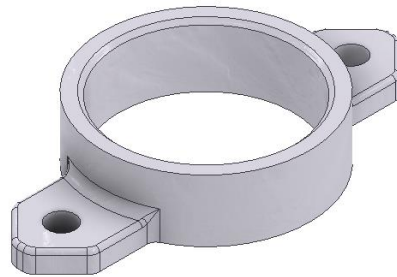


Рисунок 4.26 – Корпус підшипника

Через перший вал рух передається через муфту **11** на другий вал **1** (рис. 4.27)

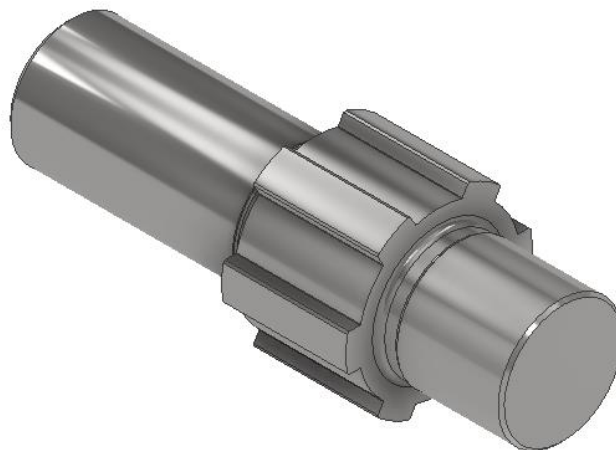


Рисунок 4.27 – Вал

Цей вал за допомогою шліців передає крутний момент на планшайбу [12] (рис. 4.28) через шліцьовий отвір. Вал опирається на підшипник [26], котра змонтована в втулку [3]. Дана втулка впресовується в планшайбу [12]. В корпус столу [5] запресований підшипник [26], на котрий опирається планшайба [12].

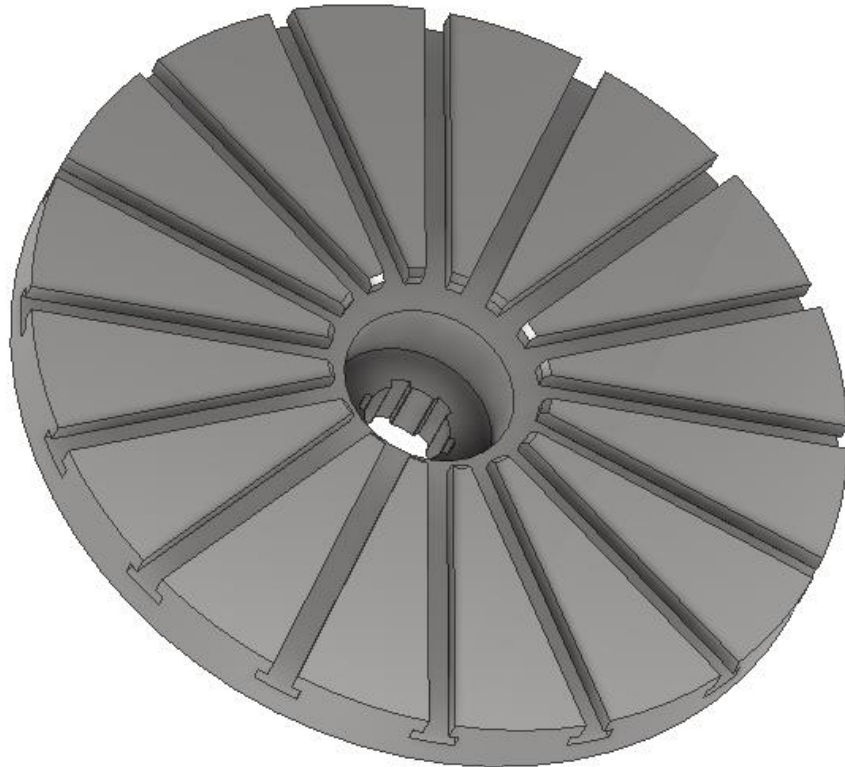


Рисунок 4.28 – Планшайба

Таким чином здійснюється поворот заготовки, що закріплена на обертовому столі навколо вісі різального інструменту.

Таким чином, даний рух доповнює вже спроектовані три лінійну рухи. Отже, несуча система забезпечує чотири керовані вісі для гравіювального верстату.

4.5 Проведення дослідження напруженого стану елементів обертового столу

Проведемо дослідження напруженого стану елементів обертового столу.

Для цього прикладемо до елементів обертового столу навантаження, котре виникає в процесі гравіювання заданої в розділі 2 деталі.

Скористаємось для цього системою автоматизованого проектування Autodesk Inventor, а саме модуль Аналіз напружень.

Для цього на обертовий стіл встановимо лещата (рис. 3.2), на котрому закріплюється та базується деталь.

Виконаємо закріплення обертового столу на поверхні установочного столу по закріплювальним лапам корпусу (рис. 4.29).

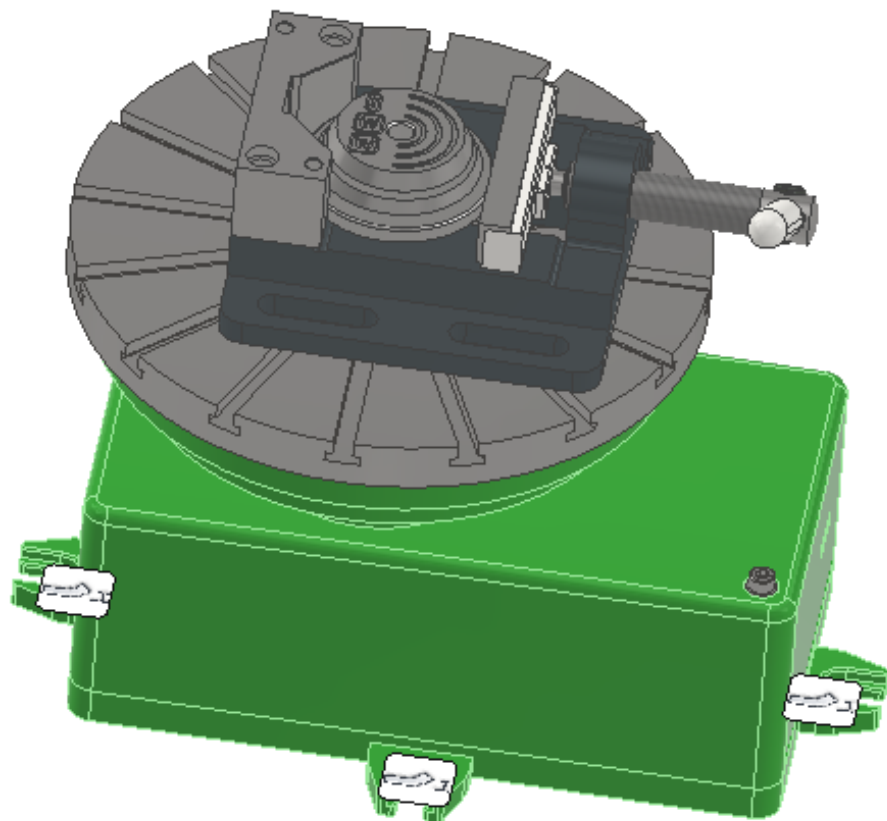


Рисунок 4.29 – Закріплення обертового столу

Виконаємо прикладання зусиль, котрі діють на обертовий стіл під час процесу гравіювання деталі.

До них можна віднести силу тяжіння, горизонтальна складова сила різання, осьова сила різання, тангенціальна сила різання та сила інерції. Схема прикладання зображена на рис. 4.30.

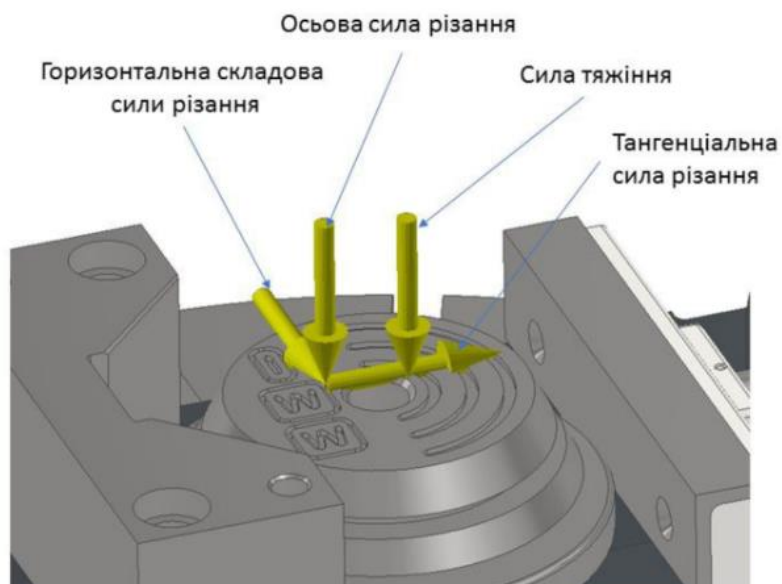


Рисунок 4.30 – Прикладання зусиль до заготовки під час гравіювання

Після створення сітки кінцевих елементів, виконаємо процес симуляції навантаження.

Зобразимо основні результати на рис. 4.31, рис. 4.32 та рис. 4.33.

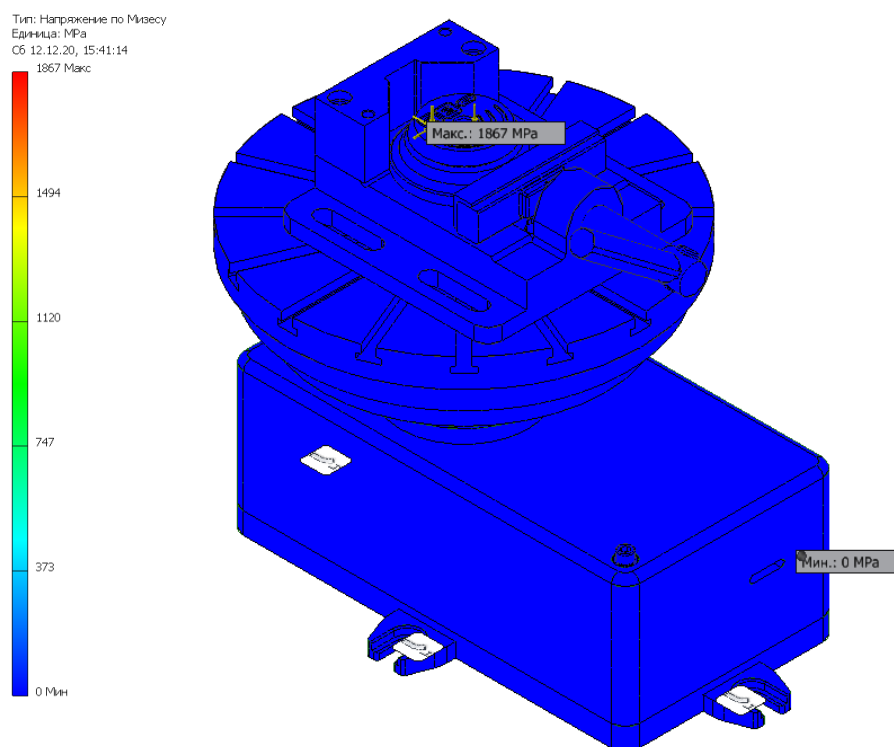


Рисунок 4.31 – Напруження по Мізесу

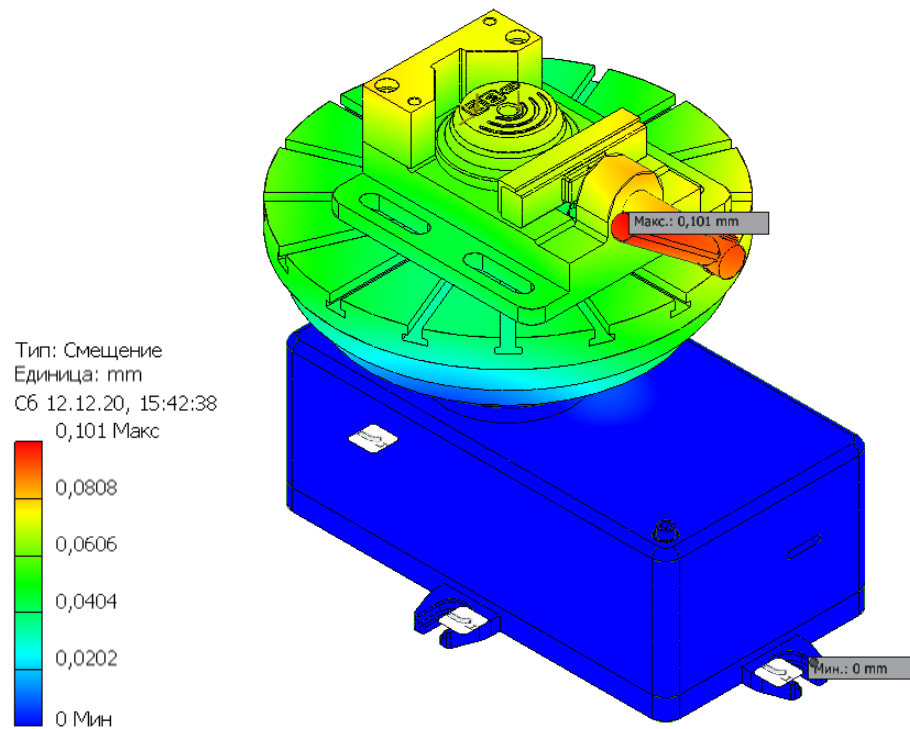


Рисунок 4.32 – Зміщення

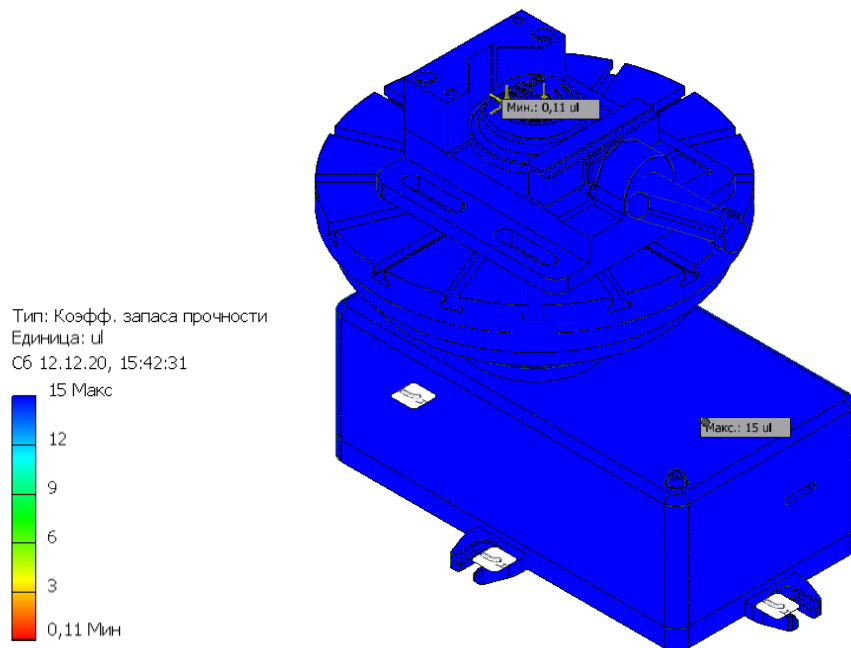


Рисунок 4.33 – Коефіцієнт запасу міцності

4.6 Аналіз виникаючих напружень та деформацій в обертовому столі

Виконаємо аналіз напруженого стану елементів обертового столу, котрі виникають внаслідок процесу гравіювання.

