

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення
продуктивності горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 за рахунок
застосування додаткової фрезерної головки.

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____/ Владислав НАЛАПКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

О.Л. Подоляк

“12” жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Владиславу НАЛАПКО
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення продуктивності горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 за рахунок застосування додаткової фрезерної головки.

Затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10.2024 р.

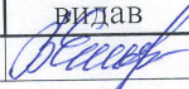
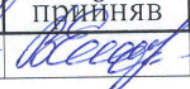
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “5” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталей і механізмів горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. 1. Огляд стану питання і постановка задач. 2. Конструкторська частина. 3. Дослідницька частина. 4. Спеціальна частина. 5. Організація безпечного проведення робіт на горизонтально-фрезерному верстаті. 6. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки. (Плакати презентації).

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів): 1. Основні напрямки розвитку сучасних верстатів. 2. Постановка задач. 3. Спеціальні пристосування, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів. 4. Розрахунки несучої системи модернізованого верстата моделі 6М82 методом кінцевих елементів у пакеті ANSYS. 5. Розрахунки на жорсткість базової деталі верстата. 6. Тепловий розрахунок базової деталі верстата. 7. Розрахунки шпинделя додаткової фрезерної головки. 8. Розрахунки шпинделя додаткової фрезерної головки. 9. Аналіз програмного модуля - «КОМПАС - Автопроект». Висновки.

Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Галина ЄЛЬНИКОВА			

Дата видачі завдання «12» листопада 2024 р.

Керівник

(підпис)

Олег КОНДРАТЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Владислав НАЛАПКО
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	05.09.24	
	Складання плану роботи. Підбір літератури й інших джерел	06.09.24	
	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	10.09.24	
	Підготовка аналітичної частини	23.09.24	
	Підготовка теоретичної частини	09.10.24	
	Розробка дослідницької частини	21.10.24	
	Розробка методичного розділу	04.11.24	
	Підготовка графічного матеріалу	15.11.24	
	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника	19.11.24	
0.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів	26.11.24	
1.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	02.12.24	
2.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.24	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Владислав НАЛАПКО
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Антон СКОРКІН
(ім'я, прізвище)

Олег НАЛАПКО

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення продуктивності горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 за рахунок застосування додаткової фрезерної головки

студента

(назва роботи)
НАЛАПКО Владислав Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Кондратюк Олег Леонідович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 11,90,

Коефіцієнт Подібності 2: 8,85 ,

Сигнал „Тривога!”: ☒ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 60% – оригінальна робота,

від ____% до ____% – задовільно оригінальна робота,

від ____% до ____% – умовно оригінальна робота,

більше ____% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор


(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

23.11.24
(дата)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЛ – автоматична лінія;

ВС – верстатні системи;

ГВМ – гнучкий виробничий модуль;

ГВС – гнучка виробнича система;

год. – години;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ЗОР — змащувально-охолоджувальна рідина;

ЗОТС – змащувально-охолоджувальні технологічні середовища;

МКЕ — метод кінцевих елементів;

ККД — коефіцієнт корисної дії;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МВ – металорізальні верстати;

мм – міліметр;

МСЕ – метод скінченних елементів;

об – оберти;

п/п – по порядку;

ПК – програмовані командоапарати;

ПЧПК — пристрій з числовим програмним керуванням;

рис. – рисунок;

РТК – робототехнічний комплекс;

САПР — система автоматизированного проектирования;

СНМ – синтетичні надтверді матеріали;

табл. – таблиця;

ТП — технологічний процес;

хв. – хвилина;

ЧПК – числове програмне керування;

ШВ — шпиндельний вузол;

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить _____ сторінок, у тому числі _____ малюнок, _____ таблицю, _____ літературних джерел, _____ додатків. Графічна частина виконана на 9 аркушах формату - PowerPoint презентація.

В ході виконання дипломного проекту було здійснено модернізацію верстата моделі 6М82 з метою розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності. Був здійснений розрахунок параметрів жорсткості і проведений тепловий аналіз шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки.

Побудована 3D - модель верстата і його формотворчих вузлів в системі КОМПАС-3D, що дає реальне уявлення про конструкцію і є основою для проектних розрахунків і дослідження працездатності верстата.

Також проводився ряд розрахунків для несучої системи верстата за допомогою програмно-математичного забезпечення «Ansys».

При проведенні розрахунку на жорсткість шпиндель додаткової фрезерної головки був представлений у вигляді стрижневий кінцево-елементної моделі. Під час розрахунку були обчислені деформації шпинделя в вузлових точках.

В ході теплового аналізу шпинделя були отримані його теплові характеристики під час роботи.

ВЕРСТАТИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТВЕРДІСТЬ, МІЦНІСТЬ,
ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ, НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, МОДАЛЬНИЙ
АНАЛІЗ

ABSTRACT

The explanatory note contains ____ pages, including ____ figure, ____ table, ____ literary sources, ____ appendices. The graphic part is made on 9 sheets of format - PowerPoint presentation.

In the course of the diploma project, the 6M82 model machine was modernized in order to expand technological capabilities and increase productivity. The stiffness parameters were calculated and the thermal analysis of the spindle assembly of the additional drilling and milling head was carried out.

A 3D model of the machine and its forming nodes in the KOMPAS-3D system is built, which gives a real idea of the structure and is the basis for design calculations and the study of machine performance.

A number of calculations were also carried out for the supporting system of the machine using the "Ansys" software.

When calculating the stiffness, the spindle of the additional milling head was presented in the form of a rod finite element model. During the calculation, the deformations of the spindle at the nodal points were calculated.

During the thermal analysis of the spindle, its thermal characteristics during operation were obtained.

MACHINES, MODERNIZATION, HARDNESS, STRENGTH, VIBRATION
RESISTANCE, RELIABILITY, EFFICIENCY, MODAL ANALYSIS

ЗМІСТ

	ВСТУП	9
1	АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	11
1.1	Аналіз професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств	11
1.2	Особливості підготовки фахівців машинобудівних підприємств	13
1.3	Висновки до розділу 1	16
2.	ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ	17
2.1	Основні напрямки розвитку сучасних верстатів	17
2.1.1	Збільшення продуктивності	17
2.1.2	Автоматизація металорізальних верстатів	18
2.1.3	Точність верстатів	20
2.1.4	Переналагоджування верстатів	21
2.1.5	Надійність верстатів	22
2.1.6	Комплексна автоматизація	23
2.2	Модернізація фрезерних верстатів	26
2.3	Постановка завдання роботи	31
3.	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	32
3.1	Вибір і розрахунок оптимальних режимів різання	32
3.2	Проектування привода головного руху	34
3.2.1	Кінематичний розрахунок привода головного руху	34
3.2.2	Розрахунок прямозубої евольвентної передачі	40
3.2.3	Розрахунок і підбір підшипників	44
3.2.4	Розрахунок перетину суцільного вала	47
3.2.5	Вибір і обґрунтування посадок	50
3.3	Проектування конструкції додаткової фрезерної головки	51
3.4	Опис модернізованого верстата мод. 6М82	52
4.	ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	58
4.1	Розрахунки несучої системи модернізованого верстата моделі 6М82	58
4.1.1	Розрахунок на жорсткість (статичний розрахунок)	59
4.1.2	Модальний розрахунок	60
4.1.3	Тепловий розрахунок	62
4.1.4	Термодеформаційний розрахунок	62

4.2	Розрахунки шпинделя додаткової фрезерної головки	63
4.2.1	Розрахунок шпинделя на жорсткість	63
4.2.2	Тепловий розрахунок шпиндельного вузла	66
5.	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	68
5.1	Аналіз програмного модуля КОМПАС – «Autoproject»	68
5.2	Структура «КОМПАС – Автопроект»	75
5.2.1	Розрахунок норм витрати матеріалів	76
5.2.2	Витрати праці	77
5.2.3	Розрахунок режимів різання	78
5.2.4	Нормування витрат праці	79
5.2.5	Формування технологічних відомостей	81
5.2.6	Формування технологічних карт	82
5.2.7	Пошук технологічних процесів в архіві	83
6	МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ	84
6.1	Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей) ..	86
6.2	Перелік літературних джерел з теми	87
6.3	Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття	87
6.4	Аналіз базових умов навчання	89
6.5	Проектування мотиваційних технологій навчання (характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу)	89
6.6	Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті	91
6.7	Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті	91
6.8	Проектування контрольних дій з теми	92
6.9	Розробка сценарію факультативного заняття	92
6.10	Висновок	94
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	95
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	96
	ДОДАТКИ	101
	Додаток А (Результати кінематичного розрахунку)	101
	Додаток Б (Розрахунок прямозубої евольвентної передачі)	103
	Додаток В Розрахунок реакцій, вантажопідйомності підшипників	

і валів)	105
Додаток Д (Розрахунок перетину суцільного вала на статичну міцність і витривалість)	107
Додаток Е (довідкове)	109
Додаток Ж (довідкове)	110
ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ	119

ВСТУП

Розвитий машинобудівний комплекс, високий рівень технологій, конкурентоспроможність машин, що випускаються, і механізмів є неодмінною умовою динамічного розвитку економіки. Особливе місце в розвитку галузей машинобудування і металообробки займає верстатострументальна промисловість, яка поставляючи технологічне встаткування, забезпечує впровадження досягнень науково-технічного прогресу в області технологій, визначає рівень ресурсних витрат у промисловості, формує парк технологічного встаткування.

Фрезерні верстати становлять значну частку в загальному обсязі металорізального встаткування. На деяких підприємствах фрезерні верстати становлять приблизно п'яту частину від усього заводського парку верстатів. На фрезерних верстатах виконують досить широке коло робіт, що забезпечується різноманітністю конструкцій і кінематики верстатів, а також інструмента. Типи й моделі фрезерних верстатів відрізняються призначенням, конструкцією, кінематикою, розмірами, рівнем автоматизації й ступенем точності.

Досягнення й збереження протягом тривалого часу високої продуктивності й точності фрезерних верстатів є важливим економічним завданням, яке можна розв'язати вдосконалюванням конструкцій верстатів, окремих його елементів, їх правильною експлуатацією, своєчасним і технічно грамотним обслуговуванням.

Проведений огляд по напрямках модернізації металорізальних верстатів і актуальності проблем, пов'язаних з їхнім проектуванням, дозволив сформулювати теоретичні завдання роботи для досягнення поставленої мети.

Мета роботи - Розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 на основі модального аналізу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- модернізувати привод головного руху;
- спроектувати конструкцію додаткової свердлильної головки;

- розрахувати несучу систему верстата (деформаційний, динамічний, модальний, тепловий);
- виконати розрахунок параметрів твердості шпиндельного вузла додаткової свердлильної головки;
- виконати динамічний розрахунок шпиндельного вузла додаткової свердлильної головки;
- виконати спеціальну частину проекту, пов'язану з аналізом програми *«Компас – Автопроект»*;
- зробити оцінку економічних витрат пов'язаних з модернізацією верстата й сформулювати загальні висновки про можливість його застосування.

Об'єкт дослідження – теплові, деформаційні й динамічні випробування металорізальних верстатів на етапах виготовлення й експлуатації.

Предмет дослідження - формалізація процесу випробувань як функціонального модуля системи інформаційної підтримки життєвого циклу верстата.

Наукова новизна роботи полягає в:

- установлених закономірностях між модальними параметрами теплових характеристик і погрішністю їх прогнозування;
- критеріях і алгоритмах оцінки теплових характеристик верстата, що забезпечують задану погрішність прогнозування;
- обґрунтуванні тривалості натурних теплових випробувань, що забезпечують мінімально-припустиму погрішність прогнозування.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1. Аналіз професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств

Фахівці галузі машинобудування є надзвичайно перспективному сучасному розвитку виробництва, оскільки саме вони забезпечують розвиток усіх галузей господарчої діяльності. Україна завжди перебувала на ринку високотехнологічної продукції лідером, і сьогодні відновлює випуск сучасного машинобудівного виробництва у промислових містах країни.

Підготовка бакалаврів і магістрів з машинобудування дозволяє фахівцям працювати на промислових підприємствах і у закладах професійної (професійно-технічної) та фахової передвищої освіти. Унікальна можливість випускників освітньої програми 015 «Професійна освіта. Машинобудування» полягає у спільному використанні інженерних і педагогічних навичок при підготовці майбутніх кваліфікованих робітників машинобудівного профілю.

В інженерній сфері здобувачі освіти мають знайти себе на посадах:

- інженера у численних виробничих галузях;
- техніка-технолога (контролює якість кінцевої продукції, попередньо все розрахувавши);
- інженера з налагодження та випробування обладнання (який стежить за тим, щоб вчасно проводили огляди та ремонт обладнання, розраховує та рекомендує необхідне налаштування на станах).
- інженера-конструктора (передбачає розробку деталей та обладнання, по суті, винахідника всього нового);

– технолога цеху (розробляє документацію з виготовлення якогось виробу).

Об'єктом професійної діяльності інженера-педагога є навчально-виробничий процес професійного закладу освіти, предметом – методика професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств.

