

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження характеристик жорсткості радіально свердлильного  
верстату

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МВМ-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Вітковський Б.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ярема І.Т.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ .....	8
1. Аналітичний розділ .....	10
1.1. Загальні відомості про свердлильні верстати та їх використання .....	10
1.1.1. Призначення й область використання .....	10
1.1.2. Класифікація свердлильних верстатів .....	12
1.2. Загальний огляд радіально-свердлильних верстатів .....	14
1.3. Конструкція базового радіально-свердлильного верстата 2М55 .....	18
1.3.1. Призначення й область застосування .....	18
1.3.2. Загальне компонування верстата .....	20
1.3.3. Схема кінематична .....	21
1.4. Патентний пошук .....	24
1.5. Висновки по розділу .....	27
2. Конструкторська частина .....	28
2.1. Призначення та область застосування досліджуваного верстата .....	28
2.2. Загальна компоновка досліджуваного верстата .....	29
2.3. Схема кінематична .....	30
2.4. Плита, цоколь, колона .....	31
2.5. Охолодження .....	32
2.6. Механізм затиску колони .....	32
2.7. Редуктор переміщення рукава .....	33
2.8. Механізм підйому рукава, та його затиск на колоні .....	34
2.9. Шпиндельна бабка, її обладнання .....	36
2.10. Шпиндель та його конструкція .....	36
2.10.1. Конструкція моторшпинделя .....	36
2.10.2. Моторна технологія .....	37
2.10.3. Датчики .....	38
2.10.4. Підшипники .....	38

2.10.5. ЗОР .....	39
2.11. Опис конструкції кріплення інструмента .....	39
2.12. Основні технічні характеристики й дані спроектованого радіально- свердлильного верстата зі ЧПК .....	39
2.13. Розрахунки КГП .....	41
2.14. Опис системи керування верстатом .....	42
2.15. Висновки по розділу.....	44
3. НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	45
3.1. Моделювання впливу похибок жорсткості шпиндельного вузла на вихідну точність верстату .....	45
3.1.1. Похибка положення точок оброблюваної поверхні, обумовлена жорсткістю шпиндельного вузла.....	45
3.1.2. Похибка положення точок оброблюваних поверхонь деталі, викликана силовим навантаженням .....	48
3.1.3. Похибка положення деталі внаслідок її деформації від сил різання ..	49
3.2. Оптимізація шпиндельного вузла.....	52
3.3. Оптимізація шпиндельного вузла в програмному комплексі COSMOS WORKS .....	61
3.4. Висновки по розділу.....	65
4 Охорона праці.....	66
4.1. Охорона праці.....	66
4.1.1. Розрахунок заземлення для установки .....	66
4.1.2. Розрахунок місцевого освітлення для проектного автомата .....	68
4.1.3. Заходи, що забезпечують створення оптимальних метеорологічних умов на робочому місці.....	70
5. Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	72
5.1 Класифікація та ідентифікація небезпеки в БЖД .....	72
5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.....	73

5.3 Шкідливі виділення в цехах.....	75
5.4 Захист при роботі з абразивними та іншими інструментами .....	78
ВИСНОВКИ .....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	81
ДОДАТКИ .....	87

## ВСТУП

Верстатобудування - базова галузь машинобудування. Парк металооброблюваного обладнання визначає виробниче - технічний та економічний потенціал машинобудівного комплексу. Верстат, машини і оснащення, які виготовляються верстатобудуванням, складає приблизно 60% активної частини виробничо - промислових фондів машинобудування.

Недооцінка необхідності випереджаючого розвитку верстатобудування веде до низького рівня продуктивності праці, незадовільної якості продукції, дефіциту кваліфікованої робочої сили, повільних темпів оновлення продукції та високої якості. Генеральною тенденцією розвитку машинобудування є його автоматизація на базі верстатів з ЧПК, верстатів - автоматів та напівавтоматів, роботизованих технологічних комплексів (РТК), гнучких виробничих модулів (ГВМ), автоматичних ліній (АЛ).

Область раціонального використання металооброблюваного обладнання залежить від номенклатури та програми випуску продукції. Для масового виробництва характерне використання високопродуктивного металопереналагоджувального обладнання (АЛ і РТК). Серійне виробництво, в якому виготовляється до 75% всієї продукції машинобудування, повинно забезпечуватись обладнанням, яке поєднує високу продуктивність з необхідною універсальністю та гнучкістю, що дає можливість інтенсивно оновити продукцію без суттєвих змін основних фондів. Такі можливості в більшості має обладнання з ЧПК, особливо токарні автомати та напівавтомати. Для зменшення втрат продуктивності, внаслідок пере наладок, використовують групову технологію. Поєднання групової технології з гнучкістю обладнання дозволяє в серійному виробництві досягти інтенсивних темпів оновлення продукції при збереженні високої продуктивності.

Головне завдання при створенні любых металорізальних верстатів і верстатних систем - підвищення продуктивності. Воно оцінюється скороченням штучного часу для конкретного виробу та операцій на спеціальних та

спеціалізованих верстатах. Головним із засобів скорочення штучного часу є автоматизація виробничих циклів на верстатах.

Одним із самих ефективних рішень суттєво, впливаючих на норми часу, є концентрація операцій на одному верстаті. До суттєвого скорочення норм часу на обробку деталі веде суміщення ряду операцій в часі. Суттєвий процес прогресу в техніці і в технології машинобудування в поєднанні з високими досягненнями в області систем керування дозволяє перейти від створення окремих гнучких виробничих систем до створення комплексно автоматизованих і комп'ютеризованих виробництв.

**Мета дипломної роботи:** дослідити жорсткісні характеристики та модернізувати шпindelьну бабку радіально-свердлильного верстату моделі 2М55.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути наступні питання:

- провести оптимізацію компоновочної схеми;
- розробити технологічний процес обробки на проектованому верстаті;
- провести опис кінематики верстата;
- провести розрахунок шпindelьного вузла на забезпечення жорсткості і вібростійкості при обробці на верстаті;
- розробити міроприємства по охороні праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях,
- провести обґрунтування правильності прийнятих конструктивних рішень для забезпечення жорсткості шпindelьного вузла досліджуваного верстату.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Загальні відомості про свердлильні верстати та їх використання

### 1.1.1 Призначення й область використання

Свердлильні верстати є дуже розповсюдженим видом металообробного обладнання для машинобудівних заводів.

По універсальності свердлильні верстати загального призначення поступаються лише токарним. По технологічних можливостях і простоті налагодження – знаходяться на одному рівні із револьверними верстатами.

На даних верстатах можуть бути виконані наступні роботи:

1) Свердління циліндричних, багатограних глухих і наскрізних отворів у суцільному металі (рис. 1.1, а). Свердління можна здійснювати:

- обертанням і подачею свердла на нерухому деталь;
- обертанням і подачею деталі на нерухоме свердло.

Перший спосіб свердління найбільш розповсюджений і особливо незамінний при обробці отворів у важких і габаритних деталях.

Другий спосіб свердління широко застосовується при обробці глибоких отворів у суцільному металі.

2) Розсвердлювання й зенкерування (рис. 1.1, б). По точності й чистоті обробки розсвердлювання мало чим відрізняється від свердління. Для отримання більшої точності отвору по діаметру, а також більш високої продуктивності обробки рекомендується, замінити розсвердлювання - зенкеруванням.

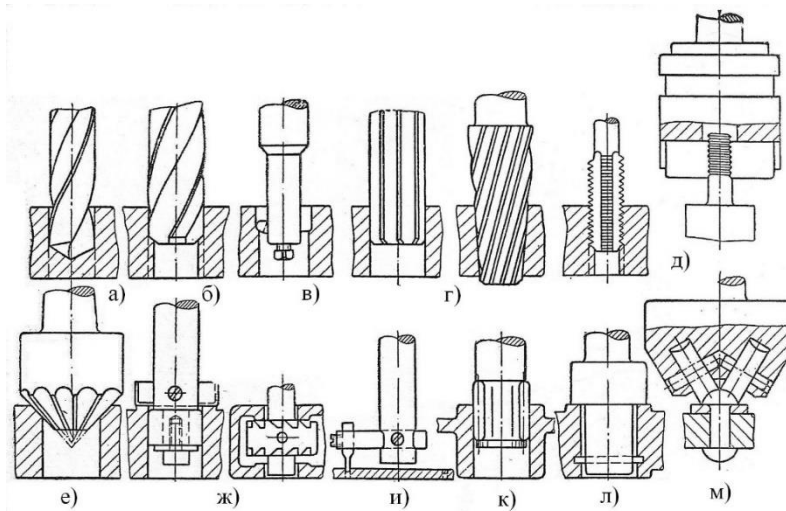


Рис. 1.1 - Схеми видів обробки на свердлильних верстатах

При чорновому зенкеруванні можна досягти 5 - го класу точності отвору, чистове – 4 - й клас, а по чистоті обробки можна забезпечити 5- й клас чистоти оброблюваної поверхні.

При чорновому розточуванні можна досягти 5 - ого класу точності отвору. Цей вид обробки застосовується для зняття поверхневого шару матеріалу в отворі заготовки отриманої методом кування або виливки.

Чистове розточування застосовується для надання отвору правильної форми, відповідної до точності й чистоти поверхні обробки. При розточуванні різцем отвору можна досягти 2 - го класу точності (а при багаторазовому 1- й клас точності), а при розточуванні різцевою голівкою 3 - й клас точності із чистотою поверхні отвору до 6- го класу.

### 3) Розвертання циліндричних і конічних отворів (рис. 1, г).

Однократне розвертання дає можливість забезпечити отримання від 3 - го класу точності й чистоти поверхні до 6- го класу включно.

Двократне розвертання при відповідному припуску дає можливість забезпечити від 2 - го до 7- го класу точності включно.

Тонке або прецизійне розвертання здійснюється після чистової обробки. Цей метод може забезпечити отримання точності отвору в межах від 2 - го до 8- го класу точності включно.



Тонке розвертання проводиться при низьких режимах різання із застосуванням охолоджувальної рідини.

4) Розвальцювання (рис. 1, к). Цей вид обробки застосовується для згладжування нерівностей після чистового розвертання отвору в деталях з м'яких сплавів.

### **1.1.2 Класифікація свердлильних верстатів**

Усі існуючі типи свердлильних верстатів, по класифікації відносяться, до другої групи металорізальних верстатів.

За конструктивними ознаками свердлильні верстати можуть бути поділені на три підгрупи:

- 1) універсальні верстати (загального призначення);
- 2) спеціалізовані верстати;
- 3) спеціальні верстати.

Універсальні свердлильні верстати є найбільш численною підгрупою. До цієї підгрупи відносяться і вертикально-свердлильні верстати:

- зі постійним вильотом шпинделя із приводом від електродвигуна, з механізмом для регулювання швидкості головного руху та руху подач, або із ручною подачею;

- с змінним числом свердлильних головок, так звані групові (або рядові) свердлильні верстати;

- зі регульованим вильотом шпинделя, радіально-свердлильні верстати різних конструкцій.

Зазначені верстати будуються різних габаритів і ваги, з різними параметрами.

Конструкції свердлильних верстатів, їх габарити, кінематика й компонування вузлів обумовлюється їхнім цільовим призначенням.

Для більших і різноманітних по характеру свердлильних робіт використовуються свердлильні верстати більших габаритів, та потужності.

Залежно від типу виробництва ці верстати, тією чи іншою мірою, оснащені механізмами для регулювання числа оборотів і подач шпинделя, механізмами для автоматизації робочого циклу.

Свердлильні верстати загального призначення характеризуються наступними особливостями:

- можливістю проведення обробки виробів різних конфігурацій із різних матеріалів і різними інструментами;

- можливістю швидкого й легкого переналагоджування верстату та режимів різання;

- можливістю ведення обробки виробу послідовним методом - шляхом зміни інструмента під час обробки. При такому методі роботи особливо важливим є можливість швидкого налаштування верстата на необхідний режим роботи;

- можливістю реверсування шпинделя при нарізуванні різьби мітчиками.

Перераховані особливості сприяють широкому поширенню універсальних свердлильних верстатів на машинобудівних і металообробних підприємствах.

Спеціалізовані свердлильні верстати на відміну від універсальних призначені для виконання обмеженої кількості технологічних операцій і являють собою автоматизовані свердлильні верстати з універсальними механізмами головного руху й руху подач.

Їх спеціалізованість визначається оригінальним обладнанням, пристосуванням, інструментом, які на певний час встановлюються на верстаті для виконання заданої операції чи певної обробки деталі.

Настроювання на необхідний режим обробки здійснюється за допомогою змінних шестірень і фіксується на увесь час обробки даної деталі.

До спеціалізованих верстатів можуть бути також віднесені свердлильні верстати з одним лише механізмом регулювання головного руху, але також зі спеціальним оснащенням.

Спеціалізовані свердлильні верстати є незамінним обладнанням для механічних цехів машинобудівних заводів велико серійного й масового виробництва.

Спеціальні свердлильні або операційні верстати призначають для виконання однієї або декількох операцій обробки в заданій деталі. Переналагодження цих верстатів для виконання іншої операції в якій-небудь іншій деталі недоцільна, тому що це вимагає докорінної переробки верстата.

## **1.2 Загальний огляд радіально-свердлильних верстатів**

Із групи свердлильних верстатів найбільш універсальними є радіально-свердлильні. Основне їхнє призначення - обробка отворів у великих деталях при одиничному й дрібносерійному виробництві.

Радіально-свердлильні верстати застосовують на заводах у механічних, складальних, ремонтних і інструментальних цехах, а також майстернях транспорту й сільського господарства. Останнім часом їх почали застосовувати в велико серійному виробництві при обробці великих деталей.

Висока продуктивність цих верстатів досягається оснащенням їх спеціальними пристосуваннями.

На відміну від вертикально-свердлильних верстатів, при роботі на яких доводиться переміщати деталь щодо інструменту, на радіально-свердлильних верстатах переміщається інструмент щодо оброблюваної деталі.

Шпиндель радіально-свердлильного верстата легко переміщається як у радіальному напрямку, так і по колу в межах певних радіусів, завдяки чому інструмент може бути встановлено в будь-якій точці площі, обмеженої двома концентричними колами, одна з яких утворена радіусом найбільшого вильоту шпинделя, а інша - найменшого вильоту (при обертанні рукава по колу).

Особливо ця відмінність відіграє важливу роль тоді, коли обробляється габаритна або важка деталь.

На радіально-свердлильних верстатах проводиться свердлення отворів у, розсвердлювання, зенкування й зенкерування попередньо просвердлених отворів, зенкування торцевих поверхонь, циліндричних і конічних поглиблень, розгортання отворів, нарізування внутрішнього різьблення мітчиками.

Крім перерахованих операцій, за допомогою спеціальних інструментів і пристосувань на радіально-свердлильних верстатах можна розточувати отвори, канавки, вирізати отвори великого діаметру, свердлити квадратні отвори, притирати точні отвори циліндрів, підшипників, клапанів і т.д.

Удосконалювання радіально-свердлильних верстатів іде по методу підвищення продуктивності, та скорочення часу на обробку деталі. Розширення технологічних можливостей, механізації й автоматизації.

Прагнення до створення широко універсальних верстатів, що забезпечують якісну й високопродуктивну роботу, привело до того, що сучасні радіально-свердлильні верстати мають широкі діапазони й велику кількість частот обертання і подач шпинделя при високій потужності.

Частка допоміжного часу при роботі на радіально-свердлильних верстатах усе ще досить велика, тому навіть невелике скорочення витрати часу на виконання допоміжних операцій приводить до підвищення продуктивності обробки на даного виду верстатах. З метою зменшення допоміжного часу сучасні радіально-свердлильні верстати забезпечуються зручними механізмами для перемикання частот обертання і подач, а органи керування верстатом зосереджені для зручності і продуктивності в одному місці - на шпиндельній голівці.

У промисловості застосовується багато типів радіально-свердлильних верстатів. Найбільше поширення одержали верстати загального призначення, у яких виріб розташовується на плиті або столі нерухомо, а шпиндель займає вертикальне положення й переміщається в трьох напрямках: по колу навколо вертикальної колони, по радіусах цих кіл і вертикально уздовж своєї осі.

Для свердління не тільки вертикальних отворів, але також похилих і горизонтальних застосовуються універсальні радіально-свердлильні верстати з шпиндельною головкою, що повертається.

Якщо оброблюваний виріб дуже великий, використовуються радіально-свердлильні верстати з колоною, що переміщається по станині.

Крім пересувних верстатів при обробці великогабаритних деталей знаходять застосування також переносні радіально-свердлильні верстати. Їх переносять піднімальним краном до потрібного місця й закріплюють поруч із виробом або безпосередньо на ньому.

До різновидів радіально-свердлильних верстатів також можна віднести настінні верстати, у яких відсутня плита й колона.

Для свердлення отворів у листовому матеріалі використовують верстати з малим осьовим переміщенням шпинделя й без плити.

Випускають радіально-свердлильні верстати загального призначення моделей «2А53, ОС-67, 2А55, 2М55, 2Б55, 257, 2Б57, 258 і 2Б58» з найбільшим діаметром свердління в сталі середньою твердістю 35, 50, 75 і 100 мм.

Самий маленький із цих верстатів має найбільша відстань від осі шпинделя до зовнішньої поверхні колони (виліт) 1200 мм і важить 3 т; найбільший - 4000мм, а вага його 32 т.

Короткі технічні характеристики вітчизняних радіально-свердлильних верстатів наведено в таблиці 1.1.

За кордоном випускають радіально-свердлильні верстати загального призначення з діаметром свердління від 25 до 160 мм. Найбільший виліт шпинделя досягає 4500 мм.

Таблиця 1.1 - Короткі технічні характеристики вітчизняних радіально-свердлильних верстатів

Характеристики	Моделі верстатів						
	2А53	2А55	257	258	2Г53	2А592	2П57

Найбільший умовний діаметр свердління в сталі, мм	53	50	75	100	35	25	75
Швидкості головного руху, об/хв	50- 2240	30- 1700	11- 1400	9- 1000	30- 1700	175- 980	9- 1000
Потужність приводного електродвигуна, кВт	2,8	4,5	7,0	14,0	4,5	1,7	14
Вага, кг	30	40	103	195	60	7,5	340

Радіально-свердлильні верстати всіх типів виготовляє Одеський завод радіально-свердлильних верстатів.

Кожної моделі верстата привласнюється особливий номер. Для цього всі універсальні верстати розбиті на дев'ять груп, у кожній з яких вони розділені по різновидах із присвоєнням їм порядкових номерів.

Свердлильні й розточувальні верстати віднесені до другої групи. За різновидами верстатів цієї групи закріплені такі номери: вертикально-свердлильні 1, напівавтомати 2 або 3, координатно-розточувальні 4, радіально-свердлильні 5, розточувальні 6, алмазно-розточувальні 7, горизонтально-свердлильні 8, різні свердлильні 9.

Номер (шифр) моделі верстата складається із трьох або чотирьох цифр. Іноді між цифрами або наприкінці їх ставляться букви українського алфавіту. Перша цифра номера позначає групу, до якої ставиться верстат. Друга цифра вказує тип верстата в цій групі. Третя цифра, при чотиризначному позначенні й четверта цифра умовно визначають основний розмір верстата. Додаткові букви вказують на конструктивні зміни даного типу верстата.