Аналізуючи напруження по Мізесу (IV теорія міцності), результат котрого зображений на рис. 4.31, можна зробити ряд висновків. Найбільші напруження (1867 МПа) виникають в самій деталі під час гравіювання. Це допустимо, оскільки заготовка обробляється, й напруження мають бути достатні для забезпечення процесу різання матеріалу. Решта компонентів (лещата та обертовий стіл) та їх складові сприймають досить малі напруження, що дозволяє зробити висновок, що критерії витримування напруження елементами конструкції столу забезпечуються під час процесу гравіювання.

Аналізуючи зміщення, що виникають в процесі гравіювання деталі (рис. 4.32), можна зробити ряд висновків. Найбільше зміщення було виявлено в процесі симуляції в ручці лещат (0,101 мм). Безпосередньо елементи обертового столу, а саме планшайба, зміщується в процесі обробки на максимальну відстань 0,0808 мм. Для зображеної гравійованої деталі, згідно ескізу деталі, є допустимо. Тому дане зміщення може входити в допуск розміщення заготовки відносно різального інструменту.

Аналізуючи коефіцієнти запасу міцності (рис. 4.33), найменший коефіцієнт запасу 0,11 становить в заготовці, що і є логічним. Дана деталь втрачає частину свого матеріалу під час обробки, тому й таке значення коефіцієнту запасу міцності. Елементи обертового столу мають достатній коефіцієнт запасу міцності (за симуляцією цей коефіцієнт становить понад 15), з чого можна зробити висновок, що обертовий стіл здатний витримувати й більші навантаження, що виникають в процесі гравіювання.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Визначимо приблизну вартість запропонованого раніше технічного рішення несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями. Посилання на інтернет-ресурс з цінами на грудень 2020 року вказані в Додатку 2.

Ціни на установлювальні елементи (гайки, гвинти, шайби, шпонки і т.д.) не враховуємо. Для умовного підрахунку, до кінцевої вартості прибавимо 5% отриманої вартості для врахування цих елементів

5.1 Визначення вартості станини

Алюмінієвий профіль, поперечний переріз котрого зображений на рис. 4.3, являє собою основу рами котрі механічно з'єднані між собою.

До складу станини входять профілі наступної довжини:

- $L = 1200$ мм – 2 штуки;
- $L = 1120$ мм – 6 штук;
- $L = 900$ мм – 2 штуки.

Отже, загальна довжина профілю становитиме:

$$L_{\text{заг}} = 2 \times 1200 + 6 \times 1120 + 2 \times 900 + 2 \times 250 = 11420 \text{ мм}$$

Згідно Додатку 2, ціна 1-го метру алюмінієвого профілю становить 450 грн. Отже, загальна вартість профілю для несучої системи гравіювального верстату становитиме:

$$Ц_1 = 11,42 \times 450 = 5139 \text{ грн.}$$

Профіля з'єднуються між собою завдяки кронштейнам, що зображені на рис. 4.4. Для станини використовують 20 штук. Згідно Додатку 2, подібний кронштейн коштує 40 грн. Отже, загальна вартість кронштейнів для станини становитиме:

$$Ц_2 = 20 \times 40 = 800 \text{ грн.}$$

Ребра посилення, котрих в станині є 2 штуки. Є нестандартними деталями. Приймаємо умовно ціну за одну таку деталь рівною 100 грн. Отже, ціна ребр посилення для станини становить:

$$Ц_3 = 2 \times 100 = 200 \text{ грн.}$$

Отже, ціна станини становитиме:

$$Ц_{\text{ст}} = Ц_1 + Ц_2 + Ц_3 = 5139 + 800 + 100 = 6039 \text{ грн}$$

5.2 Визначення вартості модуля поздовжнього лінійного переміщення

До складу модуля поздовжнього лінійного переміщення (рис. 4.6) входять:

- 2 напрямні вали з довжиною $L = 1200$ мм;
- Ходовий гвинт з довжиною $L = 1160$ мм;
- 4 опори валів;
- Кроковий двигун FL57STH56-2006A;
- Кутник установлювальний;
- Підшипник опорний;
- Корпус підшипника;
- 4 лінійних підшипникових блока;
- Корпус з втулкою різьбовою.

1 метр напрямного валу, згідно Додатку 2, коштує 420 грн. Ціну двох валів з довжиною $L = 1200$ мм становитиме:

$$Ц_1 = 2 \times 1,2 \times 420 = 1008 \text{ грн.}$$

1 метр ходового гвинта, згідно Додатку 2, коштує 972 грн. Ціну ходового гвинта з довжиною $L = 1160$ мм становитиме:

$$Ц_2 = 1,16 \times 972 = 1128 \text{ грн.}$$

Опора валу (рис. 4.7), згідно Додатку 2, коштує 65 грн. Ціну двох опор валу становитиме:

$$Ц_3 = 2 \times 65 = 130 \text{ грн.}$$

Кроковий двигун FL57STH56-2006A (рис. 4.8) коштує згідно Додатку 2 $C_4 = 543$ грн.

Кутник установлювальний (рис. 4.9) є нестандартною деталлю. Приймаємо умовно ціну за одну таку деталь рівною $C_5 = 100$ грн.

Корпус підшипника (рис. 4.11) та підшипник опорний для діаметру валу $D = 20$ мм, згідно Додатка 2, коштує $C_6 = 93$ грн.

Лінійник підшипниковий блок, подібний до спроектованого, за Додатком 2 коштує 220 грн. Оскільки таких блока 4, тому загальна їх вартість:

$$C_7 = 4 \times 220 = 880 \text{ грн}$$

Втулка різьбова за Додатком 2 коштує 48 грн, а корпус до неї 150 грн. Отже, ця збірка коштуватиме:

$$C_8 = 48 + 150 = 198 \text{ грн}$$

Подібний стіл до столу установочного (рис. 4.12), але з механізмом ручного переміщення, за Додатком 2 коштує 2932 грн. Нехай вартість спроектованої конструкції становить 35% від вказаною, тоді:

$$C_9 = 0,35 \times 2932 = 1026 \text{ грн}$$

Тоді, основні деталі модуля поздовжнього лінійного переміщення становитимуть:

$$C_{\text{поз.л.п.}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 = 1108 + 1128 + 130 + 543 + 100 + 93 + 880 + 198 + 1026 = 5026 \text{ грн.}$$

5.3 Визначення вартості модуля вертикального лінійного переміщення

До складу модуля вертикального лінійного переміщення (рис. 4.14) входять:

- Напрямний вал з довжиною $L = 830$ мм;
- Ходовий гвинт з довжиною $L = 760$ мм;
- 2 профіля з довжиною $L = 250$ мм
- 2 опори валів;
- Кроковий двигун FL57STH56-2006A;

- Кутник установлювальний;
- Підшипник опорний;
- Корпус підшипника;
- Лінійних підшипниковий блок;
- Корпус з втулкою різьбовою.

1 метр напрямного валу, згідно Додатку 2, коштує 420 грн. Ціну вал з довжиною $L = 830$ мм становитиме:

$$Ц_1 = 0,83 \times 420 = 349 \text{ грн.}$$

1 метр ходового гвинта, згідно Додатку 2, коштує 972 грн. Ціну ходового гвинта з довжиною $L = 760$ мм становитиме:

$$Ц_2 = 0,76 \times 972 = 739 \text{ грн.}$$

Опора валу (рис. 4.7), , згідно Додатку 2, коштує 65 грн. Ціну двох опор валу становитиме:

$$Ц_3 = 2 \times 65 = 130 \text{ грн.}$$

Кроковий двигун FL57STH56-2006A (рис. 4.8) коштує згідно Додатку 2 $Ц_4 = 543$ грн.

Кутник установлювальний (рис. 4.9) є нестандартною деталлю. Приймаємо умовно ціну за одну таку деталь рівною $Ц_5 = 100$ грн.

Корпус підшипника (рис. 4.11) та підшипник опорний для діаметру валу $D = 20$ мм, згідно Додатка 2, коштує $Ц_6 = 93$ грн.

Лінійник підшипниковий блок, подібний до спроектованого, за Додатком 2 коштує $Ц_7 = 220$ грн.

Втулка різьбова за Додатком 2 коштує 48 грн, а корпус до неї 150 грн. Отже, ця збірка коштуватиме:

$$Ц_8 = 48 + 150 = 198 \text{ грн}$$

Згідно Додатку 2, ціна 1-го метру алюмінієвого профілю становить 450 грн. Отже, загальні вартість профілю для модулю вертикального лінійного переміщення становитиме:

$$Ц_9 = 2 \times 0,25 \times 450 = 225 \text{ грн}$$

Тоді, основні деталі модуля вертикального лінійного переміщення становитимуть:

$$C_{\text{вер.л.п.}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 = 349 + 739 + 130 + 543 + 100 + 96 + 220 + 198 + 225 = 2402 \text{ грн.}$$

5.4 Визначення вартості модуля поперечного лінійного переміщення

До складу модуля поперечного лінійного переміщення (рис. 4.14) входять:

- Напрямний вал з довжиною $L = 1200$ мм;
- Ходовий гвинт з довжиною $L = 1160$ мм;
- 2 профіля з довжиною $L = 250$ мм
- 2 опори валів;
- Кроковий двигун FL57STH56-2006A;
- Кутник установлювальний;
- Підшипник опорний;
- Корпус підшипника;
- Лінійних підшипниковий блок;
- Корпус з втулкою різьбовою;
- Основа шпиндельного вузла.

1 метр прямого валу, згідно Додатку 2, коштує 420 грн. Ціну валу з довжиною $L = 1200$ мм становитиме:

$$C_1 = 1,2 \times 420 = 504 \text{ грн.}$$

1 метр ходового гвинта, згідно Додатку 2, коштує 972 грн. Ціну ходового гвинта з довжиною $L = 1160$ мм становитиме:

$$C_2 = 1,16 \times 972 = 1128 \text{ грн.}$$

Опора валу (рис. 4.19), згідно Додатку 2, коштує 70 грн. Ціну двох опор валу становитиме:

$$C_3 = 2 \times 70 = 140 \text{ грн.}$$

Кроковий двигун FL57STH56-2006A (рис. 4.8) коштує згідно Додатку 2 $C_4 = 543$ грн.

Кутник установлювальний (рис. 4.9) є нестандартною деталлю. Приймаємо умовно ціну за одну таку деталь рівною $C_5 = 100$ грн.

Корпус підшипника (рис. 4.11) та підшипник опорний для діаметру валу $D = 20$ мм, згідно Додатка 2, коштує $C_6 = 93$ грн.

Лінійник підшипниковий блок, подібний до спроектованого, за Додатком 2 коштує $C_7 = 220$ грн.

Втулка різьбова за Додатком 2 коштує 48 грн, а корпус до неї 150 грн. Отже, ця збірка коштуватиме:

$$C_8 = 48 + 150 = 198 \text{ грн}$$

Згідно Додатку 2, ціна 1-го метру алюмінієвого профілю становить 450 грн. Отже, загальні вартість профілю для модулю вертикального лінійного переміщення становитиме:

$$C_9 = 2 \times 0,25 \times 450 = 225 \text{ грн}$$

Основа шпindelного вузла є нестандартною деталлю. Проаналізувавши конструкцію, приймаємо приблизне значення його вартості як $C_{10} = 300$ грн

Тоді, основні деталі модуля поперечного лінійного переміщення становитимуть:

$$C_{\text{поп.л.п.}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} = 504 + 1128 + 140 + 543 + 100 + 93 + 220 + 198 + 225 + 300 = 3451 \text{ грн.}$$

5.5 Визначення вартості обертового столу

Визначимо приблизну вартість обертового столу (рис. 4.20). Дана збірка має достатньо велику кількість нестандартних деталей, тобто таких деталей, котрі необхідно замовляти окремо у виробників.

Для більш точного наближеного визначення ціни такого пристосування, необхідно проаналізувати вартість існуючих подібних конструкцій.

Поворотний стіл Согмак 200 мм [46], що зображений на рис. 5.1 коштує 17029 грн.



Рисунок 5.1 - Поворотний стіл Согмак 200 мм

Даний стіл здійсню поворот навколо своєї вісі ручним способом.

Керований поворотний стіл RT200 [47], що зображений на рис. 5.2 коштує 60000 грн.