В Україні затверджено освітні стандарти професійної підготовки бакалавра і магістра зі спеціальності 015 «Професійна освіта. Машинобудування». Педагог професійної освіти має здійснити навчання, професійну підготовку і перепідготовку сучасних фахівців на виробництві, у закладах професійно-технічної, фахової передвищої та вищої освіти. Орієнтація фахівців на навчальний процес дозволяє акцентувати увагу на сучасних методах і технологіях навчання, на рівень активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти, на якісний і наглядний виклад нового матеріалу. Зазначена в стандарті інтегральна компетентність спрямована на формування під час професійного навчання «здатності вирішувати типові спеціалізовані завдання у професійній освіті або у процесі навчання, що вимагає застосування положень і методів наук про освіту, фундаментальних і прикладних наук галузі відповідно до спеціалізації та може характеризуватись певною невизначеністю умов».

Спеціальна потреба у технологічній складовій професійної підготовки педагогів професійного навчання, є невід'ємною умовою розвитку інженерно-педагогічної освіти. У зв'язку з цим, процес підготовки має включати методи наукового пошуку, проблемності, творчих форм навчально-професійної, навчально-пізнавальної діяльності, розробку професійно-творчих проєктів. знань, умінь, норм і цінностей, але й можливість технологічних засобів для професійно-особистісного розвитку майбутніх педагогів професійного навчання.

Сутність компетентності можна розглядати як узагальнений спосіб дій, заснованих на отриманих знаннях, вміннях використання стандартів, правил виконання завдань; як здатність реалізовувати компетенції, сформовані в ході

вивчення педагогічних дисциплін, що забезпечують орієнтацію та управління професійними ситуаціями. Компетентність також забезпечує виконання педагогічних функцій інженера-педагога, організацію взаємодії суб'єктів освітнього процесу, управління навчальним процесом, створення професійно-творчого простору, проектування та реалізацію навчально-професійної діяльності, етапність професійно-пізнавальної діяльності, отримання гарантованого результату підготовки майбутніх фахівців. Компетентність педагога професійного навчання - інтегративна якість їх професійної підготовки.

При розробці теми магістерської кваліфікаційної роботи таким типовим спеціалізованим завданням є здійснення професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств з підвищення якості поверхні і точності отворів в пакетах з вуглепластиків і титанових сплавах шляхом оптимізації режимів різання і геометрії інструменту при свердлінні. Фахівці спеціалізації «Машинобудування» мають досконало знати і вміти застосовувати в предметній області сучасні стандарти, уміти навчити основним положенням фахівців підприємства на підставі навичок застосування сучасних інноваційних технологій навчання. Вибір технології навчання має здійснюватися з урахуванням дидактичної мети, завдань виробництва, рівня підготовленості до сприйняття здобувачів освіти певного рівня, матеріально-технічного обладнання навчальних аудиторій, рівня кваліфікації викладача та ін.

1.2. Особливості підготовки фахівців машинобудівних підприємств

Психолого-педагогічна підготовка сучасного педагога професійної освіти має ґрунтуватися на високому загально культурному рівні, мовній компетентності, комунікативних навичках. Можливість спостерігати і зрозуміти описувати, ідентифікувати, класифікувати психофізіологічні особливості здобувачів освіти і враховувати результати під час організації навчальної діяльності будуть визначати продуктивність педагогічної праці. Але

інформація краще засвоюється, якщо здобувачам притаманно відчуття позитивного емоційного стану, тому здатність створювати розвиваюче освітнє середовище, забезпечувати сприятливий морально-психологічний клімат навчальної діяльності та високий рівень культури її організації є значною компетентністю майбутнього інженера-педагога. Ці компетентності цілеспрямовано формуються через певні програмні результати при вивченні загальної і вікової психології, основ корекційного розвитку особистості, практикумів з комунікативних процесів і педагогічної психології.

Особливу увагу приділяють методичним основам викладання і дидактичним основам професійної освіти. Здобувачі освіти мають засвоїти основні поняття, концепції, закони, освітню теорію та методологію в педагогічній діяльності, провести пробні уроки, пройти педагогічну практику і магістерське педагогічне стажування, що гарантує їм володіння типовими навичками педагогічної діяльності.

Спеціалізація «Машинобудування » є специфічною сферою, тому що сприяє розробці обладнання для різних сфер виробництва. Наприклад, фахівці з машинобудування мають засвоїти знання з підвищення якості поверхні і точності отворів в пакетах з вуглепластиків і титанових сплавах шляхом оптимізації режимів різання і геометрії інструменту при свердлінні. Досконале володіння особливостями механічної обробки ще не гарантує вдалого вирішення проблеми. Необхідно навчити певних фахівців так, аби не витратити багато часу і забезпечити усвідомлення ними значної кількості нової інформації. Знання сучасних технологій навчання дозволяє обрати семінарську форму навчання та відповідні методи й засоби.

Якщо навчальний матеріал дуже складний і має досить великий обсяг, варто застосовувати факультативи чи консультаційні заняття, які протягом певного часу дозволять розібратися у існуючих проблемах. Уміння застосовувати інформаційне та програмне забезпечення для вирішення професійних завдань відповідно до спеціалізації також тільки сприяє кращому засвоєнню інформації. Ці уміння здобувачі освіти зі спеціальності 015

Професійна освіта (за спеціалізаціями) отримують при вивченні інформатики та ряду спеціальних профільних дисциплін.

Вільне володіння державною мовою, логічний виклад думки, самостійно спланувати й організовувати власну професійну діяльність і діяльність здобувачів освіти відповідно до вимог охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки можливо при застосуванні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій для пошуку, обробки та аналізу інформації.

Знання основ психології, педагогіки, а також фундаментальних і прикладних наук (відповідно до спеціалізації) на рівні, необхідному для організації навчально-виробничої діяльності дозволяють педагогам професійного навчання застосовувати сучасні дидактичні та методичні засади організації навчально-виробничої діяльності і обирати доцільні технології та методики в освітньому процесі. Для якісного проведення занять необхідно добирати та застосовувати методики психолого-педагогічного діагностування здобувачів освіти, а також застосовувати отримані результати при планування мотиваційних заходів до навчання, професійного самовизначення та саморозвитку здобувачів освіти. Оцінка стану сформованості професійної компетентності здобувачів освіти також є предметом професійно-педагогічної діяльності інженера-педагога.

Отже, для професійної підготовки фахівців, які володіють як предметною специфікою галузі виробництва, так і методикою її навчання існують профільні вищі, як Українська інженерно-педагогічна академія, інженерно-педагогічні факультети при деяких технічних і педагогічних вищих закладах освіти. У світі цю проблему підготовку педагогів професійного навчання вирішують інакше: спочатку пропонується повна вища технічна освіта, а після її закінчення відбирають тих, у кого є педагогічні здібності та бажання займатися освітньою діяльністю, та надають їх психолого-педагогічну підготовку протягом ще 3-4 семестрів. Випускники, які добре закінчили курс навчання та пройшли педагогічну практику і стажування на промислових підприємствах та у закладах освіти запрошуються на роботу до професійно-технічних закладів

освіти різних рівнів. Сподіваємось, що обидві концепції мають право на існування в практиці підготовки педагогів професійного навчання.

В нашій роботі розглянемо поступово два спеціалізованих розділи і запропонуємо варіант методики професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств з підвищення якості розробки прогресивного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус черв'ячного редуктора»». Дидактичний проєкт факультивного заняття подано у четвертому розділі роботи.

1.3 Висновки до розділу 1

В межах першого розділу нами було розкрито актуальність професійної підготовки фахівців за спеціальністю 015 «Професійна освіта. Машинобудування» та виявлено, що сучасне інформаційне суспільство потребує високоосвічених фахівців, здатних використовувати в практичній діяльності в машинобудівній галузі. Особливі вимоги ставляться до випускників інженерно-педагогічних спеціальностей. Зумовлено це тим, що саме вони займаються підготовкою робітничого потенціалу країни, від якого залежить добробут та економічна могутність нації. Способом удосконалення процесу підготовки майбутніх інженерів-педагогів є розробка нових навчальних програм, що базуються на застосуванні інтегрованого навчання, максимального використання можливостей комп'ютерних технологій: індивідуалізація навчання, миттєвий зворотний зв'язок, охоплення значної кількості студентів, можливість дотримання принципів послідовності та наступності, створення рівних умов для всіх студентів тощо.

2. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

2.1 Основні напрямки розвитку сучасних верстатів

Організаційно-економічні й технологічні умови використання металорізальних верстатів (МВ) і верстатних систем (ВС) у споживачів дуже різноманітні. Однак усе різноманіття споживчих властивостей зводиться до чотирьом узагальнюючим показникам, інваріантним для будь-якого виробництва: продуктивність, точність, переналаштування (технологічний діапазон використання), надійність [32].

Ефективність сучасних МВ і ВС при їхній високій вартості може бути забезпечена тільки в умовах інтенсивної експлуатації з максимальним використанням фонду робочого часу. При вбудовуванні верстата в автоматизовану систему необхідною умовою підвищення ефективності верстата є його робота в безперервному режимі з мінімальною участю людини. Усі чотири основні показники споживчих властивостей зв'язані між собою конструкцією, технологією, а також організацією й економікою.

2.1.1 Збільшення продуктивності

Збільшення продуктивності — головне завдання при створенні будь-яких МВ і ВС. Воно оцінюється скороченням штучного часу $t_{шт}$ для конкретних виробів і операцій стосовно до спеціальних і спеціалізованих верстатів, і для типового набору виробів і операцій — для універсальних верстатів.

Штучний час обчислюється по формулі:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{об}, \quad (2.1)$$

де $t_{оп} = t_o + t_b$ — оперативний час;

t_o — основний час, затрачуване на безпосереднє виконання технологічних операцій;

t_b — допоміжний час, затрачуване на установку й зняття заготовки,

виконання допоміжних рухів робочих органів верстата;

$t_{об}$ – час обслуговування верстата.

Частка кожної складової штучного часу коливається в дуже широких межах залежно від виду виробів, серійності, масштабів виробництва й інших виробничих умов.

Загальна закономірність у машинобудуванні й приладобудуванні полягає в різкому зниженні частки основного часу t_o в оперативному часі $t_{оп}$, а в одиничнім і дрібносерійнім виробництві – навіть скороченні загальної частки $t_{оп}$ в $t_{шт.}$ Тільки у важкім машинобудуванні на ряді операцій $t_o = 0,5 t_{оп}$. У загальнім же машинобудуванні і приладобудуванні $t_{оп} = (0,05...0,25) t_{оп}$.

2.1.2 Автоматизація металорізальних верстатів

Автоматизація МВ є одним з головних засобів скорочення $t_{шт.}$ Найбільш ефективним і універсальним методом служить використання ЧПК. Статистика останніх років по більшості машинобудівних виробництв у різних галузях показує, що використання МВ зі ЧПК замість верстатів з ручним керуванням дає стійке двох-чотириразове підвищення продуктивності праці внаслідок скорочення t_b , $t_{об}$ і частково t_o за рахунок підвищення частоти n обертання шпинделя й подачі s під час різання, а також деякого скорочення шляхи переміщення інструмента, але без здійснення різання на робочій подачі. Скорочення t_d досягається в основному використанням автооператорів і роботів завантажників, застосуванням палет для багатоцільових і важких верстатів, включаючи й карусельні, з автоматичною зміною палет.

Концентрація операцій на одному верстаті – одне з найефективніших рішень, що суттєво зменшує як $t_{оп}$, так і $t_{пз.}$ Ідеальним рішенням є обробка заготовки з п'яти сторін при одному «установі» і з усіх боків – при перехопленні заготовки за оброблені поверхні на тому ж верстаті.

При концентрації операцій на одному верстаті сполучення операцій, переходів у часі, використання комбінованих інструментів і багато інструментальних налагоджень дає істотне збільшення продуктивності при

одночаснім підвищенні якості обробки.

Збільшення параметрів режиму обробки – основне джерело скорочення t_o , який може дати ефект тільки при істотній частці t_o в $t_{шт}$. Це досягається використанням нових високоефективних різальних інструмент на основі синтетичних надтвердих матеріалів (СНМ) кераміки, що ріже, багатокомпонентних твердих сплавів і порошкових високолегованих швидкорізальних сталей, а також завдяки використанню високоефективних зносостійких покриттів. Завдання значного підвищення швидкості V_p різання й подачі s вимагає відповідного росту частоти n обертання шпинделів верстатів і швидкості переміщення рухливих вузлів, що реалізують руху подачі супортів, шпинделів і т.д.

Швидкість V_p звичайно призначають виходячи з умов економічної стійкості інструментів $T_{и} = 60$ хв. Однак у результаті різкого росту вартості високоскладних автоматичних МВ і ВС визначальним критерієм усе частіше стає вартість верстато-хвилини, оскільки частка вартості інструментів у собівартості виготовлення деталі здебільшого невелика (0,3—1,5%).

При швидких темпах автоматичної зміни інструментів ($t = 5...10$ с) і використанні змінних багатогранних ріжучих пластин (БРП) набагато ефективніше підвищувати V_p , допускаючи зниження $T_{и}$. При цьому місткість інструментальних магазинів повинна бути розрахована на відповідний запас (кратність) кожного типорозміру інструментів.

Для забезпечення можливості збільшення режимів обробки й сполучення операцій верстат повинен мати більшу потужність привода головного руху при широкім регулюванні частоти обертання під час робочого циклу.

Автоматичний контроль оброблених заготовок не тільки сприяє підвищенню їх якості, але й забезпечує скорочення t_d і відповідно збільшення продуктивності МВ і ВС.

Контролю може зазнати як оброблений виріб, так і інструмент і верстат. Так, одним з рішень є активний контроль безпосередньо по ходу обробки в комбінації зі статистичним підналадчиком, тобто таким, який виробляє й

реалізує керуючий вплив залежно від накопичених результатів попереднього контролю й алгоритму прогнозу ходу наступної обробки.