Для свердлильних верстатів самим характерним розміром є найбільший діаметр свердління, тобто діаметр такого отвору, який можна просвердлити на цьому верстаті в сталі середньою твердістю швидкорізальним свердлом.

У номерах радіально-свердлильних верстатів застосовувані букви звичайно мають такі значення: буква А позначає модернізацію (покращення)

попередньої моделі верстата; буква Б говорить про те, що в даному верстаті виліт більше, чим у базовій моделі верстата з таким же діаметром свердління; буква Г характеризує верстат без вертикального переміщення рукава; буква Д застосовується для позначення самохідних верстатів, що переміщуються по рейках; буква П майже завжди позначає переносний і є в номерах переносних і універсальних верстатів для обробки вертикальних, горизонтальних і похилих отворів.

Для позначення спеціальних і спеціалізованих верстатів кожному верстатобудівному заводу привласнено дві букви. Порядковий номер спеціального верстата в комбінації з буквами, що позначають завод, дає номер моделі верстата. Так, верстат ОС-86 - це 86- я модель спеціального верстата виробництва Одеського заводу радіально-свердлильних верстатів.

### **1.3 Конструкція базового радіально-свердлильного верстата 2М55**

#### **1.3.1 Призначення й область застосування**

Радіально-свердлильний верстат моделі 2М55 (рис. 1.2) призначений для широкого застосування в промисловості.

Завдяки своїй універсальності верстат знаходить застосування скрізь, де потрібна обробка отворів - від ремонтного цеху до велико серійного виробництва.

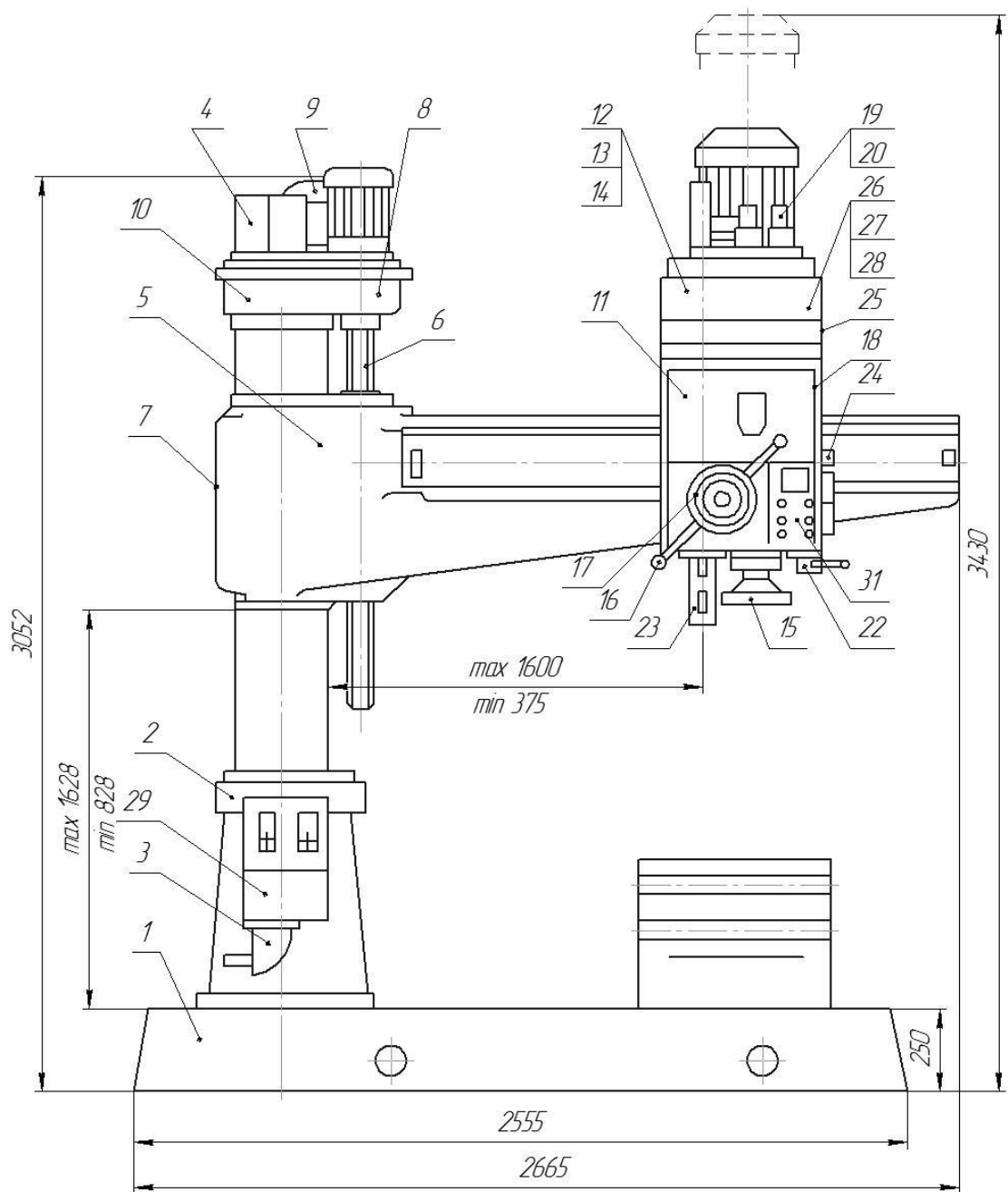


Рис. 1.2 - Загальний вид радіально-свердлильного верстата 2М55

1- плита; 2 - цоколь, колона; 3 - агрегат охолодження; 4 - струмознімач; 5- рукав; 6 - механізм підйому; 7 - затиск рукава; 8 - редуктор; 9 - гідростанція; 10 - гідро затиск; 11 - головка свердлильна; 12 - фрикційна муфта; 13 - коробка швидкостей; 14 - коробка подач; 15 - вал черв'яка; 16 - механізм включення подач; 17 - механізм ручного переміщення головки; 18 - затиск головки; 19 - гідро преселектор; 20 - привід гідро преселектора; 21 - гідро панель; 22 - командо апарат; 23 - шпиндель; 24 - протывага; 25 - насосна установка; 26 - головний



циліндр; 27 - гідро комунікація; 28 - змащення; 29 - електроустаткування колони; 30 - електроустаткування рукава; 31 - електроустаткування головки

На верстаті можна робити свердління в суцільному матеріалі, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, підрізування торців, нарізку різьби мітчиками й інші подібні операції.

Застосування пристосувань і спеціального інструмента значно підвищує продуктивність верстатів і розширює коло можливих операцій, дозволяючи робити на них виточення внутрішніх канавок, вирізку круглих пластин з аркуша і т.д. При відповідному оснащенні на верстаті можна виконувати багато операцій, характерні для розточувальних верстатів.

### **1.3.2 Загальна компоновка верстата**

Основою верстата є фундаментна плита 1, на якій нерухомо закріплений цоколь. У цоколі на підшипниках монтується обертова колона 2, виконана зі сталеві труби. Рукав 5 верстата зі свердлильною головкою 11 розміщений на колоні й переміщається по ній за допомогою механізму підйому 6, змонтованого в корпусі на верхньому торці колони. У цьому ж корпусі розташоване гідромеханічне обладнання, що призначено для затиску колони й струмопровідне обладнання для живлення поворотних і рухомих частин верстата. Механізм підйому пов'язаний з рукавом за допомогою ходового гвинта.

Свердлильна головка 11 виконана у вигляді окремого силового агрегату й містить у собі вузли: коробки швидкостей 13 і подач 14, механізм подачі 16, шпиндель 23 із противагою 24 і ін. Вона переміщається по напрямних рукава вручну. У потрібному положенні голівка фіксується механізмом затиску, що встановлений на ній.

У фундаментній плиті 1 виконаний бак і насосна установка для подачі охолоджувальної рідини до інструмента; На плиті встановлюється стіл для обробки на ньому деталей невеликого розміру.

Усі органи керування верстатом зосереджені на свердлильній головці. На панелі цоколя розміщені тільки кнопки вступного вимикача, що підключає верстат до зовнішньої електромережі, і вимикачі керування насосом охолодження. Для висвітлення робочої зони в нижній частині свердлильної головки встановлена електроапаратура.

Електроапаратура змонтована в ніші, виконаної зі зворотної сторони рукава.

### 1.3.3 Схема кінематична

Кінематична схема верстата (рис. 1.3) складається із чотирьох кінематичних ланцюгів:

- 1) обертання шпинделя;
- 2) руху подач;
- 3) вертикального переміщення рукава;
- 4) переміщення свердлильної голівки по рукавові.

Шпиндель отримує обертання від електродвигуна через проміжну передачу, пускову фрикційну муфту й коробку швидкостей із чотирма пересувними зубчастими блоками. Проміжна передача забезпечує певне число оборотів вала фрикційної муфти в різних виконаннях верстата. Фрикційна муфта з'єднується з коробкою швидкостей або із подвійною шестернею 9-10, або через паразитну шестірню 8, нерухомо закріплену шестірню 13. В останньому випадку коробка швидкостей отримує зворотне обертання, тобто шпиндель обертається проти годинникової стрілки. Таким чином, кожним двом частотам оборотів шпинделя в напрямку за годинниковою стрілкою відповідає одна частота оборотів проти годинникової стрілки.

Пересувні блоки коробки швидкостей (три подвійні й один потрійний) забезпечують отримання 24 частот оборотів шпинделя. Структурний графік побудований таким чином, що три частоти чисел оборотів перебиваються, а інші 21 утворюють геометричний ряд з  $f=1,26$  в інтервалі від 20 до 2000 про/хв.

Подвійний блок на гільзі шпинделя має також третє положення, коли обидві шестірні виведені із зачеплення. При цьому шпиндель легко повертається від руки.

Коробка подач отримує обертання від шпинделя через шестірні 25-26. Один потрійний і два подвійні блоки забезпечують отримання 12 подач, що утворюють геометричний ряд з  $f=1,41$  в інтервалі від 0,056 до 2,5 мм/об.

Останній вал коробки подач за допомогою шліцевої муфти пов'язаний з вертикальним валом механізму подач, що несуть на собі спеціальну регульовану муфту. Муфта забезпечує розмикання ланцюга подач при досягненні граничного зусилля подачі при різанні або на твердому упорі, розмикання ланцюга тонкої ручної подачі при включенні механічної подачі й включення тонкої ручної подачі при спрацьовуванні перевантажувального обладнання. Зубчаста муфта перевантажувального обладнання з'єднано із черв'яком 43, який через черв'ячне колесо 42 за допомогою керуючого обладнання А з'єднується з рейковою шестірнею 41, що перебуває в зачепленні з рейкою 40 пінолі шпинделя.

Груба ручна подача здійснюється обертанням рейкового вала 41 за допомогою керувальних рукояток А. Тонка ручна подача здійснюється обертанням маховичка В.

Переміщення головки по рукавові здійснюється за допомогою маховика, що сидить на валу, що проходить через отвір рейкового вала подачі. На іншому кінці вала є шестерня 46, яка через накидну шестірню 47 з'єднується з рейкою 61, нерухомо закріпленої на рукаві.

Умовні позначки: З - зубчасті муфти; Д - механізм включення подачі; F - затиск голівки; Е - привід гідроакселектора.

Вертикальне переміщення рукава проводиться окремим електродвигуном через редуктор 56, 55, 58, 57, укріплений на верхній частині колони, гвинт підйому 59 і гайку 60, розташовану в рукаві.

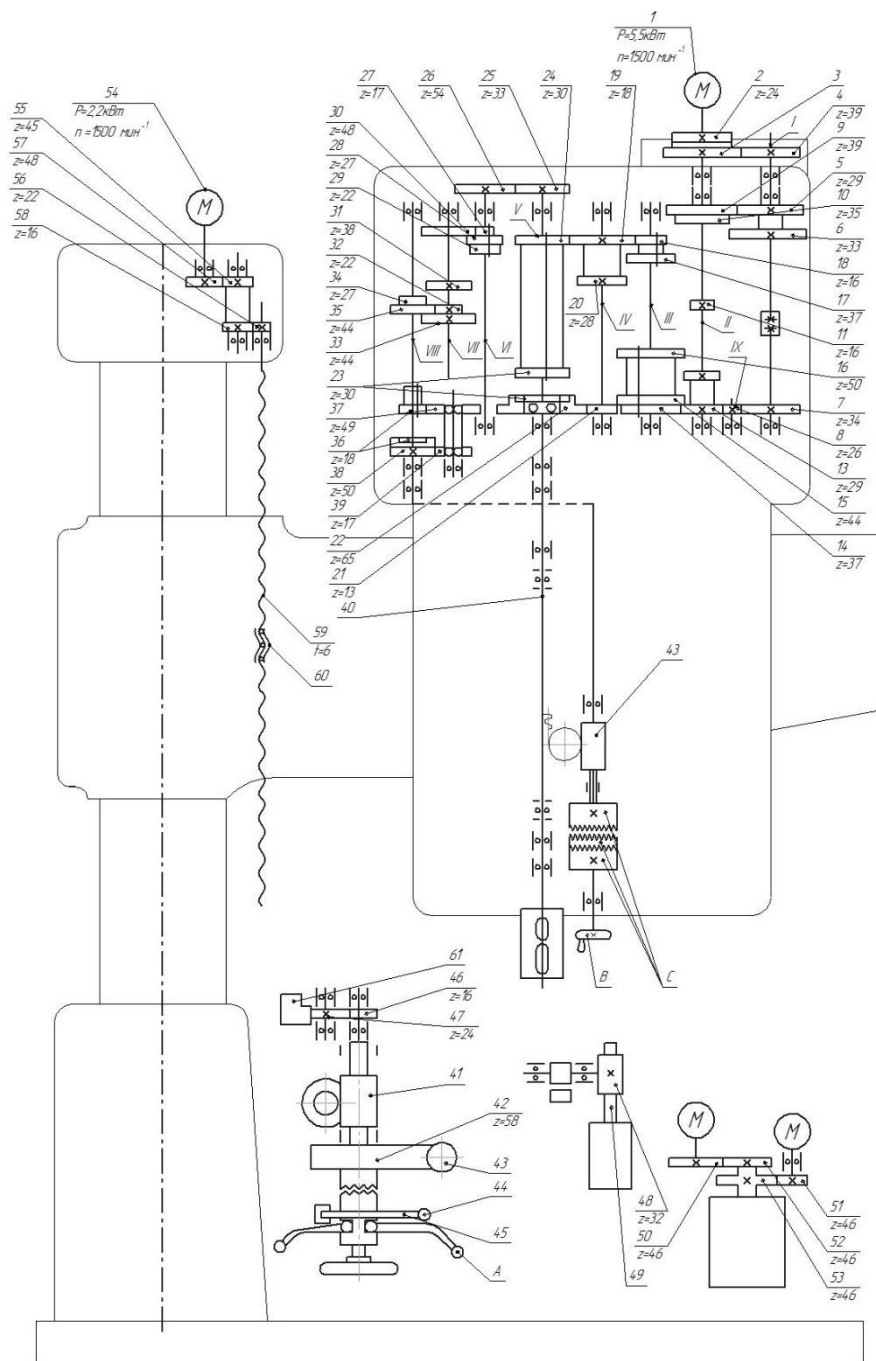


Рис. 1.3 - Кінематична схема верстата

Зміна напрямку переміщення рукава проводиться реверсуванням двигуна. У ланцюзі приводу механізму підйому встановлена кулачкова запобіжна муфта, яка спрацьовує при збільшенні опору" переміщенню рукава.

## 1.4 Патентний пошук

1) Радіально-свердлильний верстат: Пат. 14158 Росія, МПК6 В23В39/12 / Жаринов У.Н, Зинов В.Л., Циковкин С.А.; ВАТ "Стерлитамак М. Т. Е." № 2000101815/20; Заявл. 27.01.2000; Опубл. 10.07.2000, Бюл. № 7.

Верстат радіально-свердлильний, що містить розміщену на фундаментній плиті вертикальну колону, що несе бочку з рукавом, на якому змонтована свердлильна голівка, що відрізняється тим, що, з метою поліпшення конструкції й зниження ваги верстата для зменшення згинаючого навантаження, механізм коробки швидкостей із приводом обертання шпинделя, механізм перемикання швидкостей, електроустаткування, що раніше розміщалися у свердлильній голівці, розташовуються в бочку (рис. 1.7).

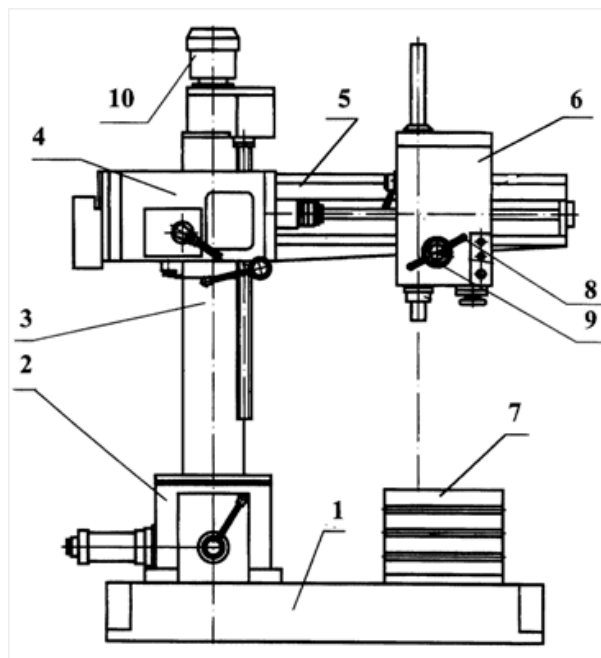


Рис. 1.7 - Радіально-свердлильний верстат

2) Радіально-шарнірно-свердлильний верстат: Пат. 2006135017 Росія, МПК6 В23В39/00 / Барботько А.І.; Ессола Д., "Курський державний технічний університет" № 2006135017/02; Заявл. 03.10.2006; Опубл. 10.04.2008.

Радіально-шарнірно-свердлильний верстат - утримуючий розміщену на підставі вертикальну колону, що несе поворотний кронштейн, приводи мірного

повороту й поздовжнього переміщення, що включають зубчасті передачі відмінний тим, що поворотний кронштейн складається з верхньої й нижньої частин, з'єднаних за допомогою гребінчастого з'єднання, що забезпечує, як переміщення поворотного кронштейна уздовж осі колони так і його обертання навколо колони, додатково на кронштейні встановлена поворотна вісь у вигляді вала можливість, що має, обертання із заданою швидкістю, на якій закріплений шпindelний вузол верстата, що містить коробки швидкостей і подач, у верстаті, уведений притиск, розташований у колоні, виконаний за одне з корпусом механізму, що містять зубчасту передачу, що забезпечують переміщення поворотного кронштейна по вертикальному напрямкові за допомогою гвинта для регулювання його рівня щодо оброблюваної деталі.

3) Шпindel: Пат. 2080215 Росія, МПК6 В25В19/02 / Ветлицын А.М., Хмылко Н.В., Алехин А.В.; Амур.ун- т- № 94016503/08; Заявл. 04.05.1994; Опубл. 27.05.1997, Бюл. № 15 (рис. 1.8).

