**Міністерство освіти і науки України**
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

**Факультет інженерії машин, споруд та технологій**
(повна назва факультету )

**Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин**
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: *«Удосконалення конструкції приводу механізму подач спеціального фрезерного верстату з ЧПК для обробки виробів з граніту»*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МВм-61
спеціальності
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Дмитро БІЛИЙ

Керівник (підпис) Руслан СКЛЯРОВ

Нормоконтроль (підпис) Володимир КОБЕЛЬНИК

Завідувач кафедри (підпис) Володимир КРУПА

Рецензент (підпис)

Тернопіль 2024

Міністерство освіти і науки України
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет **інженерії машин, споруд та технологій**
(повна назва факультету)
Кафедра **конструювання верстатів, інструментів та машин**
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Володимир КРУПА
(підпис)
« » _____ 20___ р.

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня **магістр**
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю **133 Галузеве машинобудування**
(шифр і назва спеціальності)
студенту **Білий Дмитро Андрійович**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *«Удосконалення конструкції приводу механізму подач спеціального фрезерного верстату з ЧПК для обробки виробів з граніту»*
Керівник роботи **Скляров Руслан Анатолійович, к.т.н., доц.**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «*8*» *листопада* 2024 року № 4/7-1066
2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.12.2024
3. Вихідні дані до роботи паспорт базової моделі верстату

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) *Аналітичний розділ. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи. Інформаційно-патентний пошук. Постановка мети та задач дослідження. Технологічні розрахунки. Розробка структурно-кінематичної схеми верстата. Оптимізація компонувальної схеми верстату. Силові та міцнісні розрахунки. Науково-дослідна частина. Заходи з охорони праці та безпеки в НС.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) *Тема, мета та завдання дослідження - 1 арк. ф.А1; Кінематична схема проектованого верстату – 1 арк. ф.А1; Складальне креслення верстату – 3 арк. ф.А1; Презентація до роботи (до 20 слайдів).*

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Сеник А.А. к.т.н., доц. каф. ВІ | | |
| Безпека життєдіяльності | Клепчик В.М., проректор з АГР та Б | | |
| Нормоконтроль | Кобельник В.Р., к.т.н., доц. каф. ВІ | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 11 листопада 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1* | *Аналіз завдання на проект* | *до 20.11.2024 р.* | |
| *2* | *Аналітичний розділ* | *до 22.11.2024 р.* | |
| *3* | *Технологічні розрахунки* | *до 28.11.2024 р.* | |
| *4* | *Аналіз формоутворення* | *до 01.12.2024 р.* | |
| *5* | *Аналіз компонувань верстата* | *до 04.12.2024 р.* | |
| *6* | *Силовий та міцнісні розрахунки* | *до 10.12.2024 р.* | |
| *7* | *Науково-дослідний розділ* | *до 14.12.2024р.* | |
| *8* | *Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях* | *до 16.12.2024 р.* | |
| *9* | *Формулювання висновків* | *до 18.12.2024 р.* | |
| *10* | *Виконання графічної частини* | *до 20.12.2024 р.* | |
| *11* | *Представлення виконаної роботи* | *до 24.12.2024 р.* | |
| *12* | *Захист дипломної роботи* | *Згідно графіку ЕК* | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ *Дмитро БІЛИЙ*
(підпис)

Керівник роботи _____ *Руслан СКЛЯРОВ*
(підпис)

# Анотація

Білий Д. А. Удосконалення конструкції приводу механізму подач спеціального фрезерного верстату з ЧПК для обробки виробів з граніту // Білий Дмитро Андрійович : кваліфікаційна робота магістра : 133 галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВм-61.: ТНТУ, 2024.

Ключові слова: привід подач, граніт, фрезерний верстат з ЧПК, давач переміщення лінійний, давач переміщення кутовий.

Метою роботи є вдосконалення конструкції приводу подач верстату для обробки природного каменю

В представленій кваліфікаційній роботі проведено патентно-інформаційні дослідження щодо обладнання, яке може використовуватися для обробки виробів з граніту. Проведені аналітичні розрахунки режимів різання при обробці виробів з граніту. Проведено розрахунки приводу подач фрезерного верстату з ЧПК для обробки виробів з граніту. Запропоновано вдосконалену схему механізму подач, приведено його конструктивну схему. В кваліфікаційній роботі висвітлені питання, що стосуються безпечної роботи на обладнанні, яке призначене для обробки каменю та граніту, а також безпеки життєдіяльності людини.

# Annotation

BILYI D. Improvement of the drive mechanism design for the feed system of a specialized CNC milling machine for granite product processing. Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2024.

Key words: feed drive, granite, CNC milling machine, linear displacement sensor, angular displacement sensor.

The purpose of the work is to improvement of feed drive design for natural stone processing machine.

In the presented qualification work, patent information research was conducted on equipment that can be used for processing granite products. Analytical calculations of cutting modes were carried out when processing granite products. Calculations of the feed drive of the CNC milling machine for processing granite products were carried out. Improved circuit of feed mechanism is proposed, its structural circuit is given. The qualification work highlights issues related to the safe operation of equipment, which is designed for the processing of stone and granite, as well as the safety of human life.

**Зміст**

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ ..... 8
ВСТУП ..... 9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ..... 12
1.1. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи ..... 12
1.2. Інформаційно-патентний пошук ..... 14
1.2.1. Аналіз робіт за тематикою дослідження ..... 14
1.2.2. Загальна характеристика обладнання та інструменту які використовується для обробки виробів з граніту ..... 18
1.2.3. Аналіз моделей верстатів, які використовуються для фрезерування поверхонь виробів з граніту ..... 20
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження ..... 25
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНИЙ ..... 27
2.1. Особливості та послідовність розрахунку при обробці виробів з природного каменю та граніту ..... 27
2.2. Технологічні розрахунки ..... 29
2.3. Кінематична схема верстату для обробки природного каменю та граніту ..... 33
2.4. Розрахунок приводу подачі верстату ..... 34
2.5. Розробка конструкції верстату для обробки природного каменю з використанням уніфікованих вузлів ..... 37
2.6. Висновки по розділу ..... 39
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ..... 40
3.1. Методика та план проведення наукових досліджень ..... 40
3.2. Аналіз та класифікація систем для відстеження переміщень робочих органів верстатів ..... 40
3.3. Структурні схеми систем відліку переміщень робочих органів для верстатів з ЧПК ..... 43
3.4. Основні види похибок в системі відліку переміщень робочих органів верстатів ..... 45
3.5. Конструктивні особливості механізмів, які дозволяють зменшити похибки в кульково-гвинтовій передачі ..... 46
3.6. Способи компенсації похибок кульково-гвинтової передачі ..... 48

3.6. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*опубліковані результати досліджень подані в додатках) ..... 53
3.7. Висновки до розділу ..... 53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..... 54
4.1. Організація охорони праці на малих підприємствах по обробці природного каменю ..... 54
4.2. Викиди, які виникають на підприємствах по обробці природного каменю ..... 58
4.3. Інженерний захист територій..... 60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ..... 63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ..... 66
ДОДАТКИ..... 66

# ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

БОПКПГ - блок обчислення похибки кута повороту гвинта;

БППКГ - блок програмування похибки кроку гвинта;

Д – двигун;

ДБН – державні будівельні норми;

ДП – давач переміщення;

ДСН – державні санітарні норми;

КГП – кульково-гвинтова передача;

КД – крокoвий двигун;

М – муфта;

НС – надзвичайна ситуація;

ОП – охорона праці;

ППК – програмований перетворювач коду;

РО – робочий орган;

САПР – система автоматизованого проектування;

ТП – технологічний процес;

ЧПК – числове програмне керування.

# ВСТУП

Природний камінь є унікальним будівельним матеріалом, що поєднує естетичну привабливість, довговічність та багатофункціональність. Його активно використовують у різних сферах: від облицювання фасадів і створення інтер'єрів до виготовлення декоративних, художніх виробів і побутових предметів. Універсальність природного каменю стимулює збільшення асортименту продукції, особливо з таких порід, як граніт, мармур, габро і лабрадорит. Дані матеріали широко застосовують у створенні меморіальних комплексів, монументів, надгробків і художніх скульптур, оскільки вони володіють винятковою міцністю та довговічністю, також їм притаманна естетична привабливість.

На сьогоднішній день в світі видобутком та обробкою природного каменю займається більше 100000 підприємств. Вироби з каменю та граніту користуються високим попитом. Аналіз ринку показав, що його основу складають переважно невеликі підприємства із середньою кількістю працівників до 15 осіб, а в країнах Європейського Союзу, ця цифра становить лише 3 особи. Основними джерелами постачання мармуру є Італія, Іспанія та Греція, географія країн, що постачають граніт – є значно ширшою. До переліку країн, що активно експортують граніт відноситься також Україна. Попит на продукцію каменеобробних підприємств залишається незмінною уже кілька років поспіль, при цьому частка видобутку мармуру та граніту стабільно становить 57% і 37% відповідно [6].

Впровадження автоматизації виробничих процесів, застосування сучасного автоматизованого обладнання та новітніх технологій обробки каменю, в тому числі 3D – обробка сприяє динамічному розвитку галузі. На думку експертів світовий ринок демонструє щорічне зростання у межах 7–8%.

В Україні знаходяться великі поклади декоративного каменю, приблизно 5% світових запасів, а саме граніту, лабрадориту, діориту та габро. При цьому вітчизняний камінь має вищу міцність та довговічність в порівнянні із закордонними аналогами [37].

Згідно проведених досліджень [38] в галузі різання, оброблення та оздоблення декоративного й будівельного каменю працювали більше 3 тис. суб'єктів підприємницької діяльності, з яких 2718 – фізичні особи-підприємці.

Каменеобробна галузь стикається з низкою проблем, так на малих підприємствах переважно використовується морально застаріле або зношене обладнання, яке завезли в Україну з інших країн, після тривалої експлуатації. Інструмент, який при цьому використовується – переважно китайського або європейського виробництва. Обладнання вітчизняного виробництва не є конкурентоздатним в порівнянні з закордонними верстатами, навіть застарілими моделями.

Використання та широке впровадження інноваційних рішень може дозволити Україні посилити свої позиції на світовому ринку природного каменю та підвищити економічну віддачу від власних ресурсів. Для цього слід здійснити комплексну модернізацію наявного обладнання, а саме впровадження сучасних верстатів з ЧПК, широко застосовувати водоструминні та лазерні технології. Перспективними є роботи направлені на вдосконалення приводів верстатів з використанням сучасної елементної бази, а саме передач гвинт-гайка кочення із слідкуючими системами керування. Користуються попитом серед споживачів вироби виготовлені за допомогою технології 3D – гравірування, їх впровадження передбачає застосування багатокоординатних обробних модулів з системою ЧПК. Такі технології обробки дозволяють розширити виробничі можливості підприємств, та запропонувати споживачам власну продукцію з високою доданою вартістю, яка відповідає кращим світовим взірцям за конкурентними цінами.

Саме тому тема «Удосконалення конструкції приводу механізму подач спеціального фрезерного верстату з ЧПК для обробки виробів з граніту» є актуальною.

***Мета і задачі дослідження.*** Метою роботи є вдосконалення конструкції приводу подач верстату для обробки природного каменю.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі завдання:

- провести огляд наукових праць, що стосуються раніше виконаних досліджень у напрямку кваліфікаційної роботи;
- виконати розрахунки, які забезпечать формування необхідних вихідних даних для проектування формоутворюючих вузлів верстата;
- спроектувати конструкцію приводу подач для верстата, призначеного для обробки виробів із природного каменю, включаючи граніт;
- розробити схему яка дозволить підвищити точність позиціювання кульково-гвинтової передачі для проєктованого верстату;
- запропонувати комплексні заходи, спрямовані на забезпечення безпеки праці та захисту життєдіяльності працівників, які працюють у сфері обробки природного каменю та граніту, з урахуванням специфіки виробничих процесів.

***Об'єкт дослідження – механізм подачі верстату*** для обробки граніту.

***Предмет дослідження*** **–** приводи подач верстатів з ЧПК для обробки природного каменю та граніту.

**Методи дослідження.** В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра були застосовані наступні методи дослідження: літературний метод (він дозволив здійснити пошук ключових наукових джерел та спеціалізованих публікацій, що стосуються обраної тематики дослідження; методи теоретичного узагальнення (дозволили провести основні теоретичні узагальнення, що мають безпосереднє відношення до теми роботи); метод синтезу (дозволив вдосконалити конструкцію приводу подач верстата, призначеного для обробки виробів із природного каменю); методи аналізу (застосування цих методів дозволило сформувати основні висновки щодо проведених досліджень і розробити рекомендації для їх практичного використання).

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно затвердженої структури та складається із вступу, чотирьох розділів і основних висновків, які розміщені на 65 сторінках, 36 рисунків та 3 таблиць на 15 сторінках, переліку використаної літератури з 52 найменувань на 6 сторінках, додатків на 37 сторінках, всього 108 сторінок.

# РОЗДІЛ 1.
# АНАЛІТИЧНИЙ

## 1.1. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи

Тема обробки природного каменю та граніту із застосуванням верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) є актуальною через зростаючий попит споживачів на високоякісні вироби з цих матеріалів як в будівельній галузі, так і їх використання для дизайну інтер’єрів, а також при виготовленні пам'ятників та надгробних плит.

Основні аспекти проблематики цієї сфери можна розділити на кілька ключових напрямів, а саме технічні особливості природних матеріалів, обладнання яке використовується для їх обробки, економічні аспекти застосування верстатів, охорона праці та безпека навколишнього середовища.

Природний камінь характеризується високою міцністю, твердістю, а також стійкістю до зношення. Ці фактори суттєво ускладнюють процес його обробки, оскільки необхідно застосовувати обладнання, яке спроможне забезпечити необхідні потужності різання, точність оброблюваної поверхні та продуктивність.

Ефективна робота такого обладнання може забезпечуватись при використанні відповідного різального інструменту, це як правило, алмазні фрези, різці, диски. Також суттєвий вплив на процес різання чинять такі фактори як технічні параметри каменю (його твердість, структура, наявність мікротріщин). Тому важливо обрати оптимальні режими які дозволять уникнути пошкодження матеріалу.

Аналіз ринку обладнання, яке може використовуватись для обробки природного каменю представлено досить широким спектром моделей, при цьому вони можуть відрізнятися за їх функціональними можливостями, продуктивністю, а також рівнем автоматизації.

Пропоноване виробниками обладнання має досить високу вартість, що суттєво обмежує до нього доступ невеликих підприємств (останні переважно застосовують обладнання, яке раніше використовувалось). Також гостро стоїть питання технічного обслуговування такого обладнання, а також оновлення програмного забезпечення. Також є певна специфіка та вимоги до оператора такого верстату, він повинен мати досвід та відповідну кваліфікацію при налаштуванні верстату, при переході на інший тип оброблюваного матеріалу.

Якщо розглядати обробку природнього каменю з економічної точки зору, то це є ресурсномісткий процес, який пов'язаний з високими витратами енергоресурсів, а також витратних матеріалів (інструмент, вода та ін.). Також слід врахувати, що є велика проблема з утилізацією та переробкою відходів виробництва.

Не менш важливим є питання охорони праці та безпеки виробництва, оскільки процес обробки природного каменю супроводжується утворенням великої кількості пилу, що може чинити негативний вплив на здоров’я працівника. Тому на такому підприємстві слід звернути максимальну увагу на автоматизацію процесів обробки (можливо при використанні верстатів з ЧПК), що може знизити ризик розвитку професійних захворювань та травмування на виробництві.

Для вирішення зазначених вище проблем на виробництві необхідно впроваджувати сучасні технології обробки та новітнє технологічне обладнання, перспективними є верстати з паралельною кінематикою [11]. Сучасні верстати з ЧПК часто оснащуються багатокоординатною системою ЧПК, що дозволяє здійснювати обробку складних архітектурних елементів. Сучасне програмне забезпечення дозволяє досягнути вищої точності обробки а також продуктивності (за рахунок більшої швидкості обробки). Також слід звернути увагу на питання, що стосуються зменшення відходів та зниження енергоспоживання на таких підприємствах.

Успішне розв’язання проблем у цій галузі дозволить підвищити продуктивність, якість продукції та конкурентоспроможність підприємств, які працюють з природним каменем та гранітом.

## 1.2. Інформаційно-патентний пошук

### 1.2.1. Аналіз робіт за тематикою дослідження

Сучасні верстати з ЧПК, які використовуються для обробки природного каменю та граніту, здатні працювати з блоками максимальною висотою до 700 мм, це пояснюється розмірами робочої зони таких верстатів. Для виготовлення виробів більших розмірів (до 2–2,5 м) і зі складними профільними формами здебільшого застосовують застарілі підходи, які передбачають ручну просторову розмітку із використанням шаблонів, а також використання ручного електроінструменту [34].

На сьогоднішній день виробники обладнання для обробки каменю пропонують верстати, які відзначаються простотою конструкції та вдосконаленими механічними системами зі спрощеними кінематичними ланцюгами (див. рис. 1.1).

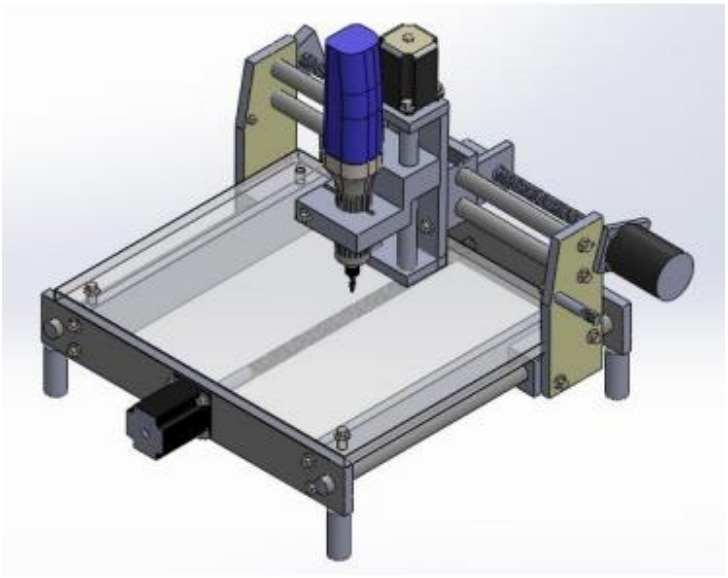

Рис. 1.1. Обладнання для обробки виробів з природного каменю зі спрощеними кінематичними ланцюгами

Подібні рішення забезпечують зниження витрат на виробництво, полегшують технічне обслуговування, а також підвищують надійність експлуатації. Для управління такими верстатами використовується система числового програмного керування (ЧПК), що гарантує високу точність і продуктивність обробки кам’яних виробів [1].

Досить ґрунтовною є праця вітчизняних науковців [6], в якій вони дають детальний опис обладнанню, яке використовується в каменедобувній та каменеобробній галузях, а також інструментам і оброблювальному матеріалу.

Процесу гідроабразивної обробки виробів з природного каменю присвячена робота [18], в якій автор розглядає як теоретичні передумови такого процесу, так і пропонує варіант його реалізації. В роботі приведені переваги та основні недоліки такого способу обробки виробів з каменю.