2.1.3 Точність верстатів

Точність верстатів є одним з основних показників їх якості. Стрімке вдосконалювання техніки, підвищення потужності, швидкохідності й точності машин, апаратів, приладів поряд з ростом їх надійності вимагають випереджального підвищення точності МВ. Для споживача точність МВ виражається в їхній здатності забезпечити в готового виробу задані точність розмірів, форми й взаємного положення оброблених поверхонь, їх хвилястість і шорсткість, а також стабільність цих показників у заданих межах.

Традиційно точність МВ забезпечувалася відповідною точністю виготовлення його основних деталей, точністю складання й регулювання, а також твердістю елементів, зносостійкістю опор і напрямних, стабільністю форми й розмірів базових і корпусних деталей. Крім того, для підвищення точності верстатів доцільно використовувати спеціальні пристрої й системи для компенсації систематичних погрешностей у конкретному екземплярі МВ або для керування точністю обробки. У цих системах використовують пристрої мікропроцесорного керування й високоточні датчики лінійних і кутових переміщень, температури, тензометричні перетворювачі й інші елементи автоматики. У таблиці 2.1 наведені досягнуті сучасні й перспективні показники точності руху формотворних вузлів МВ [].

Таблиця 2.1 - Параметри точності опор шпинделів прецизійних верстатів

Опори шпинделя	Биття, мкм, не більш	
	досягнуте	перспективне
Підшипники кочення	0,6—1,0	0,2 — 0,5
Гідростатичні підшипники	0,2 — 0,4	До 0,1
Аеростатичні підшипники	0,1—0,2	0,05-0,1

Можна виділити наступні методи підвищення точності верстатів:

а) використання датчиків лінійних і кутових переміщень із високою розв'язною здатністю в режимі зворотного зв'язку із приводом переміщень через мікропроцесорну керуючу систему. Поряд з індуктивними спостерігається тенденція в більшій мірі використовувати оптоелектронні, голографічні й лазерні системи, а також системи на приладах із зарядовим зв'язком. точність, що досягається, позиціонування ± 1 мкм або ± 2 мкм. В окремих випадках точність може бути підвищена до $\pm 0,05$ мкм;

б) атестація дійсних переміщень виконавчих органів МВ за допомогою високоточних компараторів (наприклад, лазерних) із записом у пам'яті мікропроцесорної системи керування й наступною їхньою компенсацією в робочому процесі;

в) активний контроль погрішностей готових виробів з автоматичним підналагодженням верстата;

г) зниження впливу температурних деформацій на погрішність обробки (частка температурних деформацій у загальному балансі точності для високоточних МВ може досягати 70%);

д) використання інструментальних матеріалів, що забезпечують мале розмірне зношування (СНМ, РК; з високо зносостійкими покриттями);

е) використання ефективних СОТС і застосування систем з більшою витратою рідини при ретельнім багатоступінчастім її очищенні й тонкої фільтрації.

Організаційний принцип експлуатації високоточних верстатів полягає в розміщенні їх у термokonстантних приміщеннях зі зменшеним температурним впливом [32].

2.1.4 Переналагоджування верстатів

Переналагоджування верстатів є одним з головних споживчих властивостей МВ і ВС і полягає в можливості їх переналагодження на виготовлення різних виробів або для виконання різних операцій стосовно до

конкретних вимог постійно мінливої виробничої ситуації в споживачів при серійним виробництві. Із цією властивістю сучасних МВ і ВС, часто обумовленим як гнучкість, зв'язані основні показники ефективності парку МВ і ВС. Основні методи підвищення гнучкості наступні:

а) агрегування конструкцій, блочно-модульна їхня побудова на основі уніфікованих типажних гам, використання уніфікованих вузлів і елементів для додаткового оснащення верстатів розраховуючи на конкретного споживача замість штатних вузлів або на додаток до них. Звичайно це універсальні інструментальні головки, столи, бабки, копіювальні пристрої та інші вузли, що дозволяють використовувати той самий верстат у різноманітних технологічних варіантах;

б) для розширення можливостей використання ГВМ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи в великосерійному виробництві їх усе частіше виконують у вигляді блок-центрів, тобто постачають двома системами магазинів, в одній з яких поміщені індивідуальні інструменти, а в іншій - змінні багатоінструментальні головки;

в) оснащення широким набором різноманітних пристосувань, що розширюють можливості верстатів. Це, наприклад, накладні інструментальні головки, багатошпindelні свердлильні й різьбонарізні головки, швидко-свердлильні головки, програмно-керовані план-супорти, спеціальні затискні пристрої. Звичайно передбачається можливість включення їх у гідравлічну електричну й програмно-керуючу системи верстата;

г) використання локальних кінематичних ланцюгів у системі мікропроцесорного керування, що дає велику можливість побудови різноманітних переналагоджуваних МВ і ВС великої гнучкості;

д) використання систем ЧПК й програмувальних командоапаратів (ПК), що створює гарні передумови для розширення технологічного діапазону МВ і ВС.

2.1.5 Надійність верстатів

Для сучасних МВ і ВС надійність є необхідною умовою їх використання

[26-28]. Ця якість тем важливіше, чим складніше й дорожче МВ або ВС.

Сучасні тенденції забезпечення високої надійності МВ і ВС наступні:

- а) використання високонадійних комплектних систем ЧПК, ПК і приводів. У вітчизняній практиці найбільшу інтенсивність відмов (до 60 %) мають керуючі системи й привода;
- б) органічне включення в керуючу систему підсистеми автоматичної діагностики функціонування вузлів, елементів, а також МВ і ВС у цілому;
- в) підвищення надійності функціонування механічних елементів МВ і ВС, насамперед підшипникових вузлів, напрямних, ділильних механізмів, передач. Широке використання нових матеріалів, термообробки, покриттів. Застосування пристроїв для захисту механізмів від стружки й ЗОТС;
- г) зниження динамічних навантажень за рахунок зменшення мас, що переміщуються, наприклад, при використанні матеріалів з меншими питомими масами, оптимізації законів руху робочих органів верстата, а також застосування різноманітних демпферів;
- д) забезпечення високоефективних і надійних систем змазування тертьових пар, використання самозмащувальних підшипників; застосування потужних ефективних систем подачі, сепарування й фільтрації ЗОТС, службовців як для відводу теплоти із зони різання, так і для змиву й транспортування стружки;
- е) блочно-модульна побудова вузлів, елементів і систем МВ і ВС;
- ж) використання розвитку системи діагностики й індикації відмов, що забезпечує істотне зниження часу профілактики й усунення відмов;
- и) здійснення своєчасних профілактичних і регламентних робіт з підтримки нормального функціонування МВ і ВС;
- к) використання висококваліфікованого обслуговуючого персоналу.

2.1.6 Комплексна автоматизація

Характерною рисою сучасного машинобудівного виробництва є використання верстатів у складі автоматизованих верстатних систем. Це

пояснює ряд конструктивних особливостей верстатів, тому що необхідно забезпечити верстат відповідними інтерфейсами для інтегрування його у верстатну систему. Основним осередком ГВС є РТК або ГВМ.

Схеми побудови ГВС різноманітні. Вони звичайно включають: ГВМ у технологічно необхідному наборі; транспортно-складську систему АТВС; систему інструментального забезпечення АСІЗ; систему керування технологічним процесом АСКТП; систему керування виробництвом АСК.

У ГВС застосовують систему моніторингу для контролю над роботою інструмента й устаткування й за технологічним процесом у цілому й здійснюючи корекцію, а іноді — і адаптивне регулювання роботи встаткування й технологічного процесу, автоматизоване програмування і диспетчерування. Найбільш високоорганізовані ГВС забезпечуються САПР.

Розвиток ГВС полягає в удосконалюванні їх структур стосовно до комплектності виготовлення виробів, гнучкості, набору й повноті виконуваних функцій, а також в удосконалюванні кожної із систем (АТВС, АСІЗ, АСКТП, АСК й САПР) для підвищення продуктивності, гнучкості й надійності. Так, в АСІЗ використовують автоматично змінювані блочно-модульні інструменти, постачені системою кодування й декодування із записом у мікропроцесорній системі керування й обліком як загального наробітку кожного інструмента, так і фактичного його зношування.

Автоматичні лінії (АЛ) найбільш перспективні в масовім виробництві, що випускає до 25 % світової машинобудівної продукції. Випуск одиниці продукції на АЛ займає приблизно в 100 раз менше часу, чому при виготовленні її на універсальних верстатах з ручним керуванням.

Одним з основних напрямків технічного розвитку АЛ є підвищення комплексності обробки виробів, включаючи термообробку, складання, фарбування й упакування готового виробу. АЛ з комплексною обробкою створюють головним чином для виробництва основних видів масових виробів машинобудування, таких як підшипники, поршневі кільця, гільзи, колінчаті вали, розподільні вали, зубчасті колеса й т.п., по типових технологічних

процесах на основі типових комплектів устаткування [31].

Особливе значення має створення переналагоджуваних і ГАЛ, що забезпечують можливість частоті зміни об'єктів виробництва. При розробці ГАЛ бажане забезпечити можливо більш докладну інформацію про прогнозовані варіанти зміни параметрів виробів.

Автоматичні роторні (АРЛ) і роторно-конвеєрні лінії (АРКЛ) є одним з ефективних засобів автоматизації масового виробництва.

У цей час АРЛ застосовуються переважно для обробки тиском, формування, лиття, складання. Вони можуть бути застосовані в ряді випадків і для обробки виробів різанням, переважно тіл обертання, з точністю до квалітету Н11. Використання групових методів обробки в АРКЛ дозволяє застосовувати ці лінії в серійному виробництві. АРЛ і АРКЛ у порівнянні з операційним устаткуванням мають продуктивність вище в 4—10 раз, займані площі менше в 2—3 рази, і виробничий цикл скорочується в 10—20 раз.

Істотний прогрес у техніку й технології машинобудування в комбінації з високими досягненнями в області систем керування дозволяють перейти від створення окремих ГВС до створення комплексно автоматизованих і комп'ютеризованих виробництв і заводів автоматів. Основними компонентами такого виробництва є високоефективне, гнучке й надійне технологічне встаткування й розвинені обчислювальні засоби. Особливі вимоги до встаткування таких виробництв — концентрація операцій і комплексність обробки. Так, у верстати вбудовують системи для лазерної термообробки, пайки, зварювання, пластичного деформування.

2.2 Модернізація фрезерних верстатів

При капітальному ремонті бажане здійснювати модернізацію верстатів з урахуванням умов експлуатації й останніх досягнень науки й техніки. Під модернізацією верстатів розуміють внесення в конструкцію часткових змін і вдосконалень із метою підвищення їх технічного рівня до рівня сучасних моделей аналогічного призначення (загальтехнічна модернізація) або для рішення конкретних технологічних завдань виробництва шляхом пристосування встаткування до більш якісного виконання певного виду робіт (технологічна модернізація). У результаті модернізації підвищується продуктивність устаткування, зменшуються експлуатаційні витрати, знижується шлюб, а в ряді випадків збільшується тривалість міжремонтного періоду. Вистава про основні напрямки модернізації металорізальних верстатів дає схема, наведена на рисунку 2.1.

Модернізація з метою скорочення машинного часу здійснюється шляхом підвищення технічних характеристик: збільшення потужності привода, розширення діапазону швидкостей різання й подач. Це звичайно супроводжується підвищенням твердості й вібростійкості окремих вузлів верстата, підвищенням твердості кріплення інструмента і т.д [18, 21].

Модернізацію для скорочення допоміжного часу проводять по шляху оснащення різними затискними, завантажувально-розвантажувальними пристроями, пристроями активного контролю розмірів, пристроями й механізмами для роботи із програми і т.д.

Підвищення точності верстатів, що модернізуються одержують у результаті підвищення кінематичної точності (удосконалення відлікових пристроїв, що коректують пристроїв і т.д.), геометричної точності (удосконалювання конструкцій опор шпинделів, установка підшипників більш високої точності, підвищення твердості вузлів і т.д.), зменшення температурних деформацій (застосування циркуляційного змазування, температурних компенсаторів і т.д.).

Підвищення продуктивності фрезерних верстатів досягається збільшенням потужності й швидкохідності привода головного руху, швидкостей швидких переміщень, розширенням діапазону регулювання швидкостей і подач, автоматизацією циклу обробки, автоматизацією й механізацією допоміжних рухів у верстатах, застосуванням пристосувань, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів.

До пристосувань, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів, ставляться круглі поворотні столи, ділильні головки й інші спеціальні пристрої, одні з яких не змінюють основного призначення фрезерного верстата, а інші змінюють характер виконуваних на фрезерному верстаті операцій.

Пристосування, такі, як додаткові й багатошпиндельні фрезерні головки, головки для фрезерування рейок, копіювальні пристосування й т.п., не змінюють основного призначення фрезерного верстата, а інші — довбальні, свердлильні й шліфувальні головки — у корені міняють характер виконуваних на фрезерному верстаті операцій. Деякі типи спеціальних швидкоз'ємних пристосувань, що монтуються на горизонтально-фрезерних верстатах, показано на рисунку 2.2.

Додаткова вертикально-фрезерна головка (рисунок 2,а), установлювана на горизонтально-фрезерному верстаті, робить верстат більш універсальним. Головку 2 кріплять на вертикальних напрямних станини 1. Шпиндель 3 головки приводиться в обертання від шпинделя верстата через пари зубчастих коліс.