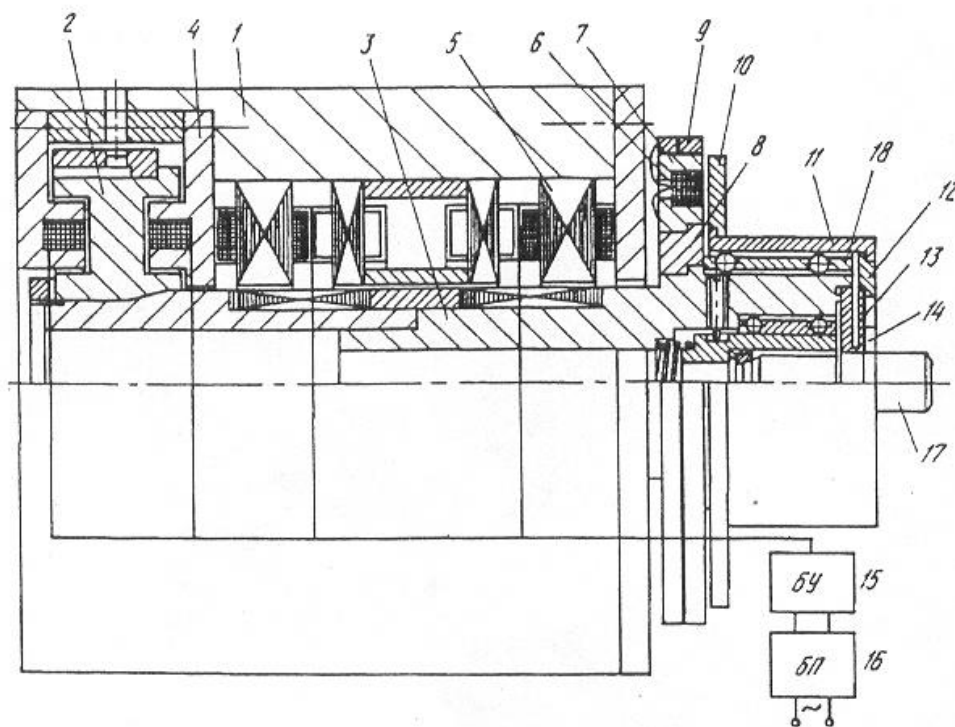


Рис. 1.8 - Шпindel

Винахід відноситься до електромашинобудування й може знайти застосування у високооборотних шпинделях, використовуваних у верстатобудуванні й інших галузях.

Шпиндель діє в такий спосіб. При обертанні ротора 3 в активних електромагнітних опорах 4 і 5 електроживлення на них подається від блоку керування 15 і блоку живлення 16. Блок керування 15 підключає також блок живлення 16 до струмознімача 9, що подає енергію на електромагніт 6, який взаємодіючи з диском 10 через склянку 11 і перехідний диск 12 притягає осьовими електромагнітними силами мембрану 13 і розтискає виріб 17 для його зняття. Після установки чергової деталі блок керування відключає електромагніт. Для виключення кутової неспіввісності механізм фіксації містить сепаратор 18 з кульками, установлений між внутрішньою поверхнею склянки й зовнішньою поверхнею ротора. В.А. Рогів

4) Шпиндельний вузол: Пат. 2080214 Росія, МПК6 В23В19/02 /Рогів В.А.; Російський університет дружби народів - № 94019866/02; Заявл. 30.05.1994; Опубл. 27.05.1997, Бюл. №15 (рис. 1.9).

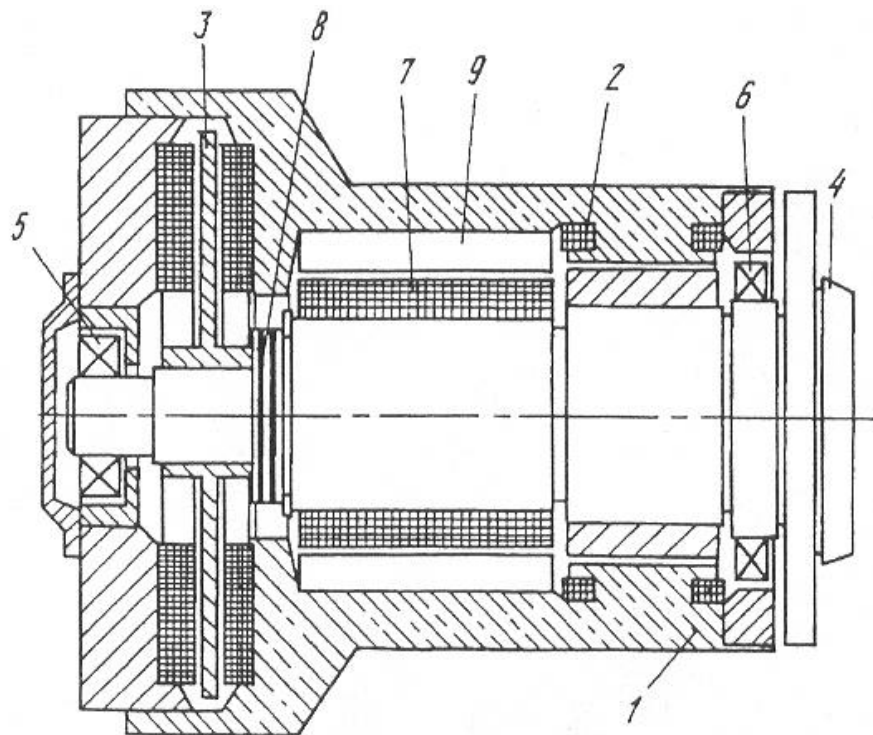


Рис. 1.9 - Шпиндельний вузол

Винахід відноситься до області верстатобудування.

Обладнання працює в такий спосіб. На початку роботи подається електричний струм на колектор 8 (наприклад за допомогою графічних щіток - на

кресленні не показані), а далі на обмотку 7. Шпиндель 4 починає обертатися. Одночасно подається струм і на котушки магнітних підшипників радіальних 2 і завязаного 3. У результаті в процесі роботи шпиндель 4 обертається лих тертя в магнітних опорах, а шарикопідшипники 5, 6 обертаються, не стосуючись корпусу 1. Навантаження, що прикладається до шпинделя 4 у процесі різання, сприймається магнітними опорами. Вібрації, що виникають у приводі при перехідних процесах, а також у зоні різання, демпфуються матеріалом корпусу 1 і шпинделя 4.

### **1.5 Висновки по розділу**

У даному розділі були розглянуті загальні відомості про свердлильні верстати й про роботи, проведені на них, їх призначення, класифікація й область застосування. Був зроблений загальний огляд радіально-свердлильних верстатів, де особлива увага була приділена конструкції й технічним характеристикам радіально-свердлильного верстата моделі 2М55, на базі якого виконаний даний дипломний проект. Зроблений патентний пошук, у результаті якого були знайдені патенти на різні види радіально-свердлильних верстатів і конструкції шпиндельних вузлів. Це може бути використане при модернізації радіально-свердлильного верстата моделі 2М55.



## 2 Конструкторська частина

### 2.1 Призначення та область застосування досліджуваного верстата

Досліджуваний радіально-свердлильний верстат зі ЧПК (рис. 2.1) призначений для широкого застосування у виробництві.

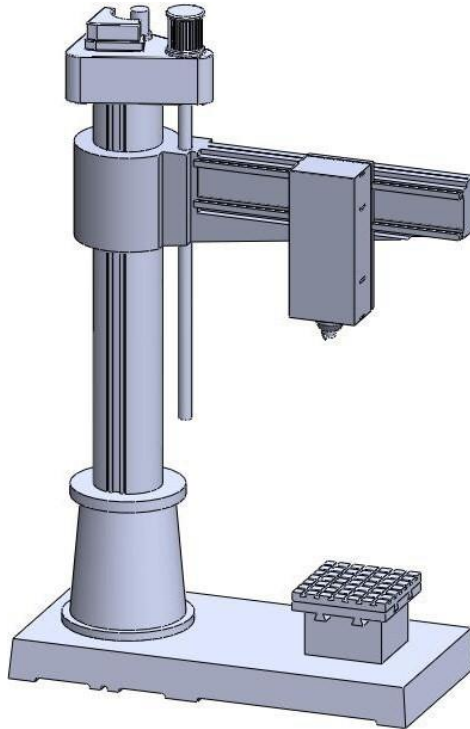


Рис. 2.1 - Загальний вид досліджуваного верстата

Завдяки своїй універсальності верстат може застосовуватись безпосередньо там де потрібна обробка отворів - від ремонтного цеху до багатосерійного виробництва.

На даному верстаті можна робити всі види свердлильних робіт, зокрема: свердління в суцільному матеріалі, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, підрізування торців, нарізку різьби мітчиками й інші операції.

Застосування пристосувань і спеціального інструмента значно підвищує продуктивність верстатів і розширює коло виконання можливих операцій. При відповідному оснащенні на верстаті можна виконувати багато операцій, характерні для верстатів розточної групи.

## 2.2 Загальна компоновка досліджуваного верстата

Основою верстата є плита 1 (рис. 2.2.), на якій нерухомо закріплений цоколь, у якому на підшипниках монтується колона 8, виконана зі сталеві труби, що обертається. Рукав 4 верстата разом зі шпindelною бабкою 6 знаходиться на колоні та переміщається по ній за допомогою механізму підйому 5, розташованого в корпусі на верхньому торці колони 8. У цьому ж корпусі знаходиться гідромеханічне обладнання для затиску і живлення колони 8. Механізм підйому тісно пов'язаний з рукавом і ходовим гвинтом.

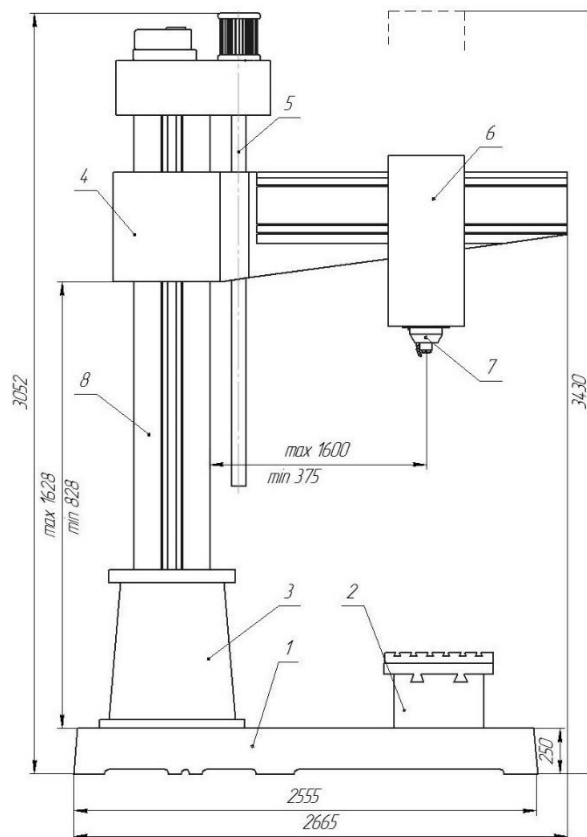


Рис. 2.2 - Компоновання спроектованого верстата

Шпindelна бабка 6 виконана у вигляді окремого силового агрегату, що містить у собі двигун шпindel 7, який переміщається вертикально в бабці за допомогою рейкової передачі. Сама бабка по напрямних рукава переміщається за допомогою КГП, що працює в парі з асинхронним двигуном.

У плиті 1 розташований бак і насосна установка для подачі охолоджувальної рідини до інструмента; На плиті, для обробки на ньому деталей невеликого

розміру, встановлюється стіл 2. Для обробки великогабаритних деталей стіл демонтовується.

### 2.3 Схема кінематична

Кінематична схема верстата (рис. 2.3) складається із чотирьох кінематичних ланцюгів:

- 1) обертання шпинделя;
- 2) руху подач;
- 3) вертикального переміщення рукава;
- 4) переміщення шпиндельної бабки по рукавові.

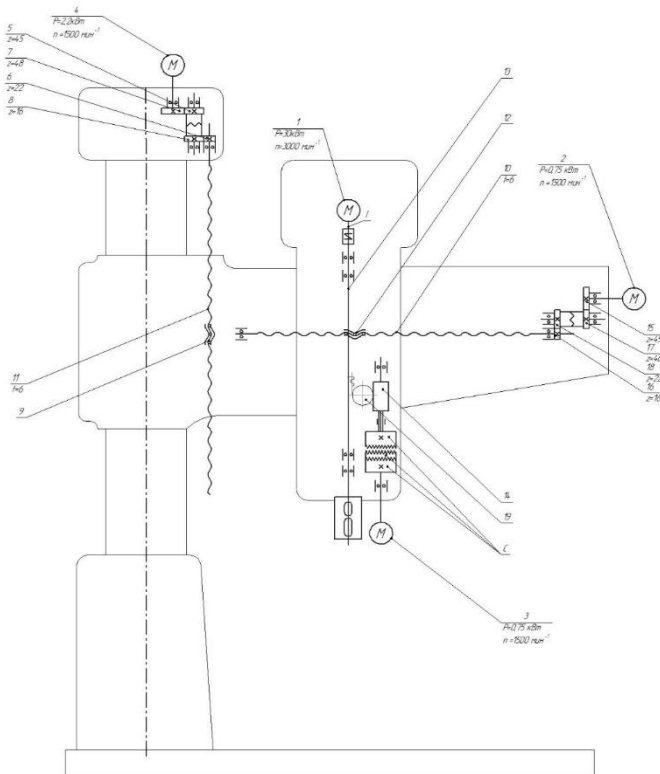


Рис. 2.3 - Кінематична схема верстата

Шпиндель обертається за допомогою вбудованого в нього електродвигуна.

Вертикальне переміщення рукава забезпечується окремим електродвигуном через КГП, розташовану вгорі колони.

Зміна напрямку переміщення рукава проводиться зміною напрямку обертання двигуна. При збільшенні опору переміщенню рукава у ланцюзі приводу механізму підйому спрацьовує кулачкова запобіжна муфта.

Горизонтальне переміщення шпindelної бабки проводиться від електродвигуна через запобіжну муфту та КГП, розташовану на траверсі.

Механізм подачі виконується за рахунок переміщення рейки, що з'єднується з електродвигуном через кулачкову муфту, яка призначена для запобігання двигуна від перевантаження.

## **2.4 Плита, цоколь, колона**

Плита виконана у вигляді виливка, посиленого поздовжніми й поперечними ребрами. Уздовж робочої поверхні плити розташовані Т- подібні пази для кріплення стола, а також оброблюваних виробів або спеціальних пристосувань.

На плиті нерухомо закріплений болтами цоколь, на якому на роликівих підшипниках встановлена колона. Ця деталь верстата найбільш навантажена і виконана зі сталеві труби й має загартовану, чисто оброблену робочу поверхню, по якій рухається рукав. Підшипник не має внутрішнього кільця, тому бігова доріжка для роликів виконана безпосередньо на колоні.

Підшипник змонтований на конічній шийці фланця й затягається гайкою. Конусне кільце призначене для затиску колони, міцне й насаджене на трубку. При затягуванні ГП механізму затиску, конусне кільце разом з колоною рухається вертикально вниз відносно стійки й щільно притискається до конусного гнізда цоколя. У результаті чого відбувається затиск колони, що запобігає її повороту.

Стойка із цоколем міцно з'єднана за допомогою фланця. У верхній частині до стійки приварений стрижень, який проходить усередині гвинта механізму затиску й з'єднується з ним гайкою. За допомогою цього, стойка зі стрижнем з'єднує вузол механізму затиску колони із цоколем і приймає вагу поворотних частин верстата при розтиску колони, а при затиску сприймає поздовжнє навантаження, що створюється механізмом затиску.

Крізь стійку від вхідного автомата до поворотних частин верстата проходить електрокабель. Перед транспортуванням верстата в цоколь вкручується стопорний болт, який конусним кінцем входить в отвір колони й

запобігає випадковому повороту рухомих частин верстата, щодо плити. Після установки верстата болт замінюється.

## **2.5 Охолодження**

У плиті знаходиться резервуар для охолоджувальної рідини.

Рідина подається до шпindelної бабки електронасосом по шлангові, приєднаному до трійника з поворотним з'єднанням і наконечником. Положення наконечника можна регулювати по висоті, переміщаючи штангу, що закріплюється в потрібному місці гвинтом.

Після включення електронасоса пуск охолоджувальної рідини й регулювання потоку здійснюються поворотом наконечника. У зворотному напрямі охолоджувальна рідина вертається в резервуар по каналах плити через отвори захищені сітками.

## **2.6 Механізм затиску колони**

Механізм затиску колони знаходиться у корпусі редуктора механізму підйому рукава, який з'єднаний з колоною. Стійка з'єднана із цоколем. Гвинт в осьовому напрямку закріплений на стійці гайкою через підшипники. Різьбова частина якого пов'язана з біметалічною гайкою шестірнею. Зубчастий вінець цієї шестерні виконаний зі сталі, а різьбова частина - із бронзи. Гайка-шестірня встановлена в корпусі на конічних роликотпідшипниках. Регулювання натягу в підшипниках проводиться за допомогою кришки, гвинтів і віджимних гвинтів.

У зачепленні із зубчастим вінцем шестірні перебувають робочий плунжер і допоміжний плунжер. Увесь механізм змонтований у корпусі, і з'єднаний з корпусом гвинтами. Гвинт угорі має зубчастий вінець, який з'єднаний із внутрішнім зубчастим вінцем фланця. Останній гвинтами з'єднаний із кришкою, а через неї з корпусом. Таким чином, під час роботи механізму, гвинт не може повернутися щодо корпусу.

Робочий плунжер, при подачі масла під тиском через отвори в кришках, переміщається в циліндрі. На плунжері нарізана зубчаста рейка, яка при

переміщенні плунжера обертає гайку-шестірню. При повороті шестірні в напрямку за годинниковою стрілкою відбувається затиск колони, а при повороті проти викликає розтиск колони.

При затиску колони в механізмі відбуваються наступні переміщення: шестерня - гайка повертається за годинниковою стрілкою, оскільки гвинт утримується від повороту фланцем і закріплений в осьовому напрямку: шестерня - гайка повинна переміститися вниз по різьбовій поверхні гвинта, при цьому вона переміщує за собою через корпус і колону.

Масла, що накопичуються в порожнині, відкачуються допоміжним плунжером у гідробак, розташований у корпусі поруч. Для того, щоб плунжер працював як насос для відкачки при повороті гайки - шестерні, у корпусі змонтовані всмоктувальний клапан, який пов'язаний з порожниною, і нагнітальний клапан, що встановлений перед штуцером трубки, що йде в гідробак.

Гайка-шестерня має обмежений кут повороту, для того, щоб відрегулювати вихідне положення гайки - шестерні щодо гвинта, а отже, відрегулювати величину переміщення колони у вертикальному напрямку, необхідно обертати гвинт, від'єднавши його від кришки та корпусу.

Перед регулюванням відкручують гвинти й обертають гвинт у напрямку за фланцем. По закінченню регулювання фланець піднімають, та повертають до положення, у якому кріпильні отвори в ньому під гвинти збігаються з відповідними отворами, у кришці, та вводять у зачеплення зуби фланця із зубчастим вінцем гвинта і закручують фланець гвинтами.

## **2.7 Редуктор переміщення рукава**

На верхній торець колони розміщують редуктор приводу механізму підйому, що приводиться в обертання електродвигуном, який встановлено на кришці. Керування електродвигуном проводиться з пульта керування. Напрямок обертання електродвигуна задається залежно від необхідного напрямку

переміщення рукава (підйом або опускання), а також змінюється в процесі виконання обробки.