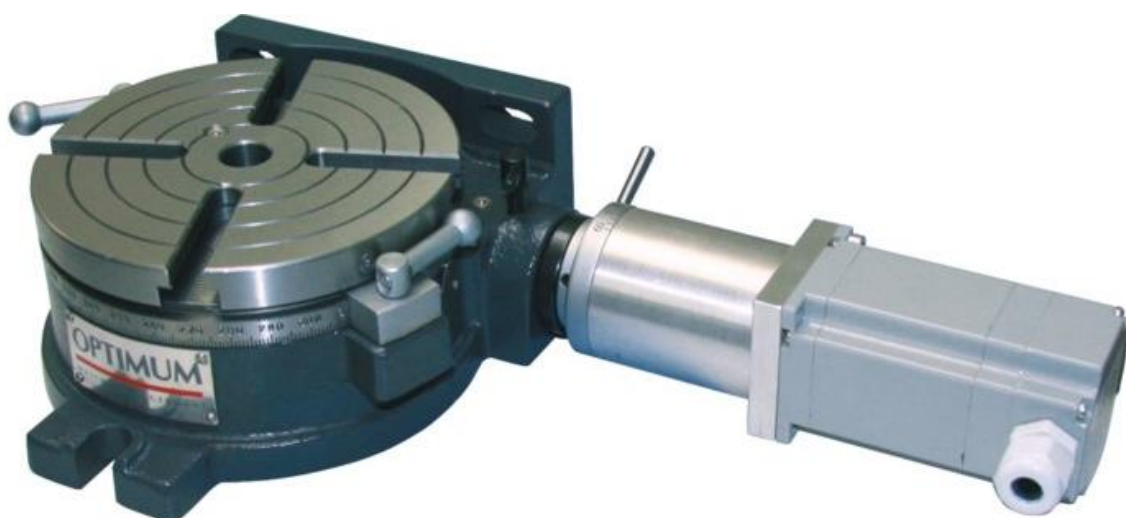


Рисунок 5.2 - Керований поворотний стіл RT200

Цей стіл є механізованим. Обертання планшайби відбувається за рахунок передачі крутного моменту від електродвигуна. Але його ціна значно більша за стіл, що зображений на рис. 5.1.

Стіл, що зображений на рис. 5.2 більш подібний до спроектованого. Враховуючи те, що ціни столів вказані з прибутком їх власників та компаній, котрій які продають, нехай приблизна ціна виготовлення обертового столу складатиме $C_{\text{стіл}} = 15000$ грн.

5.6 Загальна вартість обертового столу

Отже, визначимо загальну вартість обертового столу. До фінальної ціни не будуть входити вартість кріпильних елементів всіх комплектуючих, оскільки це значно збільшить обсяги розрахунків.

$$\begin{aligned} C_{\text{несучої системи}} &= C_{\text{ст}} + C_{\text{поз.л.п.}} + C_{\text{вер.л.п.}} + C_{\text{поп.л.п.}} + C_{\text{стіл}} = \\ &= 6039 + 5026 + 2402 + 3451 + 15000 = 31918 \text{ грн} \end{aligned}$$

Дана ціна несучої системи є наближеною. На неї необхідно орієнтуватись з можливою похибкою $\pm 25\%$.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської дисертації було виконано:

- Аналіз процесу гравіювання, його видів;
- Розглянуті інструменти, що використовуються при гравіюванні;
- Розглянуто конструкції несучих системи гравіювальних верстатів;
- Винесено вимоги до несучої системи з огляду на точність її роботи;
- Спроектовано конструкцію несучої системи гравіювального верстату з 4-ма керованими осями;
- Виконано складальні креслення станини, модуля поздовжнього лінійного переміщення, модулів вертикального та поперечного лінійних переміщень, обертового столу, загальне складальне креслення несучої системи;
- Виконано симуляцію процесу гравіювання з генерацією коду керуючої програми для системи ЧПК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виды и особенности гравировки: их преимущества и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://nemolotok.ru/gravirovka-vidy-i-osobennosti>.
2. Гравирование [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://pereosnastka.ru/articles/gravirovanie>.
3. Мельников И. В. Художественная обработка металла. Гравирование / И. В. Мельников.
4. Лазерная гравировка [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://artaleco.com.ua/nanesenie-logotipa/lazernaya-gravirovka/>.
5. Уникальная технология лазерной 3D гравировки на окружности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sharplase.ru/okompanii/novosti/unikalnaya-tehnologiya-lazernoy-3d-gravirovki-na-okruzhnosti/>.
6. Гравировка ювелирных изделий: виды и технологии, преимущества и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://zen.yandex.ru/media/uvelircentr/gravirovka-iuvelirnyh-izdelii-vidy-i-tehnologii-preimuscestva-i-nedostatki-5dca616beec9e2085b077028>.
7. Техники и методы современного гравирования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://gravers.com.ua/gravirovki>.
8. Искусство гравировки [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://protime.com.ua/articles/Искусство_гравировки.
9. Алмазная гравировка и техника нанесения [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://za-zerkalom.com/technology/almaznaya-gravirovka>.
10. Гравировка на стекле [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.steklo9255193.ru/uslugi-proizvodstva/gravirovka/>.
11. Технологические приемы изготовления шкал, надписей и рисунков [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studbooks.net/2553723/tovarovedenie/tehnologicheskie_priemy_izgotovleniya_shkal_nadpisey_risunkov.

12. Фотогравировка на металле [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://wedding.ua/category/invitation/11219/>.
13. Гравировка на металле [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://stankiexpert.ru/tehnologii/gravirovka-na-metalle.html#Гравирование_по_металлическому_предмету_бормашиной.
14. Виды гравировки. Какую гравировку выбрать? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://gravbiz.ru/informaciya-chpu/275-kakuyu-gravirovku-vybrat-vidy-gravirovki.html>.
15. Процесс гравировки на станках ЧПУ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://vseochpu.ru/gravirovka-chpu/>.
16. Гравировка нержавеющей стали на фрезерном станке с ЧПУ [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.skif-m.org/obrabotka-metalla/4582-gravirovka-nerzhaveyushey-stali-na-frezernom-stanke-s-chpu.html>.
17. Лазерная гравировка [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лазерная_гравировка.
18. Лазерная гравировка с программами mDraw и Benbox [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://3dprinter.ua/lazernaja-gravirovka-s-programmami-mdraw-i-benbox/>.
19. Как выбрать гравер [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://5domov.ru/stroitelstvo/instrumenti/kak-vybrat-graver.html>.
20. Гравер [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.luva.com.vn/san-pham/may-khoan-mini-may-mai-khac-cam-tay-mini-k160/>.
21. Гравер (бормашина). Виды и работа. Применение и как выбрать [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://tehpribory.ru/glavnaia/instrumenty/graver.html>.
22. Граверы ударные [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://zevrong.com.ua/electrotools/engravers/>.

23. Гравер ударный (бормашина) Roусе RE-13 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://shopcatalog.com/p320842606-graver-udarnyj-bormashina.html>.
24. Гравировальные станки [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.metobr-expo.ru/ru/ui/17166/>.
25. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ MТech F3015 Pro [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://mtech.com.ua/product/frezerno-gravirovalnyj-standok-s-chpu-mtech-f3015-pro/>.
26. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ Кречет 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://cncmachines.com.ua/standok-chpu/frezerniy-standok-chpu/krechet-2.html>.
27. Гравировальный станок ЧПУ CNC 3018 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://rozetka.com.ua/83847540/p83847540/>.
28. StoCNC 1224 – 3D фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.pro-100.com.ua/frezerno-gravirovalnoe-oborudovanie/sto-cnc-1224.html>.
29. Выбор несущих систем металлорежущих станков [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://bstudy.net/717256/tehnika/vybor_nesuschih_sistem_metallorzhushih_stankov.
30. Никитина И. П. Моделирование несущей системы станка с использованием 3D-принтера Dimension Elite / И. П. Никитина, 2019.
31. Расчет и проектирование базовых деталей и несущей системы металлорежущих станков: учебное пособие / Ю. В. Кирилин. – 2-е изд., исправ. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 76 с.
32. ISEL PT 50 | Установочная станочная плита профиль Т-паз [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://iselrussia.ru/index.php?route=product/product&path=63&product_id=92

33. Станина станков по обработке металла и дерева [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/zapchasti/stanina.html>.
34. Портальный манипулятор модели МПЛ-3-03 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.servotechnica.ru/catalog/type/index.pl?id=140>.
35. Суппорт токарного станка [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://prom.ua/p700240359-support-tokarnogo-stanka.html>.
36. Верхние салазки суппорта от токарного станка 1Е61ПМ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://directlot.ru/lot.php?id=183323>.
37. Корпус коробки подач станка 16К20 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://directlot.ru/lot.php?id=101986>.
38. Планшайба токарная [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Планшайба_токарная.
39. Испытание станка на точность [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.axissteel.ru/ispytanie-stanka-na-tochnost/>.
40. 7 способов определения точности позиционирования станков с ЧПУ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://engcrafts.com/item/1537-tochnost>.
41. Методические указания необходимы при выполнении и защите лабораторной работы «Измерение точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ» по дисциплине «Испытания и эксплуатация металлорежущих станков», «Исследования и испытания станков и инструментов». Предназначены для студентов специальности Т03.01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» всех специализаций.
42. Гаврилов В. А. РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ СТАНКОВ НА ТОЧНОСТЬ / В. А. Гаврилов. – Омск: ОмГТУ, 2004. – 91 с. – (Омский государственный технический университет).

43. ГОСТ 12.2.009-99. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.
44. Типы фрезерных станков и их назначение [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://stankomach.com/o-kompanii/articles/typy-frezernykh-stankov-i-ikh-naznachenie.html>.
45. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил.
46. Поворотный стол 200 мм Cormak [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://zakupka.com/p/937192145-povorotnyy-stol-200-mm-cormak/?e=1&i=dGKAE9Bt04JS3YBH9l2Bp1S_FkvkmRPU9Pf641FyyW01BgIvKHkE2xFeSh2QXCuybe8jXH04baWGMVjgoyhSGsK-mqRvSRXRqsGuH7qCi2lZcbUy9-ORIMybgIyoDsRl5A3AFEmstYkSD5cYF1Lw==.
47. Управляемый поворотный стол (4 ось) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://uss-stanko.com/mach/cnc/rt_cnc.htm.

ДОДАТОК 1 – КОД КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ

%

O00001

N001 G90 G40 G17

(-----)

(T1 Tool D2)

(-----)

N002 T01 M06

N003 G54 G90 X0 Y0

N004 G43 H1 Z55

N005 S1647.25 F100 M3

N006 F19.767

N007 G0 X-4 Y43

N008 Z48

N009 M8

N010 G1 X0

N011 G2 X42.951 Y2.048 J-43

N012 X40.953 Y1.952 I-0.999 J-0.048

N013 G3 X-40.953 I-40.953 J-1.952

N014 G2 X-42.951 Y2.048 I-0.999 J0.048

N015 X0 Y43 I42.951 J-2.048

N016 G1 X4

N017 G0 Z55

N018 X-4 Y31

N019 Z48

N020 G1 X0

N021 G2 X30.931 Y2.067 J-31

N022 X28.935 Y1.933 I-0.998 J-0.067

N023 G3 X-28.935 I-28.935 J-1.933

N024 G2 X-30.931 Y2.067 I-0.998 J0.067

N025 X0 Y31 I30.931 J-2.067

N026 G1 X4

N027 G0 Z55

N028 X-4 Y19

N029 Z48

N030 G1 X0

N031 G2 X18.882 Y2.111 J-19

N032 X16.895 Y1.889 I-0.994 J-0.111

N033 G3 X-16.895 I-16.895 J-1.889

N034 G2 X-18.882 Y2.111 I-0.994 J0.111

N035 X0 Y19 I18.882 J-2.111

N036 G1 X4

N037 G0 Z55

N038 X17.793 Y-15.296

N039 Z48

N040 G1 X28.426

N041 X28.713 Y-15.309

N042 X30.066 Y-15.699

N043 X31.149 Y-16.487

N044 X31.711 Y-17.224

N045 X32.255 Y-18.79

N046 X32.282 Y-19.22

N047 Y-32.064

N048 X31.936 Y-33.72

N049 X31.735 Y-34.114

N050 X31.595 Y-34.332

N051 X30.635 Y-35.308

N052 X29.416 Y-35.914

N053 X28.379 Y-36.059

N054 X15.133
N055 X14.936 Y-36.052
N056 X13.649 Y-35.722
N057 X12.632 Y-35.059
N058 X11.792 Y-34.006
N059 X11.338 Y-32.76
N060 X11.282 Y-32.123
N061 Y-19.206
N062 X11.289 Y-19.003
N063 X11.619 Y-17.692
N064 X12.267 Y-16.669
N065 X13.3 Y-15.814
N066 X14.536 Y-15.352
N067 X15.16 Y-15.296
N068 X25.793
N069 G0 Z55
N070 X17.707 Y-19.821
N071 Z48
N072 G1 X25.608 Y-21.097
N073 X26.2 Y-21.318
N074 X26.556 Y-21.687
N075 X26.682 Y-22.199
N076 X26.589 Y-22.62
N077 X26.325 Y-22.923
N078 X25.8 Y-23.158
N079 X18.534 Y-24.866
N080 Y-26.509
N081 X25.799 Y-28.217
N082 X26.324 Y-28.453
N083 X26.591 Y-28.761

N084 X26.682 Y-29.163
N085 X26.553 Y-29.7
N086 X26.191 Y-30.076
N087 X25.6 Y-30.309
N088 X17.732 Y-31.57
N089 X17.375 Y-31.61
N090 X17.128 Y-31.633
N091 X17.049 Y-31.637
N092 X16.733 Y-31.58
N093 X16.711 Y-31.472
N094 X16.748 Y-31.314
N095 X16.834 Y-31.241
N096 X17.596 Y-31.047
N097 X24.824 Y-29.905
N098 Y-28.234
N099 X18.19 Y-26.548
N100 X17.273 Y-26.196
N101 X17.085 Y-25.983
N102 X17.025 Y-25.696
N103 X17.087 Y-25.397
N104 X17.276 Y-25.18
N105 X18.192 Y-24.827
N106 X24.824 Y-23.12
N107 Y-21.469
N108 X17.6 Y-20.339
N109 X16.83 Y-20.134
N110 X16.746 Y-20.065
N111 X16.711 Y-19.914
N112 X16.739 Y-19.78
N113 X17.043 Y-19.721

N114 X17.085 Y-19.724
N115 X17.33 Y-19.757
N116 X17.704 Y-19.82
N117 X25.605 Y-21.096
N118 G0 Z55
N119 X-7.207 Y-15.296
N120 Z48
N121 G1 X3.426
N122 X3.713 Y-15.309
N123 X5.066 Y-15.699
N124 X6.149 Y-16.487
N125 X6.711 Y-17.224
N126 X7.255 Y-18.79
N127 X7.282 Y-19.22
N128 Y-32.064
N129 X6.936 Y-33.72
N130 X6.735 Y-34.114
N131 X6.595 Y-34.332
N132 X5.635 Y-35.308
N133 X4.416 Y-35.914
N134 X3.379 Y-36.059
N135 X-9.867
N136 X-10.064 Y-36.052
N137 X-11.351 Y-35.722
N138 X-12.368 Y-35.059
N139 X-13.208 Y-34.006
N140 X-13.662 Y-32.76
N141 X-13.718 Y-32.123
N142 Y-19.206
N143 X-13.711 Y-19.003