Двошпиндельна фрезерна головка (рисунок 2.2,в), може бути використана, наприклад, при обробці заготовки відразу із двох сторін або при фрезерування східчастих, поверхонь. В останньому випадку один зі шпинделів має осьове настановне переміщення. У деяких конструкціях двошпиндельних фрезерних головок можна регулювати відстань між осями шпинделів.

Пристосування для фрезерування рейок (рисунок 2.2, б) закріплено на хоботі 4 горизонтально-фрезерного верстата й приводиться в дію від шпинделя 5 верстата. Западину рейки прорізають фрезою 6 при поперечній подачі стола, а зсув рейки на один крок виконується разом зі столом у поздовжньому

напрямку.

Свердлильна головка (рисунок 2.2, г), установлена на фрезерному верстаті, має привод шпинделя від окремого електродвигуна 7 через коробку швидкостей 5. Свердлильну головку використовують при свердлінні на фрезерному верстаті малих отворів, коли необхідна більша частота обертання інструмента.

Довбальну головку (рисунок 2.2, е) використовують на фрезерному верстаті при відсутності довбального верстата. Головку встановлюють на станині горизонтально-фрезерного верстата. Повзун 9 з різцем 10 одержує зворотно-поступальний рух від шпинделя верстата через кривошипно-шатунний механізм.

Шліфувальну головку (рисунок 2.2, д), установлюють на станині консольно-фрезерного верстата, її шпиндель 11 приводиться в обертання шпинделем верстата через дві пасові передачі.

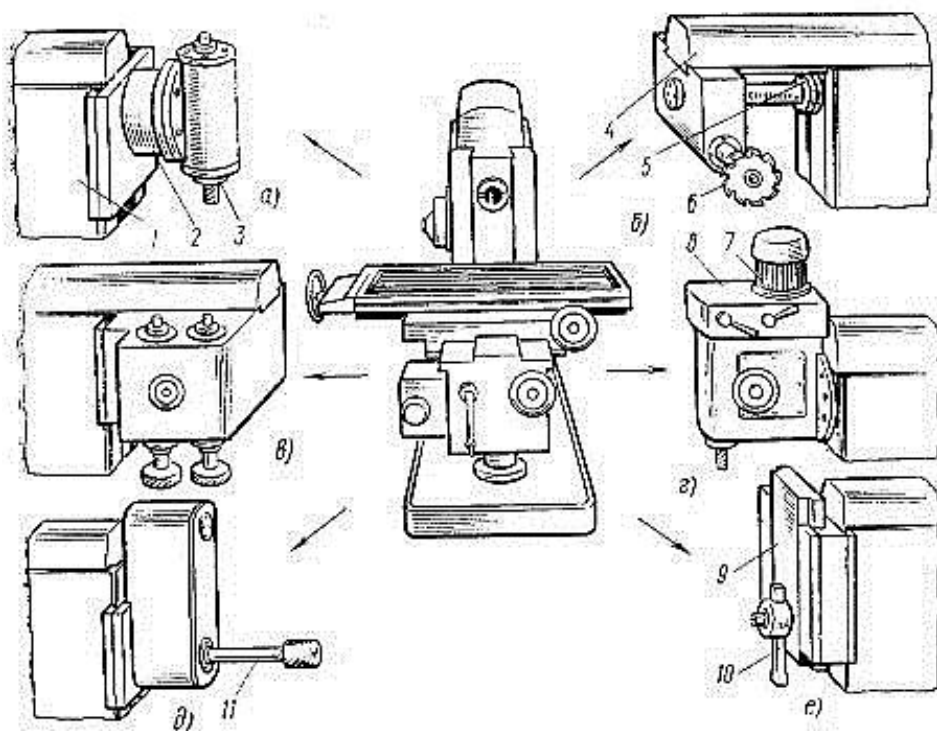


Рисунок 2.2 – Спеціальні пристосування, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів: а – додаткова вертикально-фрезерна головка; б – пристосування для фрезерування рейок; в – двошпиндельна фрезерна головка; г - свердлильна головка; д – шліфувальна головка; е – довбальна головка.

Точність і довговічність фрезерних верстатів підвищується за рахунок більш точного виготовлення деталей і вузлів, збільшення твердості верстатів, застосування пристроїв для автоматичної вибірки зазорів у парах, що сполучаються, централізованого змащення при гарному захисті від забруднення тертьових пар.

При проектуванні фрезерних верстатів широко уніфікують вузли й механізми, що дозволяє на базі основної моделі створити гаму верстатів з єдиним рішенням по конструкції й системам керування [21].

Значно збільшився випуск фрезерних верстатів зі ЧПК, які дозволяють суттєво підвищити продуктивність праці, автоматизувати дрібносерійне й навіть одиничне виробництво, скоротити час виробничого циклу, підвищити точність виготовлення деталей, скоротити витрати часу на їхній контроль. Крім того, одержали подальший розвиток багатоопераційні верстати, на яких роблять комплексну послідовну обробку деталей різними інструментами з автоматичною їхньою зміною в робочій позиції.

Принципово новими засобами, якими починають оснащувати верстати, є промислові роботи — універсальні швидко переналагоджувані маніпулятори із програмним керуванням, що дозволяють механізувати й автоматизувати ручна праця на основних допоміжних операціях.

Знання конструктивних особливостей і експлуатаційних можливостей фрезерних верстатів, своєчасне їхнє обслуговування при відповідній організації робочого місця дозволить робітникам фрезерувальникам добитися високої продуктивності і якості обробки.

Разом з тим модернізацію встаткування доцільно здійснювати тільки за умови її економічної ефективності. Передчасна модернізація так само, як і запізнїла, завдає шкоди виробництву.

1.3 Постановка завдання роботи

Проведений огляд по напрямках модернізації металорізальних верстатів і актуальності проблем, пов'язаних з їхнім проектуванням, дозволив сформулювати теоретичні завдання роботи для досягнення поставленої мети, якої є модернізація верстата 6М82 з метою підвищення продуктивності й розширення технологічних можливостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати наступні заходи:

- а) модернізація привода головного руху;
- б) проектування конструкції додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- в) розрахунки несучої системи верстата (деформаційний, динамічний, модальний, тепловий);
- г) виконати розрахунок параметрів твердості шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- д) виконати динамічний розрахунок шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- е) виконати спеціальну частину проекту, пов'язану з аналізом програми Compass - Autoproject;
- ж) зробити оцінку економічних витрат пов'язаних з модернізацією верстата й сформулювати загальні висновки про можливість його застосування.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір і розрахунок оптимальних режимів різання

Після проведеного огляду можливих напрямків модернізації металорізальних верстатів, можна зробити вивід, що для підвищення продуктивності верстата 6М82 необхідно змінити основний час обробки. Основний час, витрачений, на процес чорнової обробки деталі типу пластина розміром 1250×320 мм становить 25 хв. Для забезпечення підвищення продуктивності необхідно цей час скоротити у два рази. Для цього необхідно змінити хвилинну подачу S_x з 160 мм/хв до 320 мм/хв. У результаті цього змінюватимуться режими різання. При призначенні режимів обробки різанням на певну операцію враховують характер обробки, тип і розміри інструмента, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, тип і стан устаткування, насамперед його твердість. У даній операції використовується торцева фреза діаметром $D = 150$ мм і кількістю зубів $z = 14$. Ріжуча частина виконана із твердого сплаву Т15К6.

Елементи режиму обробки наступні [24]:

Глибина різання $t = 4$ мм: при чорновій обробці ухвалюють по можливості максимальну глибину, рівну більшій частини припуску.

Подача $S = 320$ мм/хв: при чорновій обробці вибирають максимально можливу подачу, виходячи із твердості й міцності вузлів верстата й технологічного оснащення, потужності привода верстата, міцності ріжучої частини інструмента й інших обмежуючих факторів.

Швидкість різання при фрезеруванні вибирають виходячи із припустимого зношування фрез при прийнятій економічно доцільній стійкості по формулі (3.1):

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m t^{x_v} S^{y_v} B^{r_v} z^{q_v}}, \quad (3.1)$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу;

T – період стійкості інструмента, хв;

D – діаметр інструмента, м;

t – глибина різання, м;

S – подача, м/хв;

B – ширина фрезерування, м;

z – число зубів інструмента;

x, y, z, r, q – показники ступеня, що визначають вплив на силу різання.

$$v = \frac{2940 \cdot 0,15^{0,2}}{180^{0,8} \cdot 0,004^{0,21} \cdot 0,32^{0,32} \cdot 0,107^{0,26} \cdot 14^{0,1}} = 345 \text{ м / хв}$$

Залежно від прийнятої швидкості різання v визначають частоту обертання шпинделя верстата по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (3.2)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 345}{3,14 \cdot 150} = 731 \text{ об / хв}$$

Визначимо рух подачі на зуб фрези, мм/зуб:

$$S_z = \frac{S}{n \cdot z}, \quad (3.3)$$

$$S_z = \frac{320}{731 \cdot 14} = 0,03 \text{ мм / зуб}$$

Визначимо головну складову сили різання й крутний момент на шпинделі при фрезеруванні по формулах:

$$F_t = \frac{10 C_p t_x S_z^y B^u z}{D^q n^w}, \quad (3.4)$$

де C_p, x, y, z, u, q – показники ступеня, що враховують силу різання.

$$M_{кр} = \frac{F_t D}{2 \cdot 100}, \quad (3.5)$$

$$F_t = \frac{10 \cdot 825 \cdot 4^1 \cdot 0,03^{0,75} \cdot 107^{1,1} \cdot 14}{150^{1,3} \cdot 731^{0,2}} = 2156 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = \frac{2156 \cdot 150}{2 \cdot 100} = 1616,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначення ефективної потужності різання, N_e й потужності двигуна привода головного руху N_d , кВт:

$$N_e = \frac{F_t \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (3.6)$$

$$N_d = \frac{N_e}{\eta}, \quad (3.7)$$

де η – ККД привода головного руху.

$$N_e = \frac{2156 \cdot 345}{1020 \cdot 60} = 12 \text{ кВт},$$

$$N_d = \frac{12}{0,8} = 15 \text{ кВт}$$

Таким чином, оптимальний режим різання для даного умови обробки буде:

$$T = 180 \text{ хв};$$

$$t = 4 \text{ мм};$$

$$S = 320 \text{ мм/хв};$$

$$n = 731 \text{ об/хв};$$

$$v = 345 \text{ м/хв}.$$

3.2 Проектування привода головного руху

3.2.1 Кінематичний розрахунок привода головного руху

При заданій потужності електродвигуна, його вибір здійснюється методом добору по частоті обертання. При низьких частотах обертання шпинделя недоцільно застосовувати електродвигун зі зниженою номінальною частотою обертання, тому що зростають маса, розміри й вартість

електродвигуна. У той же час для приводів головного руху не слід застосовувати електродвигуни зі швидкістю обертання 3000 хв⁻¹, тому що при цьому зростає рівень шуму верстата. У таких випадках доцільно застосовувати електродвигун з відносно високою частотою обертання й механічні передачі для наступного її зниження. У даній роботі для спрощення конструкції привода головного руху як приводного електродвигуна ухвалюється трьохшвидкісний двигун 4A100L4B3 з наступними характеристиками: потужність двигуна $P_{\text{ед.}} = 11; 15 \text{ і } 18,5 \text{ кВт}$, і частота обертання $n_{\text{эд.}} = 730; 1440 \text{ і } 2945 \text{ хв}^{-1}$.

$$R_n = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}, \quad (3.8)$$

де n_{max} – найбільша частота обертання шпинделя, об/хв;

n_{min} – найменша частота обертання шпинделя, об/хв.

$$R_n = \frac{1600}{31,5} \approx 50,79$$

Для геометричного ряду частот обертання число щаблів швидкості може бути визначене зі співвідношення:

$$z = 1 + \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} \quad (3.9)$$

Обчислена по цій формулі величина z округляється до цілого числа, що приводить до деякої зміни дійсного діапазону регулювання R_n .

$$z = 1 + \frac{\lg 50,79}{\lg 1,26} = 17,06 \approx 18$$

При настроюванні послідовно включеними груповими передачами число щаблів швидкості може бути презентовано у вигляді:

$$z = p_a p_b \dots p_r = \prod_1^m p_k, \quad (3.10)$$

де p_k – число окремих передач у кожній групі;

m – число груп передач.

При обранім числі щаблів частот обертання шпинделя z кількість груп передач, кількість передач у кожній групі й порядок розташування груп може

бути різним.

Число конструктивних варіантів привода, що полягає з m груп передач, визначається по формулі:

$$N_{\text{кон.}} = \frac{m!}{q!}, \quad (3.11)$$

де q – число груп з однаковим числом передач.

Якщо частоти обертання шпинделі змінюються по геометричному ряду, то передатні відносини передач у групах утворюють геометричний ряд зі знаменником (x , де x – ціле число, називане характеристикою групи передач. Для послідовного одержання частот обертання шпинделя спочатку перемикають передачі однієї групи, потім інший і т.д. [3].

Залежно від прийнятого порядку перемикань група може бути:

а) основний, характеристика, якої визначається по формулі:

$$x_0 = 1 \quad (3.12)$$

б) першою переборною групою, для якої характеристика визначається по формулі:

$$x_1 = p_1, \quad (3.13)$$

де p_1 – число передач в основній групі.

в) другою переборною групою, для якої характеристика визначається по формулі:

$$x_2 = p_1 \cdot p_2, \quad (3.14)$$

де p_2 – число передач у першій переборній групі.