Обертання від електродвигуна через дві понижувальні передачі передається на КГП. На проміжному валу перебуває спеціальна кулькова запобіжна муфта, що захищає деталі механізму підйому й привід від поломки при перевантаженнях. Конструкція муфти забезпечує її роботу при підйомі й при опусканні рукава.

У нижній частині корпусу редуктора розміщується масляний резервуар, у який занурює розпилювач, закріплений на валу. Розпилювач забезпечує змащення шестірні й підшипників при роботі редуктора.

## **2.8 Механізм підйому, рукав та його затиск на колоні.**

Рукав охоплює колону й переміщується по ній у вертикальному напрямку. По напрямних рукава в радіальному напрямку переміщується шпindelна бабка. Спеціальна шпонка, що входить у паз колони, перешкоджає повороту рукава навколо колони. У всіх випадках, коли рукав не переміщується по колоні, він затиснутий на ній, що розвантажує шпонку від зусиль, що виникають при свердлінні і забезпечує безпеку роботи на верстаті.

Переміщення рукава по колоні проводиться за допомогою механізму підйому. Механізм затиску рукава з'єднаний з механізмом підйому таким чином, що звільнення рукава, його переміщення й затиск здійснюються автоматично в одному циклі від однієї команди.

Основними елементами механізму підйому є КГП, яка має окремий фланець, який знаходиться на двох опорних підшипниках розташованих у втулці. Наявність окремого фланця, з яким гайка зв'язана торцевими зубами, дозволяє частково компенсувати похибки, пов'язані з перекосами гвинта щодо осі втулки.

На початку обертання гвинта гайка нічим не фіксується від повороту й починає обертатися разом із гвинтом. Допоміжна гайка в цей час пересувається

по гвинту, тому що закріплена на ній шпонка входить у паз нерухомої втулки, чим утримує гайку від обертання.

Переміщаючись по гвинту, гайка повертає важіль, вал і кулак, який звільняє ролик, у результаті чого розвантажуються болти. Розточена частина рукава, прорізана по всій довжині, розтискається до упору в голівки болтів і гайки, внаслідок своєї пружності. При цьому рукав розтискається щодо колони.

У момент, коли рукав повністю звільняється від зусилля затиску, шпонка своїм виступом (верхнім або нижнім - залежно від напрямку переміщення рукава) підходить до виступу гайки й зупиняє її обертання. Тому що гайка застопорена, а гвинт обертається, починає переміщення рукава.

Після закінчення переміщення гвинт не зупиняється, а автоматично реверсується. При цьому переміщення рукава негайно припиняється, тому що виступи шпонки й гайки відходять один від одного, внаслідок чого гайка починає обертатися разом із гвинтом. Допоміжна гайка при цьому переміщається по гвинту у зворотному напрямку, повертаючи важіль, вал і кулак до початкового положення. Під тиском виступу кулака на ролик важелі повертаються навколо осей і затягують болти. Рукав з великою силою стискається між голівками болтів і гайками на болтах, що в свою чергу здійснює надійний затиск рукава на колоні.

Гайки на болтах відрегульовані так, щоб забезпечити необхідну силу затиску. У даному положенні вони заштифтовані. Величина зазору між рукавом і колоною, розрахована із умови міцності затягування гайок, та повинна мати певну величину для того, щоб переміщення відбувалося плавно, без ривків і не викликало перевантаження приводу механізму підйому.

Керування циклом забезпечується двома кінцевими вимикачами, на які впливають кулачки, насаджені на вал затиску.

У крайніх положеннях рукава на колоні (верхньому або нижньому) штанги впливають на кінцеві вимикачі, які розривають ланцюг забезпечення живлення електродвигуна редуктора.



Зношування гвинтової поверхні гайки не приводить до падіння рукава, тому що при аварійному опусканні рукава на кілька міліметрів кулак повертається й своїм додатковим виступом автоматично затискає рукав на колоні.

Змащення механізму підйому проводиться за допомогою маслоподачі, встановленої конструктивно в корпусі гайці. Вісь ролика змащується окремою. Змащення колони здійснюється за допомогою плунжерного насоса, який подає масло в кільцеву трубку, що розташована під ущільненням у верхній частині рукава. Насос подає необхідну кількість масла в трубку при повороті кулака, який регулювальним гвинтом натискає на плунжер насоса. Трохи вище розташовується пластмасовий резервуар для масла.

## **2.9 Шпindelьна бабка, її обладнання**

Шпindelьна бабка розміщена на напрямних рукава, та по яких переміщається в радіальному напрямку. Переміщення свердлильної голівки забезпечується застосуванням комбінованих напрямних кочення - ковзання. Переміщення не є важким, за рахунок тертя між бічними напрямними, тому що центр ваги голівки розташовується приблизно в площині цих напрямних.

Дана конструкція забезпечує підведення інструмента до оброблюваної поверхні й здійснює процеси різання. Ці напрямні забезпечують високу точність переміщення. Шпindelьна бабка розміщується на горизонтальних напрямних траверси, по яких легко переміщається в радіальному напрямку за допомогою КГП.

Шпindelь переміщається у вертикальному напрямку за рахунок переміщення рейки. Вона пов'язана з електродвигуном крокового типу через запобіжну муфту.

## **2.10 Шпindelь, та його конструкція**

Забезпечення високошвидкісної обробки можливо здійснити за допомогою моторшпindelя. У досліджуваному верстаті я пропоную використовувати високошвидкісний шпindelь фірми «IBAG» (рис. 2.4). Був обраний так званий

важкий шпиндель, який знаходить застосування на середніх і більших верстатах. Типові застосування високо потужних шпинделів - обробка більших деталей, наприклад, важких ливарних форм і штампів, а також масове виробництво в автомобільній промисловості. Ці високошвидкісні шпинделі з високими потужностями й обертаючими моментами підходять як для чорнової, так і для чистової й тонкої чистової обробки. «ІВАГ» поставляє один тип шпинделів для всіх операцій.

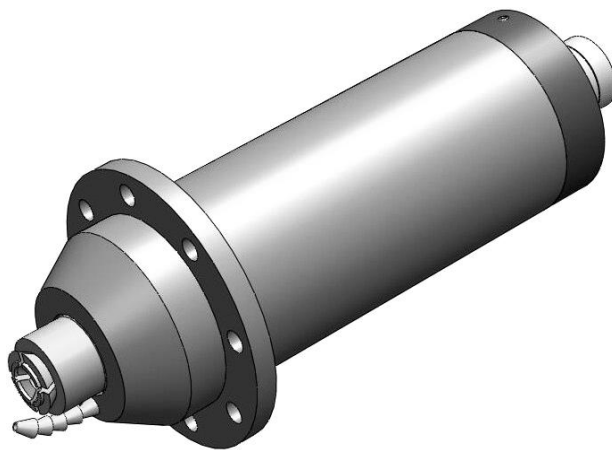


Рис. 2.4 - Моторшпиндель фірми «ІВАГ»

### **2.10.2 Технологія шпинделя**

Даний шпиндель використовує наступну технологію: змінний струм для високої потужності на середніх і високих швидкостях, постійний струм для максимально обертаючого моменту спеціально для низьких швидкостей обертання й мінімальної передачі тепла від мотора до шпиндельного вала. Закриті й ізольовані обмотки мотора призначені для найкращої теплоізоляції й захисту від механічних ушкоджень. Переваги ротора й статора двигуна постійного струму: мінімальні втрати й векторний контроль для повороту шпинделя на певний кут.

### **2.10.3 Датчики**

Для підвищення продуктивності і надійності роботи вбудовані датчики . Вбудовані датчики на передній поверхні шпинделя роблять високоточний вимір положення шпиндельного вала. Отриманий аналоговий сигнал від датчика може бути використаний будь-яким обладнанням ЧПК для розрахунків компенсації зсуву вала по осі Z. На додаток до опції "вимір зсуву шпиндельного вала", вбудовуються датчики температури, що поставляють сигнал для контролю й діагностики стану підшипників. Вбудовані датчики дозволяють контролювати вібрації під час роботи шпинделя. Високий рівень коливань може бути зумовлений погано збалансованим інструментом, неправильними параметрами обробки або аварійною ситуацією. Датчики вібрацій видають три повідомлення: "О.К." - зелений сигнал, "Попередження" - жовтогарячий і "Помилка" - червоний. При підключенні до обладнання ЧПК можливий глобальний контроль, що забезпечує краще використання й довгий термін служби шпинделя. Ці датчики вбудовуються у шпиндель.

### **2.10.4 Підшипники**

Підшипники шпинделя встановлюються в "ПРО"-конфігурації. При використанні даної конфігурації максимальні швидкості обертання шпинделі злегка знижуються, зате забезпечується однакова твердість шпинделя в обох напрямках і менший динамічний зсув шпинделя. Дана модель шпинделя використовує шарикопідшипники змішаного типу з масляним змащенням. Дана модель шпинделя оснащена системою змінного попереднього натягу підшипників шпинделя. Так, для більших інструментів і низьких швидкостей обертання необхідний великий попередній натяг для забезпечення високої твердості й стабільності. Для високих швидкостей обертання й використанні малих інструментів правильним буде вибір низького попереднього натягу. Регулювання попереднього натягу є запорукою оптимального використання

потужності й довгого терміну служби шпинделя, а також високого якості обробленої поверхні.

### **2.10.5 ЗОР**

Опції охолодження інструмента й заготовки: додаткове підведення охолоджуваної рідини являє собою додаткову гнучку насадку на шпиндельній голівці. Вона використовується, як правило, для подачі додаткового охолоджуваного засобу, наприклад, повітря або масла для свердлильних операцій, включаючи нарізування різьби.

### **2.11 Опис конструкції кріплення інструмента**

Цанга встановлена в шпинделі верстата й має регульований упор. Тяга, пропущена через порожнину шпинделя, своїм лівим різьбовим кінцем зв'язана зі штоком приводу, а правим - наглухо вмонтована в шарнірну муфту, пов'язану з різьбовою втулкою. Зазор забезпечує ударна дія штока приводу, що полегшує його виштовхування штока з отвору пружної цанги при розкріпленні оброблюваних деталей. При затягуванні цанги штоком, пропущеним через шпиндель, її ліва розрізана частина стискається й затискає інструмент. При зміні цанг вони віддаляються із гнізда шпинделя обертанням гайки, установленної на різьбленні штока.

### **2.13 Основні технічні характеристики й дані досліджуваного радіально-свердлильного верстата зі ЧПК**

Клас точності Н за ДСТ 8-71

Найбільший умовний діаметр свердління, мм 50

Виліт шпинделя від утворюючої колони, мм

- найбільший 1600

- найменший 375

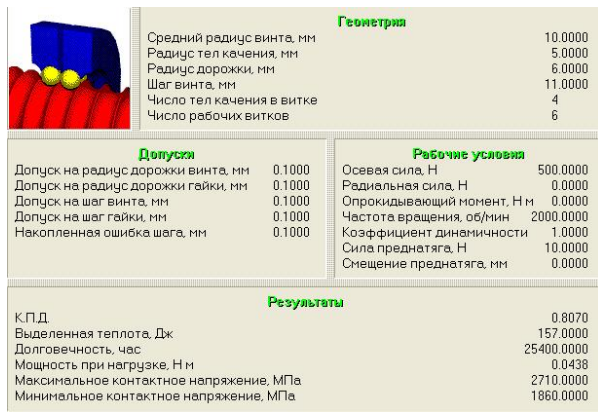
Відстань від торця шпинделя до плити, мм	
- найбільше	1600
- найменше	450
Границі швидкостей шпинделя, об/хв	20-5000
Границі подач шпинделя, мм/об	0,056-2,5
Найбільша ефективна потужність на шпинделі, кВт	30
Найбільший крутний момент на шпинделі, кгс·см	7100
Найбільше зусилля подачі, кгс	2000
Габарити верстата, мм	
- довжина	2665
- ширина	1020
- висота	3430
Маса верстата, кг	4650
Колона	
- діаметр, мм	315
- затиск	гідравлічний
Рукав	
- найбільший хід рукава по колоні, мм	750
- швидкість вертикального переміщення, м/хв	1,4
- найбільший кут повороту навколо осі колони, град.	360
- затиск на колоні	електромеханічний автоматичної дії
Свердлильна голівка	
- найбільший хід по напрямних рукава, мм	1225
- затиск на напрямних рукава	гідравлічний
Шпиндель	
- хід шпинделя, мм	
найбільший	400
на 1 оборот лімба	122
на 1 розподіл шкали лімба	1

## Плита

- ширина фундаментальної плити, мм	1000
- ширина паза за ДСТ 1574-75, мм	22 або 28
- відстань між пазами, мм	160
- кількість пазів, шт	4

## 2.13 Розрахунки КГП

Розрахунки КГП робимо в програмі «Winmachine».



Геометрия	
Средний радиус винта, мм	10.0000
Радиус тел качения, мм	5.0000
Радиус дорожки, мм	6.0000
Шаг винта, мм	11.0000
Число тел качения в витке	4
Число рабочих витков	6

Допуски	
Допуск на радиус дорожки винта, мм	0.1000
Допуск на радиус дорожки гайки, мм	0.1000
Допуск на шаг винта, мм	0.1000
Допуск на шаг гайки, мм	0.1000
Накопленная ошибка шага, мм	0.1000

Рабочие условия	
Осевая сила, Н	500.0000
Радиальная сила, Н	0.0000
Опрокидывающий момент, Н м	0.0000
Частота вращения, об/мин	2000.0000
Коэффициент динамичности	1.0000
Сила преднатяга, Н	10.0000
Смещение преднатяга, мм	0.0000

Результаты	
К.П.Д.	0.8070
Выделенная теплота, Дж	157.0000
Долговечность, час	25400.0000
Мощность при нагрузке, Н м	0.0438
Максимальное контактное напряжение, МПа	2710.0000
Минимальное контактное напряжение, МПа	1860.0000

Рис. 2.5 - Розрахунки КГП механізму підйому рукава



Геометрия	
Средний радиус винта, мм	12.0000
Радиус тел качения, мм	2.5000
Радиус дорожки, мм	3.0000
Шаг винта, мм	8.0000
Число тел качения в витке	6
Число рабочих витков	2

Допуски	
Допуск на радиус дорожки винта, мм	0.1480
Допуск на радиус дорожки гайки, мм	0.1480
Допуск на шаг винта, мм	0.1490
Допуск на шаг гайки, мм	0.1490
Накопленная ошибка шага, мм	0.1000

Рабочие условия	
Осевая сила, Н	100.0000
Радиальная сила, Н	0.0000
Опрокидывающий момент, Н м	0.0000
Частота вращения, об/мин	1000.0000
Коэффициент динамичности	1.0000
Сила преднатяга, Н	5.0000
Смещение преднатяга, мм	0.0000

Результаты	
К.П.Д.	0.7040
Выделенная теплота, Дж	20.1000
Долговечность, час	81400.0000
Мощность при нагрузке, Н м	0.0056
Максимальное контактное напряжение, МПа	3280.0000
Минимальное контактное напряжение, МПа	977.0000

Рис. 2.6 - Розрахунки КГП механізму переміщення бабки

## 2.14 Опис системи керування верстатом

Даний верстат може бути оснащений системою позиційного програмного керування по двох координатах.

Система позиційного програмного керування призначена для керування приводами лінійних і кругових осей, а також електроавтоматикою свердлильних, фрезерних, токарських верстатів, де потрібне позиційне керування по заданій програмі. Найбільше ефективно використовувати систему позиційного програмного керування при керуванні декількома осями від одного приводу. Система позиційного програмного керування може управляти від однієї до чотирьох осей.

Склад системи позиційного програмного керування: пульт оператора, контролер керування руху на дві осі, контролер керування електроавтоматикою на 12 входів/виходів, блок живлення.

До пульта оператора підключений контролер керування рухом (2 осі), до якого можна підключити контролер керування електроавтоматикою. Для збільшення перешкодозахищеності всі модулі, що входять до складу розподіленої системи програмного позиційного керування, мають гальванічну розв'язку по харчуванню й входам/виходам, діапазон живлячого напруги від 18 до 35 вольтів змінного струму або від 22 до 50 вольтів постійного струму.

Модулі (контролер керування електроавтоматикою, контролер руху й блок живлення) встановлюються на дин-рейку в електрошафу. Зв'язок між контролером руху й контролером електроавтоматикою здійснюється за допомогою внутрішнього інтерфейсу RS-485, швидкість обміну 500 Кбит/з, модулі можуть бути рознесені до трьох метрів. Зв'язок між пультом оператора й контролером руху здійснюється за допомогою гальванічно ізольованого інтерфейсу RS-485, швидкість обміну 500 Кбит/с. Харчування пульта оператора й зв'язок з контролером руху здійснюється за допомогою траси, довжина якої до 30 метрів, далі зв'язок між блоком живлення й контролером руху здійснюється через рознімання під гвинт.

Обмін між модулями здійснюється за допомогою командно-статусних слів.

Пульт оператора забезпечує керування рухом в автоматичному й ручному режимах і електроавтоматикою через М- Функції:

- число осей - 2;
- уведення до 20 технологічних програм і 50 підпрограм в енергонезалежну пам'ять;
- вимір позиції за допомогою лінійних або кругових датчиків;
- максимальне число кадрів програми - 500, підпрограми - 100;
- можливість програмування багаторазового повтору відрізка програми, функцій виклику підпрограми;
- послідовне позиціонування осей з попередньою установкою позицій (А, В, З, D) для зменшення швидкості (4 щаблі гальмування).
- програмування руху (підготовчих функцій) здійснюється за допомогою G- Кодів, для керування програмою й електроавтоматикою верстата (допоміжні функції) використовуються М- Функції;

Кількість використовуваних осей, порядок їх висновку на екран і прив'язка до контролера руху здійснюється з меню конфігурації "загальні параметри". У цьому ж меню проводиться призначення входів і виходів контролерів руху й електроавтоматики зі списку загальних параметрів, визначення стану виходів А, В, З, D при досягненні відповідних зон гальмування в режимах подачі, прискореного ходу й виходу в референтну мітку. У меню загальні параметри можна задати зупинку виконання програми, якщо вісь не вийшла в задану позицію.

У меню "параметри осей" задається:

- тип осі: лінійна або кругова;
- формат відображення 0.000/0.00/0.0: у міліметрах - для лінійної осі, у градусах - для кругової;
- зміна напрямку руху;
- режим роботи: радіус або діаметр;
- зміна напрямку руху в референтну мітку;
- коефіцієнт перетворення дискрет датчика в дискрети відображення;



- компенсація люфту;
- допуск на помилку позиціонування;
- програмні обмежники руху;
- установка позицій (А, В, З, D) для зменшення швидкості (4 щаблі гальмування);
- призначення входів і виходів контролерів електроавтоматики й руху зі списку параметрів осей.

Можливі наступні режими роботи: вихід у референтну мітку, ручний, автоматичний, введення керуючої програми із пропуском відзначених кадрів, налагоджувальний.

### **2.15 Висновки по розділу**

У даному розділі були докладно розглянуті конструкція досліджуваного радіально-свердлильного верстата зі ЧПК й основні його вузли. Також був наведений розрахунок КГП.

### 3. НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Моделювання впливу похибок жорсткості шпиндельного вузла на вихідну точність верстату

##### 3.1.1 Похибка положення точок оброблюваної поверхні, обумовлена жорсткістю шпиндельного вузла

Точність отримання деталі певної форми та розмірів забезпечується формоутворюючою системою верстату шляхом накладання похибок положення ланок формоутворюючої системи на номінальні траєкторії руху ланок.