N144 X-13.381 Y-17.692
N145 X-12.733 Y-16.669
N146 X-11.7 Y-15.814
N147 X-10.464 Y-15.352
N148 X-9.84 Y-15.296
N149 X0.793
N150 G0 Z55
N151 X-7.293 Y-19.821
N152 Z48
N153 G1 X0.608 Y-21.097
N154 X1.2 Y-21.318
N155 X1.556 Y-21.687
N156 X1.682 Y-22.199
N157 X1.589 Y-22.62
N158 X1.325 Y-22.923
N159 X0.8 Y-23.158
N160 X-6.466 Y-24.866
N161 Y-26.509
N162 X0.799 Y-28.217
N163 X1.324 Y-28.453
N164 X1.591 Y-28.761
N165 X1.682 Y-29.163
N166 X1.553 Y-29.7
N167 X1.191 Y-30.076
N168 X0.6 Y-30.309
N169 X-7.268 Y-31.57
N170 X-7.625 Y-31.61
N171 X-7.872 Y-31.633
N172 X-7.951 Y-31.637
N173 X-8.267 Y-31.58

N174 X-8.289 Y-31.472
N175 X-8.252 Y-31.314
N176 X-8.166 Y-31.241
N177 X-7.404 Y-31.047
N178 X-0.176 Y-29.905
N179 Y-28.234
N180 X-6.81 Y-26.548
N181 X-7.727 Y-26.196
N182 X-7.915 Y-25.983
N183 X-7.975 Y-25.696
N184 X-7.913 Y-25.397
N185 X-7.724 Y-25.18
N186 X-6.808 Y-24.827
N187 X-0.176 Y-23.12
N188 Y-21.469
N189 X-7.4 Y-20.339
N190 X-8.17 Y-20.134
N191 X-8.254 Y-20.065
N192 X-8.289 Y-19.914
N193 X-8.261 Y-19.78
N194 X-7.957 Y-19.721
N195 X-7.915 Y-19.724
N196 X-7.67 Y-19.757
N197 X-7.296 Y-19.82
N198 X0.605 Y-21.096
N199 G0 Z55
N200 X-24.231 Y-30.418
N201 Z48
N202 G1 X-34.867
N203 X-35.064 Y-30.411

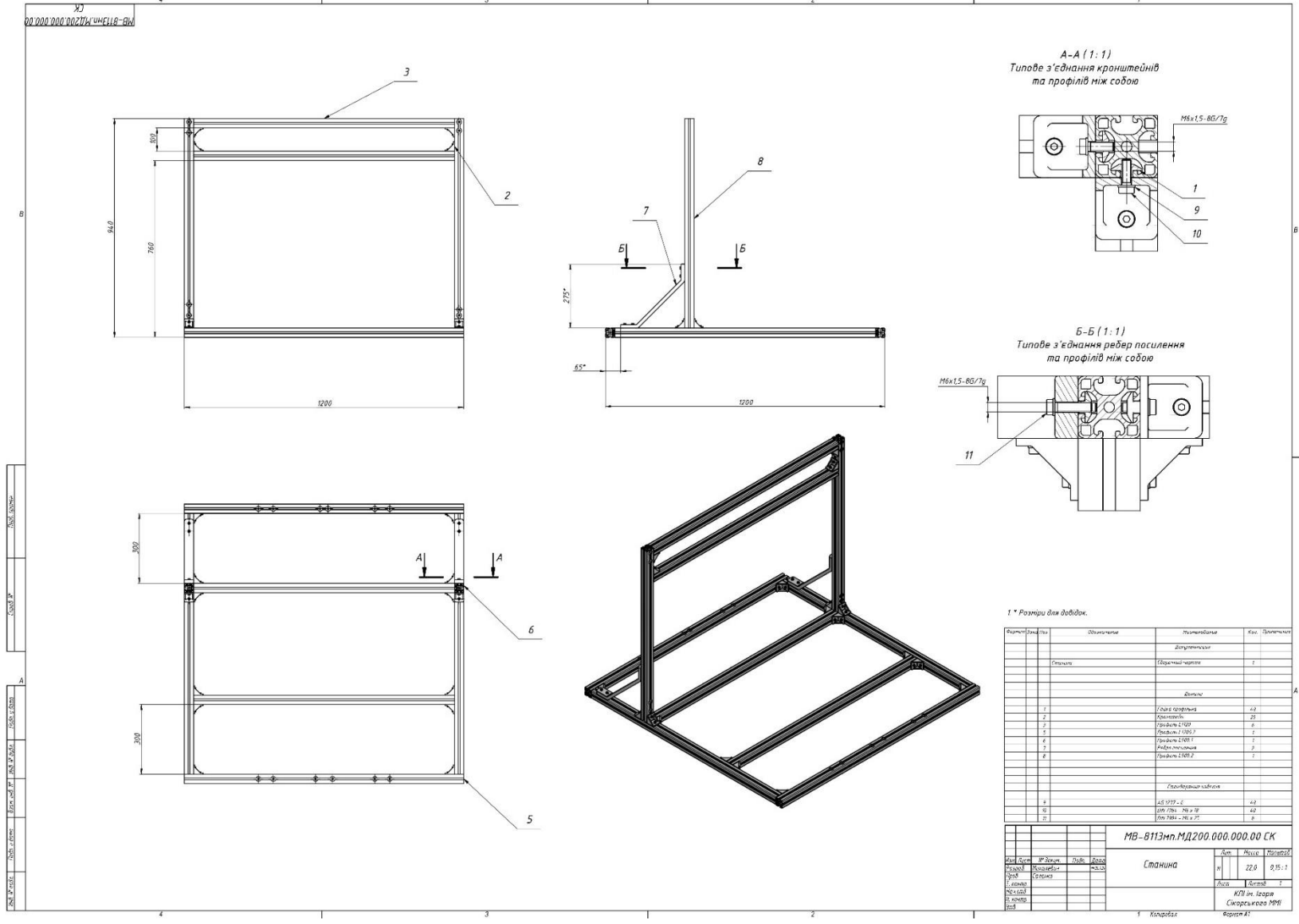
N204 X-36.351 Y-30.081
N205 X-37.368 Y-29.418
N206 X-38.208 Y-28.365
N207 X-38.662 Y-27.119
N208 X-38.718 Y-26.482
N209 Y-24.837
N210 X-38.711 Y-24.634
N211 X-38.381 Y-23.323
N212 X-37.733 Y-22.3
N213 X-36.7 Y-21.445
N214 X-35.464 Y-20.983
N215 X-34.84 Y-20.927
N216 X-21.569
N217 X-21.372 Y-20.934
N218 X-20.084 Y-21.264
N219 X-19.067 Y-21.928
N220 X-18.227 Y-22.981
N221 X-17.773 Y-24.227
N222 X-17.718 Y-24.864
N223 Y-26.509
N224 X-17.725 Y-26.711
N225 X-18.054 Y-28.023
N226 X-18.703 Y-29.046
N227 X-19.735 Y-29.901
N228 X-20.972 Y-30.362
N229 X-21.596 Y-30.418
N230 X-32.231
N231 G0 Z55
N232 X-24.306 Y-25.999
N233 Z48

N234 G1 X-32.359
N235 X-33.098 Y-25.896
N236 X-33.239 Y-25.797
N237 X-33.273 Y-25.677
N238 X-33.237 Y-25.551
N239 X-33.096 Y-25.451
N240 X-32.358 Y-25.346
N241 X-24.254
N242 X-23.503 Y-25.451
N243 X-23.356 Y-25.554
N244 X-23.321 Y-25.677
N245 X-23.355 Y-25.793
N246 X-23.501 Y-25.895
N247 X-24.253 Y-25.999
N248 X-32.306
N249 M9
N250 G0 Z55
N251 M5
N252 M30
%

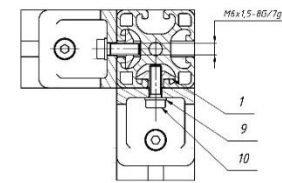
ДОДАТОК 2 – ВАРТІСТЬ КОМПЛЕКТУЮЧИХ

Деталь	Посилання	Вартість,
Вал	https://artificer.com.ua/product/linejnyj-preczizionnyj-val-sf-20mm/	420 грн/м
Гвинт ходовий	https://unitech.com.ua/trapeciya-25x25-x1000-vint-pravyu-quality-c45-5-ti-zahodnyu/	972 грн/м
Підшипниковий блок	https://unitech.com.ua/lineyny-podshipnikovy-blok-kba-20-uu-d20mm-bxc40x40mm/	220 грн
Опора валу	https://unitech.com.ua/opora-vala-sk-20-d-20mm-h-31mm-mtm/	65 грн
Кроковий двигун	https://unitech.com.ua/shagovye-dvigateli/	543 грн
Підшипниковий вузол	https://unitech.com.ua/podshipnikovye-uzly-ucp-na-lapakh/	93 грн
Підшипниковий блок	https://unitech.com.ua/lineyny-podshipnikovy-blok-sc-kba/	220 грн
Втулка різьбова	https://www.unibelus.by/itm/k35319	48 грн
Корпус підшипника	https://unitech.com.ua/stacionarnye-podshipnikovye-uzly-sn-snh/	150 грн
Координатний стіл	https://rozetka.com.ua/ua/57694575/p57694575/	1026 грн

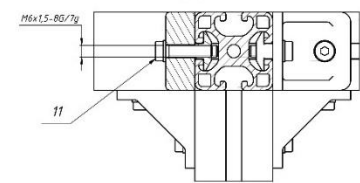
ДОДАТОК 4 – СТАНИНА



A-A (1:1)
Типове з'єднання кронштейнів та профілів між собою



Б-Б (1:1)
Типове з'єднання ребер посилення та профілів між собою



1 * Розміри для довідки.

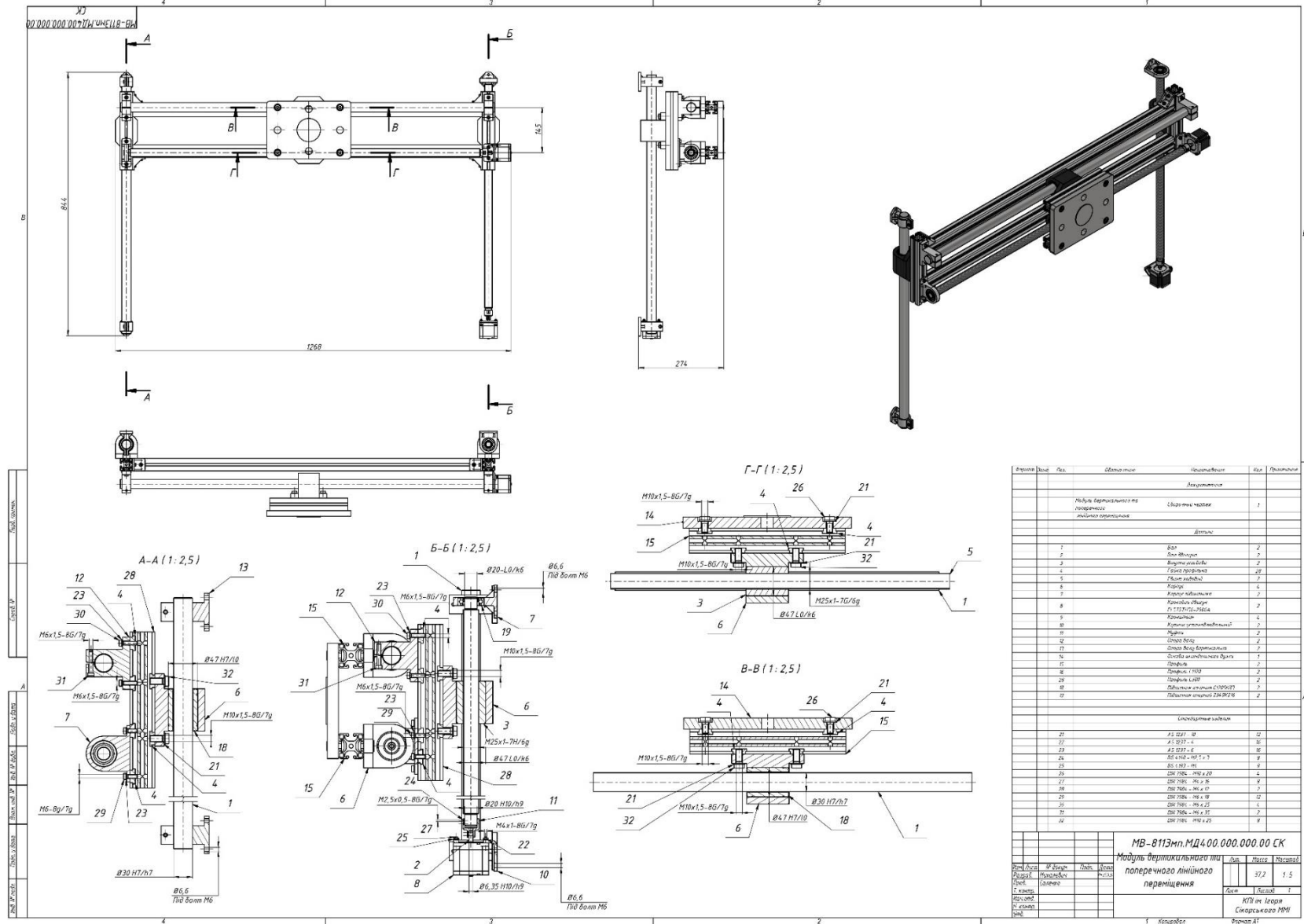
Вид	Кількість	Обзначення	Матеріал	Клас	Відомості
			алюмінієвий		
			дерев'яний		
		Стекло	Стекло	3	
			пластик		
1		Голова окремлена		40	
2		Кронштейн		20	
3		Резиновий шпиль		4	
4		Плівка ПВХ		1	
5		Віконна щільність		3	
6		Плівка ПВХ		1	
			Спеціалізовані профілі		
3		45 1237 - 1		40	
10		100 780 - 10 x 10		40	
11		100 780 - 10 x 12		40	