Основний і різними по номеру переборними групами може бути будь-яка група передач у приводі. Для певного конструктивного варіанта число кінематичних буде дорівнює числу перестановок з m груп передач:

$$N_{\text{кин.}} = m! \quad (3.15)$$

Загальне максимальне передатне відношення привода визначається по

формулі:

$$u_{\max} = \frac{n_{\text{эд.}}}{n_{\min}} \quad (3.16)$$

Отримане передатне відношення може бути презентовано у вигляді:

$$u_{\max} = \varphi^H, \quad (3.17)$$

де H – показник ступеня, що визначає величину загального передатного відношення.

Визначення максимальних передатних відносин у групах проводиться шляхом розбивки загального передатного відношення на передатні відносини груп, для чого обчислюється показник ступеня H и виражається у вигляді:

$$H = \frac{\lg u_{\max}}{\lg \varphi} = \sum_{k=1}^m h_k, \quad (3.18)$$

де h_k – показник ступеня, що характеризує величину максимального передатного відношення k_0 -й групи передач;

m – число груп передач.

При цьому обрані значення h_k повинні бути цілими числами й повинні задовольняти умові:

$$h_k \leq h_{k+1} \leq \dots \leq h_m \quad (3.19)$$

Максимальне передатне відношення в групі визначиться по формулі:

$$u_{\max k} = \varphi^{h_k} \quad (3.20)$$

При цьому повинне бути забезпечене виконання наступного умови:

$$0,25 \leq u_{\max k} \leq 2 \quad (3.21)$$

Тому що показник ступеня H , як правило, не є цілим числом, він не може бути точно представлений сумою цілих чисел. Тому для збереження величини загального максимального передатного відношення вводиться додаткова передача від вала електродвигуна на вхідний вал, передатне відношення якої,

визначиться по формулі:

$$u_0 = \varphi^{h_0}, \quad (3.22)$$

$$h_0 = H - \sum_{k=1}^m h_k \quad (3.23)$$

Структурна сітка представлено на рисунку 3.1. Сітка будується відповідно до обраної формули структури привода. У ній знаходить висвітлення відносного зв'язку між передатними відносинами в групах, тому промені для кожної групи проводяться симетрично, а кількість інтервалів між їхніми кінцями чисельно дорівнює характеристиці групи, обумовленої у відповідності зі структурною формулою.

Графік частот обертання представлено на рисунку 3.2. Графік відбиває частоти обертання всіх валів привода, включаючи вали одиночних передач, необхідних для його компонування. Побудову починають із ланцюга редукції, що забезпечує зниження частоти обертання електродвигуна $n_{эд.}$ до $n_{мін}$ на шпинделі. Для подальшої побудови використовуються структурні сітки [23-27].

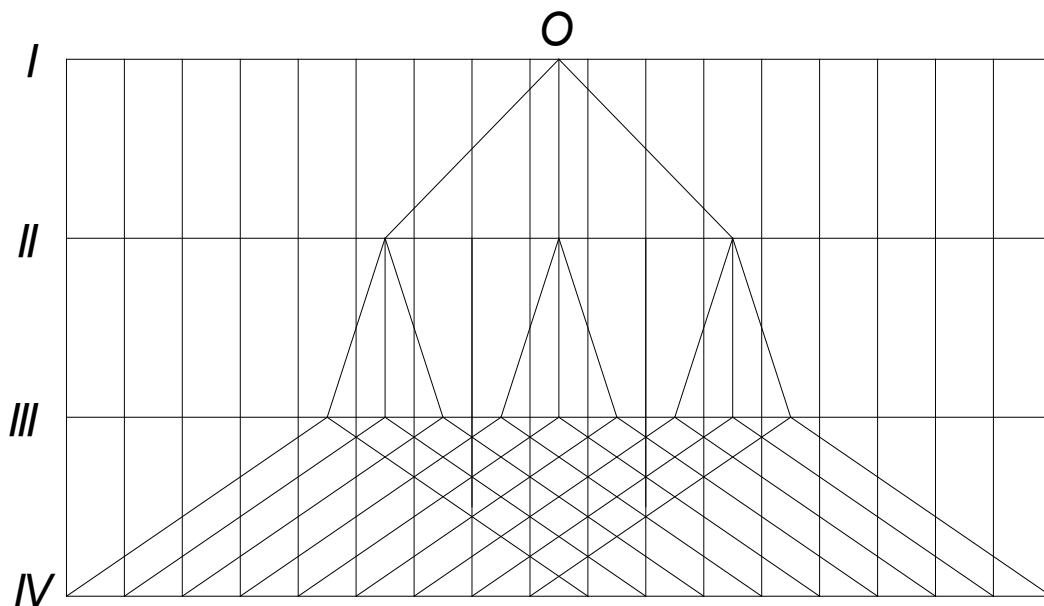


Рисунок 3.1 – Структурна сітка привода головного руху модернізованого верстата моделі 6М82

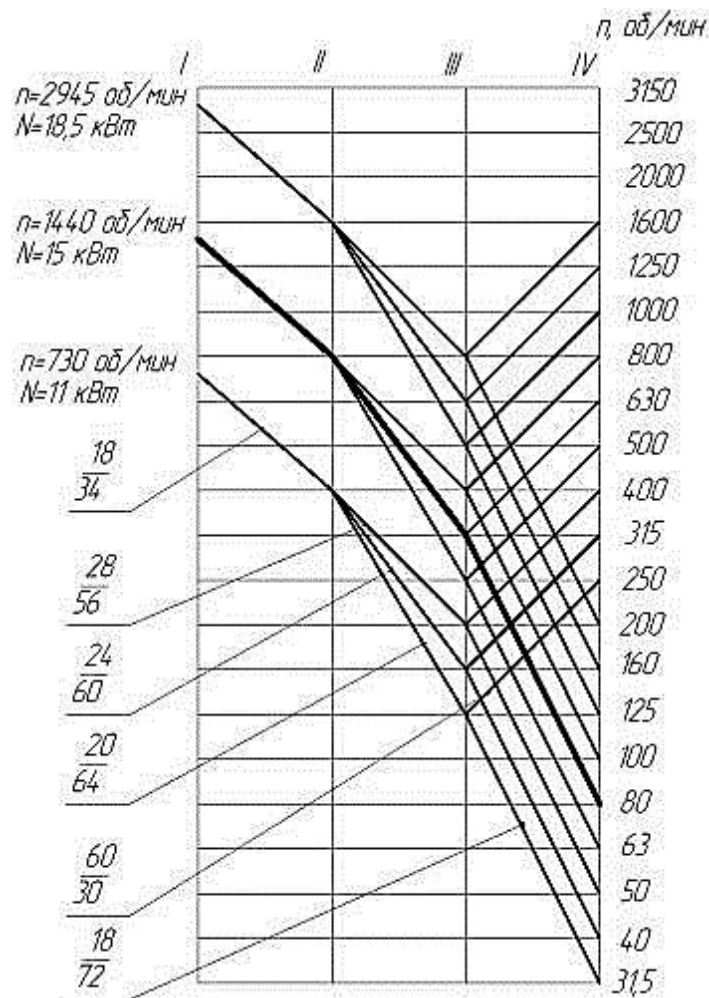


Рисунок 3.2 – Графік частот обертання шпинделя модернізованого верстата моделі 6М82

Для визначення передатних відносин використовується побудований графік частот обертання.

Передатне відношення передачі визначається вираженням:

$$u = \varphi k, \quad (3.24)$$

де k – число інтервалів між горизонталями, перекритих променями, що з'єднують оцінки частот обертання на сусідніх валах.

При визначенні чисел зубів виходять зі сталості міжосьової відстані й числа зубів визначають по наступних формулах:

$$z_1 = z_0 \frac{f}{f + g}, \quad z_2 = z_0 \frac{g}{f + g}, \quad (3.25)$$

$$z_0 = K \cdot E, \quad E_{\min} = \frac{z_{\min}(f + g)}{K \cdot f},$$

де z_1 і z_2 – числа зубів провідного і веденого коліс;

z_0 – сума чисел зубів сполучених коліс;

f – чисельник передатного відношення;

g – знаменник передатного відношення;

K – найменше кратне $(f + g)$;

E – ціле число;

$z_{\min} = 18$ – мінімальне число зубів.

Крутні моменти на валах можуть бути знайдені по формулі:

$$T = 974 \frac{P_{\text{эд.}} \cdot \eta}{n}, \quad (3.26)$$

де $P_{\text{эд.}}$ – потужність на валу двигуна, кВт;

(η – ККД ділянки кінематичного ланцюга від двигуна до, вала що розраховується;

n – розрахункова частота обертання вала, про/хв.

Кінематичний розрахунок коробки швидкостей виконаний з використанням програми «SIRIUS 2» Результати розрахунку перебувають у додатку Б.

3.2.2 Розрахунок прямозубої евольвентної передачі

Визначення модуля зубчастої передачі розрахунком на контактну витривалість зубів [4].

$$m_H = \frac{K_d}{z_1} \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{H\beta} \cdot (u + 1)}{\psi_{bd} \cdot \sigma_{HP}^2 \cdot u}}, \quad (3.27)$$

де K_d – допоміжний коефіцієнт; для прямозубих передач, $K_d = 770$;

z_1 – число зубів шестірні;

T_1 – обертаючий момент на шестірні, Н·м;

u – передатне відношення передачі;

HP – контактна напруга, що допускається, Па;

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця.

$$\psi_{bd} = \frac{b}{d_1}, \quad (3.28)$$

де b – робоча ширина вінця зубчастої передачі, м;

d_1 – ділительний діаметр шестірні, м.

Визначення модуля зубчастої передачі розрахунком на витривалість зубів при вигині обчислюється по формулі:

$$m_F = K_m \sqrt{\frac{T_1 \cdot K_{F\beta}}{z_1^2 \cdot \psi_{bd} \cdot \sigma_{FP}}} \cdot Y_{F1}, \quad (3.29)$$

де K_m – допоміжний коефіцієнт; для прямозубих передач, $K_m = 14$;

$K_{F\beta}$ – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця при вигині;

σ_{FP} –, що допускається згинальна напруга, Па;

Y_{F1} – коефіцієнт враховуючий форму зубів шестірні.

З отриманих розрахункових значень m_h і m_f вибирається найбільше й округляється у бік збільшення до стандартного модуля за ДСТУ 9563–88.

При цьому повинне виконуватися наступна умова:

$$m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_k, \quad (3.30)$$

де m_1 – модуль зубчастих передач групи, розташованої першої від електродвигуна;

m_k – модуль зубчастих передач групи, розташованої останньої від електродвигуна.

Для прямозубої циліндричної передачі міжосьова відстань визначається по формулі:

$$A_w = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2}, \quad (3.31)$$

де m – стандартний модуль передачі, м;

z_2 – число зубів зубчастого колеса, сполученого із шестірнею.

При визначенні міжосьових відстаней по групах передач повинне виконуватися наступна умова:

$$A_{w1} \leq A_{w2} \leq \dots \leq A_{wk}, \quad (3.32)$$

де A_{w1} – міжосьова відстань передач групи, розташованої першої від електродвигуна, м;

A_{wk} – міжосьова відстань передач групи, розташованої останньої від електродвигуна, м.

На основі побудованій згортки виконується розрахункова схема зображена на рисунку 2.3, що представляє собою умовне зображення розрахункового ланцюга зубчастих передач. У полюсі зачеплення кожної зубчастої пари, по нормалі до бічних поверхонь зубів, діють сили, величина яких визначається по формулі:

$$P = Q = \frac{2 \cdot T \cdot 1000}{m \cdot z \cdot \cos 20^\circ}, \quad (3.33)$$

де m і z – модуль і число зубів зубчастого колеса;

T – обертаючий момент, прикладений до вала зубчастого колеса, Нм.

Сили, що діють із боку шестірні на валу електродвигуна на зубчасте колесо вхідного вала:

$$P_1 = \frac{2 \cdot 46874}{2,5 \cdot 18 \cdot \cos 20^\circ} \approx 2216 \text{ Н}$$

$$Q_1 = \frac{2 \cdot 78450}{2,5 \cdot 34 \cdot \cos 20^\circ} \approx 1964 \text{ Н}$$

Сила, що діє з боку шестірні на вхідному валу на зубчасте колесо проміжного вала:

$$P_2 = \frac{2 \cdot 78450}{3 \cdot 24 \cdot \cos 20^\circ} \approx 2318 \text{ Н}$$

$$Q_2 = \frac{2 \cdot 188338}{3 \cdot 60 \cdot \cos 20^\circ} \approx 2226 \text{ Н}$$

Сила, що діє з боку шестірні на проміжному валу на зубчасте колесо

вихідного вала:

$$P_3 = \frac{2 \cdot 188338}{4 \cdot 18 \cdot \cos 20^\circ} \approx 5567 \text{ Н}$$

$$Q_3 = \frac{2 \cdot 723445}{4 \cdot 72 \cdot \cos 20^\circ} \approx 5344 \text{ Н}$$

Розрахунок прямозубої евольвентної передачі виконаний з використанням програми «SIRIUS 2». Результати розрахунку перебувають у додатку В.