Однією із основних ланок формоутворюючої системи, яка суттєво впливає на вихідну точність верстату, є шпindelь разом із ЗП та затиснутою в ньому заготовкою. При цьому ЗП є підланкою реальної ланки (шпиндельного вузла), що безпосередньо приймає участь у формоутворенні.

В якості основи для побудови моделі покладено варіаційний метод розрахунку точності, розроблений Портманом В.Т., який дозволяє скласти баланс вихідної точності верстату. Суть методу полягає в тому, що похибка являє собою повну варіацію функції формоутворення, тобто аналітичної залежності, яка пов'язує переміщення ланок формоутворюючої системи з траєкторією руху точок інструмента відносно оброблюваної деталі в системі координат оброблюваної деталі, яка приймається нерухомою.

У відповідності з векторний баланс точності токарного верстата

$$\Delta \bar{r}_0 = \sum_{i=0}^3 A_{0,i} \varepsilon_i A_{i,3} r_3 = \varepsilon_0 A_1^6 A_2^3 A_3^1 r_3$$

де  $\varepsilon_i (i = 0,1,2,3)$  – матриця повної похибки положення  $i$ -ї ланки формоутворюючої системи;

$A_1^6, A_2^3, A_3^1$  – матриці, що описують, відповідно, обертання шпинделя;

$r_3$  – радіус вектор вершини різця.

Матриця повної похибки положення  $i$ -ї ланки формоутворюючої системи має вигляд:

$$\varepsilon_i = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta_{xi} \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta_{yi} \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

де  $\delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{zi}$  – малі лінійні переміщення (лінійні похибки положення) системи  $S_i$  вздовж осей  $X_i, Y_i, Z_i$  відповідно;

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  – малі повороти (кутові похибки положення) тієї ж системи відносно осей  $X_i, Y_i, Z_i$  відповідно.

Матриці моделювання руху ланок формоутворюючої системи верстату мають вигляд:

$$A_1^6 = \begin{vmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матриця, яка моделює обертання шпинделя;}$$

$$A_2^3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матриця, яка моделює переміщення;}$$

$$A_3^1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матриця, що моделює переміщення.}$$

Радіус-вектор вершини свердла:

$$\bar{r}_3 = |0 \ 0 \ 0 \ 1|^T$$

Для оцінки похибок, приймаємо похибки всіх ланок і підланок формоутворюючої системи (крім елементів шпиндельного вула) і їх відносні переміщення абсолютно точними, тобто:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Тоді отримаємо залежність для визначення похибки положення точок оброблюваної поверхні, обумовлену похибками жорсткості шинельного вула, яка описується вектором:

$$\Delta \bar{r}_0 = \sum_{i=0}^3 A_{0,i} \varepsilon_i \dot{A}_{i,3} r_3 = \varepsilon_0 A_1^6 A_2^3 A_3^1 r_3$$

Підставивши відповідні матриці отримаємо вираз:

$$\Delta \bar{r}_0 = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta_{xi} \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta_{yi} \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Перемноживши матриці по правилах матричного аналізу отримаємо вектор похибок:

$$\Delta \bar{r}_0 = \begin{vmatrix} -\gamma_0 \cdot \delta \cdot \sin \varphi + \beta_0 \cdot z + \delta_{x0} \\ \gamma_0 \cdot \delta \cdot \cos \varphi + \alpha_0 \cdot z + \delta_{y0} \\ -\beta_0 \cdot \delta \cdot \cos \varphi + \alpha_0 \cdot x \cdot \sin \varphi + \delta_{z0} \\ 0 \end{vmatrix}$$

Для визначення похибки положення точок оброблюваної поверхні деталі, затиснутої нерумо, необхідно знайти малі лінійні переміщення  $\delta_{x0}, \delta_{y0}, \delta_{z0}$  системи координат деталі  $S_0$  вздовж осей  $X_0, Y_0, Z_0$  та малі повороти  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$  тієї ж системи відносно осей  $X_0, Y_0, Z_0$ . Малі зміщення і малі повороти виникають в результаті власної деформації заготовки, зміщень в місцях спряжень заготовки і та у стиках деталей затискного механізму внаслідок контактної податливості в результаті дії силового навантаження. Крім цього їх причиною є похибка встановлення заготовки у затискний механізм, викликана геометричною неточністю та її поперечним і поздовжнім заклинюванням в ЗЕ при затисканні.

### 3.1.2 Похибка положення точок оброблюваних поверхонь деталі, викликана силовим навантаженням

Внаслідок дії силового навантаження, деталь затиснута у затискному механізмі, і відповідно, зв'язана з нею система координат займає положення, відмінне від номінального. Зміщення системи координат при дії силового навантаження виникає в результаті пружних деформацій елементів системи патрон-заготовка, та контактних деформацій у її спряженнях.

При визначенні (формуванні) матриці повної похибки положення системи патрон-заготовка приймаємо наступні припущення:

- зміщення і кути повороту елементів системи малі;
- крайові ефекти не враховуються;
- власна жорсткість елементів затискного механізму набагато більша від контактної жорсткості стиків;
- повний початковий контакт елементів системи;
- лінійна залежність зміщень від навантаження в діапазоні зовнішніх зусиль, що розглядаються.

Останнє допущення можливе внаслідок лінеаризації використовуваних залежностей і дозволяє використати **принцип суперпозиції** у відповідності з яким повна похибка положення системи визначається за залежностями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{x0} = \delta_{x01} + \delta_{x02} + \delta_{x03} \\ \delta_{y0} = \delta_{y01} + \delta_{y02} + \delta_{y03} \\ \delta_{z0} = \delta_{z01} + \delta_{z02} + \delta_{z03} \\ \alpha_0 = \alpha_{01} + \alpha_{02} + \alpha_{03} \\ \beta_0 = \beta_{01} + \beta_{02} + \beta_{03} \\ \gamma_0 = \gamma_{01} + \gamma_{02} + \gamma_{03} \end{array} \right.$$

де  $\delta_{x01}, \delta_{y01}, \delta_{z01}, \alpha_{01}, \beta_{01}, \gamma_{01}$  – малі лінійні зміщення і кути повороту внаслідок деформації заготовки від сил різання;

$\delta_{x02}, \delta_{y02}, \delta_{z02}, \alpha_{02}, \beta_{02}, \gamma_{02}$  – малі лінійні зміщення і кути повороту внаслідок контактної деформації стиків кулачок – заготовка;

$\delta_{x03}, \delta_{y03}, \delta_{z03}, \alpha_{03}, \beta_{03}, \gamma_{03}$  – малі лінійні зміщення і кути повороту внаслідок контактної деформації стиків плунжер – корпус.

### 3.1.3 Похибка положення деталі внаслідок її деформації від сил різання

Розрахунок похибки положення деталі внаслідок її власної деформації від сил різання проводиться при умові, що жорсткість стиків затискного механізму з деталлю абсолютна. Тоді деталь можна розглядати як балку (постійного або змінного) перерізу, защемлену одним кінцем, на який діє сила іншого. Розрахункова схема для визначення зміщення системи координат  $S_0$  для деталі з постійним поперечним перерізом.

Зміщення початку координат  $S_0$  деталі відносно системи координат  $S_0^1$  можна задати вектором зміщень:

$$\bar{d} = B \cdot \bar{F}$$

де  $\bar{d} = (\delta_{x01}, \delta_{y01}, \delta_{z01}, \alpha_{01}, \beta_{01}, \gamma_{01})^T$  – вектор шостого порядку деформаційних зміщень системи координат  $S_0$ ;

$B$  – матриця податливості порядку  $6 \times 6$ ;

$\bar{F} = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)^T$  – силовий вектор шостого порядку зовнішніх навантажень що діють на деталь в процесі різання.

Елементи вектора  $\bar{F}$  будуть мати значення:  $F_x = P_y$ ;  $F_y = P_z$ ;  $F_z = P_x$ ;  $M_x = 0$ ;  $M_y = 0,5 \cdot P_x \cdot D$ ;  $M_z = 0,5 \cdot P_z \cdot D$ ; де  $P_x, P_y, P_z$  - складові сили різання,  $D$  – діаметр обробки деталі.

Матриця податливостей має вигляд:

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} & b_{36} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} & b_{46} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} & b_{56} \\ b_{61} & b_{62} & b_{63} & b_{64} & b_{65} & b_{66} \end{vmatrix}$$

де  $b_{ij}$  – зміщення в напрямку  $i$ -ї осі від дії одиничного узагальненого навантаження  $F_j$ .

Розраховані значення елементів матриці податливості  $B$ :

$$b_{11} = -\frac{z^3}{3EI_y} - \text{зміщення в напрямку осі } X_0^1 \text{ системи координат } S_0 \text{ від}$$

одиничної сили  $F_x$ ;

$$b_{22} = -\frac{z^3}{3EI_x} - \text{зміщення в напрямку осі } Y_0^1 \text{ системи координат } S_0 \text{ від}$$

одиничної сили  $F_y$ ;

$$b_{33} = -\frac{z}{AE} - \text{зміщення в напрямку осі } Z_0^1 \text{ системи координат } S_0 \text{ від}$$

одиничної сили  $F_z$ ;

$b_{44} = 0$  – поворот системи координат  $S_0$  відносно осі  $X_0^1$  від одиничного моменту  $M_x$ ;

$$b_{55} = \frac{z}{EI_y} - \text{поворот системи координат } S_0 \text{ відносно осі } Y_0^1 \text{ від одиничного}$$

моменту  $M_y$ ;

$$b_{66} = \frac{z}{EI_p} - \text{поворот системи координат } S_0 \text{ відносно осі } Z_0^1 \text{ від одиничного}$$

моменту  $M_z$ ;

$$b_{15} = \frac{z^2}{2EI_y} - \text{зміщення системи координат } S_0 \text{ відносно осі } X_0^1 \text{ від}$$

одиничного моменту  $M_y$ ;

$$b_{51} = -\frac{z^2}{2EI_y} - \text{поворот системи координат } S_0 \text{ відносно осі } Y_0^1 \text{ від одиничної}$$

сили  $F_x$ ;

$b_{42} = -\frac{z^2}{2EI_x}$  – поворот системи координат  $S_0$  відносно осі  $X_0^1$  від  
 одиничної сили  $F_y$ .

Решта елементів матриці податливості  $B$  згідно розрахункової схеми рівні нулю.

Тоді матриця податливості буде мати вигляд:

$$B = \begin{vmatrix} -\frac{z^3}{3EI_y} & 0 & 0 & 0 & -\frac{z^2}{2EI_y} & 0 \\ 0 & -\frac{z^3}{3EI_x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{z}{AE} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{z^2}{2EI_x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{z^2}{2EI_y} & 0 & 0 & 0 & \frac{z}{EI_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{z}{EI_p} \end{vmatrix}$$

В результаті вектор зміщень згідно початку координат  $S_0$  відносно  $S_0^1$  визначиться з рівності:

$$\begin{vmatrix} \delta_{x01} \\ \delta_{y01} \\ \delta_{z01} \\ \alpha_{01} \\ \beta_{01} \\ \gamma_{01} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{z^3}{3EI_y} & 0 & 0 & 0 & -\frac{z^2}{2EI_y} & 0 \\ 0 & -\frac{z^3}{3EI_x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{z}{AE} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{z^2}{2EI_x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{z^2}{2EI_y} & 0 & 0 & 0 & \frac{z}{EI_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{z}{EI_p} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} P_y \\ P_z \\ P_x \\ 0 \\ P_x \cdot 0,5D \\ P_z \cdot 0,5D \end{vmatrix}$$

Елементи вектора деформаційних зміщень системи координат будуть:



$$\delta_{x01} = -\frac{z^3}{3EI_y} P_y + \frac{z^2}{2EI_y} P_x \cdot 0,5D;$$

$$\delta_{y01} = -\frac{z^3}{3EI_x} P_z;$$

$$\delta_{z01} = -\frac{z}{AE} P_x;$$

$$\alpha_{01} = -\frac{z^2}{2EI_x} P_z;$$

$$\beta_{01} = -\frac{z^2}{2EI_y} P_y + \frac{z}{EI_y} P_x \cdot 0,5D;$$

$$\gamma_{01} = \frac{z}{EI_p} P_z \cdot 0,5D.$$

### 3.2. Оптимізація шпиндельного вузла

Розрахунки шпиндельного вузла проведено в програмному комплексі «SPIN» (рис. 3.1). Вихідними даними для розрахунків є:

- максимальне осьове навантаження, яке дорівнює максимального осьової складової сили різання й визначається по режимах різання. У нашому випадку  $P_x = 300$  Н;

- максимальне радіальне навантаження - це максимальна радіальна складова сили різання, обумовлена також по режимах різання:  $P_y = 100$  Н;

- максимальне навантаження  $P_z = 334$  Н;

- максимальна частоти обертання шпинделя  $n = 3000$   $\text{min}^{-1}$ ;

- технічні характеристики підшипників;

- геометричні параметри шпинделя.

1) Параметри для редагування шпиндельного вузла:

Ел №1 - Стержень:

Довжина (мм)=8.000

Внутрішній діаметр (мм)=5.000

Зовнішній діаметр (мм)=7.000

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Ел №2 - Стержень:

Довжина (мм)=6.000

Внутрішній діаметр (мм)=5.000

Зовнішній діаметр (мм)=8.200

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел №3 - Стержень:

Довжина (мм)=3.200

Внутрішній діаметр (мм)=4.259

Зовнішній діаметр (мм)=9.400

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел №4 - Радіально-упорний підшипник:

Число кульок в одному ряді=1.500

Номінальний кут контакту (град.)=1.500

Діаметр зовнішнього кільця (мм)=1.100

Діаметр кульки (мм)=6.000

Діаметр внутрішнього кільця (мм)=7.000

Статична несуча здатність (Н)=8.570

Динамічна несуча здатність (Н)=1.530

Ширина (мм)=1.000

Натяг (Н)=1.000

Ел. №5 - Стержень:

Довжина (мм)=1.800

Зовнішній діаметр (мм)=7.000

Внутрішній діаметр (мм)=2.260

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Модуль пружності для шахти=2.098

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел. №6 - Радіально-упорний підшипник:

Число кульок в 1 ряді =1.500

Номінальний кут контакту (град.)=1.500

Діаметр кульки (мм)=6.000

Діаметр зовнішнього кільця (мм)=1.100

Статична несуча здатність (Н)=8.570

Діаметр внутрішнього кільця (мм)=7.000

Динамічна несуча здатність (Н)=1.530

Ширина (мм)=1.000

Натяг (Н)=1.000

Ел №7 - Стержень:

Довжина (мм)=3.325

Внутрішній діаметр (мм)=2.260

Зовнішній діаметр (мм)=7.000

Діаметр шахти (мм)=0.000

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел. №8 - Стержень:

Довжина (мм)=2.100

Внутрішній діаметр (мм)=3.060

Зовнішній діаметр (мм)=6.200

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел. №9 - Радіально-упорний підшипник:

Номінальний кут контакту (град.)=1.500

Діаметр кульки (мм)=4.500

Число кульок в 1 ряді =1.100

Діаметр зовнішнього кільця (мм)=8.000

Діаметр внутрішнього кільця (мм)=5.000

Динамічна несуча здатність (Н)=1.530

Статична несуча здатність (Н)=8.570

Натяг (Н)=1.000

Ширина (мм)=8.000

Ел. №10 - Стержень:

Довжина (мм)=2.100

Зовнішній діаметр (мм)=5.000

Внутрішній діаметр (мм)=3.859

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Діаметр шахти (мм)=0.000

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Модуль пружності для шахти=2.098

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел. №11 - Радіально-упорний підшипник:

Номінальний кут контакту (град)=1.500

Число кульок в 1 ряді =1.100

Діаметр кульки (мм)=4.500

Діаметр зовнішнього кільця (мм)=8.000

Діаметр внутрішнього кільця (мм)=5.000

Динамічна несуча здатність (Н)=1.530

Статична несуча здатність (Н)=8.570

Ширина (мм)=8.000

Натяг (Н)=1.000

Ел №12 - Стержень:

Довжина (мм)=1.800

Зовнішній діаметр (мм)=5.000

Внутрішній діаметр (мм)=3.859

Діаметр шахти (мм)=0.000

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.098

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Ел. №13 - Стержень:

Довжина (мм)=2.250

Зовнішній діаметр (мм)=4.200

Внутрішній діаметр (мм)=3.060

Діаметр шахти (мм)=0.000

Щільність (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

Модуль пружності для шахти=2.099

Модуль Юнга (н/м<sup>2</sup>)=2.100

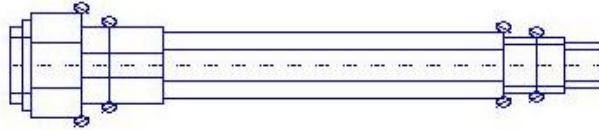
Щільність шахти (кг/м<sup>3</sup>)=7.850

2) Далі виконаємо статистичний розрахунок компоновання шпиндельного вузла (рис 3.1).