МВ-8113мп.МД200.000.000.00 СК

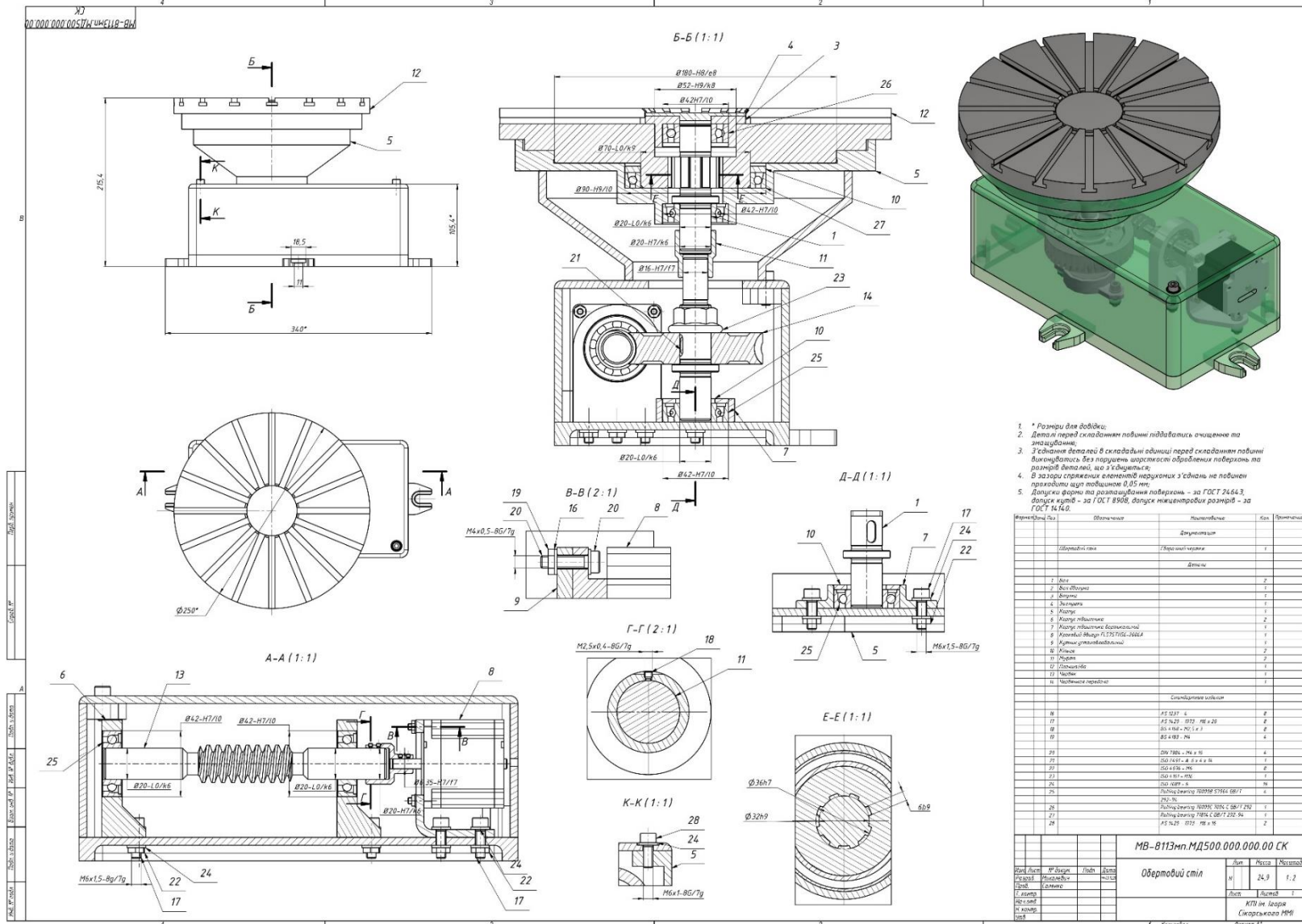
Мат. Сполу.	№ докум.	Розк.	Клас	Ам.	Клас	Навантаж.
Матриця	Контракт	МД	СК	М	22.0	9,15:1
Стекло	Стекло			Клас	Клас	Клас
Віконна щільність				МД	М	М
Плівка ПВХ				Клас	Клас	Клас

1 Київфікс Київфікс

ДОДАТОК 6 – МОДУЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТА ПОПЕРЕЧНОГО ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ



ДОДАТОК 7 – ОБЕРТОВИЙ СТІЛ





Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Магістерська дисертація

Несуча система гравіювального верстату з 4-ма керованими осями

Студент групи МВ-81мп

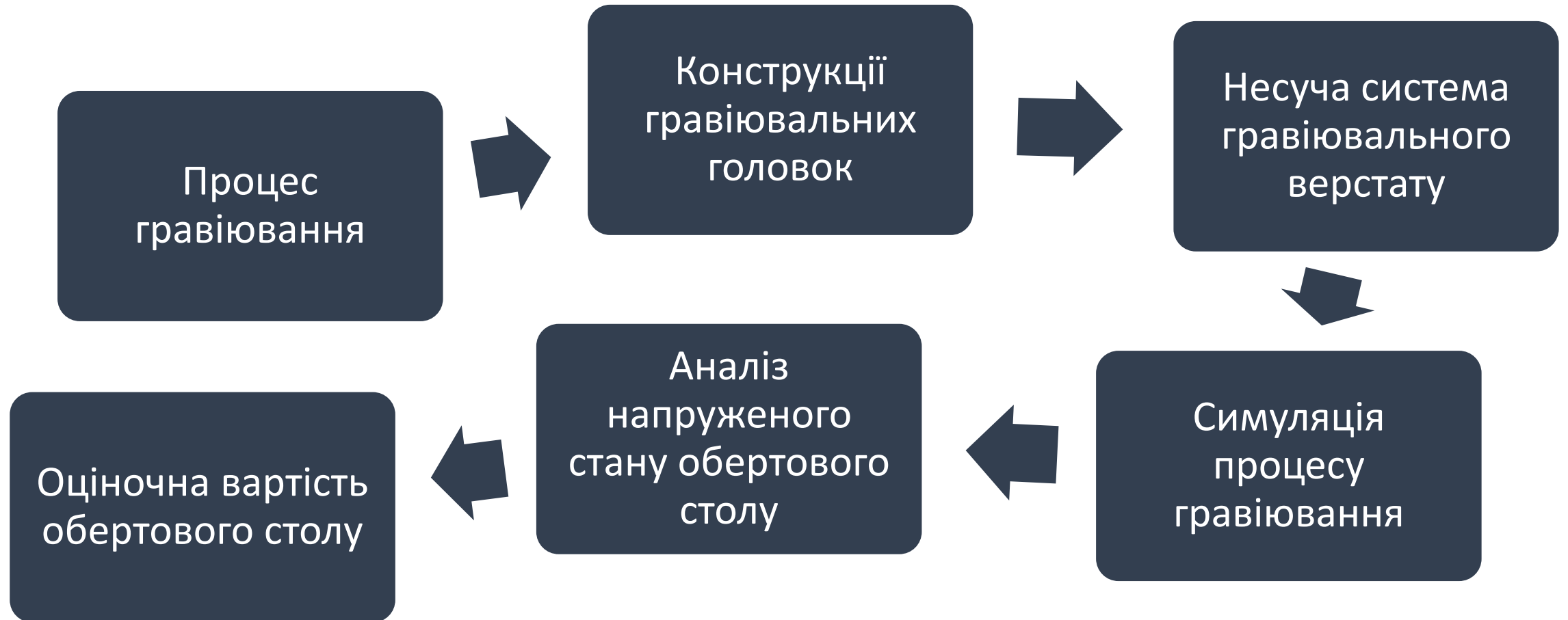
Михалевич В.В.

Науковий керівник

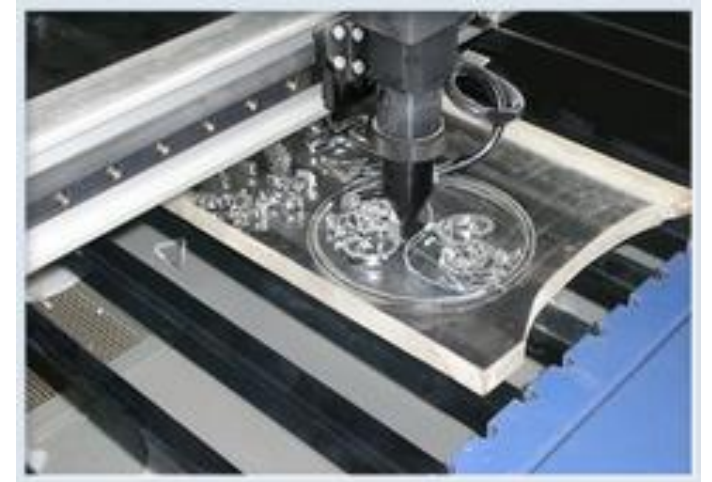
Проф., д.т.н. Саленко О.Ф.

Мета виконання дисертації:

Розробка несучої системи гравіювального верстату, котра забезпечує обробку по 4-ьом керованим осям.



Процес гравіювання – нанесення рисунку, надпису або орнаменту ручним або механічним способом на поверхні металу, каменю, дерева, скла і т.д. При цьому рисунок може бути випуклий або углиблений.



КОНСТРУКЦІЇ ГРАВІЮВАЛЬНИХ ГОЛОВОК

Циліндричні



Сфероциліндричні



Сферичні



Овальні



Сфероконічні



Сфероконічні із загостреним кінцем



Полум'явидні



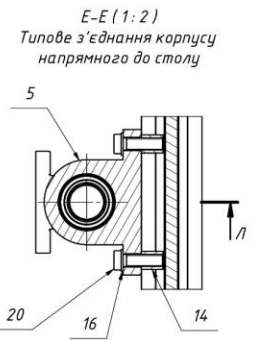
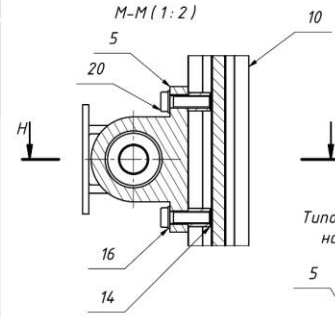
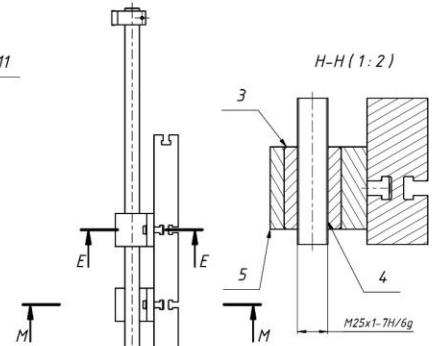
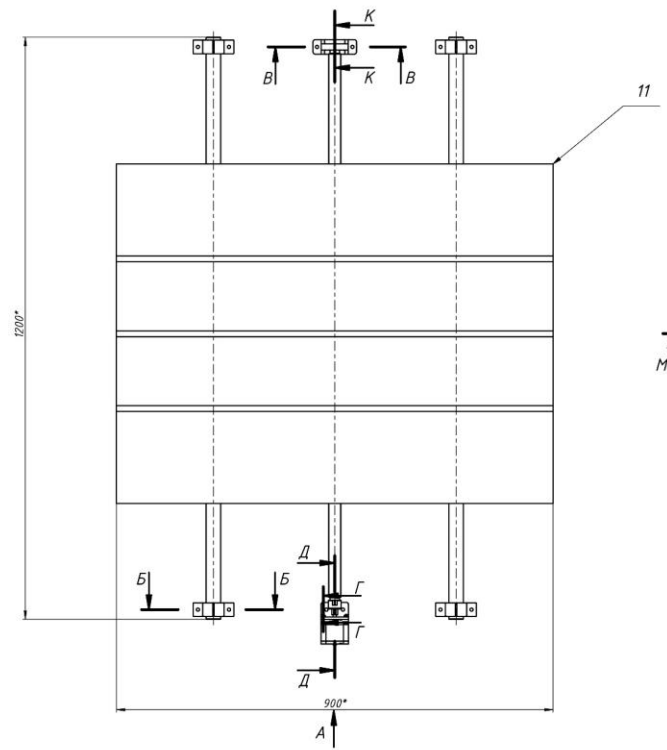
Конічні із закругленим кінцем



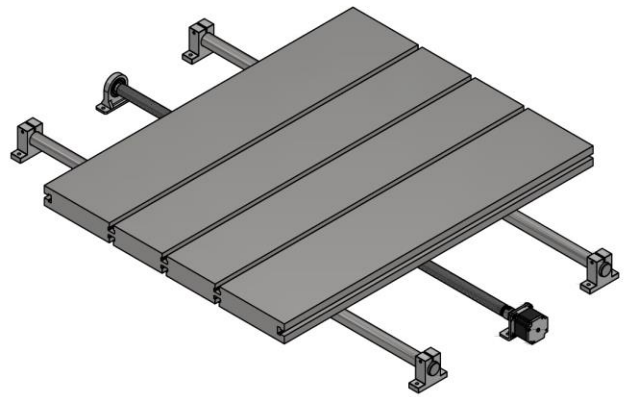
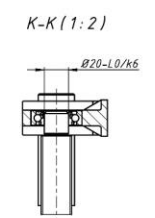
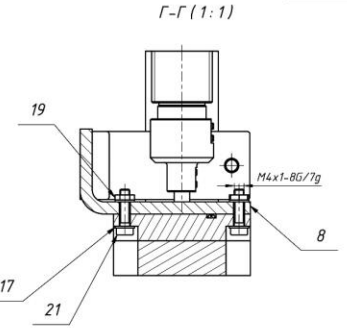
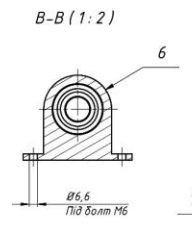
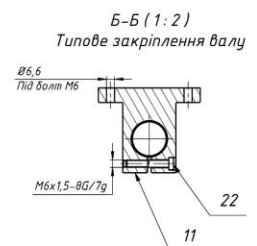
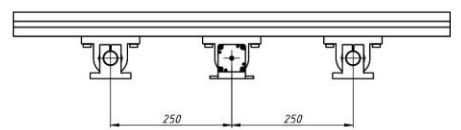
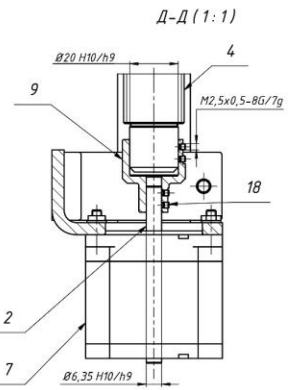
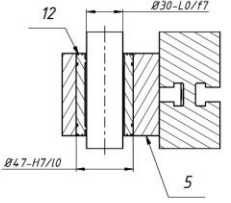
Конічні із загостреним кінцем



Розробник:
Студент групи МВ-81мп Михалевич В.В. _____
Керівник:
Д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____



Л-Л (1:2)
Типове з'єднання для установки підшипника в корпус напрямної



1.* Розміри для довідки.