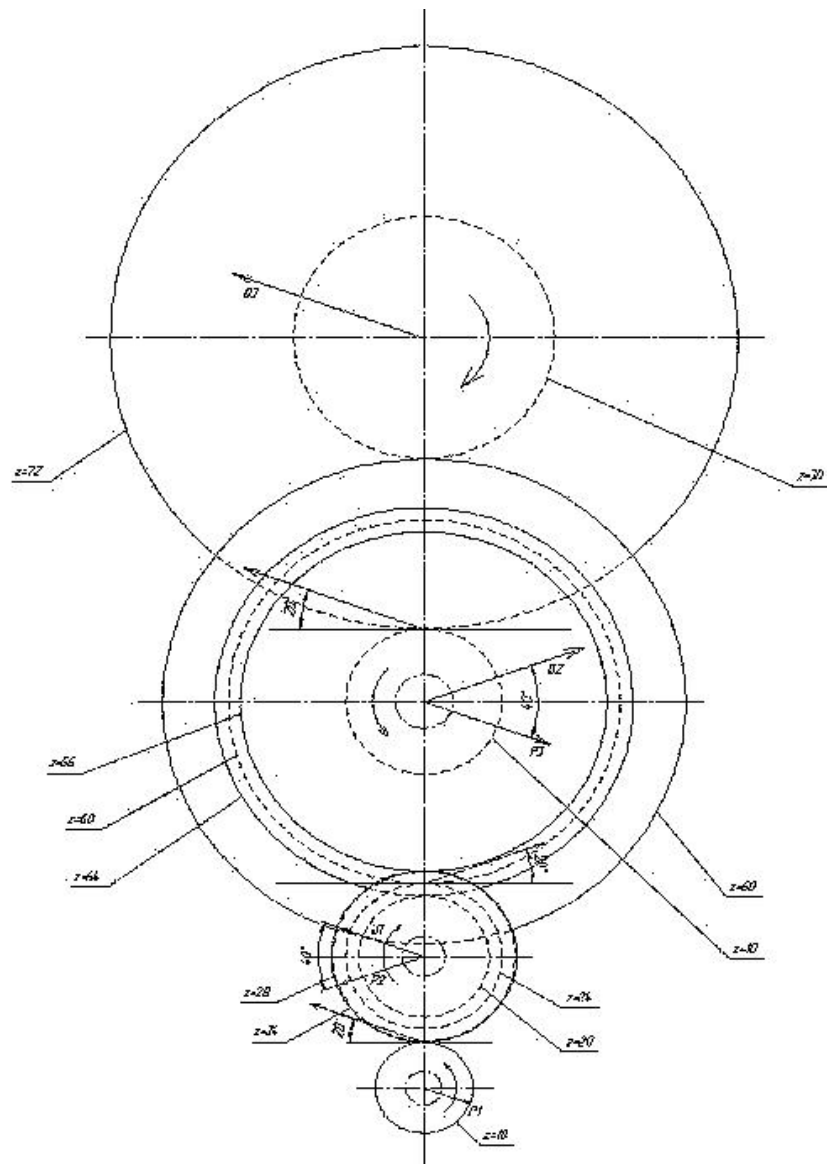


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема згортки коробки швидкостей

3.2.3 Розрахунок і підбір підшипників

На основі виконаної компоувальної схеми складається розрахункова схема кожного вала, на якій вказуються всі сили, що діють на вал, прикладені у відповідних крапках. Розрахункова схема представлено на рисунку 3.4.

Дана схема дозволяє визначити реакції в кожній опорі за допомогою рівнянь статки, які мають такий вигляд [4,15,16]:

$$\sum F_{kx} = 0, \sum F_{ky} = 0, \sum m_o(F_k) = 0, \quad (3.34)$$

де $\sum F_{kx}$ – сума всіх сил, що діють у площині O_{zx} ;

$\sum F_{ky}$ – сума всіх сил, що діють у площині O_{zy} ;

$\sum m_o(F_k)$ – сума моментів сил щодо обраної точки площини.

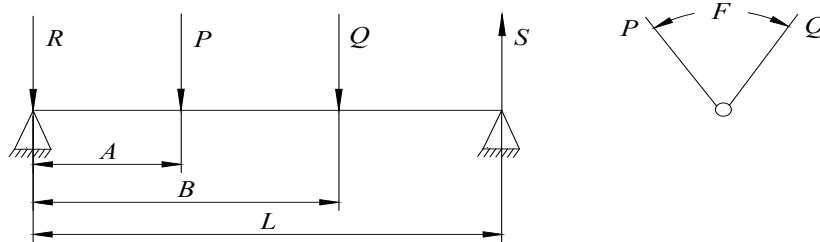


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема

Критерієм для підшипника служить нерівність:

$$P_0 \leq C_0, \quad (3.35)$$

де P_0 – еквівалентне статичне навантаження, Н;

C_0 – табличне значення статичної вантажопідйомності обраного підшипника, Н.

Величини наведеного статичного навантаження для радіальних підшипників визначаються як більші із двох наступних значень:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a ; P_0 = F_r, \quad (3.36)$$

де X_0 – коефіцієнт радіального навантаження;

Y_0 – коефіцієнт осевого навантаження;

F_r – постійна по величині і напрямку радіальне навантаження, Н;

F_a – постійна по величині і напрямку осеве навантаження, Н.

Критерієм для вибору підшипника служить нерівність:

$$C_{тр.} \leq C, \quad (3.37)$$

де $C_{тр.}$ – необхідна величина динамічної вантажопідйомності підшипника, Н;

C – табличне значення динамічної вантажопідйомності обраного підшипника, Н.

Необхідна динамічна вантажопідйомність визначається по формулі:

$$C_{тр.} = P \cdot \left(\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6} \right)^\alpha, \quad (3.38)$$

де P – еквівалентне динамічне навантаження, Н;

n – частота обертання вала для якого підбирається підшипник, про/хв;

L_h – довговічність підшипника, виражена в годиннику роботи;

α – коефіцієнт, що залежить від форми кривої контактної утоми.

Еквівалентне динамічне навантаження для кулькових радіальних підшипників визначається по формулі:

$$P = (X_v f_r + Y f_a) K_\delta K_T, \quad (3.39)$$

де F_r – радіальне навантаження, прикладена до підшипника, Н;

F_a – осеве навантаження, прикладена до підшипника, Н;

V – коефіцієнт обертання;

K_δ – коефіцієнт безпеки;

K_T – температурний коефіцієнт.

При виборі підшипників по таблицях повинен бути врахований необхідний за умовою міцності діаметр вала.

Діаметр ділянки вала, що працює на чисте крутіння визначається по формулі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}}, \quad (3.40)$$

де T – крутний момент на валу, Н(м;

$[\tau]$ – знижена напруга, що допускається, МПа.

Діаметр ділянки вала, що працює на крутіння й вигин, визначається по формулі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв.}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]_u}}, \quad (3.41)$$

де $M_{екв.}$ – еквівалентний момент у перетині вала, Н·м;

$[\sigma_{-1}]$ – знижена напруга, що допускається, МПа.

$$M_{экв.} = \sqrt[3]{M_{изг.}^2 + T^2}, \quad (3.42)$$

де $M_{изг.}$ – згинальний момент у перетині вала, Н·м.

Розрахунок підшипників кочення виконаний з використанням програми «SIRIUS 2». Результати розрахунку перебувають у додатку Г.

Після розрахунку підшипників на статичну й динамічну вантажопідйомність можна здійснити їхній добір для побудови розгорнення коробки швидкостей /5/. Результати добору підшипників представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір підшипників

Вал		Маркування	d, мм	D, мм	B, мм	Розрахункові		Табличні	
						C ₀ , Н	C, Н	C ₀ , Н	C, Н
I	Л	204×2	20	47	14×2	1984,77	22684,16	6200×2	12700×2
	П	1000805	25	37	7	231,23	2642,81	1980	3120
II	Л	7304	20	52	16	1975,27	18568,20	17000	26000
	П	7304	20	52	16	2206,82	20744,78	17000	26000
III	Л	305	25	62	17	2737,90	18960,41	11400	22500
	П	307	35	80	21	4680,76	32415,00	18000	33200

3.2.4 Розрахунок перетину суцільного вала

Під середніми ділянками вала слід розуміти ділянки, на яких розташовані шестірні й зубчасті колеса. Визначення діаметра проводиться розрахунком на вигин із крутінням по формулах (3.40) і (3.41).

Після завершення розрахунку, розробляється конструкція кожного вала, яка повинна забезпечувати можливість складання коробки швидкостей і вільного просування зубчастих коліс до місця посадки /6/.

Розрахунок валів на втомну міцність зводиться до визначення розрахункових коефіцієнтів запасу міцності для приблизно небезпечних перерізів валів.

Умова міцності в даному розрахунку, має вигляд /4/:

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} \geq [n], \quad (3.43)$$

де n – розрахунковий коефіцієнт запасу міцності;

$[n] = 1,3 \div 1,5$ – необхідний коефіцієнт запасу для забезпечення міцності;

$[n] = 2,5 \div 4$ – необхідний коефіцієнт запасу для забезпечення твердості;

n_{σ} – коефіцієнт запасу міцності по нормальних напругах;

n_{τ} – коефіцієнт запасу міцності по дотичних напруженнях.

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}, \quad (3.44)$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}, \quad (3.45)$$

де σ_{-1} і τ_{-1} – границі витривалості для матеріалу вала при симетричних циклах вигину і крутіння, Па;

σ_a , τ_a і σ_m , τ_m – амплітуди й середні напруги циклів нормальних і дотичних напружень, Па;

k_{σ} і k_{τ} – ефективні коефіцієнти концентрації напруг при вигині й при крутінні;

ε_σ і ε_τ – масштабні фактори для нормальних і дотичних напружень;

ψ_σ и ψ_τ – коефіцієнти, що враховують вплив постійної складової циклу на втомну міцність.

Можна вважати, що нормальні напруги, що виникають у поперечному перерізі вала від вигину, змінюються по симетричному циклу, тоді:

$$\sigma_a = \frac{M_{изг.}}{W}, \quad (3.46)$$

де $M_{изг.}$ – сумарний згинальний момент у найбільш навантаженому перетині, Н·м;

W – момент опору перетину при вигині, м³.

Для круглого перетину вала:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (3.47)$$

Для круглого перетину зі шпонковою канавкою:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{2d}, \quad (3.48)$$

де b і t – ширина й висота шпонкової канавки, м.

Для перетину вала зі шліцями:

$$W = \xi \cdot \frac{\pi d^3}{32}, \quad (3.49)$$

де $\xi = 1,125$ – для шліців легкої серії;

$\xi = 1,205$ – для шліців середньої серії;

$\xi = 1,265$ – для шліців важкої серії.

Тому що момент, переданий валом, змінюється по величині, то при розрахунку ухвалюють для дотичних напружень найбільш несприятливий знакопостійний цикл – від нульової:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{T}{2W_\kappa}, \quad (3.50)$$

де W_κ – момент опору вала при крутінні, м³.

Для круглого перетину вала:

$$W_{\kappa} = \frac{\pi d^3}{16} \quad (3.51)$$

Для перетину вала зі шпонковою канавкою:

$$W_{\kappa} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt(d-t)^2}{2d} \quad (3.52)$$

Для перетину вала зі шліцями:

$$W_{\kappa} = \xi \cdot \frac{\pi d^3}{16} \quad (3.53)$$

Розрахунок на міцність шпонок і шліцьових з'єднань.

Умова міцності по зминанню для призматичної шпонки має вигляд:

$$\sigma_{см.} \approx \frac{4,4 \cdot T}{z \cdot l_p \cdot d \cdot h} \leq [\sigma]_{см.}, \quad (3.54)$$

де z – число шпонок;

$\sigma_{см}$ – напруга зминання, Па;

$[\sigma]_{см}$ – що допускається напруга при зминанні, Па;

l_p – робоча довжина шпонки, м;

d – діаметр вала, м;

h – висота шпонки, м.

Умова міцності з розрахунку на зріз шпонки:

$$\tau_{сп.} = \frac{2 \cdot T}{z \cdot b \cdot l_p \cdot d} \leq [\tau]_{сп.}, \quad (3.55)$$

де $[\tau]_{сп}$ – що допускається напруга при зрізі, Па.

Розрахунок шліцьових з'єднань умовно роблять на зминання втулки в місці її зіткнення з бічними поверхнями зубів.

$$\sigma_{см.} = \frac{T}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r_{сп.}} \leq [\sigma]_{см.}, \quad (3.56)$$

де $\psi = 0,7(0,8$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по зубах;

z – число зубів;

l – робоча довжина зуба уздовж осі вала, м;

h – робоча висота контактуючих зубів у радіальному напрямку, м;

$r_{\text{ср.}}$ – середній радіус, м.

Розрахунок перетину суцільного вала виконаний з використанням програми «SIRIUS 2». Результати розрахунку перебувають у додатку Д.

3.2.5 Вибір і обґрунтування посадок

При призначенні полів допусків для посадок вала під внутрішнє кільце й отвору корпусу під зовнішнє кільце підшипників кочення необхідно враховувати:

- а) обертається вал (внутрішнє кільце) або корпус;
- б) вид навантаження;
- в) режим роботи;
- г) тип і розміри підшипників;
- д) клас точності підшипника;
- е) швидкість обертового кільця;
- ж) умови монтажу й експлуатації й т.п.

Відповідно до зазначених умов, для посадки на вал кулькових радіальних підшипників класу точності Р6, циркуляційному навантаженні (обертовий вал) і нормальному режимі роботи, вибирається поле допуску k6. Для посадки підшипників у корпус вибирається поле допуску H7 [15].