В роботі житомирських фахівців [35] приведено інформацію щодо експериментального дослідження жорсткості пружної системи 5-ти координатного верстату з ЧПК «Energia» для обробки виробів з каменю та граніту. Ними було встановлено, що коефіцієнти жорсткості даного верстату в порівнянні з аналогічним фрезерним є на порядок меншими, але при цьому верстат при обробці кам’яних виробів здатен забезпечити необхідну точність та якість поверхні.

Про важливість впровадження системи комп’ютерного управління та інформаційної підтримки на підприємствах каменеобробної галузі вказано в публікації [29]. Така система повинна охоплювати усі етапи життєвого циклу виробів, починаючи від аналізу ринку і закінчуючи етапом утилізації відходів, які утворюються в процесі виробництва. Також автори наголошують на важливості застосування PDM систем на етапах конструкторського-технологічного проектування.

В роботі канадських фахівців [42, 48] досліджується процес обробки виробів з граніту на верстатах з ЧПК. В їх публікаціях визначено як умови обробки впливають на якість деталей, величину сил різання, а також який розмір частинок пилу при цьому виділяється, і як він впливає на здоров’я працівника.

Проведені дослідження дозволили сформувати оптимальні режими різання для обробки кромок гранітних виробів при використанні інструменту різної форми.

Індонезійські науковці [50] досліджували вплив частоти обертання шпинделя, а також основних параметрів різання (швидкості подачі та глибини різання) на якість оброблюваної поверхні виробу з мармуру при його обробці на фрезерному трьохкоординатному верстаті з ЧПК. Особливу увагу при цьому вони приділяли проведенню високошвидкісної обробки на етапі оздоблювальних гравірувальних робіт.

В роботі китайських фахівців [52] подано детальний опис системи яка дозволяє здійснити вимірювання сили різання, що виникає в процесі фрезерування гранітного виробу алмазною фрезою. Вони виявили, що сила різання в процесі обробки граніту повільно зростає до певного постійного граничного значення, також вона зростає із збільшенням глибини різання та швидкості подачі. При цьому при збільшенні швидкості обертання шпинделя, сила різання зменшується.

Заслуговують на увагу серія публікацій турецьких фахівців [41, 49], в яких вони досліджують влив характеристик оброблюваного матеріалу (мармуру, граніту) на сили різання та питому енергію різання, при цьому для аналізу вони використовували рівняння лінійної регресії. В обох публікаціях обробка природного каменю відбувається на верстатах з ЧПК.

В праці угорських фахівців [44] досліджується питання формування сколу фрезерованої кромки при обробці на верстатах з ЧПК. Ними розроблено модель, яка дозволяє дослідити максимальну глибину сколу та середню міру сколу фрезерованих країв гранітних виробів. Запропонованими ними методика може застосовуватись при визначенні форми поверхні, яка отримується при художньому гравіруванні виробів з граніту.

Питанням використання інструментів для обробки виробів із природнього каменю присвячена праця [22], в якій автори запропонували підхід до створення гібридного інструменту з алмазним покриттям, та сформулювали теоретичні засади що до формування такого шару.

Заслуговує уваги праця вітчизняних фахівців [30], у якій автори провели ґрунтовні дослідження щодо особливостей та переваг обробки виробів з граніту при використанні інструментів з алмазними зернами марок АС200 і АС32.

Особливостям використання інструменту з алмазно-полімерного волокна присвячена робота [17], в якій автори надали інформацію щодо використання такого інструменту та якої якості поверхні при цьому можна досягнути.

Верстати для обробки каменів є складними технічними системами, їх проектування передбачає широке застосування методів прогнозування [15, 24, 26, 27, 38], основних положень теорії системного аналізу [25] та теорії технічних систем [13, 14].

Широке впровадження сучасних комп'ютерних технологій суттєво змінює підходи до розробки складних технічних систем, якими є верстати для обробки каменю. Завдяки застосуванню інноваційних інструментів, зокрема комп'ютерної графіки та засобів САПР [8, 9], технологій моделювання, симуляції [3, 4] та віртуальної реальності, вдається значно скоротити час, необхідний для виконання дослідно-проектних робіт.

Як відомо, при проектуванні металорізальних верстатів можуть використовуватись три типи моделей [5]: критеріальні, поведінкові та морфологічні. Ці моделі можуть успішно застосовуватись при проектуванні обладнання для обробки виробів з природного каменю та граніту. За допомогою критеріальних моделей ми можемо здійснити розробку технічного завдання на проектування, а саме встановити область раціональних технічних характеристик обладнання та їх взаємозв'язок з основними виконавчими вузлами. На основі морфологічних моделей ми можемо здійснити розробку компонувальної схеми обладнання у відповідності до обраної структури. Використання поведінкових моделей дозволяє здійснити різні види моделювання (дослідження окремих кінематичних ланцюгів обладнання як в статиці, так і в динаміці).

Також слід звернути увагу на підходи до формування математичних моделей, що базуються на основі дослідження формоутворюючих рухів, які повинно забезпечити проектоване технологічне обладнання [7, 10]

### 1.2.2. Загальна характеристика обладнання та інструменту які використовується для обробки виробів з граніту

Сучасне обладнання, яке може використовуватись для обробки виробів з граніту повинно забезпечувати виконання операцій, пов'язаних із різанням, шліфуванням, поліруванням, гравіруванням та свердлінням (див. рис. 1.2). Воно може застосовуватись для створення плит, пам'ятників, меблів, архітектурних деталей, а також інших декоративних і будівельних елементів.

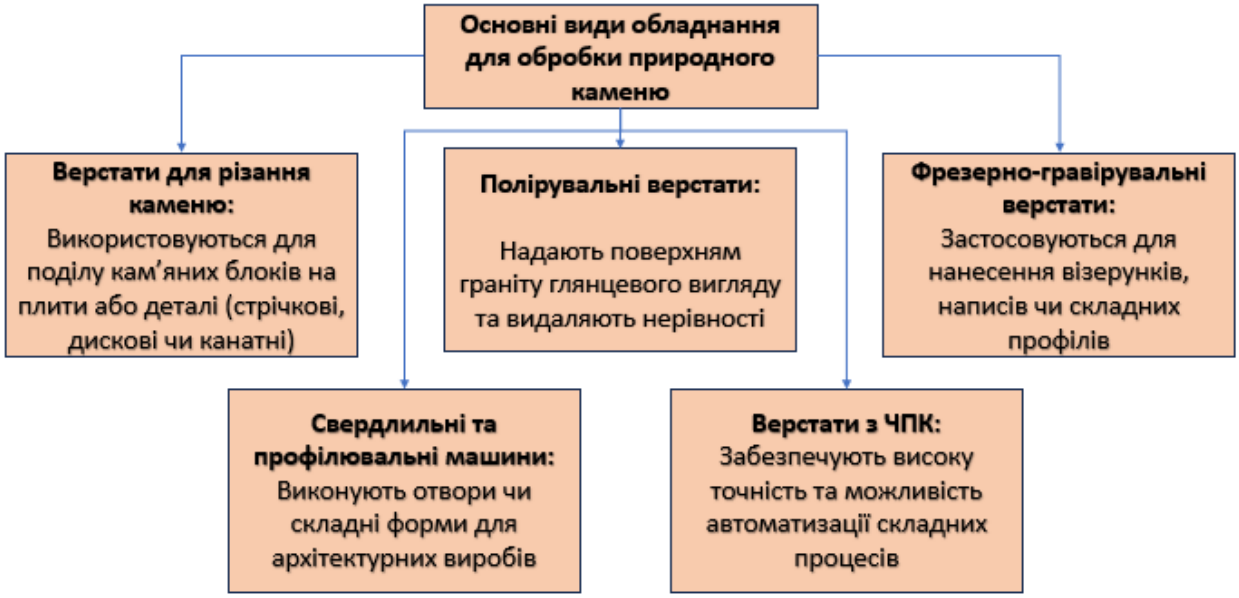


Рис. 1.2. Основні види обладнання для обробки природного каменю

Оскільки обробка каменю передбачає виконання різноманітних технологічних операцій та процесів, то це обумовлює застосування широкого спектру спеціалізованого інструменту. Основними видами різального інструменту є абразивний, алмазний і твердосплавний. Кожен із них має специфічну конструкцію, що визначає його функціональність та область застосування.

До абразивного інструменту належать штрипсові та канатні пили, які можуть виготовлятися зі сталевим неармованим корпусом. Робота такого інструменту базується на використанні вільного абразиву, що забезпечує поступове зношення матеріалу. Подібні пили ідеально підходять для менш

точних робіт або для обробки порід із помірною твердістю. Абразиви використовуються в середовищі охолоджувальної рідини, що зменшує перегрів інструменту та підвищує якість обробки.

Найбільш універсальним інструментом, який може використовуватись для обробки твердих порід каменю (граніту та мармуру) – є алмазний інструмент. Такий інструмент характеризується наявністю сталевого корпусу до якого прикріплені алмазні сегменти, як правило, це алмазні диски, свердла та фрези. Ці інструменти мають високу зносостійкість та точність, ними можна обробляти складні за формою поверхні. Ще одна особливість алмазного інструменту, що в залежності від розміру алмазних сегментів їх можна використовувати як для різання, так і для полірування та гравірування.

Третя категорія інструменту, яка може використовуватись для обробки природного каменю - твердосплавний інструмент. Такий інструмент переважно містить різні види ріжучих елементів, які виконані зі сплавів на основі вольфраму, кобальту та інших міцних матеріалів. Твердосплавні інструменти які використовуються для обробки природного каменю мають високу міцність та стійкість до механічних навантажень, їх переважно застосовують для грубої різки або попередньої обробки каменю.

На рис. 1.3. приведені загальні вимоги, які висуваються до інструменту, що використовується для обробки природного каменю.

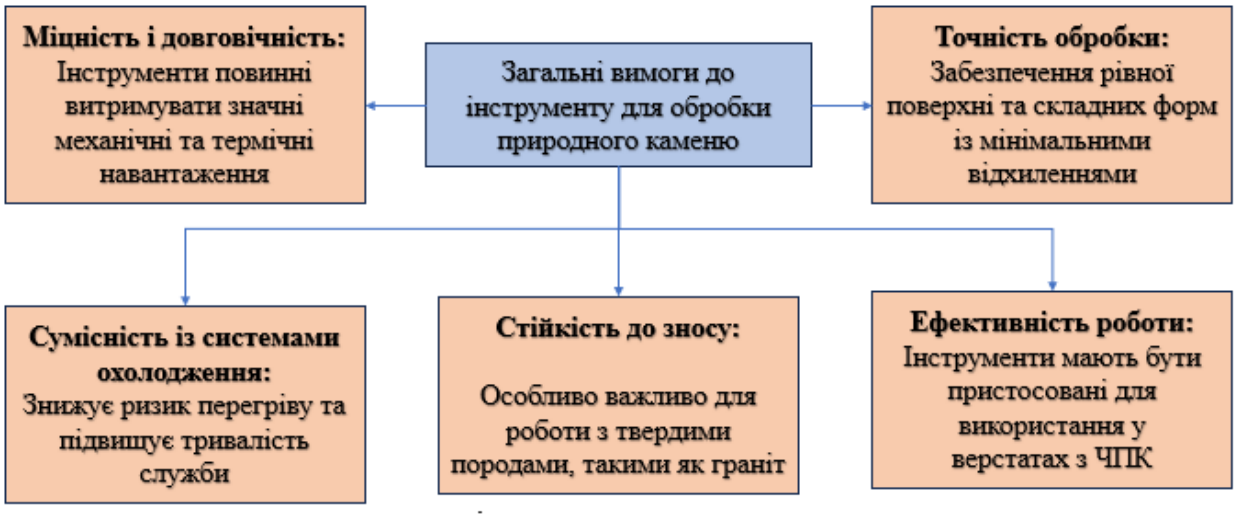


Рис. 1.3. Вимоги до інструменту для обробки природного каменю

### 1.2.3. Аналіз моделей верстатів, які використовуються для фрезерування поверхонь виробів з граніту

Заслуговують на увагу фрезерно-гравірувальні верстати, до яких відносять обладнання, яке дозволяє здійснювати гравіювання на поверхні заготовок за допомогою фрези шляхом зняття тонкого шару матеріалу. В результаті цього на поверхні гранітної чи мармурової плити можна отримати двовимірні зображення та об'ємні візерунки. На рис. 1.4 приведено основні області застосування фрезерно-гравірувальних верстатів.

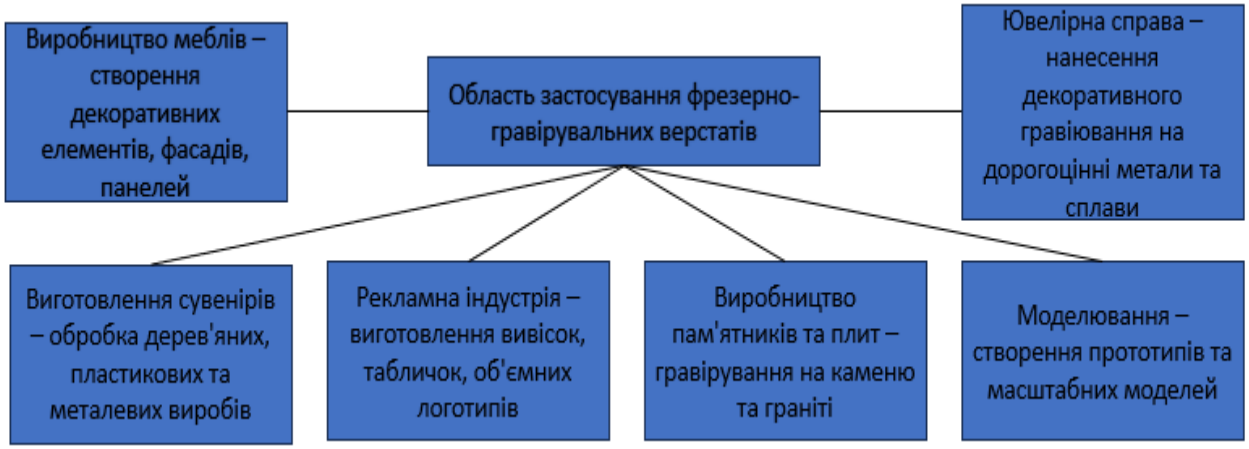


Рис. 1.4. Область застосування фрезерно-гравірувальних верстатів

В залежності від компонування фрезерно-гравірувальні верстати бувають двох типів, а саме портальні (рис. 1.5) та консольні (рис. 1.6).

Рис. 1.5. Фрезерно-гравірувальний верстат консольного типу

Рис. 1.6. Фрезерно-гравірувальний верстат портального типу

Проведемо порівняння конструкцій портальних та консольних верстатів для обробки природного каменю та граніту, результати якого приведемо в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця портальних та консольних верстатів

| Параметр | Портальні верстати | Консольні верстати |
|---|---|---|
| Переміщення | Шпиндель переміщається по осях X, Y, Z; стіл нерухомий | Стіл переміщається по осях X, Y, Z; шпиндель нерухомий |
| Обробка | Великі та важкі заготовки, обробка великих площин | Дрібні та середні заготовки з високою точністю |
| Конструкція | Жорстка, масивна конструкція з поперечною балкою | Компактна конструкція з рухомим столом |
| Сфера застосування | Машинобудування, обробка каменю, авіабудування | Дрібносерійне виробництво, ювелірна справа, моделювання |
| Переваги | Висока точність і стабільність при великих навантаженнях | Гнучкість, простота налаштування, економія простору |
| Недоліки | Великі габарити, висока вартість | Обмежена жорсткість, мала придатність для великих деталей |

Вітчизняні виробники пропонують декілька моделей обладнання, яке може використовуватись для обробки виробів з природного каменю та граніту, так заслуговує уваги модель «Гриф 8012» [2]. Основними перевагами пропонованої моделі (див. рис. 1.7) є модульна конструкція, яка дозволяє за потреби обрати необхідну комплектацію обладнання. Верстат може успішно застосовуватись

для проведення фрезерно-гравірувальних робіт. Його детальні технічні характеристики приведені в Додатку А.

Рис. 1.7. Загальний вигляд верстату «Гриф 8012»

Також компанія виробник пропонує трьохосьовий фрезерний верстат з ЧПК «Яструб 8015-200» [32], який розроблено для роботи 2D і 3D моделями, а при встановленні додаткового модуля – можна проводити обробку тіл обертання, тоді він стає чотирьохосьовим. Верстат оснащений міцною сталевою станиною, а шпиндельний блок з системою рідинного охолодження кріпиться на алюмінієвому порталі (див. рис. 1.8).

Рис. 1.8. Загальний вигляд верстату «Яструб 8015»

Приведена модель позиціонується виробником як універсальна, вона дозволяє виконувати проводити розкрій листових матеріалів, здійснювати фрезерно-гравірувальні роботи. Основна перевага даної моделі – це здатність проводити фрезерування 3D-рельєфів (дозволяє наносити на поверхню візерунки та гравірувати складні тривимірні форми). Також верстат дозволяє свердлити точні отвори під різними кутами. Його основні технічні характеристики приведені в Додатку А.

Також заслуговує на увагу верстат «РПК-1015» (див. рис. 1.9), основне призначення якого - 2D та 3D обробка моделей, для яких оброблюваним матеріалом є граніт, долерит, базальт, габро або мармур [33]. Технічні характеристики цього верстату можна переглянути в Додатку А.

Рис. 1.9. Загальний вигляд верстату «РПК-1015»

Одним із визнаних лідерів виробників обладнання яке призначене для обробки природного каменю та граніту є італійська компанія Prussiani Engineering [51]. Ними запропонована лінійка моделей (див. рис. 1.10) із різним розміром робочого столу та базовим набором інструментів (Додаток А).

а) модель SILVER

б) модель GOLDEN PLUS

в) модель PLATINO

г) модель DIAMANTE 18

Рис. 1.10. Лінійка каменеобробних верстатів компанії Prussiani Engineering

Знаним виробником з великою історією є компанія COBALM stone working mashine [45], яка випускає верстати для обробки каменю починаючи з 1964 року. Їх верстати мають класичне компонування, це верстат у формі пантографа з ЧПК, в якості виконавчого вузла використовується електрошпиндель з регульованою швидкістю обертання та системою змащення інструменту в комплекті з баком і насосом для рециркуляції води (рис. 1.11).

Рис. 1.11. Загальний вигляд верстату «Idea Plus» компанії COBALM

Інший італійський виробник – компанія «DONATONI» пропонує інноваційне обладнання для гідроабразивної обробки каменю [43]. Верстат DONATONI J5.42 (рис. 1.12) дозволяє виконувати поздовжні, поперечні, косі, похилі, криволінійні та еліптичні типи різів, а при використанні спеціальної головки може виконувати операції фрезерування та виконувати наскрізні отвори.

Рис. 1.12. Загальний вигляд верстату DONATONI J5.42

## 1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

В першому розділі здійснено аналіз робіт, що стосуються проектування та дослідження особливостей роботи верстатів по обробці природного каменю та граніту, а також різального інструменту, який при цьому використовується.