Формат	Зона	Поз.	Обозначення	Назва/опис	Кол.	Примечание
				Документація		
				Модуль поздовжнього лінійного переміщення	1	Сборочний чертёж
				Деталі		
		1		Вал	2	
		2		Вал втулки	1	
		3		Втулка різьбана	1	
		4		Гвізт ходовий	1	
		5		Корпус	5	
		6		Корпус підшипника	1	
		7		Крайовий втулки	1	
		8		FL575T166-20064	1	
		9		Китчик установочный	1	
		10		Рядина	1	
		11		Сито	1	
		12		Опора вала	4	
		13		Підшипник качень 6205K83	4	
		14		Підшипник опорний 234JK216	1	
		16		Г-Гайка	10	
				Стандартні деталі		
		16		AS 1237 - 10	10	
		17		AS 1237 - 4	8	
		18		BS 4 168 - M2,5 x 3	4	
		19		BS 4 183 - M6	4	
		20		DM 7984 - M5 x 35	10	
		21		DM 7984 - M6 x 35	4	
		22		DM 7984 - M6 x 35	4	

МВ-8113мп.МД300.000.000.00 СК

Модуль поздовжнього лінійного переміщення

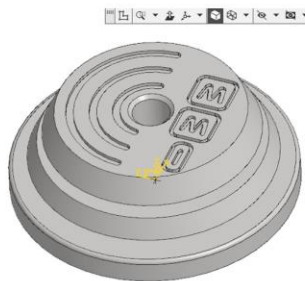
Ім'я	Лист	№ докум.	Пап.	Дата
Розроб.	Миколайчук			
Зам.	Степанко			
Г. констр.				
Нач. отд.				
І. констр.				
Інж.				

Лист	Масштаб
1	254,3
1:5	
Лист	Т
1	

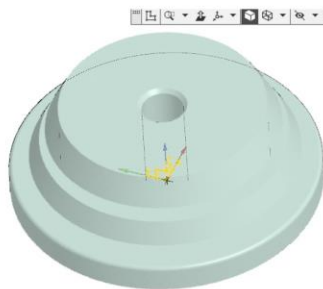
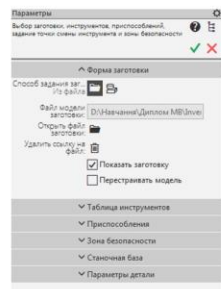
КПІ ім. Ізюра Сікорського ММІ

СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ГРАВІЮВАННЯ ДЕТАЛІ

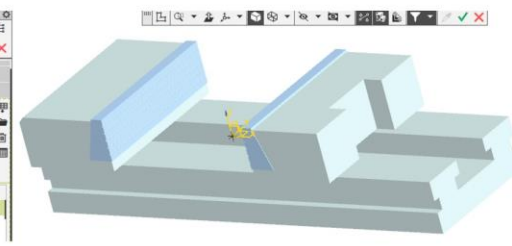
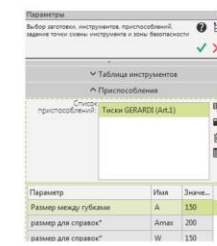
Задання системи координат та системи ЧПК



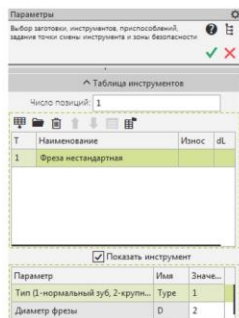
Задання заготовки



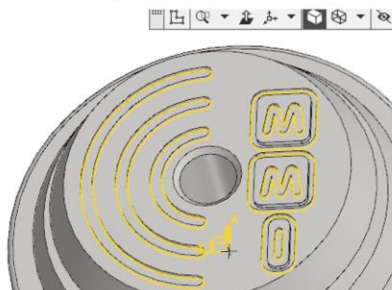
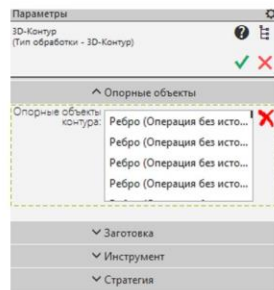
Вибір пристосування для закріплення заготовки



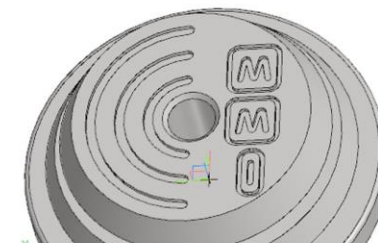
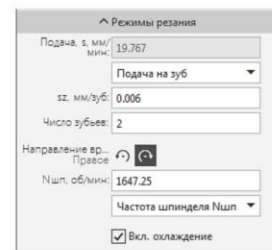
Вибір різального інструменту