Для прямо бічних шліцьових з'єднань:

а) у якості посадки по діаметру при centruванні по зовнішньому діаметру вибирається посадка H7/h6;

б) у якості посадки по ширині шліца вибирається посадка F8/js7.

Для нерухливих шпонкових з'єднань вибирається перехідна посадка H7/p6. Для посадки призматичних шпонок у вал використана посадка P9/h9.

3.3 Проектування конструкції додаткової фрезерної головки

У процесі модернізації верстата в його конструкції з'являються нові елементи. Цими елементами є додаткова поворотна фрезерна головка й новий хобот верстата. Фрезерна головка й хобот спроектовані на основі ідентичних елементів фрезерного верстата фірми «DECKEL», загальний вид якого зображено на рисунку 3.5 [17].



Рисунок 3.5 – Загальний вид фрезерного верстата фірми «DECKEL»

Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6M82 полягає в наступному. З верстата знімається старий хобот і замінюється на новий, який зображено на рисунку 3.6. На висувному хоботі монтують поворотну фрезерну головку з вертикальним шпинделем, яка зображено на рисунку 3.7. Можлива роздільна й одночасна робота обома шпинделями. Таким чином, після модернізації верстат стає власником можливостей як горизонтально-фрезерних, так і вертикально-фрезерних верстатів.



Рисунок 3.6 – Конструкція хобота



Рисунок 3.7 – Конструкція свердильно-фрезерної головки

3.4 Опис модернізованого верстата мод. 6М82

Модернізований горизонтально-фрезерний верстат моделі 6М82 призначений для фрезерування різних деталей різноманітними фрезами.

На рисунку 3.8 представлений загальний вид модернізованого верстата моделі 6М82/8/.

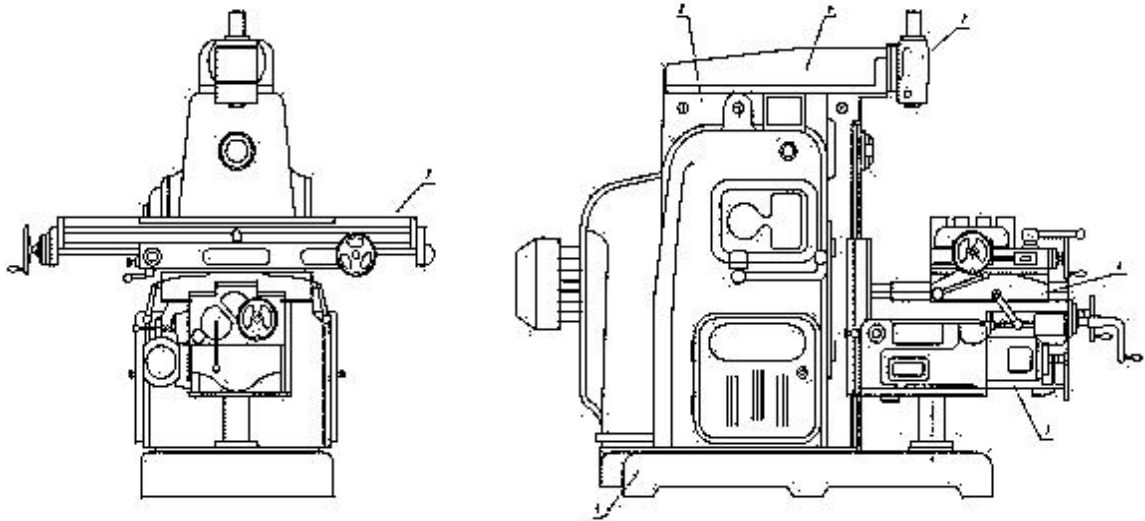


Рисунок 3.8 – Загальний вид модернізованого верстата мод. 6M821 – основа, 2 – станина, 3 – консоль, 4 – полозок, 5 – стіл, 6 – хобот, 7 – фрезерна головка.

Технічні характеристики верстата:

Розміри робочої поверхні стола, мм:	320×1250;
Найбільший хід стола, мм: поздовжній.....	700;
поперечний.....	240;
Відстань від осі горизонтального шпинделя до робочої поверхні стола, мм:	30-400;
Межі частот обертання шпинделів, хв. ⁻¹ :	31,5-1600;
Межі подач стола, мм/хв: поздовжніх і поперечна.....	25-1250
	вертикальна8,3-416,6;
Потужності електродвигуна головного руху, кВт:	11; 15; 18,5;
Габаритні розміри, мм:	2260×1740×1660;
Маса, кг:	2800;

Станина є базовим вузлом, на якому монтуються всі інші вузли й механізми верстата. Жорстка конструкція станини досягається за рахунок розвиненої підставки, трапецеїдального перетину станини по висоті й великої кількості ребер і стінок.

Поділ станини на окремі відсіки знімає звуковий резонанс внутрішньої порожнини.

Попереду станини, з лівої сторони, міститься планка з кулачками, що обмежують вертикальний хід консолі.

Нижні ніші станини, закриті дверцятами, використано для розміщення чотирьох панелей електроустаткування. Дві панелі закріплені на внутрішніх стінках ніш, а дві інші – на внутрішніх стінках дверцят.

Для кращого охолодження ніші позад внутрішніх панелей є вікна для циркуляції повітря.

Для запобігання від влучення в електрошафи мастила і бруду дверцята із внутрішньої сторони окантовані повстю або губчатою гумою; для цієї ж мети вгорі дверцят приварені екрани; масло, що випадково потрапило, стікаючи по екранах, мине електроапарати.

Станина у верхній частині має напрямні профілю «ласточкина хвоста», у яких установлений хобот. Хобот можна переміщати по напрямних. Для цього на лівій грані хобота нарізана рейка. На верхній поверхні хобота є дві кришки для зручності складання внутрішніх частин верстата.

На хоботі кріпиться поворотна фрезерна головка для розширення технологічних можливостей верстата.

Коробка швидкостей змонтована безпосередньо в корпусі станини (у верхній її частині) і управляється за допомогою вставної коробки перемикачів, розташованої з лівої сторони станини.

Шпиндель верстата являє собою трьохопорний вал. Невеликі по довжині прольоти й значний діаметр перетинів забезпечують необхідну вібростійкість і твердість шпинделя.

Для запобігання осьових переміщень шпинделя він зафіксовано двома шайбами, привернутими до поперечної стінки станини радіально-упорними шарикопідшипниками, що й охоплюють. Зазор у цих підшипниках регулюється шліфуванням проміжних кілець.

Предшпиндельний вал, на якому змонтовано два пересувні блоки, для більшої твердості й вібростійкості розташований також на трьох опорах.

Змащення зубчастих коліс і підшипників коробки швидкостей здійснюється від плунжерного насоса, встановленого усередині станини, що й приводиться в дію ексцентриком, розташованим на середньому валу коробки

швидкостей. Корпус насоса центрується своїм буртом в упорному фланці підшипника другого вала коробки швидкостей.

Коробка подач забезпечує одержання робочих подач і швидких переміщень стола, полозка й консолі.

На рисунку 3.9 зображена кінематична схема модернізованого верстата моделі 6М82.

Від трьохшвидкісного електродвигуна потужністю 11; 15 і 18,5 кВт через пружну сполучну муфту рух передається на вал I, а звалення I на вал II через зубчасту передачу 18:34. Рух валу III передається через зубчасті колеса, розташовані на валу II і потрійний блок зубчастих коліс, розташований на валу III за допомогою якого можна передати обертання з дев'ятьма різними швидкостями через передачі 28:56, 20:64 і 24:60.

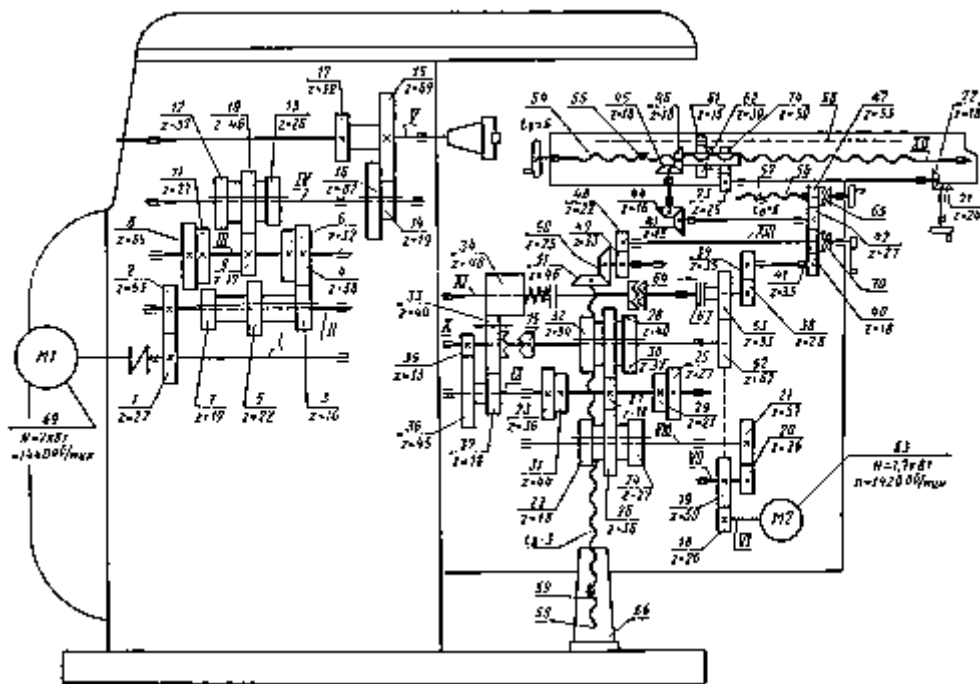


Рисунок 3.9 – Кінематична схема модернізованого верстата моделі 6М82

З вала III на вал IV (шпиндельний вал) рух може бути передане також двома різними варіантами передач: 60:30, 18:72. Отже, вал IV має вісімнадцять різних чисел обертів ($3 \times 3 \times 2 = 18$). Від вала IV рух передається на вал V циліндричною зубчастою передачею 72:17, а з вала V на шпиндель VI через

передачу 17:72. З вала VI рух передається на шпindelний вал поворотної фрезерної головки через конічну зубчасту передачу 18:18. У такий спосіб можна помітити, що вертикальний шпindel одержує такі ж частоти обертання, що й горизонтальний як по кількості, так і за чисельними значенням.

Привод подач здійснюється від окремого електродвигуна потужністю 1,7 кВт. Графік привода поздовжніх подач верстата показано на рисунку 2.9. Через передачу 26:50 одержує обертання вал XI, потім через передачу 26:57 - вал XII. На валу XII перебуває потрійний блок зубчастих коліс, що повідомляє валу XIII три швидкості обертання за допомогою передач: 36:18, 27:27 і 18:36. На валу XIV перебуває потрійний блок, за допомогою якого рух з вала XIII на вал XIV можна передати також трьома варіантами передач 24:34, 21:37 і 18:40. Отже, вал XIV має дев'ять різних чисел обертів ($3 \times 3 = 9$). Далі можливі два шляхи: якщо рухливе зубчасте колесо 40 з кулачками на торці пересунене вправо й перебуває в зачепленні з муфтою M1, жорстко пов'язаної з валом XIV, обертання від вала XIV на вал XV передається безпосередньо (через передачу 40:40); якщо зубчасте колесо 40 уведене в зачеплення із зубчастим колесом 18 (як показано на схемі), той рух на вал XIV буде передаватися через перебір $13/45 \times 18/40$ (перебір тут працює як понижувальна передача). Таким чином, коробка подач має 18 різних подач: дев'ять при роботі без перебору й дев'ять при роботі з перебором.

Рух з вала XIV на вал XV передається через передачу 40:40, запобіжну муфту M1 при включеній кулачковій муфті M2, а від нього на вал XVI за допомогою передачі 28:35 (муфта M3 виключена). Від вала XVI на вал XVII рух передається через передачу 18:33. З вала XVII можна передати всі числа обертів на ходові гвинти поздовжньої, поперечної й вертикальної подач. Так, поздовжня подача далі здійснюється по наступному ланцюгу: з вала XVII на вал XVIII передачею 33:37, з вала XVIII на вал XIX - через пару конічних зубчастих коліс 18:16, а з вала XIX на вал XX (ходовий гвинт поздовжньої подачі) також через пару конічних зубчастих коліс 18:18 [18].