При проектуванні верстатів по обробці природного каменю та граніту на початкових етапах доцільним є використання теорії технічних систем та методів прогнозування, це дозволить сформувати технічне завдання на розробку конкурентоспроможного обладнання.

Аналіз технологічного обладнання, яке випускається серійно показав, що верстати переважно мають компонування зі спрощеними кінематичними ланцюгами, при цьому можуть використовуватись різні види передач (зубчасте колесо-рейка та кульково-гвинтові передачі). Як правило, виконавчий вузол – шпиндель містить різальний інструмент та дозволяє здійснювати обробку складних поверхонь.

***Мета і задачі дослідження.*** Метою роботи є вдосконалення конструкції приводу подач верстату для обробки природного каменю

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі завдання:

- провести детальний огляд наукових праць, що стосуються раніше виконаних досліджень у напрямку кваліфікаційної роботи;
- виконати розрахунки, які забезпечать формування необхідних вихідних даних для проектування формоутворюючих вузлів верстата;
- спроектувати конструкцію приводу подач для верстата, призначеного для обробки виробів із природного каменю, включаючи граніт;
- розробити систему, яка дозволить підвищити точність позиціювання кульково-гвинтової передачі для проєктованого верстату;
- запропонувати комплексні заходи, спрямовані на забезпечення безпеки праці та захисту життєдіяльності працівників, які працюють у сфері обробки природного каменю та граніту, з урахуванням специфіки виробничих процесів.

***Об’єкт дослідження –*** обладнання для обробки граніту.

***Предмет дослідження –*** приводи подач верстатів з ЧПК для обробки природного каменю та граніту.

# РОЗДІЛ 2.
# ПРОЄКТНИЙ

## 2.1. Особливості та послідовність розрахунку при обробці виробів з природного каменю та граніту

На сьогоднішній день обробка каменю передбачає поєднання як традиційних методів обробки, так і новітніх технологій, їх симбіоз дозволяє досягти високих стандартів якості кінцевих продуктів.

Як відомо, розрізняють механічні та фізико-технічні способи обробки природного каменю [6].

Рис. 2.1. Способи обробки природного каменю

В результаті обробки виріб отримує необхідну форму, розміри та текстуру лицьової поверхні. На вибір технології обробки впливають такі чинники як властивості матеріалу, а саме твердість породи та вміст в ній кварцу. Більш детальні характеристики граніту та мармуру зведені в таблицю та приведені в Додатку Б.

На вибір способу обробки впливають габаритні розміри та форма заготовок. Обробка виробів з природного каменю, а саме мармуру та граніту передбачає використання спеціального інструменту, що містить алмазні різальні елементи. При цьому доцільно використовувати сучасне обладнання з ЧПК, яке дозволяє здійснювати обробку з необхідною точністю та продуктивністю.

На рис. 2.2 та 2.3 приведено принципові технологічні схеми, які відповідно відображають послідовності проведення операцій при обробці виробів з граніту та мармуру, а також які види відходів при цьому утворюються.

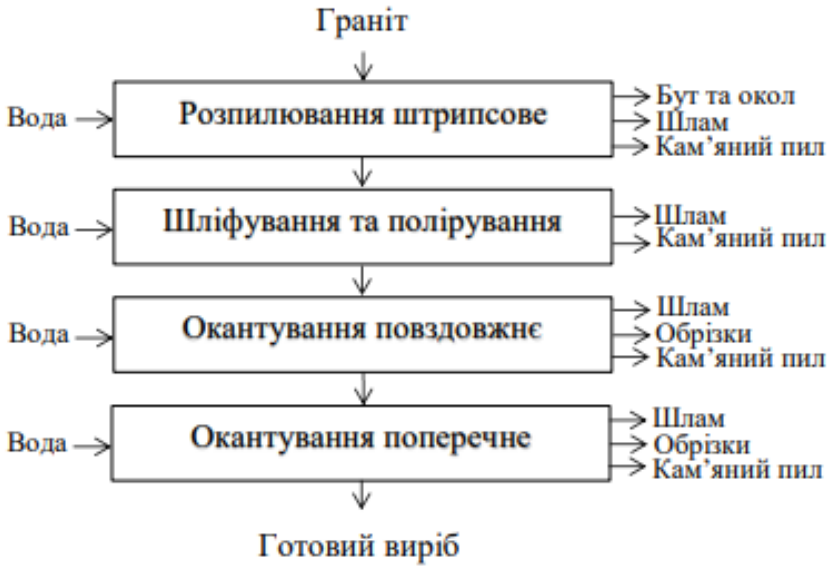


Рис. 2.2. Технологічна схема обробки виробів з граніту

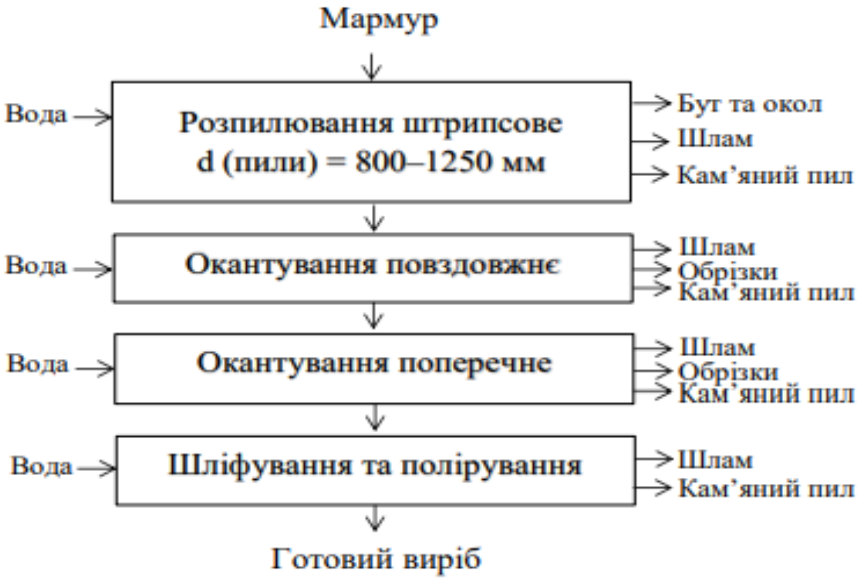


Рис. 2.3. Технологічна схема обробки виробів з мармуру

У відповідності до розробленого ТП гранітна плита транспортується до розпилювального верстату, де після фіксації відбувається її поділ на заготовки необхідного розміру. Наступним етапом є надання плитам правильної геометричної форми на фрезерно-окантувальних верстатах. Далі плита поступає в шліфувально-полірувальний цех, в якому з використанням абразивних кругів зменшують зернистість поверхні до досягнення необхідної якості поверхні. За заключному етапі відбувається декоративна обробка плити, яка передбачає гравірування та нанесення художнього рисунка. На цьому етапі переважно використовуються фрезерно-гравірувальні верстати портального або консольного типу, в залежності від розміру заготовки.

## 2.2. Технологічні розрахунки

Для вибору оптимальних режимів різання, кількості проходів та інших параметрів обробки гранітної плити товщиною 60-85 мм на фрезерному верстаті з двигуном максимальна потужність якого становить 5 кВт, ми повинні врахувати декілька факторів: потужність двигуна, матеріал (граніт), інструмент (фреза діаметром 10 мм з алмазним напиленням), а також необхідні параметри обробки.

Згідно існуючих рекомендацій [19], при обробці граніту алмазними циліндровими фрезами слід дотримуватись технологічних режимів фрезерування, яка приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Режими фрезерування каменю алмазними циліндровими фрезами

| Оброблюваний матеріал | Режимні параметри | | | |
|---|---|---|---|---|
| | швидкість різання, м/с | глибина різання, мм | швидкість робочої подачі, м/хв | витрата охолоджувальної рідини, л/хв |
| Граніт | 20–30 | 8–12 | 0,8–1,2 | 30–50 |
| Туф, вапняк, доломіт | 25–35 | 15–20 | 1,2–1,5 | 40–60 |
| Мармур | 40–50 | 15–20 | 1,0–1,3 | 35–50 |
| Декоративний бетон | 25–36 | 5–15 | 1–1,5 | 30–50 |

Оскільки граніт є дуже твердим матеріалом, то для його обробки рекомендовано використовувати алмазні інструменти, оскільки це дозволяє зменшити знос фрези. Згідно рекомендацій обираємо фрезу циліндричну по каменю $FPC\ D10 \times l20 \times L120$ $\emptyset 10$ мм з алмазним напиленням, її робоча довжина становить 20 мм [31].

Оскільки товщина плити може становити становить $60 \div 85$ мм, то обробку будемо проводити в кілька проходів, рекомендована глибина різання за один прохід $8 \div 12$ мм, тоді для обробки торця плити нам необхідно буде здійснити 8-10 технологічних переходів. Фреза з алмазним покриттям для обробки граніту може працювати з швидкістю $1500 \div 10000$ об/хв. Обраний за основу верстат може забезпечити оберти шпинделя до 24000 об/хв, що дозволяє здійснювати чорнову обробку з рекомендованою швидкістю 6300 об/хв. Швидкість різання для граніту може становити $20 \div 30$ м/с.

Для початку проведемо попередній розрахунок потужності різання згідно запропонованої вітчизняними фахівцями методики [35].

Потужність різання розраховується за формулою:

$$N_p = \frac{U \cdot I_p}{1000 \cdot \eta} \qquad (2.1)$$

де: $U = 220$ В – напруга мережі, від якої відбувається живлення верстату;

$I_p$ - струм, що споживає двигун під час різання $I_p = 14 \div 18$ А;

$\eta = 0.95$ – ККД двигуна.

$$N_p = \frac{220 \cdot (14 \div 18)}{1000 \cdot 0.95} = 3.2 \div 4.2 \text{ кВт}$$

Виходячи з цього після підстановки та проведення обчислень отримаємо, що приблизний діапазон необхідної потужності для обробки гранітної плити має становити $3.2 - 4.2$ кВт в залежності від товщини шару та швидкості різання.

Одним з головних параметрів, який впливає на вибір режимів різання – є потужність різання, яка має бути нижчою за максимальну потужність двигуна верстата. Середня потужність двигуна інструментального шпинделя фрезерно-гравірувальних верстатів становить $4 \div 5.5$ кВт.

Проведемо технологічний розрахунок стосовно гранітної плити на основі прийнятих вихідних даних:

- розмір оброблюваної плити: $80 \times 630 \times 630$ мм;
- оброблюваний матеріал граніт, його щільність $\rho = 2700$ кг/м$^3$;
- інструмент - фреза циліндрична по каменю $FPC\ D10 \times l20 \times L120$;
- швидкість обертання шпинделя – $n_i = 6300$ об/хв;
- швидкість робочої подачі приймаємо в межах - $v_n = 0{,}8 \div 1.2$ м/хв;
- максимальна товщина шару різання - $t_{\text{ш}} = 10$ мм, що відповідає діаметру фрези;
- рекомендована номінальна потужність двигуна - $N_{\text{ном}} = 5$ кВт;
- коефіцієнт корисної дії двигуна - $\eta = 0{,}95$.

Проведемо розрахунок необхідної швидкості різання:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n_i}{1000} \tag{2.2}$$

де:

$D$ – діаметр фрези, в мм; $D = 10$ мм;

$n_i$ – частота обертання шпинделя, в об/хв; $n_i = 6300$ об/хв.

$$V_c = \frac{3.14 \cdot 10 \cdot 6300}{1000} = 198 \text{ м/хв}$$

Визначаємо необхідну кількість переходів для обробки плити:

$$N_{\text{п}} = \frac{t_{\text{заг}}}{t_{\text{пр}}} \tag{2.3}$$

де:

$t_{\text{заг}}$ – товщина оброблюваної плити, мм; $t_{\text{заг}} = 80$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – глибина різання за один прохід оброблюваної плити, мм; $t_{\text{пр}} = 10$ мм;

$$N_{\text{п}} = \frac{80}{10} = 10$$

Визначаємо площу зрізу ($A_c$, мм):

$$A_c = b \cdot t_{\text{пр}} \tag{2.4}$$

де:

$b = l$ – робоча довжина фрези, мм; $b = 20$ мм.

$$A_c = 20 \cdot 10 = 200 \text{ мм}^2$$

Величину сили різання при фрезеруванні граніту визначаємо за виразом:

$$F_c = k_c \cdot A_c \quad (2.5)$$

де:

$F_c$ – сила різання, Н;

$k_c$ – коефіцієнт питомого опору різанню, Н/мм$^2$; при обробці алмазним інструментом, виходячи з умови стійкості інструменту $k_c = 450$ Н/мм$^2$;

$$F_c = 450 \cdot 200 = 90000 \text{ Н}$$

Визначаємо крутний момент, який необхідно затратити для фрезерування:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{2} \quad (2.6)$$

де:

$D$ – діаметр фрези, мм;

$D = 10$ мм.

$$M_c = \frac{90000 \cdot 10}{2} = 450000 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 450 \text{ Н/м}$$

Тоді значення необхідної потужності різання буде визначатись:

$$P_\text{с} = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 1000} \quad (2.7)$$

де, $V_c$ – швидкість різання граніту, м/хв.

$$P_\text{с} = \frac{90000 \cdot 198}{60000} = 2.97 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактичну потужність двигуна, яку необхідно забезпечити для здійснення процесу обробки виробів з граніту:

$$N_\text{ф} = \frac{P_\text{с}}{\eta} \quad (2.8)$$

$$N_\text{ф} = \frac{2.97}{0.95} = 3.13 \text{ кВт}$$

Якщо врахувати, що потужність приводу верстату повинна обиратись із запасом, то необхідна номінальна потужність приводу повинна бути не менше ніж $4 \div 5$ кВт.

## 2.3. Кінематична схема верстату для обробки природного каменю та граніту

Для здійснення процесу обробки виробів з природного каменю та граніту пропонується верстат, кінематична схема, яка приведена на рис. 2.4.

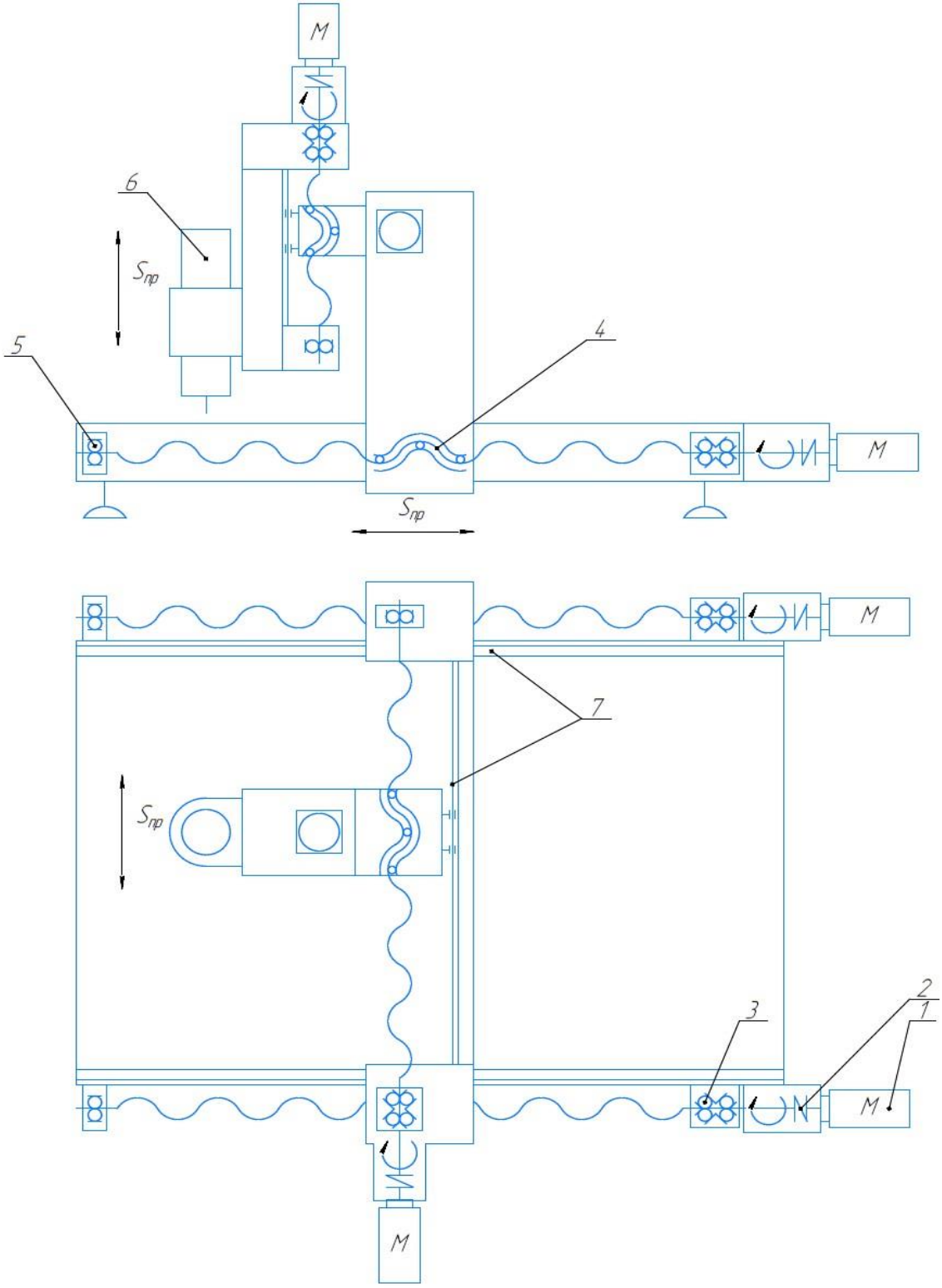


Рис. 2.4. Кінематична схема верстату

Як видно з приведеної кінематичної схеми верстат складається з трьох крокових двигунів (1), які через пружну кулачкову муфту (2), з'єднані з відповідними кульково-гвинтовими передачами (4), які закріплені в опорах кочення на радіально-упорних підшипниках (3) та радіальному підшипнику (5). Електрошпиндель (6) кріпиться на порталі, та може переміщатися по відповідних напрямних (7).

## 2.4. Розрахунок приводу подачі верстату

На основі розробленої кінематичної схеми розробляємо узагальнену 3D – модель приводу верстату, вона приведена на рис. 2.5.