Введите нагрузки  
на переднем конце

50.000e+00 Рад. сила (Н)  
30.000e+00 Осевая сила (Н)



№ оп.	Ос. жестк. н/мм	Рад. жестк. н/мм	Уг. жестк. н*мм/рад
1	1.720E+01	1.008E+02	1.741E+10
2	1.720E+01	1.008E+02	1.741E+10
3	1.379E+01	7.261E+01	7.285E+09
4	1.379E+01	7.261E+01	7.285E+09

Рад. и ос. жест. узла (н/мм) 1.087E+02 3.100E+01  
Рад. и ос. смещения (мм) 4.596E-1 9.677E-1

Рис. 3.1 - Статистичний розрахунок шпиндельного вузла

3) Виконаємо розрахунок на довговічність (рис. 3.2):

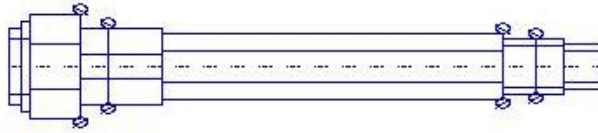
Вихідні дані: число режимів=1

Режим №1:

Тривалість (%)=10.000

Осьове навантаження (Н)=300

Частота обертів (об/хв)=3000



№ подш.	долговечность в час .	долговечность в млн.оборотов
1	3.630E+05	6.540E+04
2	1.580E+06	2.840E+05
3	5.580E+05	1.010E+05
4	1.600E+06	2.890E+05

Рис. 3.2 - Розрахунок на довговічність

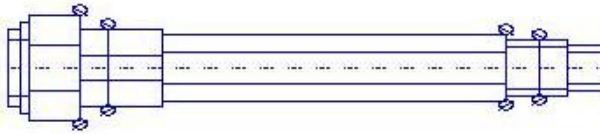
4) Теплові розрахунки підшипників (рис. 3.3):

Число підшипників:

Підшипник1 1.000

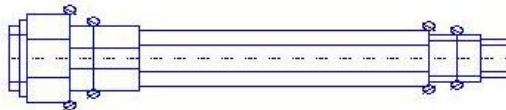
Підшипник 2 1.000

Приймаємо циркуляційний спосіб змащення підшипників



Вводите параметры

50.000e+00 Вязкость (сСт.)  
 3000.0e+00 Частота вращения (об/мин)  
 500.00e+00 Осевая нагрузка (Н.)  
 2.00000000 Число опор



№ оп.	Потери (квт.)	Температура
1	1.169E-1	3.179E+01
2	1.140E-1	3.110E+01

Рис. 3.3 – Теплові розрахунки підшипників

5) Аналіз компоновки шпиндельного узла (рис. 3.4):



Рис. 3.4 – Аналіз компоновки шпиндельного узла

б) Амплітудно-частотна характеристика шпинделя (рис. 3.5):

Перевірка критичних частот (Гц):

1.20      1.32      2.98      7.60      1.86

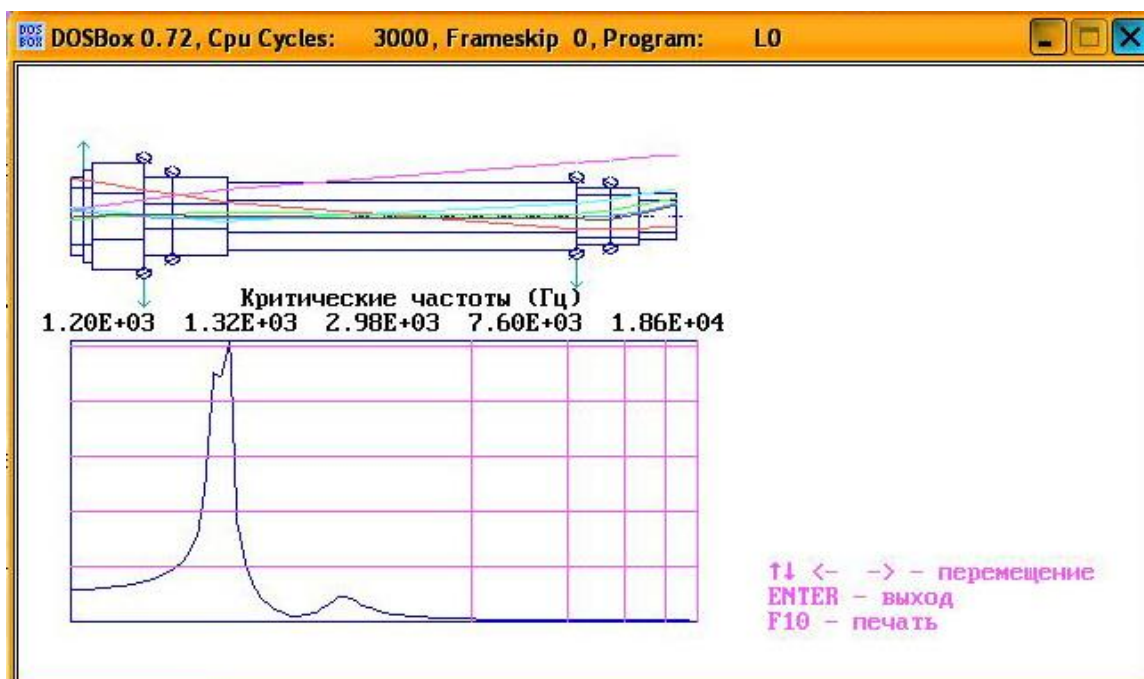


Рис. 3.5 - Амплітудно-частотна характеристика шпинделя



7) Лінія згину (рис. 3.6):

Розподіл навантаження:

Момент (Н·м)=30.000

Сила (Н)=30.000

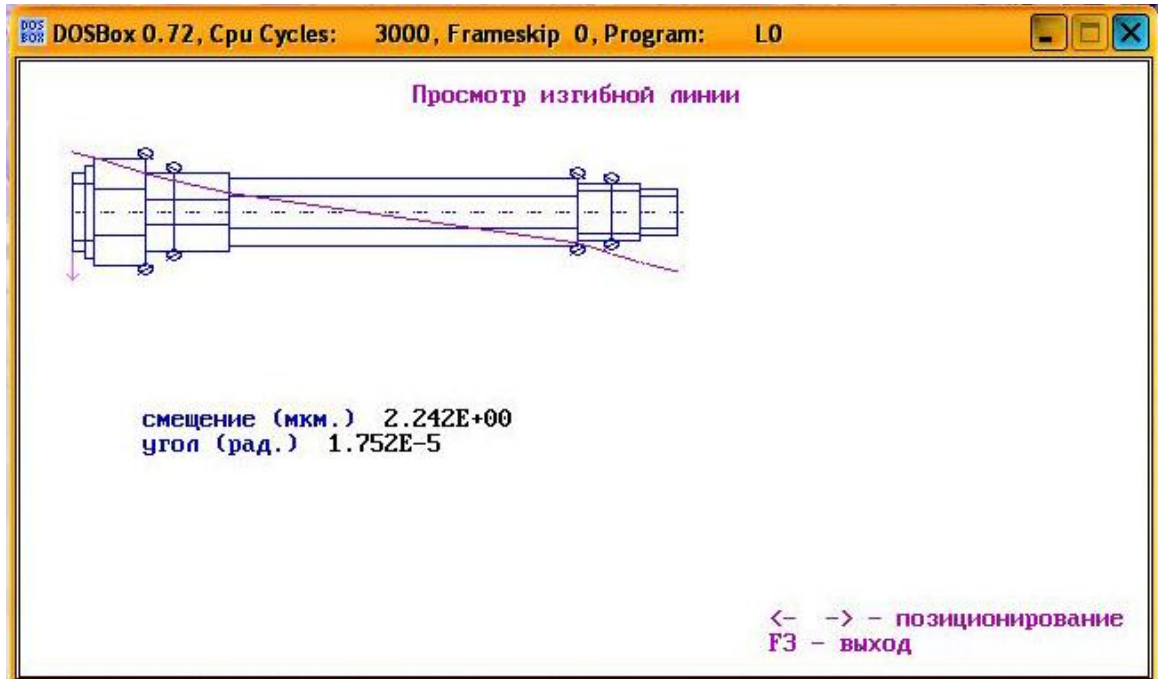


Рис. 3.6 – Лінія згину

### 3.3 Оптимізація шпиндельного вузла в програмному комплексі «COSMOS WORKS»

1) Вибір матеріалу:

Для проведення необхідних розрахунків потрібно визначити матеріал деталі, для цього вибираємо закладку "COSMOS WORKS", там вибираємо "матеріал" і потім вибираємо "застосувати до всіх". У вікні, що з'явилося, вибираємо потрібний матеріал.

Якщо необхідного матеріалу немає в списку, то матеріал можна задати вручну, нажавши на кнопку "змінити", далі ввівши хімічні й фізичні властивості матеріалу, після чого так само натискаємо "ОК".

2) Завдання обмежень:

У цьому пункті потрібно накласти обмеження на об'єкт, що розраховується, тобто визначити ті контактні поверхні, де шпindel стикається з підшипниками.

Для цього вибираємо закладку "COSMOS WORKS", далі пункт "Навантаження/Обмеження", а там вибираємо там пункт "Обмеження". Ліворуч з'являється меню, що пропонує задати поверхні обмеження. Обрані грані міняють свій колір на зелений, що дозволяє простіше орієнтуватися при їхньому виборі.

### 3) Задні навантаження:

У цьому пункті потрібно до випробуваного шпинделя прикласти навантаження, під дією якої, він і буде розрахований.

Для цього вибираємо закладку "COSMOS WORKS", далі пункт "Навантаження/Обмеження", а там вибираємо "Сила".

Ліворуч з'явиться меню, у якому потрібно визначити тип навантаження, що задається. Для прикладу "Прикласти нормальну силу".

Далі вибрати крапку додатка сили. Для цього мишкою підводимо курсор до місця, на деталі (це може бути як ціла грань, так і крайка деталі) і натискаємо на це місце. У місці додатка сили з'являться стрілки фіолетового кольору, що відображають місце й напрямок прикладеної сили. Так само в меню ліворуч треба задати величину прикладеної сили, наприклад 2000Н.

### 4) Розрахунки

У цьому пункті відбувається розрахунки деталі методом кінцевих елементів. На початку розрахунків виконується побудова сітки на твердому тілі, а потім проводиться сам розрахунок.

Після виконання розрахунків ліворуч у вікні "COSMOS Works manager" з'являються результати у вигляді епюр переміщень, зусилля стиску, напружень, деформації й перевірки проектування, отже, розрахунки виконаний успішно.

#### 1) Результати:

Напруження (рис. 3.7):

Максимальне: 194229 Н/м<sup>2</sup> (354,438 мм, 21,6506 мм, -12,5 мм).

Мінімальне: 176,021 Н/м<sup>2</sup> (213,421 мм, 9,83465 мм, 11,7205 мм).

Имя модели: va1\_01  
Имя упражнения: COSMOSXpressStudy  
Тип эпюра: Статический узловое напряжение Эпюра1  
Шкала деформации: 759135

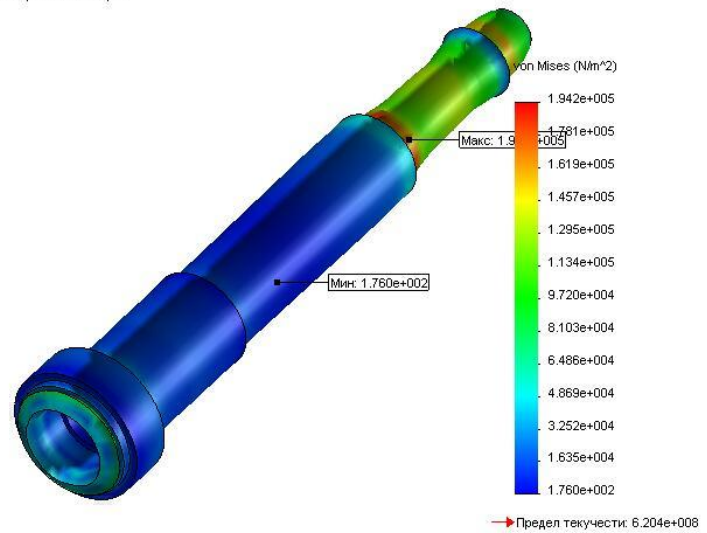


Рис. 3.7 - Эпюра 1 - напряжения

Перемещения (рис. 3.8):

Максимальные: 6,0262м (454 мм, 0 мм, 21 мм).

Минимальные: 0м (249,5 мм, -21,6506 мм, -12,5 мм).

Имя модели: va1\_01  
Имя упражнения: COSMOSXpressStudy  
Тип эпюра: Статическое перемещение Эпюра2  
Шкала деформации: 759135

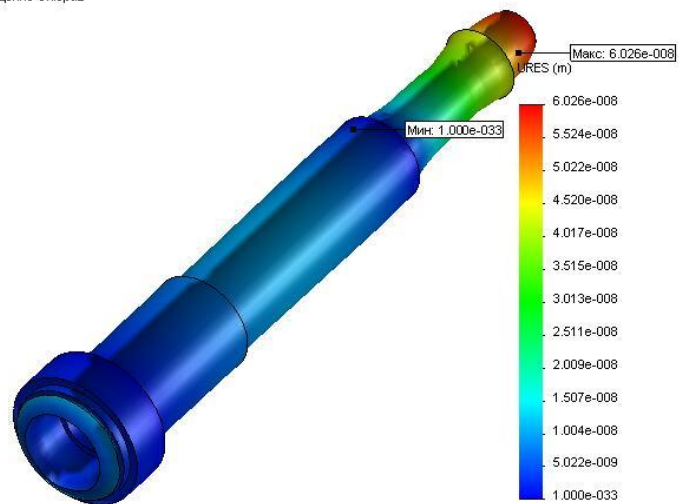


Рис. 3.8 - Эпюра 2 – перемещения

Имя модели: val\_01  
Имя упражнения: COSMOSXpressStudy  
Тип эпюры: Деформированная форма Эпюра3  
Шкала деформации: 759135



Рис. 3.9 - Эпюра 3 – деформация

Имя модели: val\_01  
Имя упражнения: COSMOSXpressStudy  
Тип эпюры: Проверка проектирования Эпюра4  
Критерий: Максимальное напряжение von Mises  
Красный < Коэффициент запаса прочности = 1 < Синий



Рис. 3.10 - Эпюра 4 - проверка проектирования

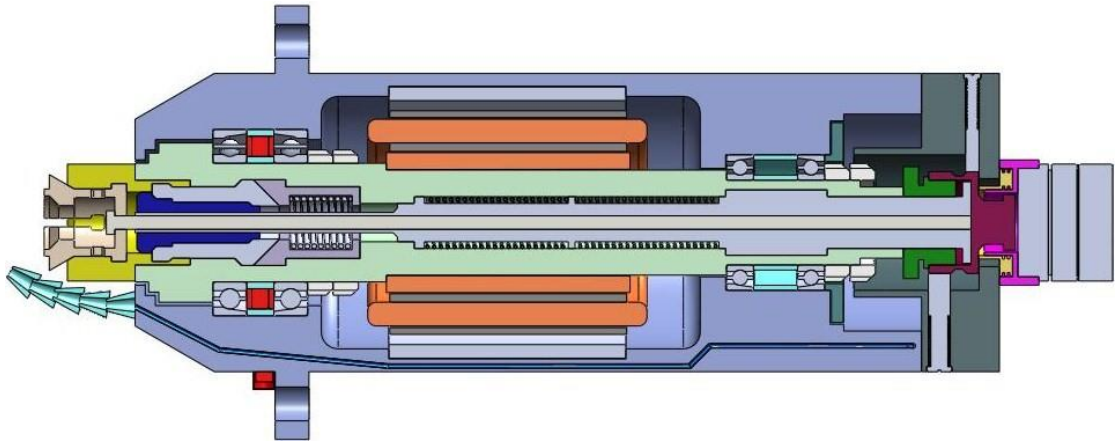


Рис. 3.11 – Шпиндельний вузол досліджуваного верстату після модернізації

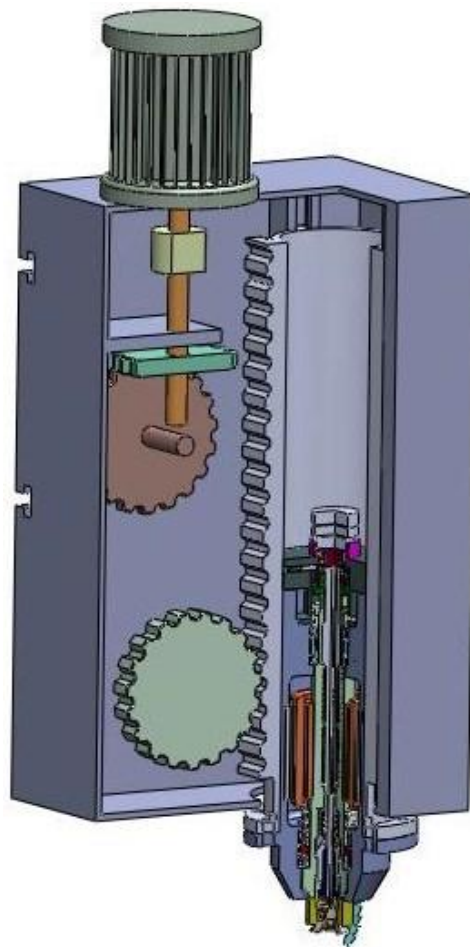


Рис. 3.12 – Шпиндельна бабка досліджуваного верстату

### 3.4 Висновки по розділу

Після проведених розрахунків ми отримали результати модельованого шпиндельного вузла із покращеними характеристиками жорсткості і вібростійкості, що підтвердили правильність прийнятих конструктивних і технологічних рішень.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Охорона праці

#### 4.1.1. Розрахунок заземлення для установки

Для захисту від небезпеки при переході напруги 127 В на металеві конструктивні частини обладнання при нормальних умовах, які не знаходяться під напругою, влаштовується захисне заземлення. Опір розтікання струму захисного заземлення повинен бути не більшим, ніж 4 Ом. З цієї умови визначається число труб захисного заземлюючого пристрою.

Приймаємо: напругу в сітці 380 В; діаметр труби  $d = 5$  см; довжина заземлювача  $l = 3$  м.

Опір одиночного трубчастого заземлення, вертикально встановленого в землю, визначаємо за формулою [3, с. 94]:

$$r_{mp} = \frac{0,366\rho}{e} \cdot \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

де:

$\rho$  - питомий опір ґрунту,  $\rho = 0,4 \cdot 10^4$  Ом см;

$l$  - довжина заземлювача,  $l = 250$  см;

$d$  - діаметр труби,  $d = 6$  см;

$t$  - глибина закладання труби від поверхні ґрунту до середини труби;

$$t = h + 0,5 \cdot l = 0,7 + \frac{250}{2} = 195 \text{ см.}$$

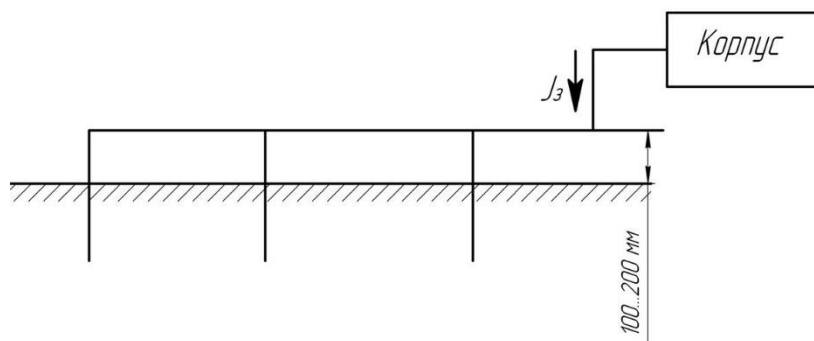


Рисунок 4.1. Схема заземлення

При заданих параметрах опір труб частого заземлення визначаємо за формулою:

$$c_{mp} = 0,00308 \cdot \rho = 0,00308 \cdot 0,4 \cdot 10^4 = 12,4 \text{ Ом}$$

Кількість заземлювачів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{c_{mp}}{c_3 \cdot \eta_{mp}}$$

де:  $c_{тр}$  – опір одиночного заземлювача за нормами;

$c_3$  – опір заземлювального пристрою за нормами;

$\eta_{\delta\delta}$  - коефіцієнт використання трубчастих заземлювачів,

$$n = \frac{12,4}{4 \cdot 0,73} = 4,4, \text{ приймаємо } n = 5.$$

Визначаємо довжину з'єднання полоси:

$$l = 1.05 \cdot a(n-1) = 1.05 \cdot 400 \cdot (5-1) = 1680 \text{ см.}$$

Тут  $a$  – віддаль між заземлювачами, см.

Опір з'єднаних полос визначаємо за формулою:

$$c_{mp} = \frac{\rho}{2\pi l_1} \cdot \ln \frac{2l_1^2}{h \cdot b}$$

де:  $b$  – ширина полоси, см.

$$c_{mp} = \frac{0,4 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 1680} \cdot \ln \frac{2 \cdot 1680^2}{70 \cdot 6} = 2,8 \text{ Ом}$$

Опір всього заземлювача, що складається із труб і з'єднувальних елементів:

$$c_{\epsilon} = \frac{c_{mp} \cdot c_n}{c_{mp} \cdot \eta_n + c_n \cdot \eta_{mp} \cdot n}$$

де:  $\eta_{\delta\delta}$  - коефіцієнт використання труб контура,  $\eta_{\delta\delta} = 0,73$ ;

$\eta_n$  - коефіцієнт використання з'єднувальних полос,  $\eta_n = 0,48$ .