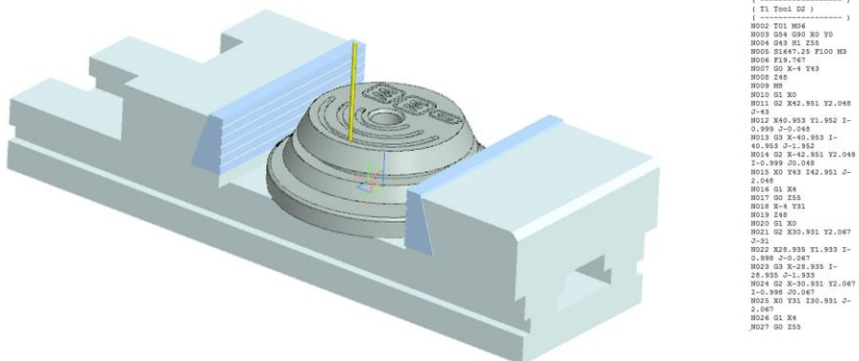
Задання траєкторії обробки



Задання режимів різання



Симуляція процесу гравіювання

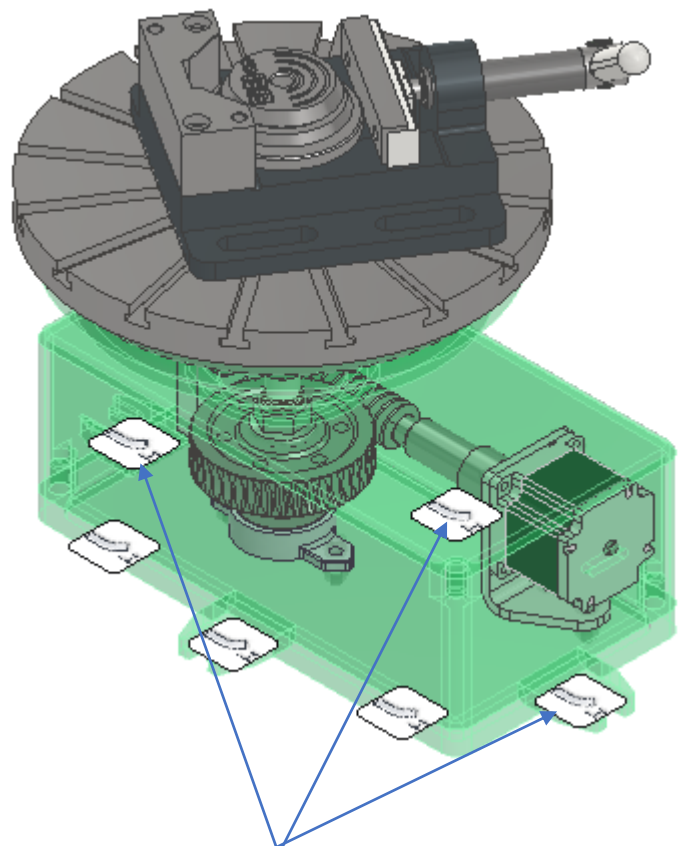


Код керуючої програми

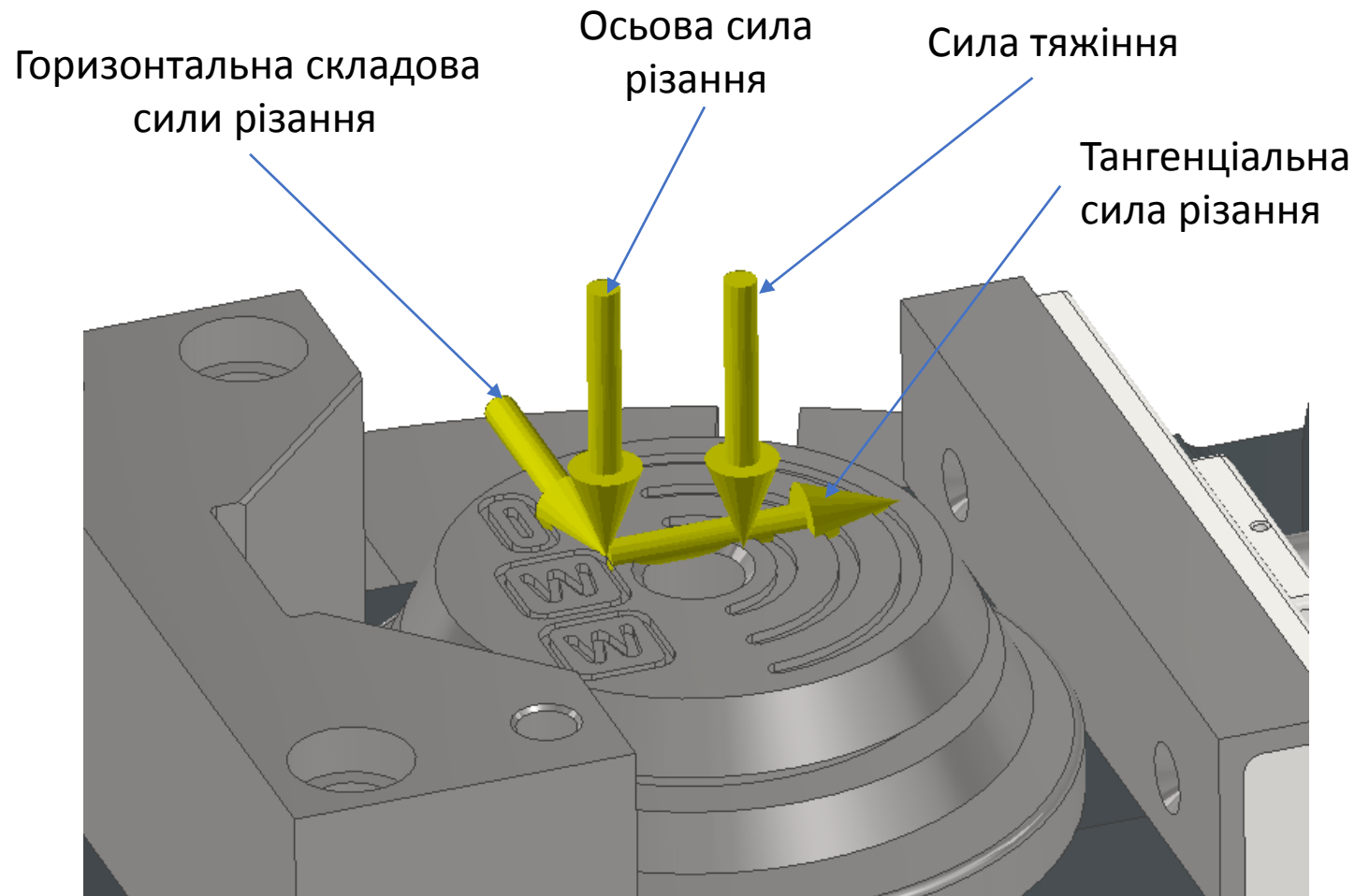
```

O00001
M01 G90 G40 G17
(-----)
( T1 Tool 02 )
M02 T01 M06
M03 G04 G09 X0 Y0
M04 G43 Z1.255
M05 G18 G17 F100 M3
M06 F19,767
M07 G0 X-4 Y43
M08 Z40
M09 M8
M10 G1 X0
M11 G2 X42,931 Y2,048 Z-0,4
M12 X40,933 Y1,952 Z-0,899 X-0,048
M13 G3 X-40,933 Z-40,933 F-1,952
M14 G2 X-42,961 Y2,048 Z-0,999 Z0,048
M15 X0 Y43 Z42,961 Z-2,048
M16 G1 X4
M17 G0 Z35
M18 X-4 Y11
M19 Z48
M20 G1 Z0
M21 G2 X30,931 Y2,047 Z-0,899 X0,047
M22 X28,933 Y1,933 Z-0,899 X-0,047
M23 G3 X-28,933 Z-28,933 F-1,933
M24 G2 X-30,931 Y2,047 Z-0,999 Z0,047
M25 X0 Y31 Z30,931 Z-2,047
M26 G1 X35
M27 G0 Z55
M28 X-4 Y19
M29 X16,156 Y-15,296
M30 G2 X18,092 Y2,111 Z-19
M31 X16,098 Y1,089 I-0,994 J-0,111
M32 X16,098 Y1,089 I-16,499 J-1,089
M33 G2 X-18,092 Y2,111 I-0,994 J0,111
M34 X0 Y19 I18,092 J-2,111
M35 G1 X4
M36 G1 Z4
M37 G0 Z55
M38 X17,789 Y-15,296 Z-43
M39 Z48
M40 G1 X28,424
M41 X28,733 Y-15,309
M42 X30,046 Y-15,489
M43 X31,349 Y-16,487
M44 X31,711 Y-17,224
M45 X32,288 Y-18,779
M46 X32,282 Y-19,22
M47 I-19,068
M48 X31,936 Y-33,72
M49 X31,735 Y-34,114
M50 X31,535 Y-34,332
M51 X30,635 Y-36,308
M52 X29,416 Y-36,934
M53 X28,379 Y-36,099
M54 X15,133
M55 X14,936 Y-36,052
M56 X13,689 Y-36,752
M57 G3 X-18,933 I-28,933 J-0,047
M58 X11,388 Y-32,76
M59 X11,388 Y-32,76
M60 X11,782 Y-32,123
M61 Y-19,206
M62 X11,289 Y-19,008
M63 X11,619 Y-17,492
M64 X12,247 Y-16,469
M65 X13,3 Y-15,814
M66 X13,156 Y-15,332
M67 X13,156 Y-15,296
M68 X13,156 Y-15,296
M69 X13,156 Y-15,296
M70 Y-21,469
M71 X-11,4 Y-20,339
M72 X16,833 Y-20,134
M73 X14,746 Y-20,065
M74 X16,711 Y-19,914
M75 X14,739 Y-19,781
M76 X17,043 Y-19,721
M77 X17,043 Y-19,721
M78 X17,043 Y-19,721
M79 X17,043 Y-19,721
M80 X17,043 Y-19,721
M81 X17,043 Y-19,721
M82 X17,043 Y-19,721
M83 X17,043 Y-19,721
M84 X17,043 Y-19,721
M85 X17,043 Y-19,721
M86 X17,043 Y-19,721
M87 X17,043 Y-19,721
M88 X17,043 Y-19,721
M89 X17,043 Y-19,721
M90 X17,043 Y-19,721
M91 X17,043 Y-19,721
M92 X17,043 Y-19,721
M93 X17,043 Y-19,721
M94 X17,043 Y-19,721
M95 X17,043 Y-19,721
M96 X17,043 Y-19,721
M97 X17,043 Y-19,721
M98 X17,043 Y-19,721
M99 X17,043 Y-19,721
M100 X17,043 Y-19,721
M101 X17,043 Y-19,721
M102 X17,043 Y-19,721
M103 X17,043 Y-19,721
M104 X17,043 Y-19,721
M105 X17,043 Y-19,721
M106 X17,043 Y-19,721
M107 X17,043 Y-19,721
M108 X17,043 Y-19,721
M109 X17,043 Y-19,721
M110 X17,043 Y-19,721
M111 X17,043 Y-19,721
M112 X17,043 Y-19,721
M113 X17,043 Y-19,721
M114 X17,043 Y-19,721
M115 X17,043 Y-19,721
M116 X17,043 Y-19,721
M117 X17,043 Y-19,721
M118 X17,043 Y-19,721
M119 X17,043 Y-19,721
M120 X17,043 Y-19,721
M121 X17,043 Y-19,721
M122 X17,043 Y-19,721
M123 X17,043 Y-19,721
M124 X17,043 Y-19,721
M125 X17,043 Y-19,721
M126 X17,043 Y-19,721
M127 X17,043 Y-19,721
M128 X17,043 Y-19,721
M129 X17,043 Y-19,721
M130 X17,043 Y-19,721
M131 X17,043 Y-19,721
M132 X17,043 Y-19,721
M133 X17,043 Y-19,721
M134 X17,043 Y-19,721
M135 X17,043 Y-19,721
M136 X17,043 Y-19,721
M137 X17,043 Y-19,721
M138 X17,043 Y-19,721
M139 X17,043 Y-19,721
M140 X17,043 Y-19,721
M141 X17,043 Y-19,721
M142 X17,043 Y-19,721
M143 X17,043 Y-19,721
M144 X17,043 Y-19,721
M145 X17,043 Y-19,721
M146 X17,043 Y-19,721
M147 X17,043 Y-19,721
M148 X17,043 Y-19,721
M149 X17,043 Y-19,721
M150 X17,043 Y-19,721
M151 X17,043 Y-19,721
M152 X17,043 Y-19,721
M153 X17,043 Y-19,721
M154 X17,043 Y-19,721
M155 X17,043 Y-19,721
M156 X17,043 Y-19,721
M157 X17,043 Y-19,721
M158 X17,043 Y-19,721
M159 X17,043 Y-19,721
M160 X17,043 Y-19,721
M161 X17,043 Y-19,721
M162 X17,043 Y-19,721
M163 X17,043 Y-19,721
M164 X17,043 Y-19,721
M165 X17,043 Y-19,721
M166 X17,043 Y-19,721
M167 X17,043 Y-19,721
M168 X17,043 Y-19,721
M169 X17,043 Y-19,721
M170 X17,043 Y-19,721
M171 X17,043 Y-19,721
M172 X17,043 Y-19,721
M173 X17,043 Y-19,721
M174 X17,043 Y-19,721
M175 X17,043 Y-19,721
M176 X17,043 Y-19,721
M177 X17,043 Y-19,721
M178 X17,043 Y-19,721
M179 X17,043 Y-19,721
M180 X17,043 Y-19,721
M181 X17,043 Y-19,721
M182 X17,043 Y-19,721
M183 X17,043 Y-19,721
M184 X17,043 Y-19,721
M185 X17,043 Y-19,721
M186 X17,043 Y-19,721
M187 X17,043 Y-19,721
M188 X17,043 Y-19,721
M189 X17,043 Y-19,721
M190 X17,043 Y-19,721
M191 X17,043 Y-19,721
M192 X17,043 Y-19,721
M193 X17,043 Y-19,721
M194 X17,043 Y-19,721
M195 X17,043 Y-19,721
M196 X17,043 Y-19,721
M197 X17,043 Y-19,721
M198 X17,043 Y-19,721
M199 X17,043 Y-19,721
M200 X17,043 Y-19,721
M201 X17,043 Y-19,721
M202 X17,043 Y-19,721
M203 X17,043 Y-19,721
M204 X17,043 Y-19,721
M205 X17,043 Y-19,721
M206 X17,043 Y-19,721
M207 X17,043 Y-19,721
M208 X17,043 Y-19,721
M209 X17,043 Y-19,721
M210 X17,043 Y-19,721
M211 X17,043 Y-19,721
M212 X17,043 Y-19,721
M213 X17,043 Y-19,721
M214 X17,043 Y-19,721
M215 X17,043 Y-19,721
M216 X17,043 Y-19,721
M217 X17,043 Y-19,721
M218 X17,043 Y-19,721
M219 X17,043 Y-19,721
M220 X17,043 Y-19,721
M221 X17,043 Y-19,721
M222 X17,043 Y-19,721
M223 X17,043 Y-19,721
M224 X17,043 Y-19,721
M225 X17,043 Y-19,721
M226 X17,043 Y-19,721
M227 X17,043 Y-19,721
M228 X17,043 Y-19,721
M229 X17,043 Y-19,721
M230 X17,043 Y-19,721
M231 X17,043 Y-19,721
M232 X17,043 Y-19,721
M233 X17,043 Y-19,721
M234 X17,043 Y-19,721
M235 X17,043 Y-19,721
M236 X17,043 Y-19,721
M237 X17,043 Y-19,721
M238 X17,043 Y-19,721
M239 X17,043 Y-19,721
M240 X17,043 Y-19,721
M241 X17,043 Y-19,721
M242 X17,043 Y-19,721
M243 X17,043 Y-19,721
M244 X17,043 Y-19,721
M245 X17,043 Y-19,721
M246 X17,043 Y-19,721
M247 X17,043 Y-19,721
M248 X17,043 Y-19,721
M249 X17,043 Y-19,721
M250 X17,043 Y-19,721
M251 X17,043 Y-19,721
M252 X17,043 Y-19,721
M253 X17,043 Y-19,721
M254 X17,043 Y-19,721
M255 X17,043 Y-19,721
M256 X17,043 Y-19,721
M257 X17,043 Y-19,721
M258 X17,043 Y-19,721
M259 X17,043 Y-19,721
M260 X17,043 Y-19,721
M261 X17,043 Y-19,721
M262 X17,043 Y-19,721
M263 X17,043 Y-19,721
M264 X17,043 Y-19,721
M265 X17,043 Y-19,721
M266 X17,043 Y-19,721
M267 X17,043 Y-19,721
M268 X17,043 Y-19,721
M269 X17,043 Y-19,721
M270 X17,043 Y-19,721
M271 X17,043 Y-19,721
M272 X17,043 Y-19,721
M273 X17,043 Y-19,721
M274 X17,043 Y-19,721
M275 X17,043 Y-19,721
M276 X17,043 Y-19,721
M277 X17,043 Y-19,721
M278 X17,043 Y-19,721
M279 X17,043 Y-19,721
M280 X17,043 Y-19,721
M281 X17,043 Y-19,721
M282 X17,043 Y-19,721
M283 X17,043 Y-19,721
M284 X17,043 Y-19,721
M285 X17,043 Y-19,721
M286 X17,043 Y-19,721
M287 X17,043 Y-19,721
M288 X17,043 Y-19,721
M289 X17,043 Y-19,721
M290 X17,043 Y-19,721
M291 X17,043 Y-19,721
M292 X17,043 Y-19,721
M293 X17,043 Y-19,721
M294 X17,043 Y-19,721
M295 X17,043 Y-19,721
M296 X17,043 Y-19,721
M297 X17,043 Y-19,721
M298 X17,043 Y-19,721
M299 X17,043 Y-19,721
M300 X17,043 Y-19,721
M301 X17,043 Y-19,721
M302 X17,043 Y-19,721
M303 X17,043 Y-19,721
M304 X17,043 Y-19,721
M305 X17,043 Y-19,721
M306 X17,043 Y-19,721
M307 X17,043 Y-19,721
M308 X17,043 Y-19,721
M309 X17,043 Y-19,721
M310 X17,043 Y-19,721
M311 X17,043 Y-19,721
M312 X17,043 Y-19,721
M313 X17,043 Y-19,721
M314 X17,043 Y-19,721
M315 X17,043 Y-19,721
M316 X17,043 Y-19,721
M317 X17,043 Y-19,721
M318 X17,043 Y-19,721
M319 X17,043 Y-19,721
M320 X17,043 Y-19,721
M321 X17,043 Y-19,721
M322 X17,043 Y-19,721
M323 X17,043 Y-19,721
M324 X17,043 Y-19,721
M325 X17,043 Y-19,721
M326 X17,043 Y-19,721
M327 X17,043 Y-19,721
M328 X17,043 Y-19,721
M329 X17,043 Y-19,721
M330 X17,043 Y-19,721
M331 X17,043 Y-19,721
M332 X17,043 Y-19,721
M333 X17,043 Y-19,721
M334 X17,043 Y-19,721
M335 X17,043 Y-19,721
M336 X17,043 Y-19,721
M337 X17,043 Y-19,721
M338 X17,043 Y-19,721
M339 X17,043 Y-19,721
M340 X17,043 Y-19,721
M341 X17,043 Y-19,721
M342 X17,043 Y-19,721
M343 X17,043 Y-19,721
M344 X17,043 Y-19,721
M345 X17,043 Y-19,721
M346 X17,043 Y-19,721
M347 X17,043 Y-19,721
M348 X17,043 Y-19,721
M349 X17,043 Y-19,721
M350 X17,043 Y-19,721
M351 X17,043 Y-19,721
M352 X17,043 Y-19,721
M353 X17,043 Y-19,721
M354 X17,043 Y-19,721
M355 X17,043 Y-19,721
M356 X17,043 Y-19,721
M357 X17,043 Y-19,721
M358 X17,043 Y-19,721
M359 X17,043 Y-19,721
M360 X17,043 Y-19,721
M361 X17,043 Y-19,721
M362 X17,043 Y-19,721
M363 X17,043 Y-19,721
M364 X17,043 Y-19,721
M365 X17,043 Y-19,721
M366 X17,043 Y-19,721
M367 X17,043 Y-19,721
M368 X17,043 Y-19,721
M369 X17,043 Y-19,721
M370 X17,043 Y-19,721
M371 X17,043 Y-19,721
M372 X17,043 Y-19,721
M373 X17,043 Y-19,721
M374 X17,043 Y-19,721
M375 X17,043 Y-19,721
M376 X17,043 Y-19,721
M377 X17,043 Y-19,721
M378 X17,043 Y-19,721
M379 X17,043 Y-19,721
M380 X17,043 Y-19,721
M381 X17,043 Y-19,721
M382 X17,043 Y-19,721
M383 X17,043 Y-19,721
M384 X17,043 Y-19,721
M385 X17,043 Y-19,721
M386 X17,043 Y-19,721
M387 X17,043 Y-19,721
M388 X17,043 Y-19,721
M389 X17,043 Y-19,721
M390 X17,043 Y-19,721
M391 X17,043 Y-19,721
M392 X17,043 Y-19,721
M393 X17,043 Y-19,721
M394 X17,043 Y-19,721
M395 X17,043 Y-19,721
M396 X17,043 Y-19,721
M397 X17,043 Y-19,721
M398 X17,043 Y-19,721
M399 X17,043 Y-19,721
M400 X17,043 Y-19,721
M401 X17,043 Y-19,721
M402 X17,043 Y-19,721
M403 X17,043 Y-19,721
M404 X17,043 Y-19,721
M405 X17,043 Y-19,721
M406 X17,043 Y-19,721
M407 X17,043 Y-19,721
M408 X17,043 Y-19,721
M409 X17,043 Y-19,721
M410 X17,043 Y-19,721
M411 X17,043 Y-19,721
M412 X17,043 Y-19,721
M413 X17,043 Y-19,721
M414 X17,043 Y-19,721
M415 X17,043 Y-19,721
M416 X17,043 Y-19,721
M417 X17,043 Y-19,721
M418 X17,043 Y-19,721
M419 X17,043 Y-19,721
M420 X17,043 Y-19,721
M421 X17,043 Y-19,721
M422 X17,043 Y-19,721
M423 X17,043 Y-19,721
M424 X17,043 Y-19,721
M425 X17,043 Y-19,721
M426 X17,043 Y-19,721
M427 X17,043 Y-19,721
M428 X17,043 Y-19,721
M429 X17,043 Y-19,721
M430 X17,043 Y-19,721
M431 X17,043 Y-19,721
M432 X17,043 Y-19,721
M433 X17,043 Y-19,721
M434 X17,043 Y-19,721
M435 X17,043 Y-19,721
M436 X17,043 Y-19,721
M437 X17,043 Y-19,721
M438 X17,043 Y-19,721
M439 X17,043 Y-19,721
M440 X17,043 Y-19,721
M441 X17,043 Y-19,721
M442 X17,043 Y-19,721
M443 X17,043 Y-19,721
M444 X17,043 Y-19,721
M445 X17,043 Y-19,721
M446 X17,043 Y-19,721
M447 X17,043 Y-19,721
M448 X17,043 Y-19,721
M449 X17,043 Y-19,721
M450 X17,043 Y-19,721
M451 X17,043 Y-19,721
M452 X17,043 Y-19,721
M453 X17,043 Y-19,721
M454 X17,043 Y-19,721
M455 X17,043 Y-19,721
M456 X17,043 Y-19,721
M457 X17,043 Y-19,721
M458 X17,043 Y-19,721
M459 X17,043 Y-19,721
M460 X17,043 Y-19,721
M461 X17,043 Y-19,721
M462 X17,043 Y-19,721
M463 X17,043 Y-19,721
M464 X17,043 Y-19,721
M465 X17,043 Y-19,721
M466 X17,043 Y-19,721
M467 X17,043 Y-19,721
M468 X17,043 Y-19,721
M469 X17,043 Y-19,721
M470 X17,043 Y-19,721
M471 X17,043 Y-19,721
M472 X17,043 Y-19,721
M473 X17,043 Y-19,721
M474 X17,043 Y-19,721
M475 X17,043 Y-19,721
M476 X17,043 Y-19,721
M477 X17,043 Y-19,721
M478 X17,043 Y-19,721
M479 X17,043 Y-19,721
M480 X17,043 Y-19,721
M481 X17,043 Y-19,721
M482 X17,043 Y-19,721
M483 X17,043 Y-19,721
M484 X17,043 Y-19,721
M485 X17,043 Y-19,721
M486 X17,043 Y-19,721
M487 X17,043 Y-19,721
M488 X17,043 Y-19,721
M489 X17,043 Y-19,721
M490 X17,043 Y-19,721
M491 X17,043 Y-19,721
M492 X17,043 Y-19,721
M493 X17,043 Y-19,721
M494 X17,043 Y-19,721
M495 X17,043 Y-19,721
M496 X17,043 Y-19,721
M497 X17,043 Y-19,721
M498 X17,043 Y-19,721
M499 X17,043 Y-19,721
M500 X17,043 Y-19,721
M501 X17,043 Y-19,721
M502 X17,043 Y-19,721
M503 X17,043 Y-19,721
M504 X17,043 Y-19,721
M505 X17,043 Y-19,721
M506 X17,043 Y-19,721
M507 X17,043 Y-19,721
M508 X17,043 Y-19,721
M509 X17,043 Y-19,721
M510 X17,043 Y-19,721
M511 X17,043 Y-19,721
M512 X17,043 Y-19,721
M513 X17,043 Y-19,721
M514 X17,043 Y-19,721
M515 X17,043 Y-19,721
M516 X17,043 Y-19,721
M517 X17,043 Y-19,721
M518 X17,043 Y-19,721
M519 X17,043 Y-19,721
M520 X17,043 Y-19,721
M521 X17,043 Y-19,721
M522 X17,043 Y-19,721
M523 X17,043 Y-19,721
M524 X17,043 Y-19,721
M525 X17,043 Y-19,721
M526 X17,043
```