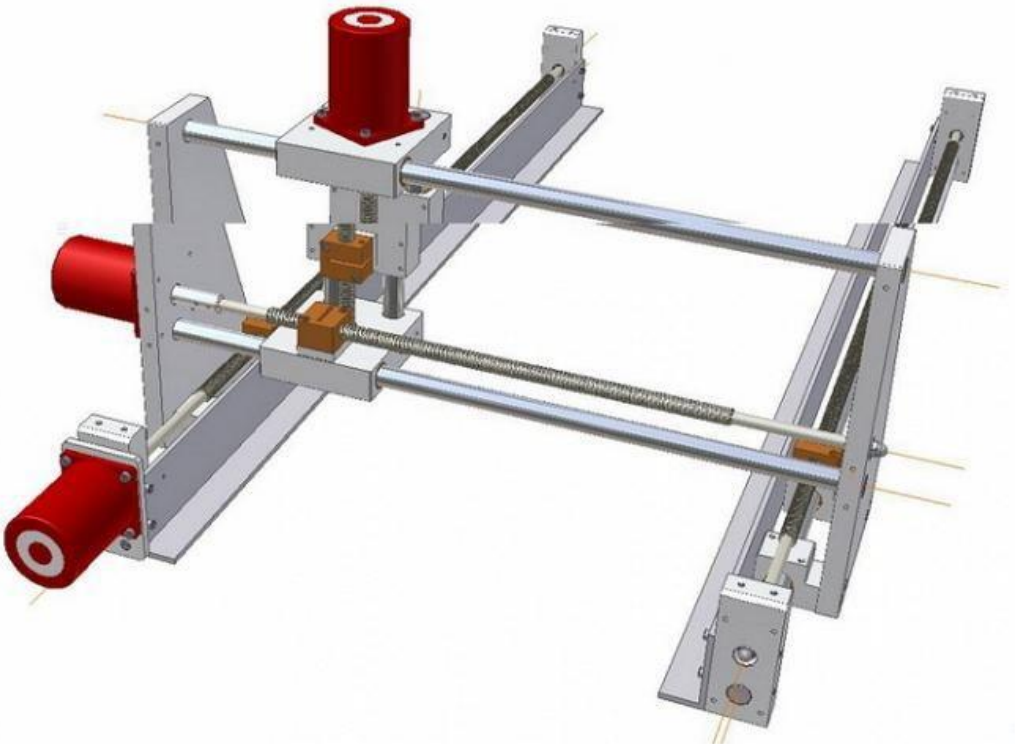

Рис. 2.5. 3D-модель приводу верстату

В базовій моделі верстату використовувалась передача зубчасте колесо – рейка, в процесі модернізації, її замінили на кульково-гвинтову передачу (КГП), яка має переваги завдяки таким важливим характеристикам, як висока точність, плавність ходу, ефективність передачі енергії (високий ККД) та тривалий термін

служби. Саме тому КГП вважається оптимальним рішенням для застосування у високоточному обладнанні з ЧПК, де пріоритетом є максимальна якість, надійність та стабільність процесів обробки.

Представлена вище конструкція верстата передбачає паралельне розташування двох гвинтів, які працюють одночасно, при цьому навантаження між ними розподіляється рівномірно. Це дозволяє зменшити вимоги до кожного окремого гвинта.

Для розрахунку використаємо отримані раніше дані, а саме:

- величина сили різання - $F_c = 90000$ Н;
- кількість гвинтів – 2;
- крок гвинта - $p = 2{,}5$ мм;
- прийнята довжина гвинта - $L = 900$ мм;
- швидкість подачі - $v_f = 1.5$ м/хв $= 25$ м/с;
- ККД передачі - $\eta = 0.9$;
- матеріал гвинта – Сталь 40, для якої $\sigma_{\text{доп}} = 250$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Спочатку знайдемо величину осьове навантаження, яке передає один гвинт, для цього скористаємось виразом:

$$F_{\text{р}} = \frac{F_c}{2} \tag{2.9}$$

Після відповідної підстановки отримаємо:

$$F_{\text{р}} = \frac{90000}{2} = 45000 \text{ Н}$$

Проведемо розрахунок крутного моменту, який передає один гвинт:

$$M_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}} \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot \eta} \tag{2.10}$$

Проведемо підстановки:

$$M_{\text{р}} = \frac{45000 \cdot 0.0025}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.9} = 29.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проведемо розрахунок частоти обертання гвинта, для використовуємо вираз:

$$n_g = \frac{v_f}{p} \tag{2.11}$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_g = \frac{25}{2{,}5} = 10 \text{ об/с} = 600 \text{ об/хв}$$

На наступному кроці слід розрахувати мінімальний діаметр гвинта, для цього скористаємось виразом:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{р}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{доп}}}} \tag{2.12}$$

В результаті обчислення отримаємо:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4500}{3.14 \cdot 250 \cdot 10^6}} \approx \sqrt{0.0191} \approx 4.78 \text{ мм}$$

З врахуванням запасу міцності приймаємо $d_{min} = 16$ мм (що відповідає найближчому стандартному значенню.

Для перевірки стійкості гвинта скористаємось формулою Ейлера:

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \tag{2.13}$$

де:

$I$ – момент інерції гвинта;

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \tag{2.14}$$

$$I = \frac{3.14 \cdot (0.016)^4}{64} \approx 3.21 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$$

$L$ – довжина гвинта, м.

Тоді розрахункове значення критичного навантаження буде становити:

$$F_{\text{кр}} = \frac{3.14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3.21 \cdot 10^{-9}}{0.9^2} = 4.43 \text{ кН}$$

Оскільки отримане в результаті обчислень значення критичного навантаження для гвинта $d = 16$ мм - $F_{\text{кр}} = 4.43$ кН $> F_{\text{р}} = 3.5$ кН, то обраний гвинт повністю забезпечує стійкість.

## 2.5. Розробка конструкції верстату для обробки природного каменю з використанням уніфікованих вузлів

З метою здешевлення конструкції верстату, його станина виготовляється з високоякісної Сталі 10. Даний матеріал має відмінні експлуатаційні характеристики (йому притаманна висока міцність, надійність, також висока жорсткість, має хороші зварні властивості).

Для порталу проектованого верстату обираємо сталь звичайної якості, а саме Сталь 3. Її властивості дозволяють забезпечити потрібну для верстату жорсткість, а також міцність та надійність.

Для забезпечення високої точності переміщення для верстата обираємо комплект, що складається з рельсові напрямних та каретки (див. рис. 2.6) від компанії HIWIN [21]. Компанія пропонує як власне каретки, так і напрямні (рельси) під них, які можуть бути будь-якого розміру, так і аксесуари, які дозоляють їх захистити від пилу та бруду.

Рис. 2.6. Комплекти серії CG, що пропонує компанія HIWIN

На основі проведених раніше технологічних розрахунків для проектованого верстату по каталогу обираємо шпиндель, який призначений для обробки каменю GDZ-125-5,5 з водяним охолодженням, у якого номінальна потужність 5,5 кВт [39], його загальний вигляд приведено на рис. 2.7, а основні технічні характеристики в Додатку В.

Рис. 2.7. Шпиндель GDZ-125-5,5 з водяним охолодженням

В якості приводу для кульково-гвинтової передачі можемо обрати крокoвий електродвигун NC-86STH80-5604A-14, (4 Н·м) [12], його загальний вигляд приведено на рис. 2.8.

Рис. 2.8. Крокoвий електродвигун NC-86STH80-5604A-14

Після прийняття ряду конструкторських рішень, а також проведених розрахунків та підібраного на їх основі обладнання будуємо 3D-модель проектованого верстату (див. рис. 2.9), яка відповідає розробленій раніше кінематичній схемі.

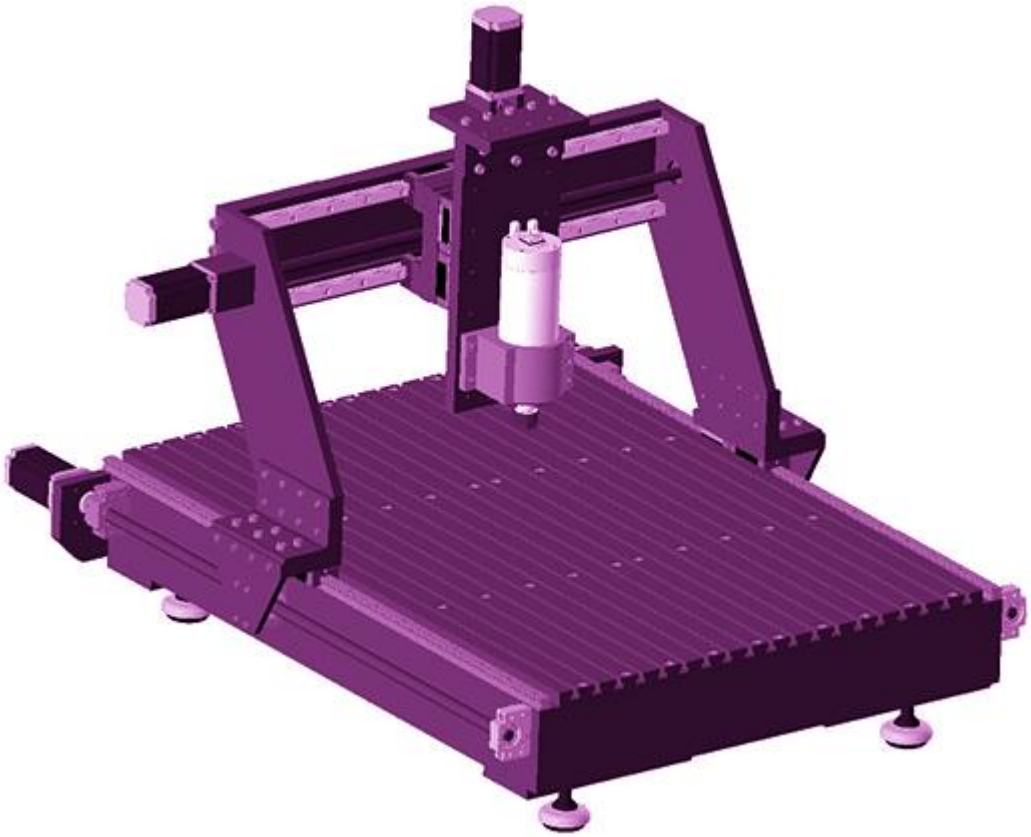

Рис. 2.9. Розроблена 3D модель проектованого верстату

## 2.6. Висновки по розділу

В другому розділі проведено розрахунок режимів різання стосовно обробки виробу з гранітного матеріалу.

Розроблено кінематичну схему верстату портального типу, яка містить короткі кінематичні ланцюги.

Здійснено підбір та розрахунок приводу подач верстату, визначено геометричні параметри кульково-гвинтової передачі.

Проведено підбір комплектуючих для проєктованого верстату, розроблено його загальну концепцію та побудовано 3D модель.

На основі проведених розрахунків здійснено модернізацію приводу верстату, провівши заміну передачі зубчасте колесо-рейка на кульково-гвинтову передачу.

# РОЗДІЛ 3.
# НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ

## 3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

При обробці граніту на фрезерно-гравірувальних верстатах необхідно забезпечити високу точність переміщення виконавчого органу, а саме шпиндельного вузла з інструментом. На даних верстатах використовуються короткі кінематичні ланцюги, які дозволяють здійснити перетворення обертового руху в поступальний, для чого переважно застосовують зубчасті та кульково-гвинтові передачі. Створення додаткового натягу в таких передачах дозволяє забезпечити в передачах високу осьову жорсткість.

Для забезпечення високої точності кульково-гвинтові передачі оснащують спеціальними системами, які дозволяють здійснити відлік їх переміщень. В даному розділі ми розглянемо засоби які дозволяють реалізувати такі системи та на яке їх теоретичне підґрунтя.

## 3.2. Аналіз та класифікація систем для відстеження переміщень робочих органів верстатів

В багатьох конструкціях верстатів з ЧПК, а також системах маніпулювання знаходять використання давачі переміщення, які дозволяють вимірювати кутові (енкодери) та лінійні переміщення. Їх основне призначення – відстежити переміщення робочих органів, а саме величину руху подачі, а також установочних переміщень.

В таблиці 3.1 приведено класифікацію давачів, які дозволяють відслідкувати лінійні та кутові переміщення за різними класифікаційними ознаками та подано їх короткий опис.

Таблиця 3.1. Класифікація датчиків переміщень

| Критерій класифікації | Типи давачів | Опис |
|---|---|---|
| Метод вимірювання переміщень | абсолютні | вказують точне положення у просторі |
| | відносні | вимірюють зміну положення відносно початкової точки |
| Спосіб представлення величини | аналогові | передають безперервний сигнал |
| | цифрові | перетворюють вимірювання в цифровий код |
| Спосіб з'єднання з виконавчим органом | прямі | безпосередньо з'єднані з об'єктом |
| | непрямі | передають інформацію через допоміжні механізми |
| Тип конструктивного виконання | лінійні | вимірюють переміщення вздовж прямої |
| | кругові | вимірюють обертові рухи |

При проектуванні верстатів слід обрати який тип давачів слід обрати кругові чи лінійні. Вибір між ними залежить від таких факторів, як технічні вимоги до точності, конструктивне виконання вузлів та умови їх експлуатації. Якщо верстат повинен мати компактне компонування, то тоді доцільно застосовувати кругові давачі, якщо на першому місці стоїть висока точність вимірювання, то тоді застосовують лінійні давачі.

На рис. 3.1. приведено схему, яка ілюструє принцип роботи оптичної лінійки, яку застосовують для високоточних вимірювань переміщень [47].

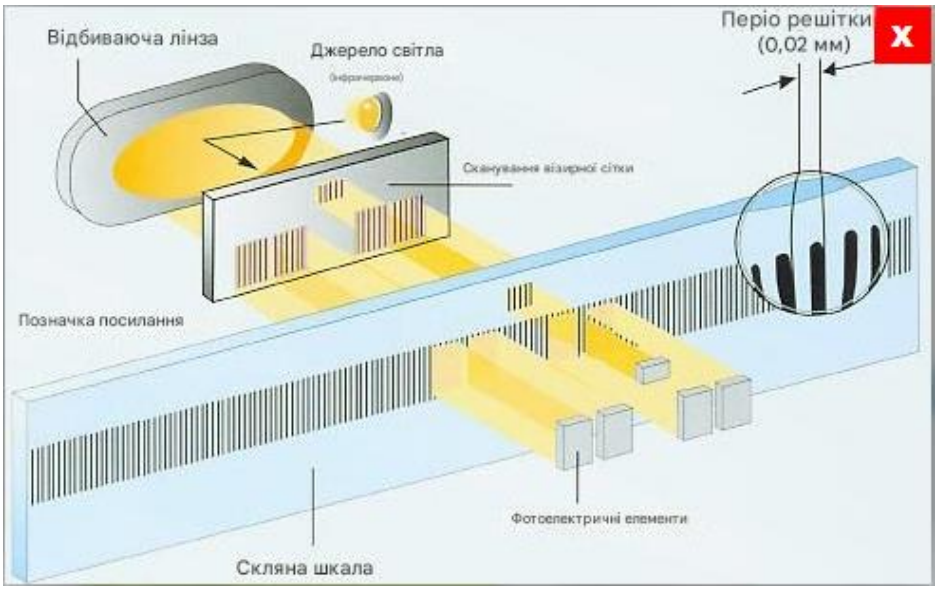


Рис. 3.1. Схема, що ілюструє принцип роботи оптичної лінійки

Як видно із представленої ілюстрації до складу оптичної лінійки входить джерело світла, відбиваюча лінза, скляна шкала із штриховкою, фотосенсори і позначення нульової точки. Така конструкція забезпечує перетворення оптичного сигналу у цифровий з необхідним рівнем точності.

Слід відзначити, що основними перевагами оптичної лінійки є її здатність проводити вимірювання з високою точністю (може досягати часток мікрометра), а також її надійність, стабільність, висока роздільна здатність, а також можливість використання в приводах верстатів з інтеграцією в системи ЧПК. Але дана система діагностики поряд з тим має певні недоліки, до яких можна віднести високу чутливість до забруднень, висока вартість, високі вимоги до точності монтажу та чутливість до використання в агресивних умовах роботи.

На рис. 3.2 приведено схему, яка ілюструє принцип роботи оптичного енкодеру [46], до складу якого входить джерело світла, кодова матриця Грея, спеціальна маска, а також оптичний привід та фотодетектори. Даний пристрій дозволяє перетворити світловий сигнал, що проходить через кодову матрицю та маску в цифровий сигнал, після чого він зчитується фотодетектором, який дозволяє визначити точне положення об’єкту.

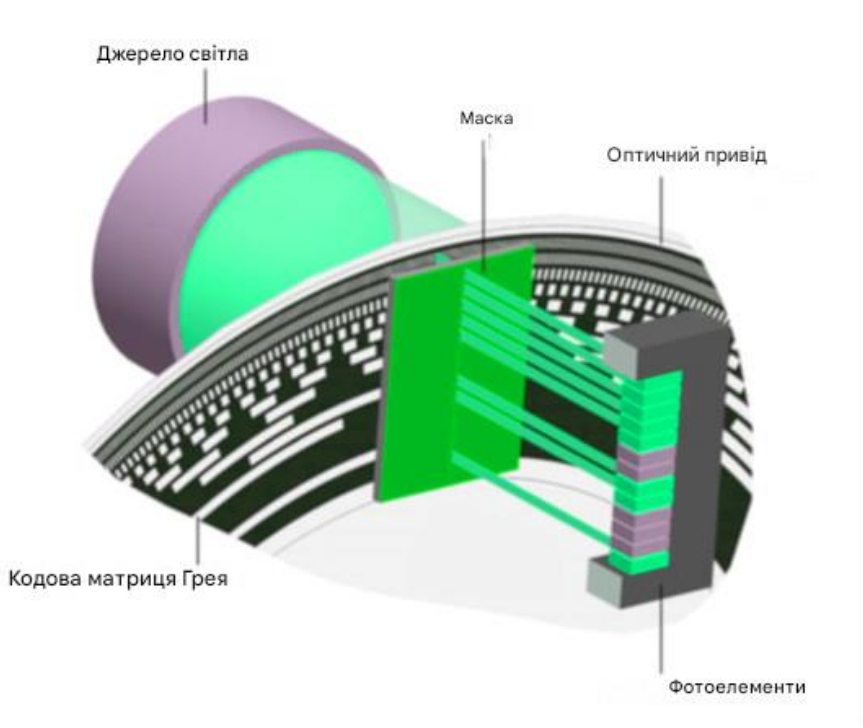


Рис. 3.2. Схема, що ілюструє принцип роботи енкодера

Приведена вище схема оптичного енкодеру дозволяє забезпечити високу точність та роздільну здатність пристрою (завдяки використанню кодової матриці Грея), а також високою швидкістю зчитування даних, конструкція передбачає легку інтеграцію з системою ЧПК верстату. Як і в оптичній лінійці, в представленій системі є певні недоліки, а саме чутливість до пилу та бруду, висока вартість, складність монтажу, обмеження по використанню в агресивному середовищі.

### 3.3. Структурні схеми систем відліку переміщень робочих органів для верстатів з ЧПК

Для верстатів з ЧПК можна застосувати декілька варіантів схем, які дозволяють забезпечити необхідну точність позиціювання при використанні передач типу кульково-гвинтова передача (КГП).

Так на рис. 3.3 приведено схему, яка дозволяє реалізувати кріплення давача переміщення (ДП) безпосередньо до хвостовика двигуна (Д). Для надання обертів робочому органу (РО) від двигуна застосовують зубчасті передачі.