Тоді

$$c_{\epsilon} = \frac{1438 \cdot 1,24}{12,38 \cdot 0,48 + 2,84 \cdot 0,73 \cdot 5} = 1,1 \text{ Ом}$$

Визначаємо відстань від заземлювального пристрою до стіни корпусу будівлі:

$$L = (0.6 \div 0.7) \cdot c_B = 0,7 \cdot 1,1 = 7,7 \text{ М}$$

$\chi_H = 4 > \chi_B = 1,1$ , що відповідає ПУЕ.

#### 4.1.2. Розрахунок місцевого освітлення для проектного автомата.

Штучне освітлення є одним з найважливішим елементом, що беруть участь у створенні необхідного для людини світлового середовища приміщення. Близько 90 % всієї інформації, яка отримується людиною, поступає через зоровий канал. Загальний тонус працівника, його працездатність, активність, увага, втомлюваність і настрої в значній мірі залежить від освітлення.

На робочому місці важливо створити освітлення, яке забезпечувало б добру видимість об'єктів і малу втомлюваність тих, хто працює. Це дозволить підтримувати на належному рівні загальну і зорову працездатність працівника, без чого неможливе підвищення продуктивності праці і якості продукції, що випускається.

Великого значення в цих умовах набуває місцеве освітлення, застосування якого дозволяє значно покращити видимість за рахунок суттєвого підвищення освітленості на робочому місці. Застосування місцевого освітлення дозволяє підвищити продуктивність праці, а також значно зменшити брак продукції, що випускається.

Перевагою місцевого освітлення є можливість покращення умов роботи без збільшення витрат електроенергії і підвищення затрат на освітлення.

Для визначення місцевого освітлення застосовуємо точковий метод.



Рисунок 4.2. Схема розрахунку освітленості точковим методом

За основу методу взято рівняння:

$$E = \frac{I_{\ell} \cdot \cos \ell}{r^2}$$



Для зорової роботи за СН и П 2 – 4 – 79 табл. 1 середньої точності 5 розряду б<sub>1</sub> нормована освітленість загального освітлення 200 лк, комбінованого освітлення – 500 лк.

Тоді  $E_M$  визначаємо за формулою:

$$E_M = E - E_{\text{заг}}$$

$$E_M = 500 - 200 = 300 \text{ лк}$$

Тут :

$E_M$  – освітленість від світильників місцевого освітлення;

$E$  – освітлення від світильників комбінованого освітлення;

$E_{\text{заг}}$  – освітлення від світильників загального освітлення.

$$F_{\text{л}} = \frac{K \cdot E}{\mu \cdot \sum \ell} \cdot 1000$$

де:

$F_{\text{л}}$  – світловий потік лампи;

$E$  – нормована величина освітленості;

$\mu$  - коефіцієнт, що орієнтовно враховує вплив віддаленість світильників;

$k$  – коефіцієнт запасу;

$\ell$  - величина умовної освітленості.

За табл.. 14 [ 3,с.51] вибираємо лампу із світловим потоком 1650 лк, близьким до розрахункового.

Допустимі відхилення потоку вибраної лампи від розрахункового значення складають 10 ÷ 20% .

За табл..14 [ 3] вибираємо лампу типу М036 – 100.

Потужність – 100 Вт;

Напруга – 36 В;

Світловий потік 1650 лк.

Світильник серії НКС01 ( за ТУ 16-535,589 – 76 )встановлений на гнучкій стійці н верстаті, захисний кут світильника  $30^0$  .

Конструкція світильника передбачає стійкість його до вібрацій і ударних навантажень, група умов експлуатації – не менше М8 за ГОСТ 17516 – 72,

ступінь жорсткості за механічними факторами – не менше 2 за ГОСТ 16962 – 71. Світильник встановлений на автоматі.

#### **4.1.3. Заходи, що забезпечують створення оптимальних метеорологічних умов на робочому місці.**

Здорові і безпечні умови праці, високий ступінь працездатності можуть бути забезпечені лише при одночасному проведенні цілої системи оздоровчих заходів, що стосується технологічного процесу і виробничого обладнання, організації робочого місця, експлуатації вентиляції, організації побутового обслуговування працюючих, утримання виробничих і побутових приміщень, організації лікувально – профілактичної роботи і засобів індивідуального захисту і особистої гігієни.

Належний стан повітряного середовища, що відповідає вимогам норм, може бути досягнений за допомогою проведення санітарно – технічних заходів. Досить суттєва роль тут належить ефективності вентиляції разом з регулярною пневматичною і вологою профілактикою і знепилюванням виробничих приміщень.

Важливе значення має правильне утримання засобів, що забезпечують виробничого обладнання (вентиляційні кожухи, які вкривають обладнання, штори з гумових стрічок, які перекривають місце входу і виходу відливки із дробометальних камер тощо).

З метою забезпечення оптимального мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень санітарними нормами СН 245 – 71 проектування виробничих підприємств регламентується температура, відносна вологість, швидкість руху повітря в робочій зоні, а також температура і швидкість руху повітря на постійних робочих місцях, що характеризується дією променистого тепла на працюючих  $1260 \text{ кДж/м}^2 \text{ г}$  і більше ( в залежності від пори року, категорії важкості робіт і величини теплового опромінення ).

Вказаними нормами передбачається, що температура нагрітих поверхонь обладнання і огорожень на робочих місцях не повинна перевищувати  $45^{\circ}\text{C}$ , а для обладнання, всередині якого температура дорівнює або нижча  $100^{\circ}\text{C}$ , температура на поверхні не повинна перевищувати  $33^{\circ}\text{C}$ .

Метеорологічні умови в механічних цехах, де немає особливих джерел тепловиділення, повинні відповідати СН245 – 71. Тепло, що виділяється обладнанням, невелике і розподіляється рівномірно по приміщенню механічного цеху і не може бути джерелом його нагрівання. Лише в теплий період року в цех при багато провітрюваному їх плануванні може нагріватися за рахунок сонячної радіації через значні засклені площі ліхтарів, особливо при невеликій висоті приміщень (5 – 6 м). В цих випадках температура в механічних цехах може сягати  $30 \div 30^{\circ}\tilde{N}$ .

В країні застосовується єдина система стандартизації ЗОР. Не допускається застосування ЗОР, в складі яких міститься більше, ніж 20% нафтових кислот; 0,2% нітриту натрію; 0,3 % кальцинованої соди; 0,25 % вільного лугу, а також ЗОР, що мають шкідливий токсикологічний вплив.

В повітрі цеху не повинно бути шкідливих і небезпечних газів, пилу. Джерела утворення шкідливих виділень в повітря повинні бути щільно, герметично закриті, виключаючи шкідливі виділення. В цеху працює витяжна вентиляція.

Нагрівання повітря в цеху в зимовий час виконується калориферами. В зимовий час біля воріт цеху працює повітряно – тепла завіса.

## **5 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **5.1 Класифікація та ідентифікація небезпеки в БЖД**

Небезпека - це негативна властивість матерії, яка проявляється у здатності її завдавати шкоди певним елементам Всесвіту, потенційне джерело шкоди. Якщо мова йде про небезпеку для людини, то це явища, процеси, об'єкти, властивості, здатні за певних умов завдавати шкоди здоров'ю чи життю людини.

При ідентифікації небезпек необхідно виходити з принципу “все впливає на все”, тобто джерелом небезпеки може бути все живе і неживе, а підлягати небезпеці також може все живе і неживе.

Джерелами (носіями) небезпек є:

природні процеси та явища;

елементи техногенного середовища;

людські дії, що криють у собі загрозу небезпеки.

Небезпеки існують у просторі і часі і реалізуються у вигляді потоків енергії, речовини та інформації. Небезпеки не діють вибірково, а виникнувши, вони впливають на все матеріальне довкілля. Причинами, через які окремі об'єкти не страждають від певних небезпек або ж одні страждають більше, а інші менше, є властивості самих об'єктів.

Перелік можливих небезпек налічує понад 150 найменувань і при цьому не вважається за повну. З метою аналізу, узагальнення та розробки заходів щодо запобігання негативних наслідків існує необхідність класифікації небезпек, джерел, що породжують їх, та тих чинників (факторів), які безпосередньо призводять до негативного впливу на людину.

Залежно від конкретних потреб існують різні системи класифікації - за джерелом походження, локалізацією, наслідками, збитками, сферою прояву, структурою, характером впливу на людину тощо. Найбільш вдалою класифікацією небезпек життєдіяльності людства за джерелами походження, на нашу думку, є така, згідно з якою всі небезпеки поділяються на чотири групи: природні, техногенні, соціально-політичні та комбіновані. Перші три вказують

на те, що небезпеки за своїм походження належать до трьох елементів життєвого середовища, яке оточує людину - природного, техногенного (матеріально-культурного) та соціального. До четвертої групи належать природно-техногенні, природно-соціальні та соціально-техногенні небезпеки, джерелами яких є комбінація різних елементів життєвого середовища.

Така класифікація майже збігається з класифікацією надзвичайних ситуацій, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України 15.07.1998 р. №1099, згідно з якою надзвичайні ситуації (НС) на території України поділяються на:

НС техногенного;

НС природного;

НС соціально-політичного;

НС воєнного характеру.

Крім того, з такою класифікацією добре узгоджується класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, встановлена ГОСТ 12.0.003-74.

## **5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій**

Концепцію захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій було схвалено Указом Президента України від 26 березня 1999 року № 284/99.

Концепція визначає загальну мету і завдання у сфері захисту громадян, які перебувають на території України, земельного, водного, повітряного простору в межах держави, об'єктів виробничого і соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій.

I Загальні положення та основні принципи захисту населення і територій

Рівень національної безпеки не може бути достатнім, якщо в загальнодержавному масштабі не буде вирішене завдання захисту населення, об'єктів економіки, національного надбання від надзвичайних ситуацій техногенного, природного або іншого характеру.

Загрози життєво важливим інтересам громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру та воєнних конфліктів.

## II Основні напрями, мета та завдання захисту населення і територій

Основними завданнями захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій є:

- розроблення і реалізація нормативно-правових актів, додержання державних технічних норм та стандартів з питань забезпечення захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- забезпечення готовності органів управління, сил і засобів до дій, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям та реагування на них;
- розроблення та забезпечення заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- збирання та опрацювання інформації про надзвичайні ситуації;
- прогнозування та оцінка наслідків надзвичайних ситуацій;
- оповіщення населення про загрозу, виникнення надзвичайної ситуації;
- організація захисту населення (персоналу) та надання безкоштовної медичної допомоги;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту населення;
- розроблення та забезпечення цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого і соціального захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- міжнародне співробітництво у галузі захисту населення від надзвичайних ситуацій.

## III Основні заходи захисту населення і територій

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитися спеціальний комплекс заходів. Він має такі складові: оповіщення та інформування; спостереження і контроль; укриття у захисних спорудах; евакуаційні заходи; інженерний захист; медичний захист; біологічний захист; радіаційний і хімічний захист.

### **5.3 Шкідливі виділення в цехах**

Ряд робіт у машинобудуванні за умовами технологічного процесу супроводжується забрудненням повітря у виробничих приміщеннях в результаті виділення газів, парів та пилу і ненормальним метеорологічним режимом, який створює несприятливі умови праці.

Виробничі гази та пари, потрапляючи в організм людини, можуть призвести в певних умовах до гострого або хронічного отруєння. При цьому концентрація отруйних парів та газів і тривалість впливу їх на організм мають першорядне значення. Крім того, в певних концентраціях гази й пари в суміші з повітрям вибухонебезпечні.

Пил шкідливий для людського організму, а також нетерпимий з чисто технологічних причин (наприклад, при лакуванні виробів). Проникаючи в тертьові частини механізмів, пил прискорює їх спрацьовування і, потрапляючи на обмотку електродвигунів, може викликати коротке замикання. На особливо точних операціях він може бути причиною браку продукції. Пил деяких речовин вибухо- та пожежонебезпечний.

Для машинобудівних підприємств характерне забруднення повітря виробничих приміщень такими отруйними газами й парами, як окис вуглецю, сірководень, аміак, хлор, сірчистий газ, окисли азоту, пари азотної кислоти, пари бензину та ін.

Найнебезпечніший шлях проникнення отруйних речовин до організму людини - легені, бо загальна поверхня самих тільки легеневих каналів становить близько 90 м<sup>2</sup>.

Крізь шкіру отруйні речовини проникають, якщо на її поверхні є механічні пошкодження або при шкіряних хворобах. Коли на шкіру потрапляють розчинники жирів (бензол, бензин, гас, спирт), жировий шар шкірного покриву розчиняється і крізь пори отруйна речовина проникає у венозні капіляри; током крові отрута розноситься по всьому організму.

Отрути - це хімічні речовини, які, потрапивши в організм людини, вступають у хімічну або фізико-хімічну взаємодію з його тканинами і за певних умов порушують їх нормальну життєдіяльність. Хворобливий стан організму, що настає внаслідок цих порушень, називається отруєнням.

Промисловими називаються отрути, з якими доводиться працювати в процесі виробництва, і які можуть шкідливо впливати на організм працюючих. Отруєння, викликані промисловими отрутами у виробничих умовах, називаються промисловими отруєннями.

Отруйність речовин залежить від фізичного стану отрути (газоподібний, пиловидний, тверді шматки чи розчин). Важкорозчинні речовини, які за природою своєю отруйні, можуть не справляти шкідливої дії, якщо вони не розчиняються у шлунковому соку, у крові або в клітинній протоплазмі.

Отруєння на машинобудівних підприємствах трапляються при роботах у ливарних, термічних, гальванічних, ковальських цехах, при роботі з кислотами, лугами, при фарбуванні виробів.

Сірчистий газ та аміак спричиняють подразнення слизової оболонки верхніх дихальних шляхів. Якщо концентрації цих газів значні, а їх дія на людину тривала, виникають гострі отруєння всього організму, набряк легенів і розширення серця. Крім того, аміак викликає тяжкі ураження очей. Вміст 16-27% аміаку у повітрі призводить до вибуху.

Внаслідок вдихання парів хрому та його сполук, крім різкого подразнення верхніх дихальних шляхів, з'являються ще й виразки на слизових оболонках цих шляхів, особливо носової порожнини. Можливий прорив носової перетинки. Розчини хромових солей на незахищеній шкірі призводять до виразок, що погано загоюються.



Пари соляної, азотної та сірчаної кислот також шкідливі для дихальних шляхів та легенів людини.

Дуже небезпечний етильований бензин - суміш звичайного бензину і тетраетилової рідини; остання додається до бензину для підвищення октанового числа і є металоорганічною сполукою. Пари тетраетилової рідини у значній концентрації спричинюють слабкість, головний біль, металічний присмак у роті, поганий сон, втрату апетиту, нудоту, зменшення у вазі, зниження температури; за особливо несприятливих умов уражується центральна нервова система.

Окреме місце серед шкідливих парів і газів займає вуглекислий газ - один із найпоширеніших промислових газів, який спричинює понад половину всіх нещасних випадків, пов'язаних з виробничими отруєннями в машинобудуванні. Цей газ - постійний супутник гарячих процесів обробки металів.

Окис вуглецю утворюється, якщо приплив кисню повітря до місця горіння недостатній. У повітря виробничих приміщень окис вуглецю потрапляє внаслідок виходу відхідних газів з нагрівальних, плавильних і сушильних печей під час заливальних та вибивних операцій у ливарних цехах, від гарячого металу в ковельських і термічних цехах та ін. Цей газ легко поширюється в приміщенні, не має кольору, смаку і запаху. Присутність газу у виробничих приміщеннях визначається тільки спеціальним приладом - газоаналізатором. В організм людини вуглекислий газ проникає крізь легені і сполучається з гемоглобіном крові. Гемоглобін, зв'язаний окисом вуглецю, не може поглинати кисень повітря, внаслідок чого настає кисневе голодування, яке іноді призводить до отруєння всього організму. Може статись ядуха. Легкі отруєння цим газом викликають головний біль, нудоту, загальну слабкість.

Вже при вмісті 0,06 мг у 1 л повітря окис вуглецю справляє слабо виражений токсичний вплив. Тяжкі ознаки отруєння з'являються після вдихання протягом деякого часу повітря з вмістом 0,1 - 0,2% газу(1—2 мг/л).

Щоб зробити висновки про ступінь шкідливості окремих отруйних газів, парів і токсичного пилу, а також, щоб застосувати промислову вентиляцію та інші методи й засоби боротьби із забрудненням повітря, треба точно знати

гранично допустимі концентрації їх у повітрі, які не впливають на самопочуття людини навіть при тривалій дії.

#### **5.4 Захист при роботі з абразивними та іншими інструментами**

До захисних пристроїв при роботі на верстатах належать: захисні кожухи та огорожі, підручніки, пристрої для відсмоктування пилю, захисту очей.

Захисні кожухи і огорожі влаштовують для захисту від вилітання кусків абразивів і осколків інструменту у разі розриву різальної частини. Виготовляють кожухи із сталі, сталевого литва, ковкого чавуну і рідше — із сплавів кольорових металів. Категорично забороняється ставити кожухи з сірого чи відбіленого чавуну, які при розриві круга розлітаються на куски, збільшуючи небезпеку для працюючих.

Кожухи роблять у вигляді футляра з відкидною або знімною бічною стороною. Вони повинні мати необхідну міцність і надійно кріпитися до верстата.

Кути розкриття кожухів визначаються формою і розміром абразивного круга чи різального інструмента і оброблюваних деталей.

Всюди, де це можна за умовами праці, слід зменшувати кут розкриття кожуха і залишати незахищеною тільки робочу частину обробки деталі. Це зменшує кількість пилю в повітрі приміщення і дрібних осколків, що вилітають з кожуха при обробці деталі інструментом.

Підручніки влаштовують для підтримання виробів, які подаються до круга вручну. Роблять їх рухомими, що дає змогу змінювати їх положення в міру спрацювання круга. В конструкції підручників передбачена досить широка площадка, на якій можна надійно встановити оброблюваний виріб; при цьому верхня точка дотику виробу до круга повинна знаходитися в горизонтальній площині, що проходить крізь центр круга, або дещо вище неї (не більше як 10 мм). Змінювати положення підручника дозволяється тільки після зупинки круга. Після кожної перестановки підручніки знову міцно закріплюють.

Найбільшого ефекту обезпилення верстатів, що працюють з різними видами інструментів, можна досягти за допомогою місцевої витяжної вентиляції, яка захоплює і видаляє пил безпосередньо від місця утворення. Індивідуальний обезпилюючий агрегат має бути компактним і забезпечувати надійне обезпилення верстатів при невеликій витраті потужності.

Виділення абразивного пилу в процесі сухого шліфування і фрезерування – явище неминуче, обумовлене структурою інструменту. Абразивний пил, перемішаний з найдрібнішими частинками металу, небезпечний для очей і шкідливо діє на органи дихання, а негативні явища від обробки іншими інструментами в деякій мірі схожі. Крім того, потрапляючи в тертьові частини верстатів, він сприяє їх швидкому спрацюванню. Тому на всіх абразивних інструментах, заточувальних, обдирних, ріжучих та шліфувальних верстатах слід встановлювати пристрої для відсмоктування пилу.

Існує багато конструкцій пиловідсмоктувальних пристроїв для видалення запиленого повітря безпосередньо з зони різання, зокрема конструкція МІОП, що тепер виготовляється серійно.