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЕРТОВОГО СТОЛУ



Фіксація обертового столу
на установочному столі
модуля повздовжнього
лінійного переміщення

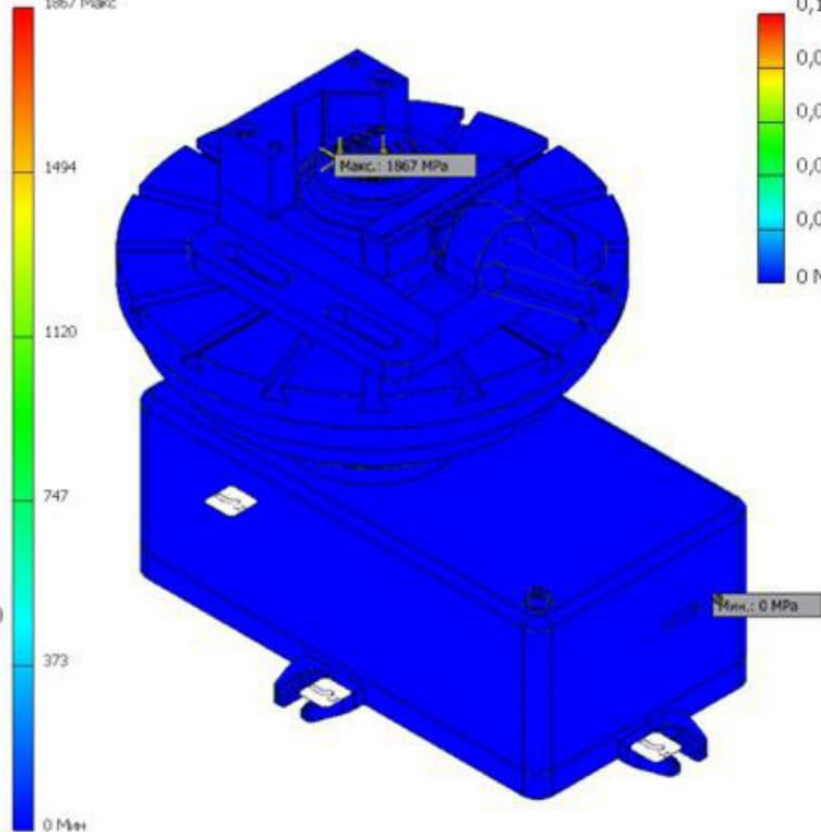


Також враховуються інерційні сили

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ОБЕРТОВОГО СТОЛУ

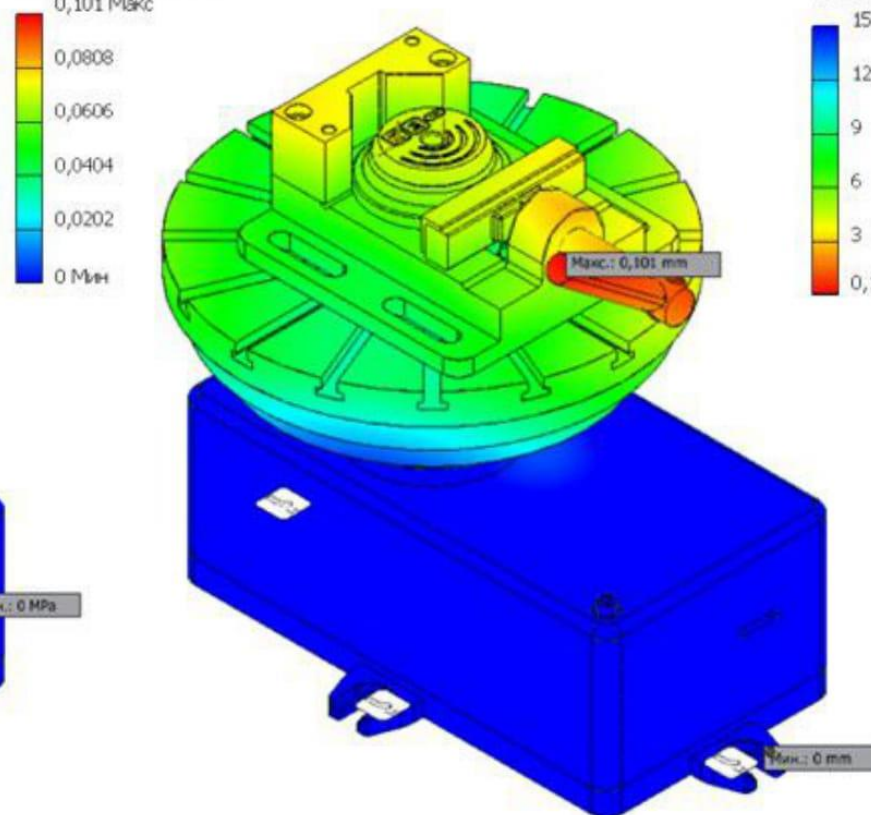
Напруження по Мізесу

Тип: Напруження по Мізесу
Єдиниця: МПа
Сб 12.12.20, 15:41:14
1867 Макс



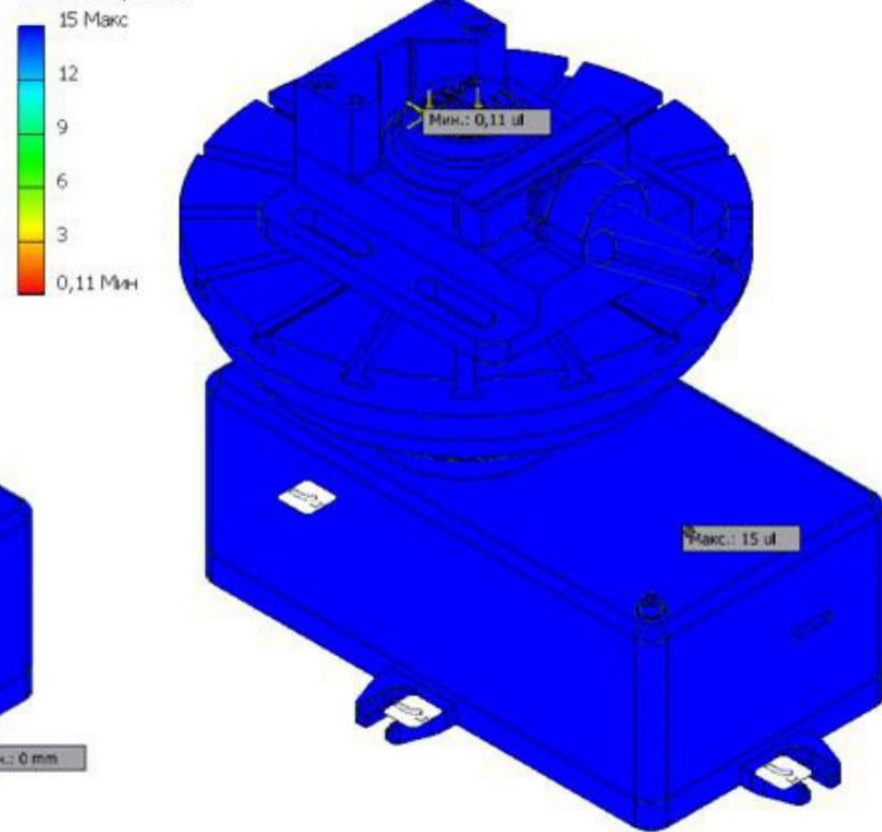
Зміщення

Тип: Сміщення
Єдиниця: mm
Сб 12.12.20, 15:42:38
0,101 Макс



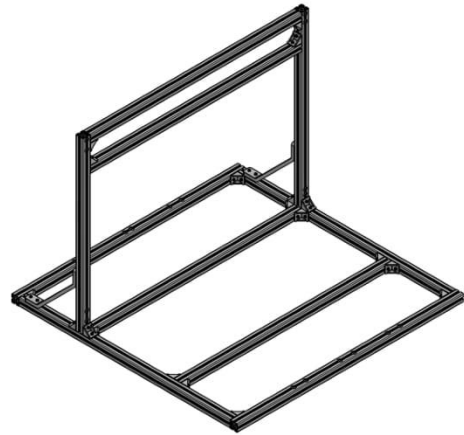
Коефіцієнт запасу міцності

Тип: Коеф. запасу міцності
Єдиниця: ul
Сб 12.12.20, 15:42:38

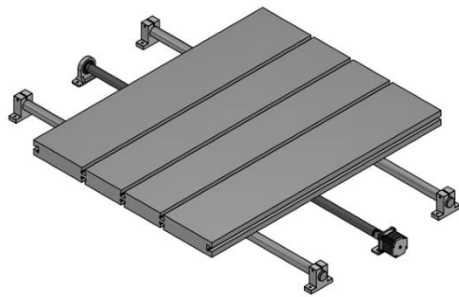


Розробник:
Студент групи МВ-81мп Михалевич В.В. _____
Керівник:
Д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

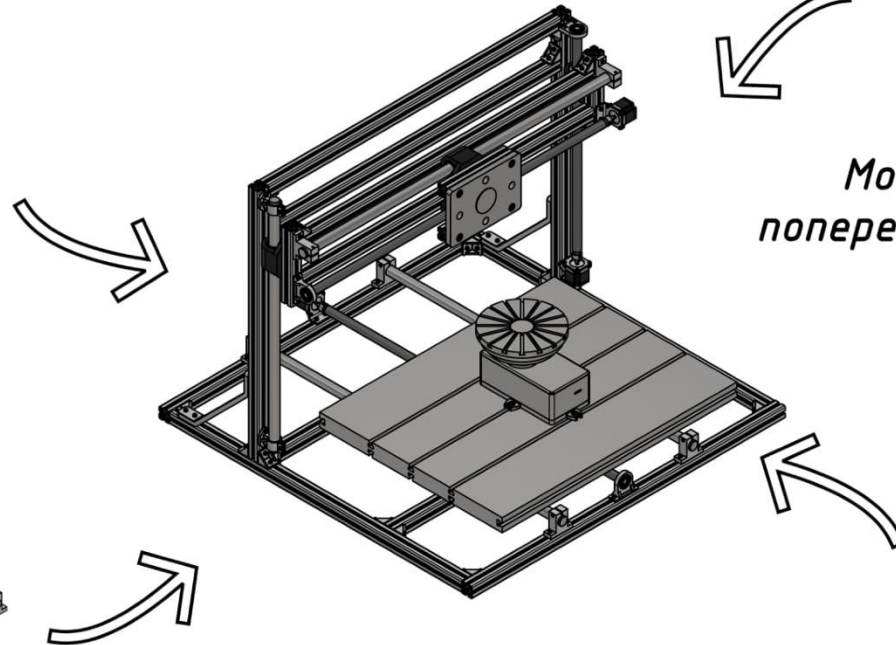
ПРИБЛИЗНА ВАРТІСТЬ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ З 4-МА КЕРОВАНИМИ ОСЯМИ



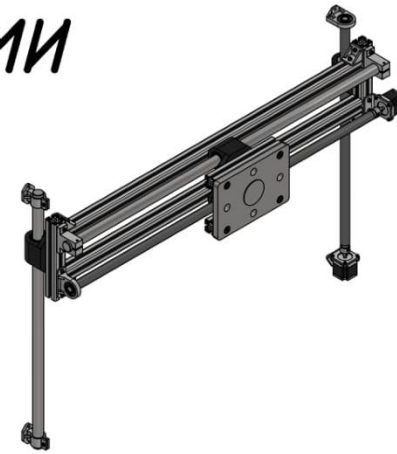
Станина
6039 грн



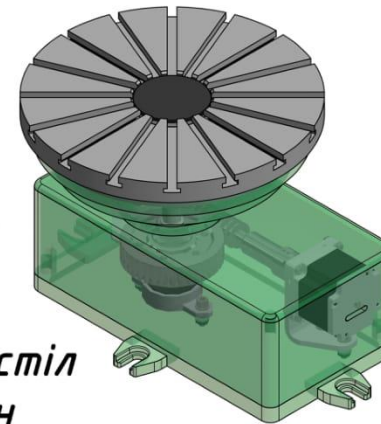
Модуль поздовжнього
лінійного переміщення
5026 грн



Фінальна вартість
31918 грн



Модуль вертикального та
поперечного лінійного переміщення
5853 грн



Обертвий стіл
15000 грн

Розробник:
Студент групи МВ-81мп Михалевич В.В. _____
Керівник:
Д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!