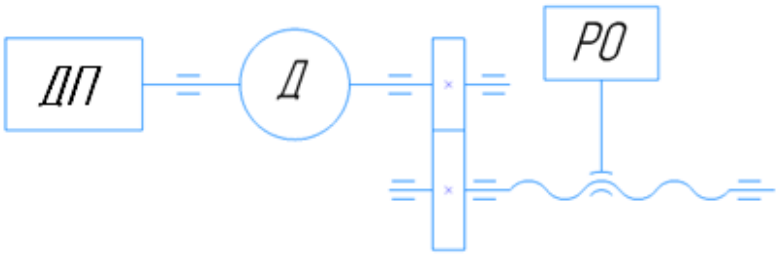


Рис. 3.3. Схема приводу з давачем, який кріпиться до хвостовика двигуна

Даний спосіб кріплення давача характеризується тим, що пара зубчастих коліс та КГП мають недостатню точність. Це пов’язано з тим, що вказані передачі піддаються інтенсивному навантаженню, яке може спричинити їх підвищене зношення та можливі деформації. Але перевагою такого способу є можливість постачання двигуна в комплекті з давачем, що знизить вартість та спростить конструкцію схеми.

Заслуговує на увагу спосіб кріплення давача, представлений на рис. 3.4, він на відміну від попереднього є більш точним. Запропонований варіант розміщення передбачає використання додаткової пари зубчастих коліс, це дозволяє суттєво знизити її зношення та підвищити довговічність, оскільки при такій схемі передача не виконує силової функції. Даний варіант спрощує підбір передаточного відношення, а це в свою чергу полегшує налаштування такої системи.

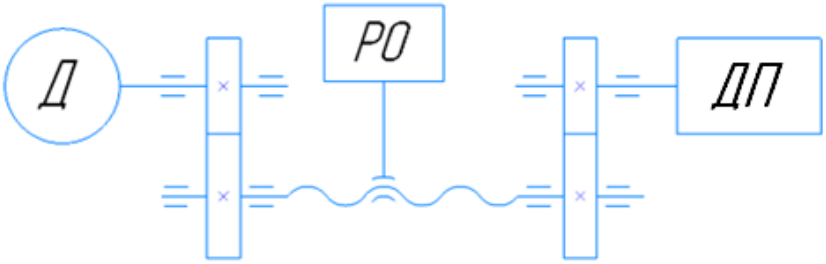


Рис. 3.4. Схема кріплення давача переміщення з використанням додаткової передачі

На рис. 3.5 приведено схему, яка передбачає пряме закріплення давача без використання додаткових передач, що дозволяє мінімізувати похибки в системі та забезпечити її високу точність та стабільність. Давач кріпиться безпосередньо до КГП.

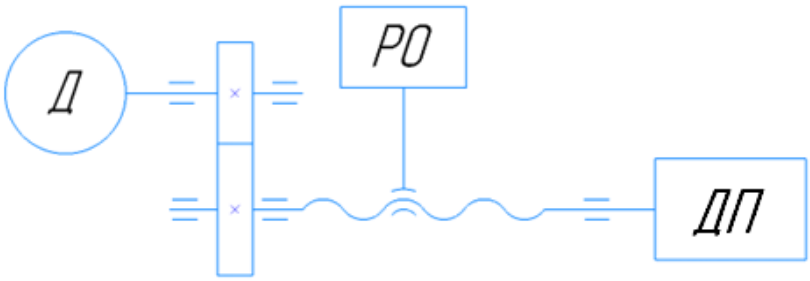


Рис. 3.5. Схема кріплення давача переміщення безпосередньо до КГП

На рис. 3.6 приведено схему, яка дозволяє досягнути максимальної точності переміщень, в ній застосовується лінійний давач переміщення, який кріпиться безпосередньо на робочому органі верстату (КГП не має ніякого впливу).

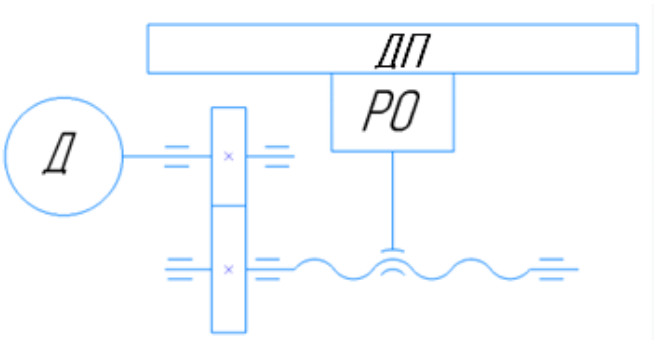


Рис. 3.6. Схема кріплення давача безпосередньо на РО верстату

### 3.4. Основні види похибок в системі відліку переміщень робочих органів верстатів

Одним із факторів, який впливає на якість обробки деталей є кінематичні похибки, часто їх причиною стають неточності виготовлення елементів передач верстатів [7, 10]. Так при виготовленні КГП виникають похибки профілю гвинта чи гайки, які можуть призвести до їх нерівномірного обертання та лінійного переміщення. Також в системі можуть виникати похибки відхилення під час монтажу, найчастіше вони виникають через неточне розташування кріпильних отворів в корпусі верстату. На рис. 3.7 приведено основні види похибок, що виникають в процесі роботи КГП та показано їх вплив при цьому.

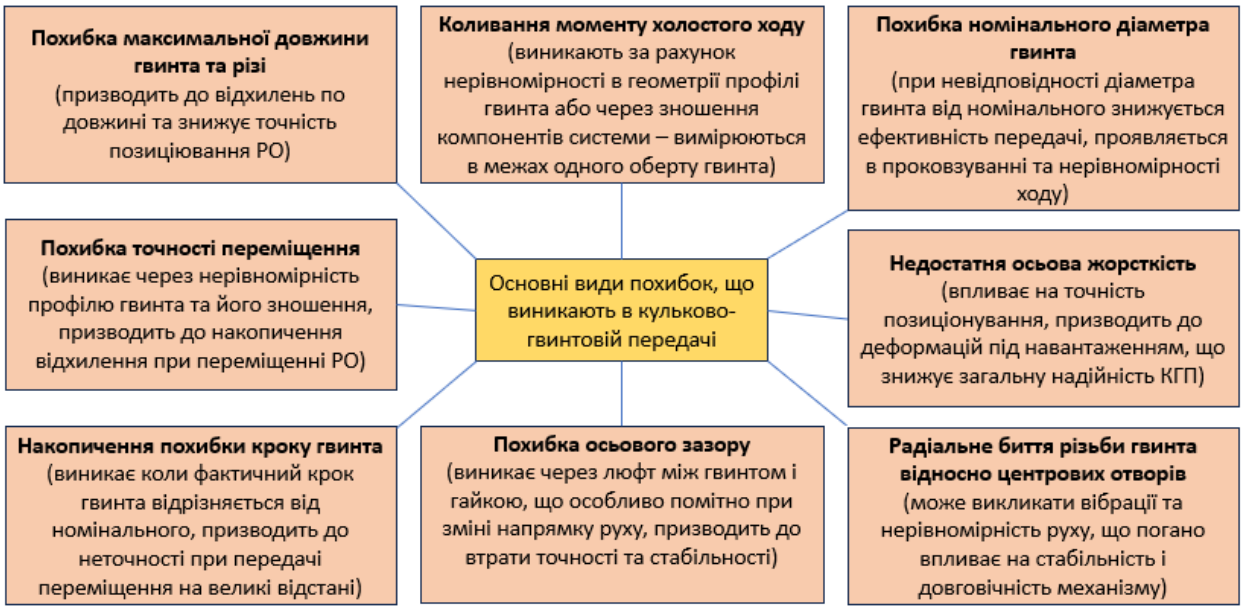


Рис. 3.7. Основні похибки, що виникають в роботі КГП

### 3.5. Конструктивні особливості механізмів, які дозволяють зменшити похибки в кульково-гвинтовій передачі

В верстатах з ЧПК, які використовуються для обробки граніту необхідно забезпечити високу точність механізмів подачі, тому там використовуються КГП. Для цих передач характерним є наявність зазорів, які негативно впливають на експлуатаційні показники обладнання. Тому надзвичайно важливо в кульково-гвинтових передачах використовувати системи (пристрої), які дозволяють створити та регулювати натяг [40]. Найчастіше при цьому застосовуються методи, які передбачають можливість змінити взаємне розташування двох гайок (гайка може виконуватись розрізною).

Досить часто при цьому використовують спосіб регулювання відносного положення гайок в осьовому напрямку при їх незмінному кутовому положенні та незмінному осьовому взаємному розташуванні.

Так на рис. 3.8 приведено конструкцію КГП, яка складається з ходового гвинта 1, нерухомої гайки 2, а також рухомої гайки 3, яка забезпечує налаштування осьового зазору. Також даний механізм містить кульки 4, які вільно перекочуються по різьбі через спеціальний перепускний канал 5. Регулювання положення рухомої гайки можна здійснити за допомогою циліндричних штифтів 4. Використання кульок дозволяє суттєво знизити тертя та підвищити надійність роботи КГП, підвищити точність осьового переміщення.

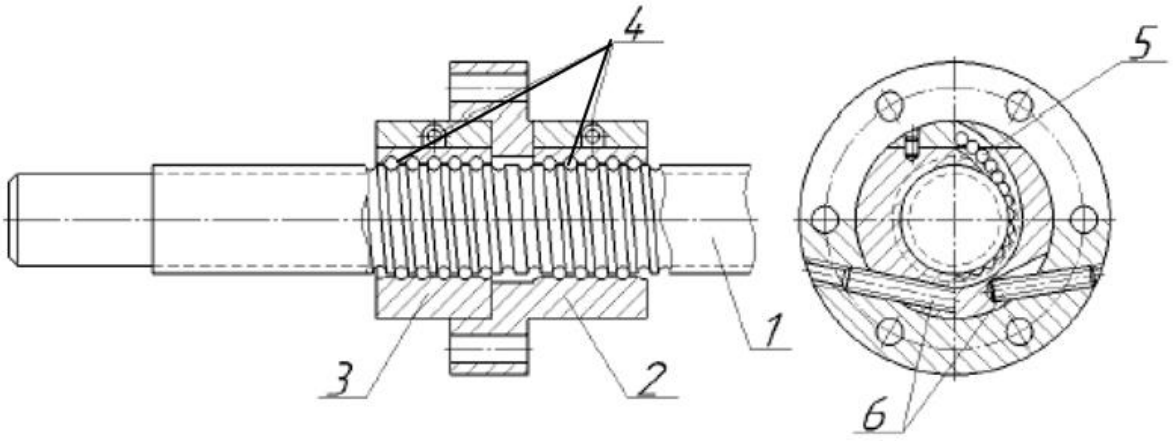


Рис. 3.8. Конструкція КГП з розрізною гайкою

На рис. 3.9 приведено конструкцію КГП, в якій реалізована схема регулювання осьового зазору за допомогою пружин. Ходовий гвинт 1 передає обертове зусилля через кульки 4 на дві розрізні гайки 2, які розтискаються пружинами 3 тільки в осьовому напрямку. Зусилля в пружинах розраховане таким чином, що воно перевищує максимальне робоче навантаження, яке виникає під час експлуатації КГП.

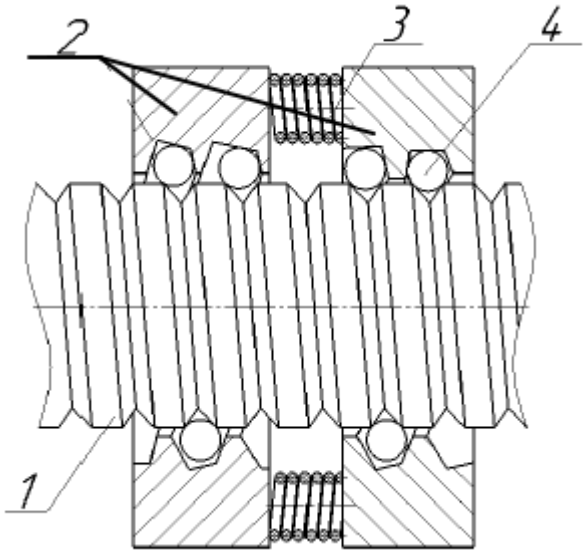


Рис. 3.9. Вибір осьового зазору за допомогою подвійної гайки та пружин

На сучасних верстатах з ЧПК досить часто використовують конструкцію (див. рис. 3.10), яка забезпечує високу точність та ефективність роботи, її використовують в приводах високоточних механізмів та систем [20]. Конструкція складається з гвинта (1) та гайок (2), які оснащені зовнішніми зубчастими вінцями. Вони вставляються в корпус (5), який має відповідні внутрішні зубчасті вінці. Гайки залишаються нерухомими в осьовому напрямку, завдяки внутрішньому бурту корпусу. Кульки (3) перекочуються під час обертання гвинта за допомогою спеціального вкладиша (4), який з'єднує два сусідніх витки гайки. При цьому рух кульок здійснюється виключно в межах одного кроку різьби. Особливість цієї конструкції полягає в різниці кількості зубів між вінцями гайок, яка становить одну одиницю. Це дозволяє досягти дуже малого кута їх взаємного повороту при обертанні обох гайок в один бік.

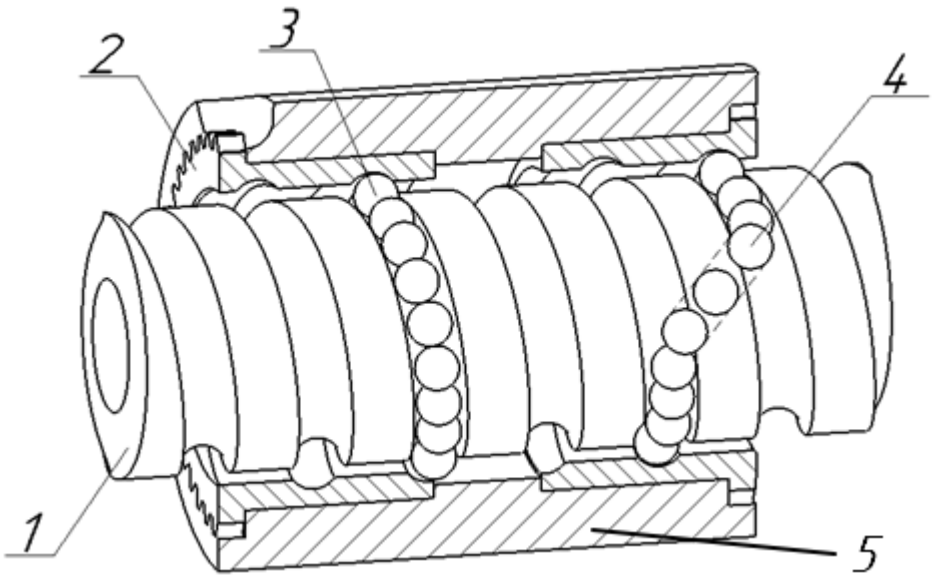


Рис. 3.10. Вибір осьового зазору за допомогою гайки з зубчастими вінцями

### 3.6. Способи компенсації похибок кульково-гвинтової передачі

При використанні передачі гвинт-гайка кочення точність переміщення веденого елемента складається з накопиченої похибки кроку ходового гвинта та циклічної похибки, яка постійно повторюється протягом одного оберту гвинта.

Тому в приводах верстатів з ЧПК використовують компенсацію похибок (полягає в тому, що перед обробкою проводять заміри та отримують інформацію про переміщення робочих органів, а також похибки які при цьому виникають, про що вводиться інформація в систему ЧПК верстату) та корекцію накопиченої похибки кроку гвинта (отримують експериментальним шляхом, отриману залежність вносять в пам'ять системи ЧПК в формі середнього значення відхилень кроку ходового гвинта).

Досить часто використовують пристрої, в яких контроль за переміщенням ходового гвинта здійснює власне сам привід (див. рис. 3.11). В таких верстатах переважно застосовують крововий двигун (КД), який через муфту (М) з’єднується з КГП. Гайка в такому механізмі пов’язана з робочим органом (РО) верстату. Керування механізмом здійснює система ЧПК, яка безпосередньо керує КД.

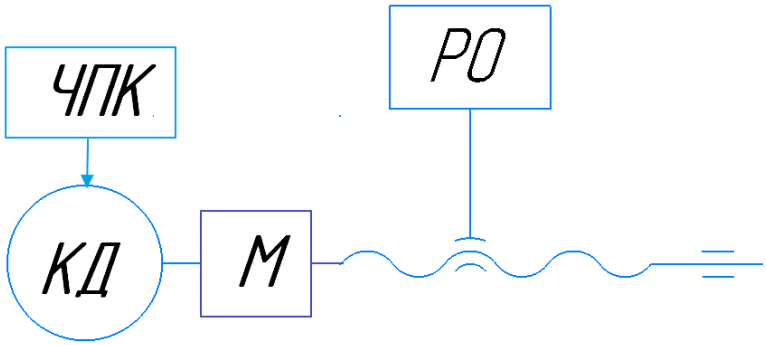


Рис. 3.11. Типовий привід подачі верстату з ЧПК

Для забезпечення більш високої точності переміщення ГКП використовується система приводу приведена на рис. 3.12. Такий привід містить КД, який через муфту М з'єднаний з КГП, гайка якої пов'язана з РО, а також додатково містить давач переміщення (ДП) поворотного типу, який безпосередньо розміщений на гвинті. Інформація з давача поступає безпосередньо в систему ЧПК верстату, що дозволяє компенсувати похибки, які при цьому виникають.

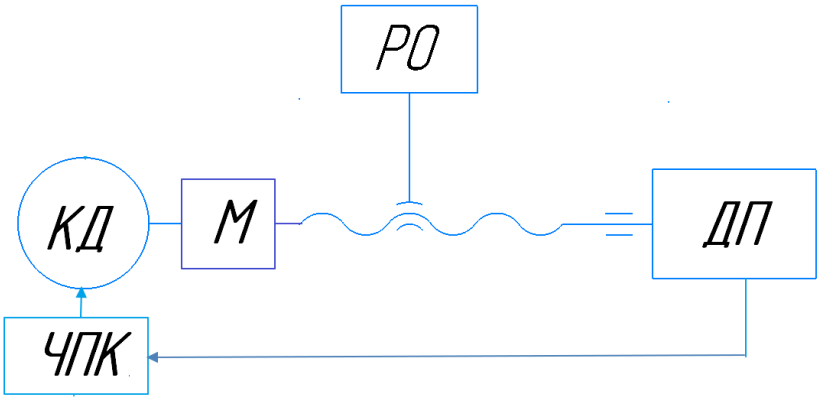


Рис. 3.12. Привід подачі верстату з ЧПК оснащеного енкодером

В порівнянні з попередньою схемою такий привід має значно вищу точність, але і він має один істотний недолік (оскільки енкодер (ДП) може реєструвати лише кутове переміщення ходового гвинта, а не фактичне переміщення робочого органу). Давач налаштовується таким чином, щоб його дискретність відповідала номінальному значенню кроку гвинта, але він не може врахувати величину відхилень, що може виникати через похибку його

виготовлення. Такі давачі зазвичай оснащують рівномірною шкалою, яка не враховує різниці між номінальним та реальним значеннями. Тому якщо значення номінального кроку гвинта $S_{\text{н}}$, то його фактичне значення $S_{\text{ф}}$ буде становити: $S_{\text{ф}} = S_{\text{н}} \pm \Delta S$, це знайшло відображення на рис. 3.13.