З великою небезпекою пов'язана обробка електрону (сплав магнію) шліфуванням, бо при цьому може вибухнути електронний пил. Для вловлювання цього пилу застосовують масляні фільтри або бризкальні установки, в яких засмоктуваний пил прибивається нейтральним розчином. На таких роботах електродвигун, електропроводка і освітлювальна арматура повинні бути тільки вибухобезпечними.

Для захисту очей від частинок абразивно-металевого пилу, що відлітають під час шліфування і заточування сухим способом, встановлюють захисні екрани з небиткого скла. В інших випадках робітникам видають захисні окуляри.

На свердлильних, заточувальних, а також на обдирних і зачисних верстатах застосовують захисні екрани, зблоковані з пусковим обладнанням.

## ВИСНОВКИ:

1. Проведено дослідження напружено-деформованого стану шпинделя радіально-свердлильного верстату.
2. Проведено дослідження характеристик жорсткості виконавчих органів верстату.
3. Розроблено модернізований варіант конструкції радіально-свердлильного верстату із ЧПК для обробки деталей на базі радіально-свердлильного верстата моделі 2М55.
4. Розроблена нова конструкція шпиндельної бабки і шпиндельного вузла вцілому.
5. Встановлено, що кінематичні та точнісні параметри проєктованого верстата після модернізації конструкції найбільш повно відповідають виробничим потребам.
6. Підтверджено, що впровадження даного модуля дозволило знизити собівартість виготовлення деталей, за рахунок високошвидкісної обробки та зменшення вібрацій на шпинделі.
7. Здійснені оптимізаційні розрахунки шпиндельного вузла методом кінцевих елементів у програмному пакеті COSMOS Works та SPIN.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.
2. Луців І.В. Теорія технічних систем /Ю.М.Кузнецов, Ю.К.Новосьолов, І.В.Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.
3. В. В. Солоха, В. С. Ліліченко, М. В. Фролов. Зниження впливу теплових деформацій на точність обробки на токарних верстатах / В. В. Солоха, В. С. Ліліченко, М. В. Фролов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №2, 2011. – С. 69-72.
4. Луців І.В. Багатолезове адаптивне оснащення: техніко-економічні показники//Вісник ЖДТУ. - Житомир: ЖДТУ, 2001, 316, с. 52-59
5. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
6. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ/ С.А.Дубиняк, С.Г.Нагорняк, И.В.Луцив, И.Д.Дубецкий :Киев УМК ВО, 1989. – 152 с.
7. Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surfaces / Lutsiv I.V., Voloshyn V.N., Bytsa R // International journal for science, technics and innovations for the industry Mashines, Technologies, Materials. Sophia, PSTUM, 2015 . - Issue 12. - S/64-67
8. Hurey I. Qualimetric indexes determinations of adaptive type limited mechanisms for materials machining / Hurey I., Lutsiv I, Broshchak I, Sharyk M // Advances in manufacturing science and technology. - 2015. - №1. -p. 33-43
9. Кузнецов Ю. Н., Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ Ю.Н. Кузнецов, О.И. Драчев, И.В. Луцив И.В., Шевченко А.В., Волошин В.Н.. – Старый Оскол: ТНТУ, 2014. – 480 с.

10. Дубиняк С. А. Нагорняк С. Г. Дубецький І. Д. „Шпинделі МРВ”, Тернопіль, 1980.
11. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Охорона праці в машобудуванні” / 9 кл. Ткаченко І. Г., Левенець В. Б. – Тернопіль, 2001. – 31 с.
12. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.
13. Вітковський Б. В. Сучасні технології в машинобудуванні. Вібраційне свердління / Б. В. Вітковський, І. Т. Ярема // Сучасні технології в машинобудуванні – Тернопіль : ТНТУ, 2023. – № 12. – с. 114.
14. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.
15. Кобельник В. Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В. Р., Крупа В. В., Тимошенко Н. М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
16. Кобельник В. Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі / В. Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. – С. 47–56.
17. Кобельник В. Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). – С. 34–40.
18. Кобельник В. Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Процеси механічної обробки в

машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.

- 19.Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.
- 20.Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.
- 21.Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.
- 22.Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. – К. : КП, 2012. – Том 1. – С. 71–73.
- 23.Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. № 28. – С. 77–85.
- 24.Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлєв // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.
- 25.Кривий П.Д. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів / П. Д. Кривий, В. Р.

Кобельник, М.І. Кузьмін // Вісник ТНТУ : Науковий журнал. – Тернопіль : ТНТУ, 2012. – № 4 (68). – С. 114–127.

26. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, В.Р. Кобельник // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 132–133.
27. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization / Andriy Nahalyuk, Volodymyr Krupa // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 111. — No 3. — P. 67–75.
28. Кривий П.Д. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 3
29. Кривий, П. Д., Крупа, В. В. (2016). Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки", 1(2(53)). [https://doi.org/10.26642/tn-2010-2\(53\) T.1-C.45-56](https://doi.org/10.26642/tn-2010-2(53) T.1-C.45-56)
30. Кривий П. Д. Інструментальне забезпечення процесу розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №2. – С. 23-34.
31. Скляр Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Скляр Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.



- 32.Редько Р. Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р.Г. Редько, О.І. Редько, В.В. Шанайда, Р.А. Склярів // Наукові нотатки. - 2014. - Вип. 44. - С. 249-253. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2014\\_44\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_44_41).
- 33.Редько Р.Г., Склярів Р.А., Шанайда В.В. Порівняльно-правовий аналіз законодавства в області інтелектуальної власності в країнах ЄС та Україні. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». Луцьк, 2023, №75. С. 9 - 14.
- 34.Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144-149.
- 35.Формування на плоских поверхнях віброобробочуванням регулярного мікрорельєфа з підвищеним ступенем перекриття / П.Д. Кривий, Н.П. Кашуба, А.А. Сеник, П.П. Кривінський // Збірник наукових праць “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” ДДМА. – Краматорськ, 2011. - Вип. №29, – С.138-145.
- 36.Using and efficiency manufacturing of polymeric materials parts for gas transportation equipment / Ihor Lutsiv, Ihor Yarema, Volodymyr Kobelnyk, Valerij Buhovets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 105. — No 1. — P. 80–94.
- 37.Технологія обробки на верстатах з ЧПК / Б. М. Гевко, А. В. Матвійчук, А. М.Артюхов, А. І. Пік, А. В. Гагалюк, Р. І. Лотоцький. Тернопіль : Крок, 2014. 131 с.
- 38.А.Б. Гупка І.Т. Ярема В.В. Гупка. Трибологія важконавантажених пар тертя автомобілів. Методика дослідження. // Матеріали 15-го Міжнародного симпозиуму Українських інженерів-механіків у Львові. М.Львів. Національний університет «Львівська політехніка», 20-21 травня 2021

39. Calculation of the stress – strain state of blades made of polymer composite materials of starting turboexpanders in resonance zones / Yurii Nakonetchnyi, Ihor Yarema, Vitalii Batiuk // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2021. — Vol 102. — No 2. — P. 45–53.
40. Using and efficiency manufacturing of polymeric materials parts for gas transportation equipment / Ihor Lutsiv, Ihor Yarema, Volodymyr Kobelnyk, Valerij Buhovets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 105. — No 1. — P. 80–94.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)**  
**Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)**  
**Маріборський університет (Словенія)**  
**Технічний університет у Кошице (Словаччина)**  
**Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)**  
**Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)**  
**Наукове товариство ім. Т.Шевченка**

# **АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Збірник**  
**тез доповідей**

**XII Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
**6-7 грудня 2023 року**



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

A43

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – 497.

**ISBN**

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

**Голова:** Митник Микола Мирославович – к.т.н., доцент, Ректор ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

**Заступник голови:** Марущак Павло Орестович – д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

**Вчений секретар:** Довбуш Тарас Анатолійович – к.т.н., доц. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

**Члени:** Вухерер Т. – професор факультету інженерної механіки Маріборського університету (Словенія); Вінаш Я. – професор кафедри технології металів Технічного університету у Кошице (Словаччина); Прентковскіс О. – декан факультету Вільнюського технічного університету ім. Гедимінаса (Литва); Стахович Ф. – завідувач кафедри обробки матеріалів тиском Жешувського політехнічного університету ім. Лукасевича (Польща); Мену А. – д.т.н., професор Міжнародного університету цивільної авіації (Марокко); Андрейків О. – д.т.н., професор кафедри механіки Львівського національного університету ім. І. Франка, член-корр. НАН України.

### **Адреса оргкомітету:**

ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,

тел. **0506689327**, факс (0352) 255798

E-mail: [confmolstud@gmail.com](mailto:confmolstud@gmail.com)

Редагування, оформлення, верстка: Довбуш Т.А.

## **СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ**

- фізико-технічні основи розвитку нових технологій;
- нові матеріали, міцність і довговічність елементів конструкцій;
- сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні;
- сучасні технології на транспорті;
- електротехніка та енергозбереження;
- фундаментальні проблеми харчових, біо- та нанотехнологій;
- економічні та соціальні аспекти нових технологій;
- комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку.

**УДК 621.855**

**Б. В. Вітковський, канд. техн. наук. І. Т. Ярема.**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ВІБРАЦІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ**

**B. V. Vitkovskiy, Ph.D. I. T. Yarema.**

### **MODERN TECHNOLOGIES IN ENGINEERING VIBRATION DRILLING**

Свердління глибоких отворів та отворів малого діаметра є технологічно складним механічним процесом обробки матеріалів різанням, особливо під час свердління в'язких тугоплавких матеріалів таких як нержавіючі сталі, кольорові метали, кобальтові та вольфрамові сплави, через утворення неперервної (зливної) стружки. Головною проблемою цього процесу є ускладнення видалення стружки із зони різання, тому що, зазвичай, стружка не ламається та залишається в оброблюваному отворі, створюючи ефект ущільнення, що призводить до надлишкового напруження та нагрівання інструмента, і може спричинити поломку свердла. Одним із найбільш ефективних методів подрібнення неперервної стружки є застосування вібраційного свердління (віброствердління), що гарантовано забезпечує подрібнення неперервної стружки будь-якого матеріалу за будь-яких режимів різання. Широке впровадження віброствердління в матеріалобробці стримується відсутністю простих у виготовленні та експлуатації пристроїв. Тому аналіз існуючих способів і пристроїв для віброствердління є актуальною науковою та інженерною задачею.

В залежності від частоти вібрації віброствердління умовно поділяють на: низькочастотне (до 200 Гц), високочастотне (200...15000 Гц) та ультразвукове (понад 15 000 Гц). Ультразвукове віброствердління використовують для обробки глибоких отворів малого діаметра та отворів високої точності (4–5 класів) у твердих важкооброблюваних матеріалах, оскільки вібрації якісно впливають на механізм стружкоутворення, підвищуючи шорсткість і точність обробки деталі. Низькочастотне віброствердління використовують для подрібнення неперервної стружки, оскільки під час віброствердління утворюється сегментна стружка, яка відносно легко видаляється із робочої зони.

Аналіз останніх публікацій показав, що область використання вібраційного свердління за останні 20 років значно зросло. Це пов'язано із появою нових матеріалів та підвищення вимог до точності оброблення отворів. Згідно з результатами досліджень процесу віброствердління встановлено, що використання вібрацій дозволяє зменшити силу різання, необхідну для оброблення матеріалу на 60–70 % та осьове навантаження на інструмент на 25–30 %. Такі висновки зроблені в результаті аналізу проведених експериментальних досліджень, під час яких оброблялись отвори діаметром 9,5 мм, глибиною 20 мм та подачею 0,05 мм/с за частоти до 100 Гц у скляній заготовці. Зменшення сили різання під час віброствердління дозволяє збільшити довговічність та довжину свердл, що було підтверджено експериментально з використанням свердл довжиною 25 мм. Збільшення довговічності інструмента також підтверджено експериментальними дослідженнями японських вчених під час обробки тонкого листового металу, для виготовлення комп'ютерних плат, товщиною 2,5 мм свердлом, діаметр якого становив 0,7 мм.

Завдяки зменшенню осьового навантаження та крутного моменту на свердло, можлива зміна режиму оброблення шляхом збільшення швидкості свердління. За рахунок більшої подачі без поломки інструмента. Одним свердлом можна виготовити

більшу кількість отворів, що підтверджено експериментально. Отримано також результати збільшення довговічності свердла під час віброствердління за більшої подачі порівняно зі звичайним свердлінням.



Рисунок 1. Залежність сили різання від глибини різання під час свердління із застосуванням вібрацій і без них

Дослідженнями, було встановлено, що виконання мікроотворів за допомогою віброствердління дозволяє отримати більш точні поверхні, ніж під час обробки без вібрацій. Дослідженнями різних авторів доведено доцільність використання віброствердління для обробки глухих отворів, оскільки під час віброствердління на дні отвору не утворюються сліди обробки у вигляді концентричних кіл (рис.2), що підвищує точність обробленої поверхні.

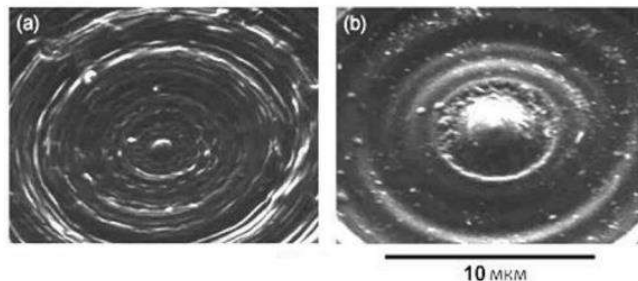


Рисунок 2. Фотознімки дна глухого отвору під час свердління без вібрацій (а) і з ними (б)

**Висновок.** Теоретичними та експериментальними дослідженнями, проведеними зарубіжними та вітчизняними вченими, доведено переваги віброствердління порівняно з традиційним (безвібраційним). Установлено, що віброствердління особливо ефективно під час обробки важкооброблюваних матеріалів, яке запобігає утворенню зливної стружки та підвищує точність оброблення. Реалізація віброствердління може здійснюватись пристроями з різними типами приводів, з яких, за умови відсутності особливих вимог до процесу віброствердління, найбільш простими та компактними є вібропатрони з механічним приводом від шпинделя свердлильного верстата.

### Література

- 1.Обертюх Р.Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного приводу/ Р.Р.Обертюх, А. В. Слабкий. –Вінниця: ВНТУ, 2015. –164с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ; пер. с яп. С. Л. Масленникова ; под ред. И.И.Портнова, В. В. Белова. –М. : Машиностроение, 1985.

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1. **Ю. Ю. Гудак, В. І. Яськів** 7  
МОБІЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ  
ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ
2. **П. В. Чикало, В. І. Яськів** 9  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПЛЕРІВСЬКОГО МЕТОДУ ПРИ  
АКТИВНОМУ ШУМОПОДАВЛЕННІ В СИСТЕМАХ РАДІОУПРАВЛІННЯ

### СЕКЦІЯ: НОВІ МАТЕРІАЛИ, МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

1. **С. Е. Трошкін** 11  
ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІН ВЕРТИКАЛЬНИХ  
КАБЕЛЬНИХ ТУНЕЛІВ ПІД ВПЛИВОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ,  
НАБЛИЖЕНОГО ДО РЕАЛЬНОГО
2. **С. Е. Трошкін** 14  
МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ КАБЕЛІВ В ТУНЕЛЯХ ТА  
КОЛЕКТОРАХ КРУГЛОГО ПЕРЕТИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ SKETCHUP
3. **Т. А. Довбуш, Н. І. Хомик, І. Г. Ткаченко** 15  
АНАЛІЗ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ У КРІПЛЕННІ  
ПРУТКОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН
4. **Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш** 17  
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ГОЛОВОК  
ПРУТКОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ
5. **О. О. Окунський, Г. Б. Цьонь** 19  
ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ  
ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ
6. **О. П. Конончук, М. Р. Лещук, М. В. Винницький, О. В. Лещишена,  
С. В. Барिश, Я. В. Антоняк** 20  
ВИВЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ
7. **Т. Ю. Гинда** 21  
ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК
8. **О. П. Конончук, П. О. Погребняк, С. В. Чаплінський, В.В. Штогрин** 23  
ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
БУДІВЛІ ГОТЕЛЮ «ГАЛИЧИНА» В МІСТІ ТЕРНОПІЛЬ
9. **В. Н. Волошин, В. М. Буховець, Т. Л. Піхурська, М. І. Бей** 24  
ЗАСТОСУВАННЯ САД/САЕ-СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОПРОФІЛЬНИХ  
КУЛАЧКІВ ТОКАРНИХ ПАТРОНІВ
10. **Д. А. Баб'як, Г. М. Крамар, Л. Г. Бодрова** 26  
ЛЕГУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ КАРБІДУ ТИТАНУ  
КОМПОНЕНТАМИ НАНОРОЗМІРІВ
11. **Р. І. Гаврилишин; І. В. Коваль** 27  
ВОГНЕСТІЙКІСТЬ EPS СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

12. **Р. В. Грицеляк, І. М. Дзьоба, О. Ласкевич** 28  
ЗУСИЛЛЯ В ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТАХ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВИПАДКОВИХ  
НАВАНТАЖЕННЯХ
13. **А. П. Грабовський** 29  
ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК
14. **А. Г. Микитишин, Р. З. Золотий, І. С. Дідич, Д. В. Черняк** 30  
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО  
ПРОГНОЗУВАННЯ ДІАГРАМ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ
15. **Петро Марущак, Н. Воробець, Б. Крушельницький, О. Мартинюк, Т. Лепкий, В. Дзюра, П. Марущак** 32  
ДІГНОСТУВАННЯ ПОШКОДЖЕНОСТІ КОНУСНИХ ФРИКЦІЙНИХ  
ВАРІАТОРІВ

#### СЕКЦІЯ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ, МАШИНО- ТА ПРИЛАДОБУДУВАННІ

1. **Д. М. Мороз, І. Г. Ткаченко** 33  
СПЕЦІАЛЬНА ТОРЦЕВА ФРЕЗА
2. **В. О. Крушельницький** 34  
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ТОРЦЕВОМУ  
ФРЕЗЕРУВАННІ
3. **А. Вовкотруб, В. Шанайда** 35  
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ  
ВЕРСТАТА
4. **О. О. Проданчук** 37  
ПРОЕКТУВАННЯ ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ  
СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ  
МАТЕРІАЛІВ
5. **Б. В. Вітковський, І. Т. Ярема.** 39  
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ  
ВІБРАЦІЙНЕ СВЕРДЛІННЯ
6. **І. П. Домарецький, Д. Я. Мокрицький, О. В. Качуровський** 41  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ШЛІФУВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТИМ  
ШЛІФУВАЛЬНИМ КРУГОМ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ
7. **П. А. Сокіл, І. Р. Сокальський, М. В. Стаднійчук** 42  
ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДОРНУВАННЯ  
ПРОФІЛЬНОГО ОТВОРУ
8. **П. І. Тимчук, М. І. Шкварок, В. Ю. Грасовник** 43  
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ  
ОТВОРУ КУЛЬКАМИ
9. **А. М. Хічій, В. М. Приказюк, В. М. Маслянка** 44  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЇ БАГАТОЛЕЗОВОЇ ОПРАВКИ  
ДЛЯ РОЗТОЧУВАННЯ СТУПІНЧАСТОГО ОТВОРУ
10. **А. К. Шманін, В. В. Козішкурт, Н. І. Кицкай** 45  
ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ ПІСЛЯ  
ВИГЛАДЖУВАННЯ
11. **М. С. Бутинський; Р. В. Комар** 46  
ВИТІ ГНУЧКІ ВАЛИ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