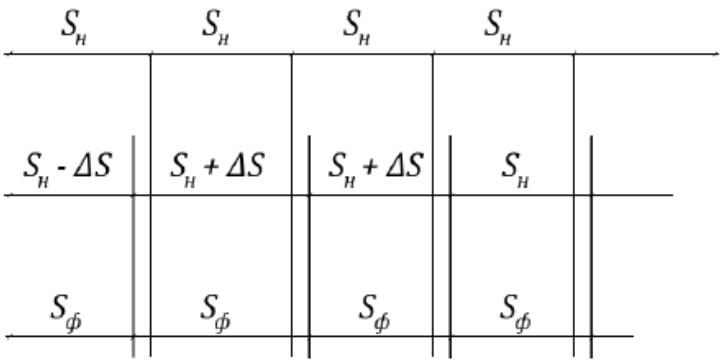


Рис. 3.13. Моделювання фактичного кроку гвинта

Виходячи з приведених вище міркувань можна запропонувати підхід, який дозволяє підвищити точність переміщення робочого органу проектованого верстату. Для цього використовуються покази давача переміщення (енкодера) та попередньо отримані похибки кроку ходового гвинта.

На рис. 3.14. приведена узагальнена схема запропонованого механізму, який складається з КД (3), який за допомого КГП забезпечує переміщення РО (1) верстату. РО з’єднаний нерухомо з гайкою (4), а давач переміщення (5) розміщується на кінці гвинта (2).

На відміну від попередньої схеми система оснащується блоком програмування похибки кроку гвинта (БППКГ) позиція (6), який дозволяє ввести в систему дані про похибки кроку гвинта (2). Також в систему додатково введений блок обчислення похибки кута повороту гвинта (БОПКПГ) позиція (7), вхід якого з’єднано з блоком (6).

Далі в систему внесений програмований перетворювач коду (ППК) – позиція (8), що містить два входи, один з яких отримує інформацію з блоку 7, а другий з виходу давача переміщень (ДП) позиція (5).

Отриманий з блоку 8 сигнал потрапляє на суматор (9), який формує керуючий сигнал для системи ЧПК верстату.

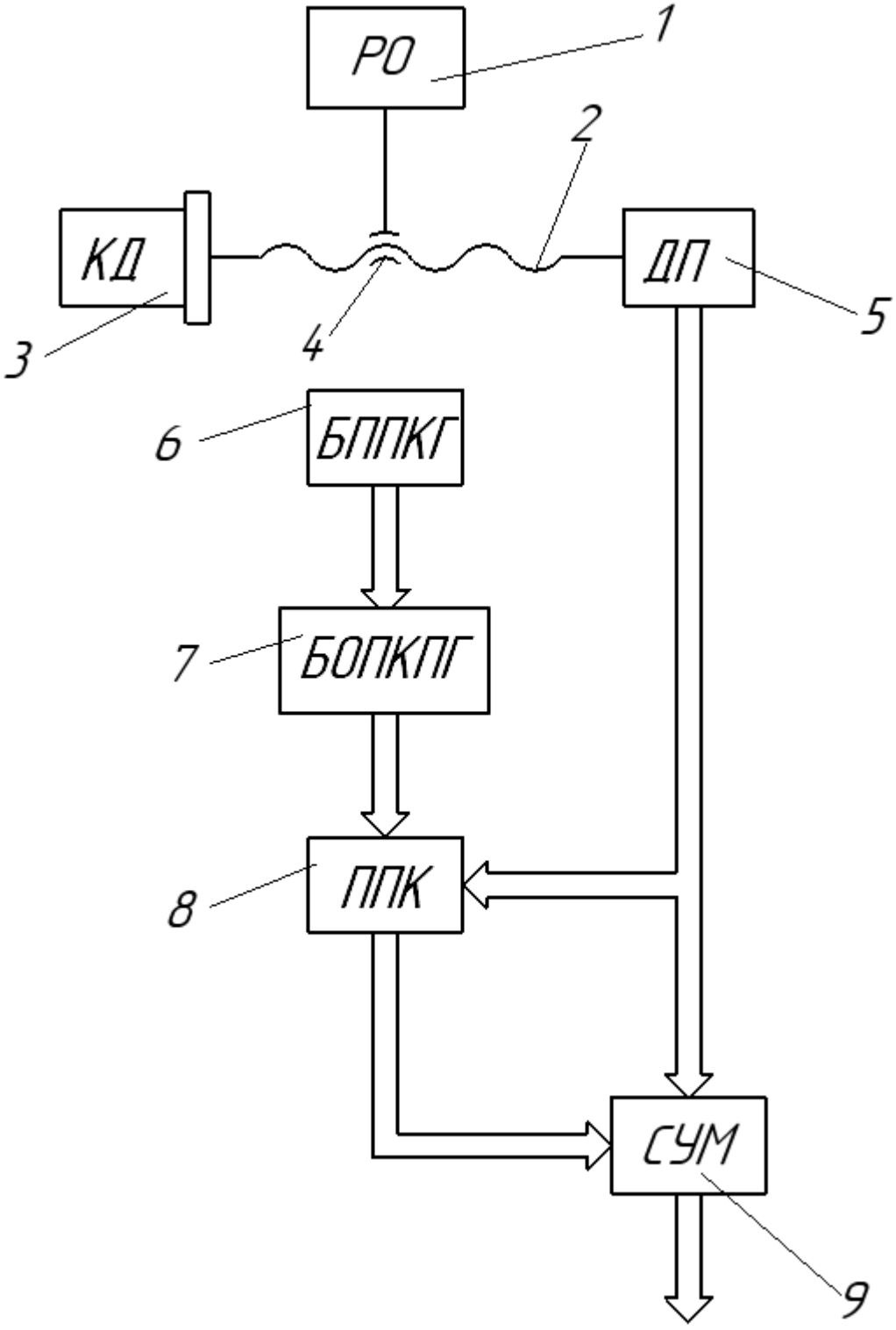


Рис. 3.14. Запропонована схема підвищення точності переміщення робочого органу проектованого верстату

Приведена вище схема дозволяє забезпечити підвищену точність визначення переміщень та здійснювати коригування похибок завдяки врахуванню специфічних похибок ходового гвинта.

Спочатку необхідно здійснити налаштування давача переміщень (енкодера), при цьому враховується номінальне значення кроку гвинту, «нуль» якого встановлюється у відповідності до середини дискретного кроку.

Далі слід визначити похибки кроків ходового гвинта по всій його довжині, отримані значення $\Delta S_1$, $\Delta S_2$, $\Delta S_3$ …$\Delta S_i$ вводяться в блок 6. Після опрацювання отримані дані потрапляють в блок 7, вони дозволяють обчислити відповідні похибки кутового положення гвинта, а саме $\Delta a_1$, $\Delta a_2$, $\Delta a_3$ …$\Delta a_i$.

Для обчислення $\Delta a$ необхідно скористатися наступними виразами:

$$\sqrt{(S \pm \Delta S)^2 + (\pi \cdot D \pm \Delta T)^2} - \sqrt{S^2 + (\pi \cdot D)^2} \approx \Delta T \qquad (3.1)$$

$$\Delta a \approx \frac{360° \cdot \Delta T}{\pi \cdot D} \qquad (3.2)$$

де, $S$ - номінальний крок гвинта;

$\Delta T$ – значення похибки довжина гвинта, яка відповідає $\Delta T$;

$D$ – середній діаметр гвинта.

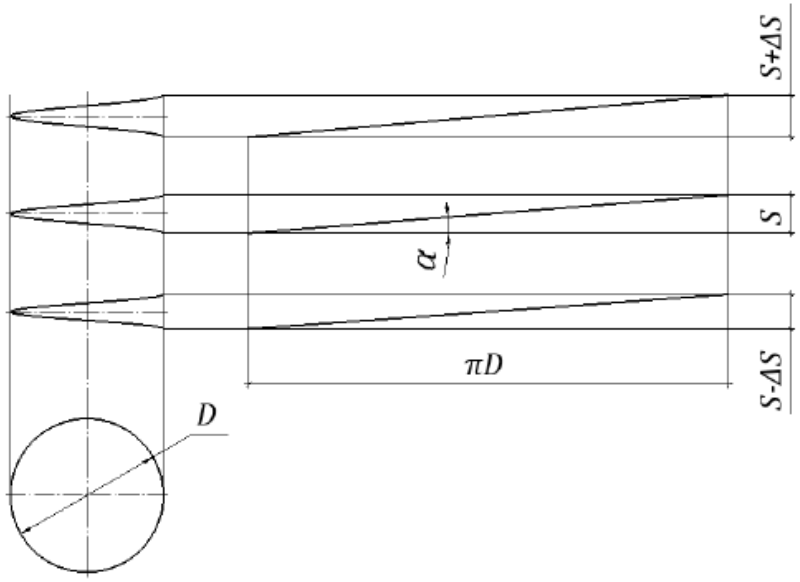


Рис. 3.15. Обчислення похибок повороту гвинта за похибками його кроку

Виходячи з цього можемо коротко описати принцип роботи запропонованого способу. Привід (1), приводить в рух гвинт (2), який пов’язаний з енкодером (5), що здійснює перетворення кута повороту в двійковий код.

Програмований перетворювач коду (8) додає до цього кута величину похибки $\Delta a$, яку було обчислено раніше. На виході суматора (9) ми отримуємо закодовану величину $a + \Delta a$, яка дозволяє врахувати похибки кроку гвинта. Тобто запропонований пристрій дозволяє забезпечити корекцію похибок кроку гвинта та здійснити точне позиціювання робочого органу (1) через гайку (4).

### 3.7. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*опубліковані результати досліджень подані в додатках)

Результати, що стосуються кваліфікаційної роботи, були представлені на студентській конференції [1], більш детально ознайомитись з ними можна переглянувши Додаток Г.

### 3.8. Висновки до розділу

Здійснено аналіз та представлено класифікацію систем які дозволяють відстежити переміщення робочих органів верстатів, а саме давачів лінійних та кутових переміщень. Представлені схеми які дозволяють зрозуміти принцип роботи давачів лінійних та кутових переміщень.

Представлені основні схеми кріплення давача переміщення з гвинтом кульково-гвинтової передачі, визначені їх основні переваги та недоліки.

Визначено основні види похибок які можуть виникати в системі відліку переміщень робочих органів верстатів, а також варіанти конструктивного виконання кульково-гвинтової передачі.

Розглянуто основні способи компенсації похибок кульково-гвинтової передачі, запропоновано схему, яка дозволяє врахувати похибки кроку гвинта. Запропонована схема дозволяє забезпечити підвищену точність КГП за рахунок компенсації специфічних похибок ходового гвинта.

# РОЗДІЛ 4.
# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1. Організація охорони праці на малих підприємствах по обробці природного каменю

До малих відносять підприємства, на яких кількість працюючих становить менше 50 осіб. Тоді згідно ст. 15 Закону України «Про охорону праці» функції служби охорони праці виконує керівник з відповідною професійною підготовкою за сумісництвом. Загальні правила техніки безпеки регламентують медичний огляд та інструктаж робітників з техніки безпеки і виробничої санітарії, навчання їх безпечним прийомам роботи, контроль за станом робочих місць, поведінку робітника в процесі праці [23].

Під час укладання трудового договору роботодавець повинен проінформувати працівника під розписку про умови праці та про наявність на його робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які ще не усунуто, можливі наслідки їх впливу на здоров'я, та про права працівника на пільги і компенсації за роботу в таких умовах відповідно до законодавства і колективного договору.

Основою безпечної безаварійної роботи на підприємстві є знання і виконання працівниками правил техніки безпеки, а саме [23]:

- проходження медичних оглядів для визначення придатності до виконання обов'язків за професією;
- всі робітники, які мають відповідну професію, після попереднього спеціального навчання з професії та охорони праці повинні здати іспит і отримати допуск до роботи;
- проведення всіх видів інструктажів відповідно до типового положення;
- наявність на робочих місцях інструкцій заводів виробників з експлуатації та з безпечного виконання робіт;

- регулярний огляд технічного стану обладнання та справності огороджуючих пристроїв;
- забезпечення працівників спеціальним одягом та взуттям, а також засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм;
- раціональне колірне забарвлення приміщень, технологічного обладнання та рухомих частин.

Робітники при надходженні на підприємство або переведенні на іншу роботу проходять медичний огляд і вступний інструктаж з техніки безпеки і виробничої санітарії. Потім безпосередньо на робочому місці проводиться первинний інструктаж з техніки безпеки. Повторний інструктаж усіх робітників незалежно від стажу їх роботи і кваліфікації повинен проводитися в терміни, визначені діючими нормами або роботодавцем, але не рідше 1 раз на 3 місяці на роботах з підвищеною небезпекою та 1 раз на 6 місяців для решти робіт.

При зміні ТП, модернізації або заміни устаткування, пристосувань та інструмента або інших змінах в умовах виробництва, пов'язаних із безпекою праці, при порушенні робітниками вимог безпеки, які призвели або могли призвести до травми, аварії, вибуху, пожежі, а також при перерві в роботі протягом 60 днів і більше проводиться позаплановий інструктаж.

Цільовий інструктаж з питань охорони праці (ОП) проводиться з працівниками при виконанні разових робіт, які не пов’язані з безпосередніми обов’язками за фахом або будуть проводитися за межами підприємства, при ліквідації аварії або стихійного лиха та при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі з питань ОП завершуються перевіркою знань у вигляді усного опитування або за допомогою технічних засобів, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці, особою, яка проводила інструктаж. Робітники, що не пройшли інструктаж або не здали випробування з техніки безпеки, до роботи не допускаються.

Перед зміною усі робочі місця повинні оглядатися майстром або бригадиром, а протягом доби – начальником цеху. До усунення виявлених при

огляді порушень правил техніки безпеки приступати до роботи не можна. Крім того, сам робітник повинен переконатися в безпечному стані свого робочого місця і повідомити майстра або бригадира про помічені неполадки до початку роботи. На робочі місця не повинні допускатися сторонні, а також інші працівники цеху, непов'язані з виконанням даної роботи.

Всі робітники повинні уважно стежити за світловими і звуковими сигналами і командами, знати і дотримуватися правил стропування блоків каменю, плит та інших вантажів. Потрібне обережне поводження з заготовками при їх установці і кріпленні перед обробкою.

В цеху повинно встановлюватися захисне огородження, блокування і сигналізація для забезпечення:

- захист персоналу від попадання під небезпечну напругу при відкриванні кришок, дверей, знятті кожуха;
- захисту від випадкового дотику до струмопровідних частин;
- захисту очей, рук, обличчя і всього тіла від механічних і інших впливів обладнання (рухомі й обертальні частини, відходи обробки, вода).

Всі обертальні і рухомі частини верстата повинні бути огороджені. Робота на верстаті при несправному або знятому огородженні заборонена. Перед запуском верстата або механізму дається попереджувальний сигнал. До повної зупинки верстата не можна виконувати його змащування і чищення, закріплення і переустановлення оброблюваної заготовки та заміну робочого інструмента.

Про нещасний випадок на виробництві потрібно негайно повідомити майстра, який організовує першу допомогу потерпілому, направляє його в медпункт і повідомляє про те, що трапилося, начальнику цеху. На нещасний випадок, що викликав втрату працездатності, складається акт, який слугує основним документом для обліку нещасних випадків, аналізу причин травматизму і розробки заходів щодо їх усунення

В робочій зоні розпилювання блоків з природного каменю, окантування, шліфування і полірування плит та виробів повинні бути забезпечені такі метеорологічні умови:

- температура повітря в холодний період року від +17 до 23 С˚, в теплий період не повинна перевищувати +28 С˚;
- відносна вологість не повинна перевищувати 75%;
- швидкість руху повітря не повинна бути більше 0,3 м/с;
- вміст пилу в повітрі при наявності діоксиду кремнію в ньому від 10 до 70% не повинен перевищувати 2 мг/м.

До роботи на обладнанні та до виконання вантажно-розвантажувальних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які вивчили правила експлуатації обладнання, мають посвідчення про складання іспитів по техніці безпеки, а також пройшли медичний огляд.

На складах сировини і готової продукції, завантажувальних майданчиках, шляхах подачі блоків і плит каменю потрібно застосовувати систему загального чи комбінованого освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», виходячи з розряду і підрозряду зорових робіт. Незалежно від прийнятої системи освітлення в робочій площині від світильників загального освітлення, повинно бути не менше 20 лк при використанні ламп розжарювання і 75 лк при люмінесцентних лампах, а на дільницях, де може відбуватися обробка – відповідно 75 і 200 лк.

Джерелом шуму або вібрації в цеху є коливання, що виникають під час роботи робочих органів верстату. Рівень шумового тиску, який створюється технологічним обладнанням, не повинен перевищувати допустимий рівень – 80 дБА відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Згідно довідкових та паспортних даних, шумові характеристики для дискових каменерізальних і фрезерно-окантувальних верстатів становлять 85–90 дБ, шліфувально-полірувальних верстатів 80-85 дБ. Тому повинен проводитися регулярний нагляд за всіма діючими агрегатами з метою своєчасного усунення всіх дефектів (знос деталей, що контактують, порушення в збірці та установці вузлів агрегату, несвоєчасне або недостатнє змащення тощо), що викликають збільшення шуму.

## 4.2. Викиди, які виникають на підприємствах по обробці природного каменю

На підприємствах по обробці природного каменю основними джерелами викидів є верстати на яких працівники здійснюють порізку, полірування та фрезерування каменю. В результаті, в атмосферу потрапляє кам'яний пил різної дисперсності. В літературі можна знайти інформацію, що на підприємствах (в цеху) в середньому за день може утворюватися до 0,7 кг викидів, а отже в рік цей показник становить 0,18 тон. При цьому 90% викидів захоплюються водою та утворюють шлам, інші 10% - піддаються очищенню.

В цеху підприємства необхідно встановити витяжну систему очищення, яка перед подачею викидів у атмосферне повітря, пропускає його через очисні фільтри, які 1 раз на декілька днів очищають вручну, а накопичений пил – поміщають разом з відходами.

Для обробки каменю, необхідно оснастити устаткування спеціальними водними резервуарами, які за допомогою подачі води одночасно очищають верстати та акумулюють майже весь пил. Подача води в резервуари відбувається по замкнутому циклі та здійснюється через центральну водну мережу за допомогою спеціальних насосів, які накачують воду спочатку у резервуари, після чого - у верстати, а після закінчення роботи - повертають воду в резервуар.

Основними відходами підприємства є:

❖ відходи розпилювальних та обробних цехів, які утворюються при розрізанні каменю на сляби, плитку та іншу продукцію.

До них належить:

✓ бут – обрізки плит неправильної форми розмірами більше 70 мм (бут), які за розміром не підходять для гранітного околу, товсті деталі, «корки» від блоків (відходи, одержані при розколюванні каменю на камене-кольному пресі);

✓ окол - малоформатні плити каменю товщиною 5–50 мм з колотими і пиляними краями неправильної форми, що мають термооброблену, полірована

або пиляну поверхню. Окол є відходами розпилювання і окантування плит.

❖ відходи розпилювальних та обробних цехів, відстійника-шламовловлювача та майданчика зневоднення шламу.

До них належить:

✓ шлам, тобто дрібнодисперсні відходи каменю, утворені в результаті здійснення процесів різання та шліфування, розмірами менше 0,5 мм.

❖ відходи адміністративних приміщень:

❖ побутове сміття;

Відходи мармурового каменю мають такі характеристики:

1) питома вага 2,12—2,67 г/см$^3$;
2) щільність 1300—1500 кг/м$^3$;
3) водопоглинання (з шламу) 2—24%;
4) максимальний розмір часток 0,062 мм;
5) питома поверхня 5100—5200 см$^2$/г,
6) колір білий — брудно-білий.

Для гранітних відходів:

1) питома вага 2,0—2,84 г/см$^3$;
2) щільність 1210—1465 кг/м$^3$;
3) водопоглинання (з шламу) 26—28%;
4) максимальний розмір часток 0,065 мм;
5) питома поверхня (з шламу) 3900—4123 см$^2$/г;
6) колір від рожевого до сірого.

На підприємстві по обробці природного каменю утворюється бут, окол та шлам. Утворений бут та окол зберігають у відкритому вигляді на спеціально відведених майданчиках. Шлам після зневоднення поміщають у мішки «біг-беги» та поміщають на зберігання на ті ж майданчики. Періодично здійснюється вивезення біг-бегів на звалища та полігони. Воно може утилізуватись або йти на вторинну переробку на підприємства, які потребують такі відходи.

## 4.3. Інженерний захист територій

Одним із напрямів державної політики у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру є підготовка та реалізація заходів, спрямованих на попередження надзвичайних ситуацій (НС), а саме запобігання та зменшення їх масштабів. Ці заходи переважно проводяться у превентивному порядку [28].

У комплексі заходів щодо попередження НС важливе місце займають зусилля по зниженню ймовірності переростання небезпечних явищ в надзвичайні ситуації. Серед них особливе місце відводиться інженерному захисту територій, який за своїм визначенням характеризується як комплекс організаційних та інженерно-технічних заходів, спрямованих на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, забезпечення захисту територій, населених пунктів та суб'єктів господарювання від їх наслідків та небезпеки, що може виникнути під час воєнних (бойових) дій або внаслідок таких дій, а також створення умов для забезпечення сталого функціонування суб'єктів господарювання і територій в особливий період [16].

Важлива роль при цьому відводиться підвищенню стійкості функціонування об'єктів економіки країни. Під стійкістю функціонування об'єкта економіки розуміється його здатність виконувати свої функції і зберігати основні параметри в межах встановлених норм при всіх видах зовнішніх та внутрішніх впливів у НС різного характеру. Необхідна ступінь стійкості об'єкта, що відповідає впливу на нього прогнозованих у даному регіоні НС, закладається ще у процесі його проектування.

Інженерний захист здійснюється в зонах можливих руйнівних землетрусів, затоплень і підтоплень, зсувів, обвалів, карсту, селевих потоків, снігових лавин. Він проводиться з метою зниження ризику переростання небезпечних подій в НС і полягає у зведенні інженерно-технічних споруд для захисту від вражаючих факторів, викликаних характерними для даної території небезпечними

природними і техногенними явищами, тобто створення фізичних бар'єрів, що знижують рівні негативних (вражаючих) факторів небезпечних явищ.

В Україні до заходів з інженерного захисту територій відноситься:

– проведення районування територій за наявністю потенційно небезпечних об’єктів і небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів, а також ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов’язаних з ними;

– віднесення міст до відповідних груп цивільного захисту та віднесення суб’єктів господарювання до відповідних категорій цивільного за-хисту;

– розроблення та включення вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту до відповідних видів містобудівної і проектної документації та реалізація їх під час будівництва та експлуатації;

– урахування можливих проявів небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів та негативних наслідків аварій під час розроблення генеральних планів населених пунктів і ведення містобудування;

– розміщення об’єктів підвищеної небезпеки з урахуванням наслідків аварій, що можуть статися на таких об’єктах;

– розроблення і здійснення заходів щодо безаварійного функціонування об’єктів підвищеної небезпеки;

– будівництво споруд, будівель, інженерних мереж і транспортних комунікацій із заданими рівнями безпеки та надійності;

– будівництво протизсувних, протиповіневих, протиселевих, протилавинних, протиерозійних та інших інженерних споруд спеціального призначення, їх утримання у функціональному стані;

– обстеження будівель, споруд, інженерних мереж і транспортних комунікацій, розроблення та здійснення заходів щодо їх безпечної експлуатації;

Законодавством визначено, що здійснення заходів інженерного захисту територій покладається на суб’єктів забезпечення цивільного захисту.

За результатами визначення ризиків виникнення НС внаслідок не-безпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів, а

також на об’єктах підвищеної небезпеки центральний орган виконавчої влади, який реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, веде Державний реєстр небезпечних територій у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Вимоги інженерно-технічних заходів цивільного захисту, дотримання яких є обов’язковим під час розроблення містобудівної та проектної документації, визначаються відповідно до Закону України «Про будівельні норми».

За розрахунками спеціалістів своєчасно запроваджені заходи інженерного захисту забезпечують зниження можливих людських і матеріальних втрат на 30–40%, а в сейсмо, селе – і лавинонебезпечних районах – на 70–80%. Однак проведення інженерно-технічних заходів, і зокрема, будівництво та технічне обслуговування інженерних захисних споруд вимагає значних капітальних вкладень. Ряд наявних систем інженерного захисту територій потребують постійної модернізації та удосконалення.

Серед переліку основних напрямків розвитку системи інженерного захисту населення і територій для запобігання виникненню НС природного і техногенного характеру [16], особливо слід виділити:

– розроблення і виконання регіональних програм інженерного захисту населення і територій для запобігання дії небезпечних геологічних і гідрогеологічних процесів;

– удосконалення норм і стандартів з урахуванням специфіки будівництва на територіях із небезпечними геологічними процесами;

– дослідження стану територій навколо гідротехнічних споруд з оцінкою можливості виникнення небезпечних геологічних процесів.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використання та широке впровадження інноваційних рішень може дозволити Україні посилити свої позиції на світовому ринку природного каменю та підвищити економічну віддачу від власних ресурсів. Для цього слід здійснити комплексну модернізацію наявного обладнання, впровадити автоматизацію виробничих процесів, перейти до широкого застосування новітніх технологій обробки каменю, в тому числі 3D – обробки.

Проведено аналіз публікацій, що стосуються обробки природного каменю та граніту, в результаті чого виявлено основні аспекти проведених вітчизняними та закордонними фахівцями досліджень. Багато робіт стосуються технічних особливостей природних матеріалів, а також обладнання яке може використовуватись та процесів, що відбуваються під час їх обробки. Окрема група публікацій стосується економічних аспектів обробки природного каменю, а також охорони праці та безпеки навколишнього середовища.

Аналіз парку обладнання, яке використовується при обробці природного каменю та граніту показав, що виробники переважно пропонують компонування обладнання, в яких реалізовані механічні системи із спрощеними кінематичними ланцюгами та системою ЧПК.

При проектуванні таких систем доцільним є використання теорії технічних систем, системного аналізу, а також теорії наукового прогнозування. Використання сучасних інноваційних технологій, комп’ютерної графіки та засобів САПР, різноманітних технологій моделювання дозволяє суттєво скоротити час на виконання дослідно-проектних робіт.

Проведено аналіз та запропоновано класифікацію обладнання яке може застосовуватись для обробки природного каменю, а також різального інструменту. Визначені основні вимоги до інструменту, який застосовується при обробці природного каменю.

Оскільки в кваліфікаційній роботі ми розглядаємо обладнання для обробки природного каменю, а саме граніту, то під цю категорію потрапляють фрезерно-гравірувальні верстати, визначено їх область раціонального застосування.

В проєктному розділі розглянуто особливості та послідовність розрахунку стосовно обробки виробів з природного каменю та граніту. Приведені принципові технологічні схеми обробки виробів з мармуру та граніту (ці матеріали мають переважне застосування).

Здійснено технологічні розрахунки, що до обробки гранітної плити алмазними циліндричними фрезами, розраховано значення необхідної потужності різання, воно знаходиться в межах $3.2 \div 4.2$ кВт. Обробку слід проводити з швидкістю 198 м/хв. Також розраховане значення необхідного для забезпечення процесу різання крутного моменту та потужності різання.

Розроблено кінематичну схему верстату для виконання фрезерно-гравірувальних робіт при обробці виробів з природного каменю та граніту. В якості приводів в ньому використовуються крокові електродвигуни та кульково-гвинтова передача. Для забезпечення обертового руху інструменту на верстаті використовується мотор-шпиндель.

Проведено розрахунок кульково-гвинтової передачі, здійснено розрахунок мінімального діаметра гвинта, який буде використовуватись в приводі подач верстату. Здійснено підбір основних комплектуючих для проєктованого верстату, розроблено його загальну концепцію та побудовано 3D модель.

В науково-дослідному розділі здійснено аналіз та запропоновано класифікацію систем для відстеження переміщень робочих органів верстатів. Розглядались давачі, які дозволяли відстежити лінійні та кутові переміщення відповідно робочого органу та ходового гвинта.

Розглянуті структурні схеми систем відліку переміщень робочих органів для верстатів з ЧПК, вказані на їх переваги та недоліки, визначені області їх можливого застосування.

Для систем відліку переміщень робочих органів верстатів визначені основні види похибок, а також їх природу.

Розглянуті типові схеми кульково-гвинтової передачі, їх конструктивні особливості та варіанти виконання.

Аналіз показав, що на практиці використовуються різні схеми приводу верстату з ЧПК, вони дозволяють здійснити компенсації похибок кульково-гвинтової передачі. Для цього використовуються лінійні та кутові давачі переміщень, які можуть мати різні схеми підключення. В залежності від застосовуваної схеми кульково-гвинтова передача буде мати різну точність переміщення робочого органу. Запропоновано схему, яка дозволяє досягнути підвищення точності переміщення робочого органу проектованого верстату в порівнянні із існуючими, в ній передбачено компенсацію похибок ходового гвинта.

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто особливості організації охорони праці на малих підприємствах по обробці природного каменю. Також здійснено аналіз основних видів забруднень, які виникають в процесі обробки природного каменю та граніту. Та які заходи слід здійснити, щоб зменшити їх шкідливий вплив на довкілля та працівника. Крім того розглянуті особливості інженерного захисту територій при виникненні надзвичайних ситуацій.

# ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білий Д. Особливості технологічного процесу обробки декоративного каменю. *VII МСНТК, 25–26 квіт. 2024 р*. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 139–140.

2. Верстат з ЧПК “Гриф 8012” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cncmachines.com.ua/uk/product/grif-8012/.

3. Гагалюк А. В., Скляров Р. А. Генетичні алгоритми в генеративному дизайні. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. до 60-річчя ТНТУ ім. І. Пулюя та 175-річчя з дня народження І. Пулюя, 14–15 травня 2020 р.* Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 56–57.

4. Гагалюк А., Крупа В. Моделювання станини токарного верстата з використанням методу топологічної оптимізації. *Вісник ТНТУ*. Тернопіль : ТНТУ, 2023. Т. 111, № 3. С. 67–75.

5. Гордєєв О. Ф., Захаров П. О. Системи автоматизованого проектування верстатів : навч. посіб. Луцьк : ЛП, 1997. 123 с.

6. Інноваційне конструювання обробного обладнання та спеціалізованих роботів: обладнання для обробки природного каменю [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра, за освітньою програмою «Технології комп’ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» спеціальності 131 «Прикладна механіка». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 288 с.

7. Кобельник В. Р., Кривий П. Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр.* Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.

8. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. – Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

9. Ковбашин В. І., Пік А. І., Балабан С. М. Моделювання технічних форм засобами Solidworks в курсі «Інженерна графіка та CAD системи». *Сучасні*

*проблеми моделювання.* 2024. Вип. 26. С. 143–148. http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/3285.

10. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Крупа В. В., Тимошенко Н. М. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів. *Прогресивні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр.* Львів-Плай : Львів, 2020. С. 103–105.

11. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Скляров Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. Під ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград : 2004. 449 с.

12. Кроковий двигун, NC-86STH80-5604A-14, (4 Н·м) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gptech.com.ua/ua/p1829531716-krokovij-dvigunnc-86sth80.html.

13. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2023. 308 с.

14. Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубиняк С. А. Теорія технічних систем. Київ–Тернопіль : 1997. 310 с.

15. Кузнєцов Ю. М., Скляров Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / під ред. Ю. М. Кузнєцова. Київ: ТОВ «ЗМОК» ПП «ГНОЗІС», 2004. 323 с.

16. Кулєшов М. М., Садковий В. П., Тютюник В. В. Державна система цивільного захисту: навч. посіб. Харків : НУЦЗУ, 2020. 232 с.

17. Курілович В. Д., Вєтров А. Г., Філатов Ю. Д. Фактурне оброблення природного каменю інструментом з алмазно-полімерного волокна. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.* 2012. № 15. С. 600–604.

18. Левицький В. Г. Використання технології гідроабразивного різання при виготовленні продукції з природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки».* 2017. Вип. 2 (41). С. 154–158. – https://doi.org/10.26642/tn-2007-2(41)-154-158.

19. Левицький В. Г., Шамрай В. І. Методичні рекомендації для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Проектування каменевидобувних

та каменеобробних підприємств» для студентів освітнього ступеня «магістр» освітньо-професійної програми «Розробка родовищ та видобування корисних копалин». Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. 52 с.

20. Малярчук А. О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 2: навчальний посібник. інниця : ВНТУ, 2010. 133 с.

21. Рельсові направляючі та каретки HIWIN серія CG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://unitech.com.ua/ua/relsy-i-karetki-hiwin/seriya_cg/.

22. Саленко О. Ф., Шепеленко І. В., Будар Мохамед Р. Ф. Підвищення ефективності обробки композиційних матеріалів застосуванням гібридного інструменту. *Підвищення надійності машин і обладнання: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 15–17 квіт. 2020 р., м. Кропивницький. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин*. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 107–109.

23. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об`єктів будівництва. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 [Чинний від 2007-12-01]. – Київ: Національний стандарт України, 2007.

24. Скляров Р. А. Вибір бази порівняння при прогнозуванні стратегії підвищення якості технологічного обладнання. *Матеріали наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті», 16 травня 2011 р., Тернопіль.* Тернопіль : 2011. С. 111–112.

25. Скляров Р. А., Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г. Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання. *Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5–7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України.* Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М., 2021. С. 157–159.

26. Скляров Р., Гагалюк А. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. *Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (Машинознавство та машинобудування), 16–17 травня 2019 р., Тернопіль.* – Тернопіль : 2019. С. 34.

27. Скляров Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. *Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя.* Тернопіль : 2012. С. 69.

28. Стручок В. С. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ». Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., – 156 с. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196.

29. Толстова А. В., Кок Д. Б. Теоретичні аспекти формування стратегії інноваційного розвитку підприємств каменеобробної галузі. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2015. № 52. С. 142–149.

30. Уманський В. П., Красовський В. П., Бащенко О. О. Вплив вибору марки ріжучих алмазів та концентрації УДПА у наповнювачі зв'язки на працездатність алмазних трубчастих свердл при обробці граніту та скла. *Успіхи матеріалознавства*. 2023. № 6. С. 86–98.

31. Фреза циліндрична по каменю FPC D10l20L120 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://frezycnc.in.ua/products-uk/freza-czylindrychna-po-kamenyu-fpc-d10l20l120.

32. Фрезерний верстат з ЧПК "Яструб 8015-200" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cncmachines.com.ua/uk/product/yastreb-8015-200/.

33. Фрезерний верстат з ЧПК по каменю та граніту "РПК-1015" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cncmachines.com.ua/uk/product/stone-rpk-1015/.

34. Чемоданов П. А. Побудова компоновки та методика розрахунку основних вузлів верстата для обробки складнопрофільних поверхонь великогабаритних виробів з каменю. *Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки».* 2009. Вип. 3 (50). С. 56–66.

35. Чемоданов П. А., Сідорко В. І. Експериментальне дослідження параметрів технологічної системи ВПІД та робочих режимів п'ятипозиційного

каменеобробного фрезерного верстату з ЧПК. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр.* Київ : ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2010. Вип. 13. С. 524–531.

36. Шамрай В. І., Мельник-Шамрай В. В., Котенко В. В., Панасюк А. В., Іськов С. С. Тенденції розвитку ринку декоративного каміння України. *Технічна інженерія.* 2023. Вип. 1 (91). С. 377–384. – https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-377-384.

37. Шамрай В. І., Мельник-Шамрай В. В., Шкабара Ю. В., Микитенко С. В., Ігнатюк Р. М. Аналіз сучасного стану каменедобувної та каменеобробної галузі України. *Технічна інженерія*. 2022. Вип. 2 (90). С. 193–199. https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-193-199.

38. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2001. 163 с.

39. Шпиндель по каменю GDZ-125-5,5 з водяним охолодженням 5,5 кВт (220V) ER25 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://komplektcnc.com.ua/shpyndel-po-kamniu-ta-metalam/2256/.

40. Щетинін В. Т., Саленко О. Ф., Хорольська М. С. Навчальний посібник з дисципліни «Верстати з паралельної кінематики». Кременчук : Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2017. 99 с.

41. Aslantas K., Özbek O., Ucun I., Buyuksagis I. S. Investigation of the effect of axial cutting force on circular diamond sawblade used in marble cutting process. *Materials and Manufacturing Processes.* 2009. Vol. 24, No. 12. P. 1423–1430. https://doi.org/10.1080/10426910903344039.

42. Bahri H., Songmene V., Kouam J., Samuel A. M., Samuel F. H. CNC Edge Finishing of Granite: *Effect of Machining Conditions on Part Quality, Cutting Forces, and Particle Emissions. Materials*. 2021. Vol. 14, № 21. P. 6496. https://doi.org/10.3390/ma14216496.

43. Donatoni J5.42 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.donatonigroup.com/en/machine/j5-42/.

44. Gálos M., Gyurika I. G. Quality measuring numbers of cutted edges of granite surfaces. *Periodica Polytechnica Civil Engineering.* 2014. Vol. 58, No. 2. P. 121–129. https://doi.org/10.3311/PPci.2158.

45. IDEA PLUS PANTOGRAPH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cobalm.com/en/Machine/plus-idea/.

46. Incremental vs Absolute encoder – What is absolute and incremental encoder [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://911electronic.com/incremental-vs-absolute-encoder/.

47. Jenix Digital Readout Systems - DRO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.digitalreadoutsystem.com/services.

48. Mateur W., Songmene V., Kouam J. Experimental Investigation on the Effects of Tool Geometry and Cutting Conditions on Machining Behavior during Edge Finishing of Granite Using Concave and Chamfered Profiling Tools. *Micromachines.* 2024. Vol. 15, No. 3. P. 315. https://doi.org/10.3390/mi15030315.

49. Sarıışık G., Özkan E. Effects of natural rock properties on cutting forces, specific energy and specific cutting energy by four-axis machine. *Arabian Journal of Geosciences.* 2018. Vol. 11, No. 84. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3424-7.

50. Suharto S., Suryanto S., Sarana S., Purbono K. Application of CNC machine router 3-Axis for making of Engraved granite or marble. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1108, No. 1. P. 012045. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1108/1/012045.

51. Working center Platino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://prussiani.com/en/working-centers/platino/.

52. Zhao M., Lang X. Experimental research on cutting force with diamond mill cutting granite. *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering.* Wuhan, 2010. P. 3831–3833. https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5536843.

# ДОДАТКИ

**Додаток А**

## Верстат «Гриф 8012»

| | |
|---|---|
| Виробник | CNC Machines |
| Робоче поле, мм | 800×1200 |
| Робочий хід осі (Z) | 100 |
| Швидкість переміщення, мм/хв | до 2000 |
| Робоча подача, мм/хв | до 2000 |
| Точність позиціонування, мм | 0,08 |
| Тип двигунів | Кроковий |
| Момент утримання, Н.см | 180 |
| Номінальний струм, А | 3.0 |
| Типорозмір двигунів | NEMA 23 |
| Тип шпинделя | Колекторний |
| Охолодження шпинделя | Повітряне |
| Потужність шпинделя, Вт | 910 |
| Оберти шпинделя, об/хв | 10000-30000 |
| Типорозмір цанги | ER-70S |
| Максимальний діаметр хвостовика фрези, мм | 6 |
| Матеріал станини | Верстатний алюмінієвий профіль,Сталь |
| Напрямні | Вал цементований, SBR 20 |
| Привідна механіка | ШВП 1605 |
| Фіксація заготівлі | Механічна |
| Матеріал робочої поверхні | ДСП |
| Тип кінцевих датчиків | Механічні |
| Параметри мережі живлення | 220V, 50Гц |
| Енергоспоживання, Ватт | до 1500 |
| Програмне забезпечення | MACH3 |
| Інтерфейс підключення | USB |
| Операційна система | Windows 10 32/64 bit, Windows 7 32/64 bit |
| Габарити, мм | 1200x1700x900 |
| Вага, кг | 145 |

# Верстат «Яструб 8015»

| | |
|---|---|
| Виробник | CNC Machines |
| Робоче поле, мм | 800×1500 |
| Робочий хід осі (Z) | 200 |
| Швидкість переміщення, мм/хв | понад 4000 |
| Робоча подача, мм/хв | до 4000 |
| Точність позиціонування, мм | 0,05 |
| Тип двигунів | Кроковий |
| Момент утримання, Н.см | 120 |
| Номінальний струм, А | 3.0 |
| Типорозмір двигунів | NEMA 23 |
| Тип шпинделя | Безколекторний |
| Охолодження шпинделя | Рідинне |
| Потужність шпинделя, Вт | 1500 |
| Оберти шпинделя, об/хв | 6000-24000 |
| Типорозмір цанги | ER11 |
| Максимальний діаметр хвостовика фрези, мм | 8 |
| Матеріал станини | Сталь |
| Напрямні | Рейкові, HGR20 |
| Привідна механіка | ШВП 1610 |
| Параметри мережі живлення | 220V, 50Гц |
| Фіксація заготівлі | Механічна |
| Матеріал робочої поверхні | ДСП |
| Тип кінцевих датчиків | Індуктивні |
| Енергоспоживання, Ватт | до 1800 |
| Програмне забезпечення | MACH3 |
| Інтерфейс підключення | USB |
| Операційна система | Windows 10 32/64 bit<br>Windows 7 32/64 bit |
| Габарити, мм | 1950x1210x920 |
| Вага, кг | 130 |

**Верстат «РПК-1015»**

| | |
|---|---|
| Виробник | CNC Machines |
| Робоче поле, мм | 1500×1000 |
| Робочий хід осі (Z) | 100 |
| Швидкість переміщення, мм/хв | понад 4000 |
| Робоча подача, мм/хв | понад 5000 |
| Точність позиціонування, мм | 0,08 |
| Тип двигунів | Кроковий |
| Момент утримання, Н.см | 450 |
| Номінальний струм, А | 4.0 |
| Типорозмір двигунів | NEMA 34HS 4802 |
| Тип шпинделя | Безколекторний |
| Охолодження шпинделя | Рідинне |
| Потужність шпинделя, Вт | 3200 |
| Оберти шпинделя, об/хв | 6000-24000 |
| Типорозмір цанги | ER20 |
| Максимальний діаметр хвостовика фрези, мм | 12 |
| Матеріал станини | Сталь |
| Напрямні | Вал цементований, SBR 20 |
| Привідна механіка | Прямозуба зубчаста рейка М 1.5 |
| Параметри мережі живлення | 220V, 50Гц |
| Фіксація заготівлі | Механічна |
| Матеріал робочої поверхні | Алюміній |
| Тип кінцевих датчиків | Індуктивні |
| Енергоспоживання, Ватт | до 1800 |
| Програмне забезпечення | MACH3 |
| Інтерфейс підключення | USB |
| Операційна система | Windows 10 32/64 bit<br>Windows 7 32/64 bit |
| Габарити, мм | 1800*1920*1250 |
| Вага, кг | 440 |

# Лінійка моделей з технічними характеристиками верстатів компанії Prussiani Engineering

| prussiani | SILVER | GOLDEN PLUS | PLATINO | DIAMANTE 18 | DIAMANTE PLUS |
|---|---|---|---|---|---|
| **X axis stroke**<br>*Corsa carro asse X* | 3.300 mm (129 ⅞ in)<br>3.300 mm (129 ⅞ in)<br>3.500 mm (137 ¾ in) | 3.300 mm (129 ⅞ in) | 3.800 mm (149 ⅝ in) | 3.500 mm (137 ¾ in) | 3.500 mm (137 ¾ in) |
| **Y axis stroke**<br>*Corsa carro asse Y* | 1.500 mm (59 in)<br>2.000 mm (78 ¾ in)<br>2.500 mm (98 ⅜ in)<br>3.000 mm (118 ⅛ in) | 1.600 mm (63 in) | 2.000 mm (78 ¾ in)<br>2.500 mm (98 ⅜ in)<br>3.000 mm (118 ⅛ in) | 1.800 mm (70 ⅞ in) | 2.800 mm (110 ¼ in) |
| **Z axis stroke**<br>*Corsa carro asse Z* | 250 mm (9 ⅞ in) | 250 mm (9 ⅞ in) | 350 mm (13 ¾ in) | 350 mm (13 ¾ in)<br>650 mm (25 ⅝ in) | 350 mm (13 ¾ in)<br>650 mm (25 ⅝ in) |
| **A axis rotation**<br>*Rotazione asse A* | - | - | 360° | 360° | 360° |
| **B axis tilting**<br>*Ribaltamento asse B* | -1,5° ÷ 1,5° | -1,5° ÷ 1,5° | -1° ÷ 1° | -1° ÷ 1° | -1° ÷ 1° |
| **C axis rapid speed**<br>*Velocità in rapido del carro asse X (??)* | - | - | - | - | - |
| **X axis rapid speed**<br>*Velocità in rapido del carro asse X* | 60 m/min (197 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) | 50 m/min (164 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) |
| **Y axis rapid speed**<br>*Velocità in rapido del carro asse Y* | 60 m/min (197 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) | 50 m/min (164 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) | 40 m/min (131,2 fpm) |
| **Z axis rapid speed**<br>*Velocità in rapido del carro asse Z* | 15 m/min (49,2 fpm) | 10 m/min (32,8 fpm) | 30 m/min (98,4 fpm) | 15 m/min (49,2 fpm) | 15 m/min (49,2 fpm) |
| **Power spindle**<br>*Potenza motore mandrino portautensile* | 19 HP S6 (14 kW) 66 Nm | 19 HP S6 (14 kW) 66 Nm | 19 HP S6 (14 kW) 66 Nm | 21 HP S6 (15,4 kW) 100 Nm | 21 HP S6 (15,4 kW) 100 Nm |
| **Rpm tool holder spindle**<br>*Velocità rotazione mandrino portautensile* | 0 ÷ 10.000 | 0 ÷ 10.000 | 0 ÷ 10.000 | 0 ÷ 10.000 | 0 ÷ 10.000 |
| **Spindle tool holder**<br>*Attacco utensile* | ISO 40 | ISO 40 | ISO 40 | ISO 40 | ISO 40 |
| **Tool stations**<br>*Numero stazioni* | 15 - 20 - 25 - 35 | 34 | 37 | 36 | 50 |
| **Max distance table spindle nose**<br>*Distanza naso mandrino dal tavolo* | 510 mm (20 ⅛ in) | 500 mm (19 ¾ in) | 610 mm (24 in) | 635 mm (25 in)<br>935 mm (36 ¾ in) | 635 mm (25 in)<br>935 mm (36 ¾ in) |
| **Total absorbed power**<br>*Potenza massima assorbita* | 18 kW | 17 kW | 20 kW | 18 kW | 18 kW |

**Додаток Б**

Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей граніту та мармуру

| Параметр | Граніт | Мармур |
|---|---|---|
| Походження | Магматична порода, утворена при охолодженні магми | Метаморфічна порода, утворена з вапняку під високим тиском |
| Щільність | 2600-2800 кг/м³ | 2600-2700 кг/м³ |
| Твердість за Моосом | 6-7 (висока твердість) | 3-4 (середня твердість) |
| Міцність на стиснення | 120-250 МПа | 70-140 МПа |
| Водопоглинання | 0,15-0,50% (низьке) | 0,2-0,5% (середнє) |
| Стійкість до зношування | Висока, підходить для високих навантажень | Середня, не рекомендується для місць з інтенсивним рухом |
| Стійкість до кислот | Помірна, стійкий до слабких кислот | Низька, сприйнятливий до кислот (може пошкоджуватися) |
| Теплопровідність | Вища, швидко акумулює тепло | Нижча, тепло утримується довше |
| Колір та текстура | Варіюється (сірий, чорний, червоний, зелений); зерниста | Світлі відтінки (білий, кремовий, зелений); однорідна структура |
| Оброблюваність | Вимагає алмазного інструменту, складний для обробки | Легший для обробки, зокрема для полірування |
| Застосування | Облицювання, пам'ятники, дорожні покриття, плитка | Декоративні елементи, підвіконня, стільниці, скульптури |
| Тривалість експлуатації | Дуже висока (стійкий до погодних умов) | Висока, але потребує більшого догляду |

# Додаток В

## Шпиндель по каменю GDZ-125-5,5 з водяним охолодженням 5,5 кВт (220V) ER25

Шпиндель для обробки каміння і металів. Відрізняється зниженою кількістю обертів і більш захищеним корпусом. Також встановлені підшипники для збільшених навантажень.

**Потужність шпинделя:** 5,5 кВт
**Діаметр:** 125 мм
**Струм:** 18А
**Висота шпинделя:** 345 мм
**Максимальна частота:** 400 Гц
**Швидкісний режим:** 0-24000 об/хв.
**Робоча напруга:** 220 Вольт
**Радіальне биття:** 0,01 мм
**Кількість підшипників:** 4 шт
**Застосовувана цанга:** ER 25
**Комплектність:** Шпиндель, гайка ER25, цанга ER25 12.7мм, ER25 6 мм, контактний роз'єм

**Додаток Г**

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Каунаський технологічний університет (Литва)
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
Луцький національний технічний університет,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет технології та економіки
імені Хелени Ходковської (Польща)
Донбаська державна машинобудівна академія

*Студентське наукове товариство*

# VII МІЖНАРОДНА

## студентська науково - технічна конференція

# "ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ.

# АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

**25-26 квітня 2024 р.**

***(збірник тез конференції)***

***Тернопіль 2024***

ELARTU hdl:lib/44759

| | |
|---|---|
| Стебельський М.<br>**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF GREEN TECHNOLOGY MANAGEMENT SYSTEMS** | **116** |
| Шевченко Н.<br>**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БАГАТОКОЛІЙНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В IP МЕРЕЖАХ** | **118** |
| Шевченко Н.<br>**ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ЦОД** | **120** |
| Фатаєв В.<br>**ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СПОРТІ** | **122** |
| Skliarova N.<br>**THE IMPACT OF MUSIC ON OUR LIFE** | **124** |
| Бідловський І.<br>**ЗВ'ЯЗОК ВИВЧЕННЯ ФУНКЦІЇ СИНУС НА ОСНОВІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАХОДУ СОНЦЯ** | **126** |
| Горват М.<br>**ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ДІРІХЛЕ ДЛЯ РІВНЯННЯ ЛАПЛАСА В ПРЯМОКУТНІЙ ОБЛАСТІ** | **129** |
| Дерев'янко В.<br>**ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ДІРІХЛЕ ДЛЯ РІВНЯННЯ ЛАПЛАСА В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD** | **131** |
| Муковоз А. Є.<br>**МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗАЛУЧЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО ФАХОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ** | **133** |
| Островський О.<br>**РОЗВ'ЯЗОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ КОЛИВАННЯ КРУГЛОЇ МЕМБРАНИ** | **135** |
| Баран О.<br>**ЗАСТОСУВАННЯ КОСОКУТНОГО ПРОЕЦІЮВАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ПРОСТОРОВИХ ПОЗИЦІЙНИХ ЗАДАЧ** | **137** |
| Баб'як Д.<br>**ОСОБЛИВОСТІ ПРЕСУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЛЕГОВАНОГО КАРБІДУ ТИТАНУ З НАНОРОЗМІРНИМИ АНТИРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНИМИ ДОБАВКАМИ** | **138** |
| Білий Д.<br>**ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ** | **139** |

VI Міжнародна студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

УДК 621.9.06: 679.8.051
Білий Д. - ст. гр. МВм-51
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

# ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

Науковий керівник: к.т.н., доц. Скляров Р.А.

Bilyi D.
*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

# FEATURES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF DECORATIVE STONE PROCESSING

Supervisor: Ph.D., Associate Professor Sklyarov R.

Ключові слова: граніт, мармур, верстат з ЧПК, обробка поверхні.
Keywords: granite, marble, CNC machine, surface treatment

Україна має унікальну мінерально-сировинну базу, в надрах нашої країни знаходяться величезні поклади природного декоративного каменю. За оцінками експертів вони становлять близько 5% світових запасів, що становить більше 500 млн. м$^3$. Із загальної кількості сировини близько 60% - це високоміцні гірські породи, серед яких переважне промислове застосування мають граніти, базальти, мармур, габро та лабрадорити [1].

Наявність сировинної бази сприяє розвитку каменеобробної галузі, який можливий за рахунок впровадження передових технологій обробки каменю, сучасного обладнання та інструменту.

Технологічний процес обробки каменю передбачає зміну його форми, розмірів, а також його лицевої поверхні (фактури). Вибір технологічної схеми обробки каменю визначається властивістю породи, типом заготовки (кам'яного блоку), що надходить на обробку, а також номенклатурою готової продукції.

Обробка каменю передбачає дотримання технологічної схеми, яка передбачає три етапи обробки, а саме наближену, точну та фактурну. При наближеній обробці здійснюють розпилювання каменю до необхідних розмірів, при точній - здійснюють обкантовування (фрезерування) поверхні заготовки, а при фактурній – виконують операції шліфування та полірування, а також може здійснюватися ультразвукова обробка. Саме фактурна обробка дозволяє надати виробу декоративного вигляду, також вона забезпечує його захист від зовнішніх впливів. Кінцевого споживача, як правило, цікавить фактура лицьової поверхні, її якість визначає вартість кінцевої продукції.

При обробці каменю може бути застосовано спеціальний інструмент. В залежності від типу різального елемента його поділяють на абразивний, алмазний та твердосплавний. До абразивного інструменту відносять штрипсові й канатні пили із сталевим незармованим корпусом, які працюють у середовищі вільного абразиву. Алмазний та твердосплавний інструмент має сталевий корпус, який армовано відповідними різальними елементами [1].

Оброблюваний матеріал (порода каменю) характеризується міцністю, твердістю та іншими характеристиками, вони визначають спосіб його обробки, а отже впливають на вибір обладнання. Тип верстату, який використовується при розпилюванні декоративного каменю, в свою чергу буде визначати вид шліфувально-полірувального обладнання, вони повинні бути сумісними. Якщо підбір обладнання проведений невірно, то продуктивність фінішної

обробки може бути нагріво, що може спричинити ріст вартості фактурної обробки, а отже і виробу в цілому.

На сьогоднішній день провідні компанії, що займаються виготовленням обладнання по обробці каменів, пропонують верстати, що мають нескладні механічні системи зі спрощеними кінематичними ланцюгами (див. рис. 1). Таке обладнання характеризується низькими виробничими витратами та простотою обслуговування, в якості системи керування використовується система ЧПК.

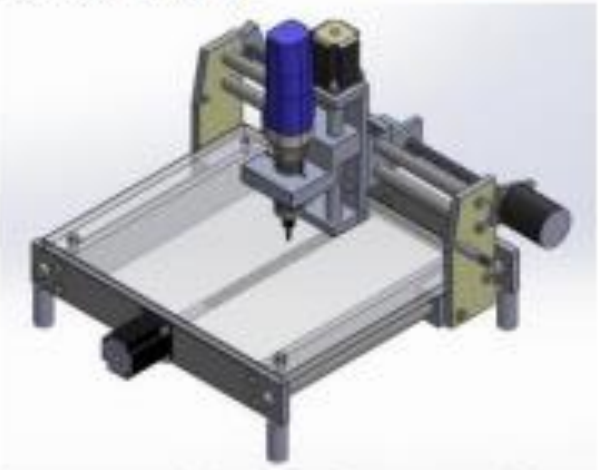

Рис. 1. Конструкція верстату для обробки каменю зі спрощеними кінематичними ланцюгами

Обладнання, яке використовується для обробки каменю має мати певні конструктивні особливості, що дозволить його адаптувати для роботи з даним матеріалом.

Верстати повинні оснащуватись посиленою рамою, яка здатна витримати велику вагу кам'яної заготовки. В конструкції несучих частин обладнання слід застосовувати високоміцні сталі, які дозволять забезпечити необхідну стійкість та точність в процесі обробки. Для контролю руху інструменту в процесі обробки слід застосовувати високомоментні сервоприводи, керування якими здійснюється від системи ЧПК. Оскільки обробка на верстатах передбачає виконання цілого ряду технологічних операцій (різання, фрезерування, полірування, гравірування, тощо), то вони повинні оснащуватися спеціальною оснасткою, яка дозволить ці операції реалізувати. Як відомо, обробка каменю супроводжується великою кількістю пилу та нагріванням інструментів, тому обладнання повинно оснащуватись системами водяного охолодження та відсмоктування пилу. Використання системи ЧПК дозволить керувати рухом інструментів та забезпечити необхідну точність обробки, в залежності від виду матеріалу. Верстати для обробки каменю повинні оснащуватись спеціальними системами безпеки, та бути зручними для роботи оператора.

**Перелік використаної літератури:**

1. Верба І. І. Інноваційне конструювання обробного обладнання та спеціалізованих роботів. Обладнання для обробки природного каменю [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра, за освітньою програмою «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / І. І. Верба, О. В. Даниленко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.