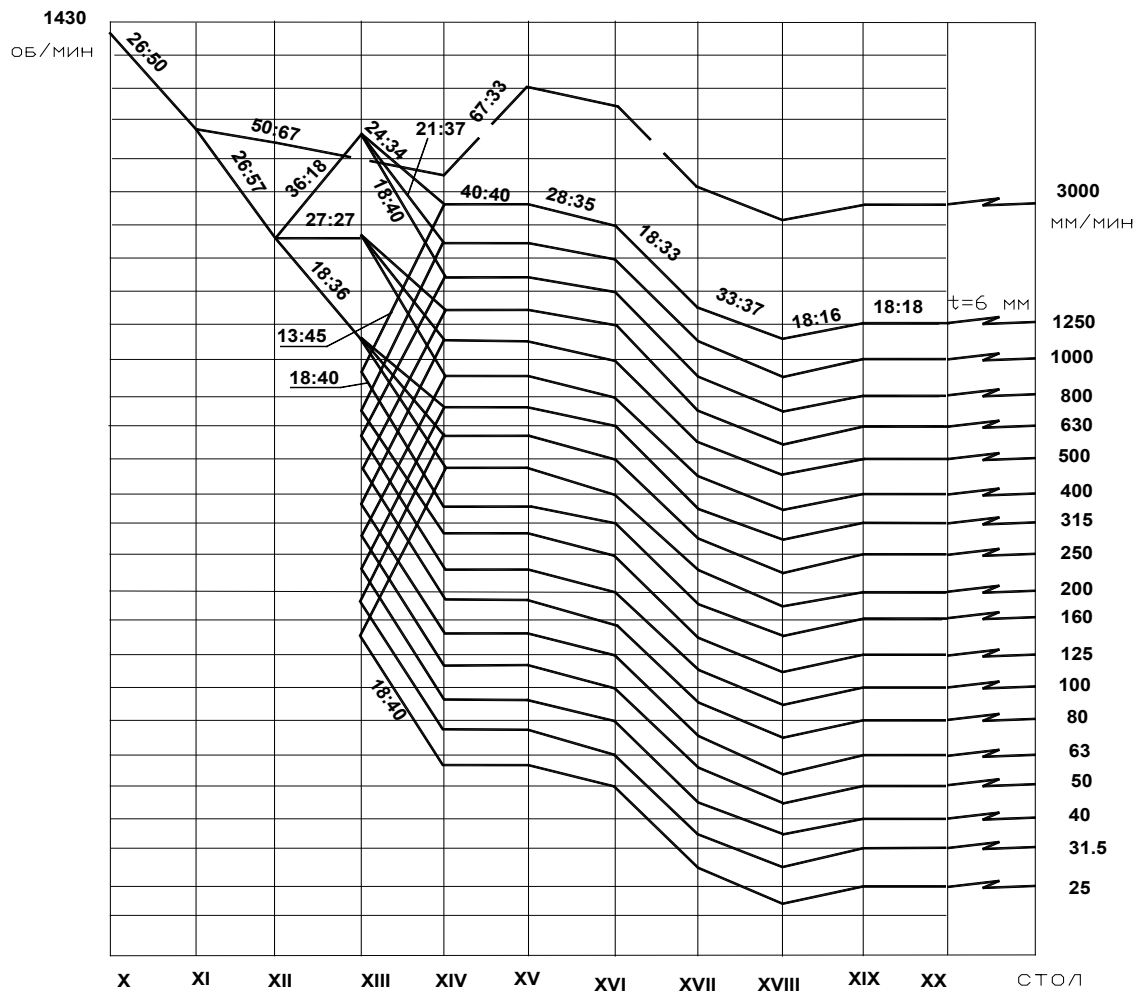


Рисунок 3.10 – Графік поздовжньої і поперечної подач верстата моделі 6М82

Швидкі переміщення стола у всіх напрямках здійснюються при включеній фрикційній муфти МЗ (зубчасте колесо 33 тверде фіксується на валу ХУ; муфта М2 виключена) і здійснюється по наступному кінематичному ланцюгу: обертання від електродвигуна подач передається валу ХУ через зубчасті передачі 26:50, 50:67 і 67:33, і далі по кінематичних ланцюгах робочих подач.

4. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунки несучої системи модернізованого верстата моделі 6М82

У цей час при створенні складних технічних об'єктів усе більша увага приділяється впровадженню систем інженерного аналізу. Системи комп'ютерного інженерного аналізу не тільки дозволяють оцінити принципову працездатність майбутньої конструкції (наприклад, за умовами міцності) – вони знайшли широке застосування при моделюванні технологічних процесів металообробки, кування й штампування, лиття металів і пластмас [9].

У даному проекті використовувався один з найпоширеніших кінцево-елементний пакет ANSYS, який застосовується для інженерного аналізу несучих систем верстатів [19].

Для розрахунків була приготовлена модель верстата, яка була спроектована в системі КОМПАС – 3D. Вона представлено на рисунку 4.1.

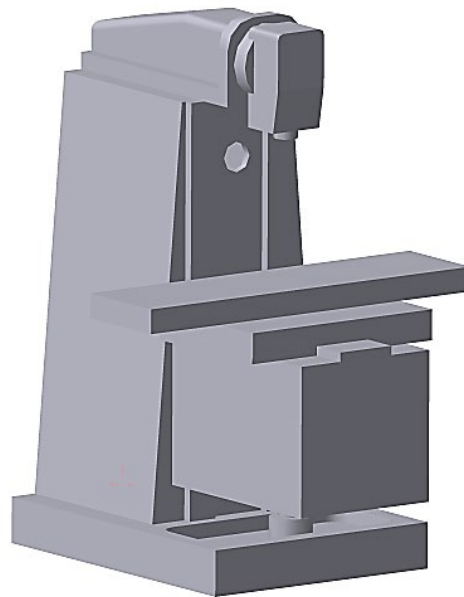


Рисунок 4.1 – Розрахункова модель верстата

У процесі роботи були зроблено чотири види аналізу несучої системи верстата. Це статичний, модальний, тепловий і термодеоформаційний аналіз. Їхні результати представлені нижче.

4.1.1 Розрахунок на жорсткість (*статичний розрахунок*)

На рисунку 4.2 представлений деформований стан несучої системи верстата після проведення розрахунку.

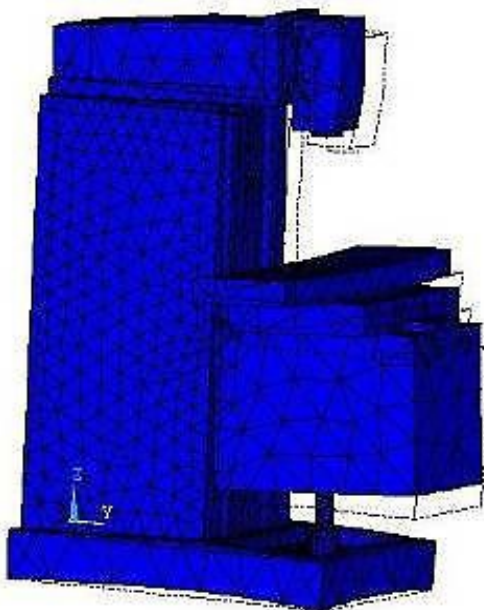


Рисунок 4.2 – Деформований стан верстата

На рисунку 4.3 показані результати статичного розрахунку в контурній виставі

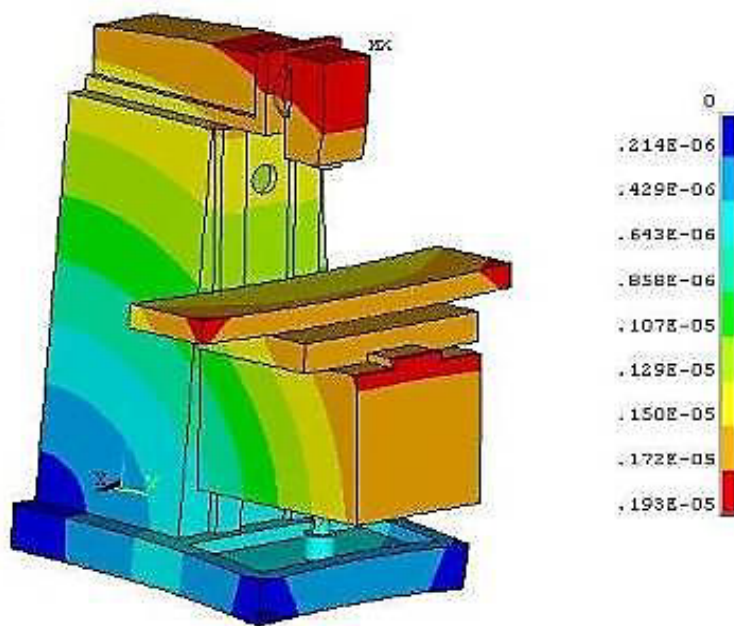


Рисунок 4.3 – Контурна вистава результату статичного розрахунку

4.1.2 Модальний розрахунок

Модальний аналіз виконується для того, щоб побудувати частини динамічних характеристик розглянутої моделі: власні частоти (модальні частоти); частотні²-частотні-амплітудно-частотні характеристики. Знання цих характеристик дозволяє ухвалити рішення щодо динамічної якості моделі.

У процесі виконання розрахунку виявилися десять власних частот. Результати розрахунок на чотири з них представлено на рисунках 4.4 – 4.7.

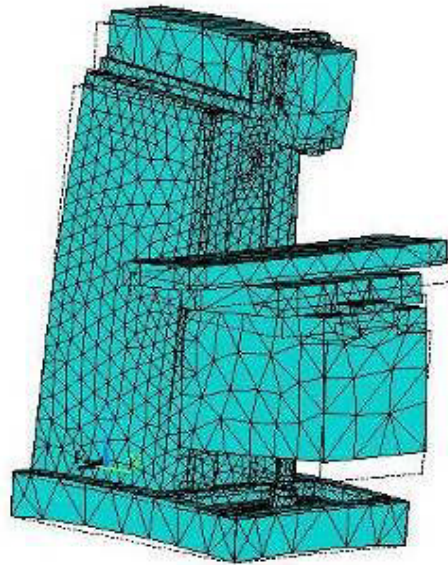


Рисунок 4.4 – 1-я мода

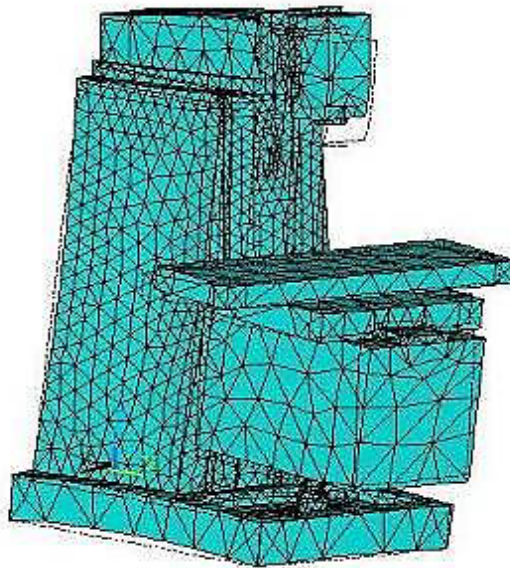


Рисунок 4.5 – 2-я мода

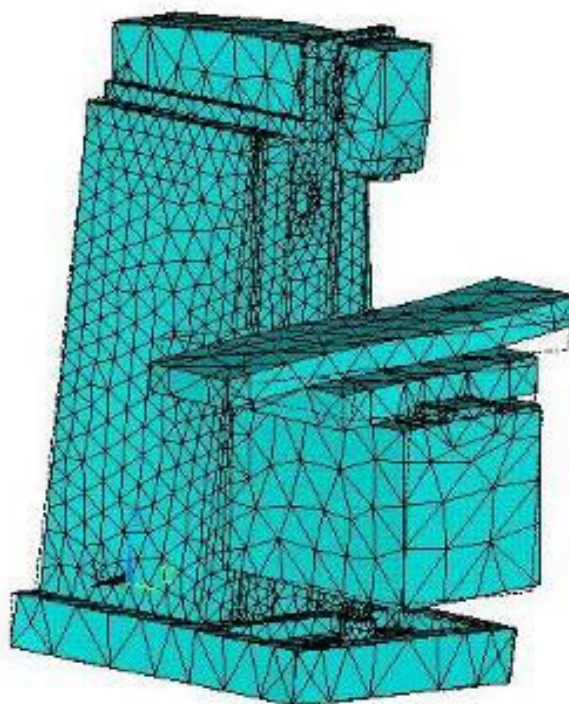


Рисунок 4.6 – 3-я мода

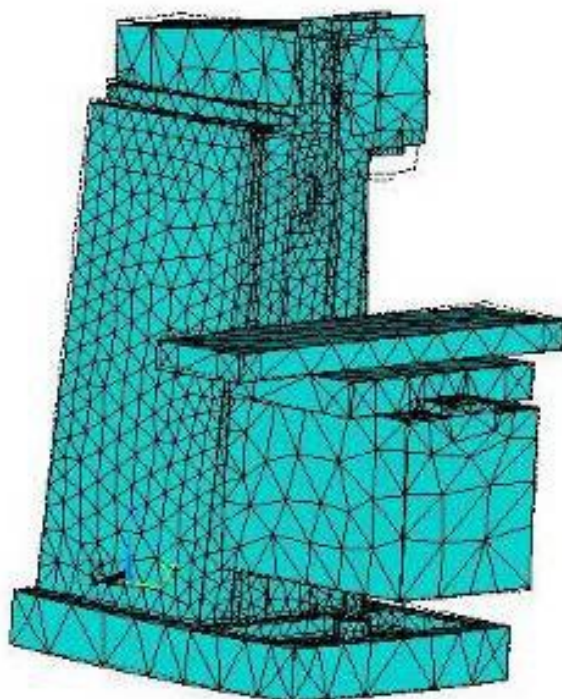


Рисунок 4.7 – 4-я мода

4.1.3 Тепловий розрахунок

При рішенні завдань теплообміну в пакеті “*Ansys*” установлюється розподілу температур у розглянутій моделі об'єкта. Крім того, можна використовувати результати теплового розрахунку для обчислення теплових напруг і переміщень.

Перенос тепла в загальному випадку може здійснюватися в трьох формах: теплопровідності, конвекції й випромінюванні. Поширення тепла у твердих тілах відбувається завдяки теплопровідності. Перенос тепла за допомогою теплопровідності обумовлений наявністю речовинного середовища, і тим, що теплообмін відбувається тільки між безпосередньо дотичними частками тіла. Результат теплового розрахунку представлено на рисунку 4.8.

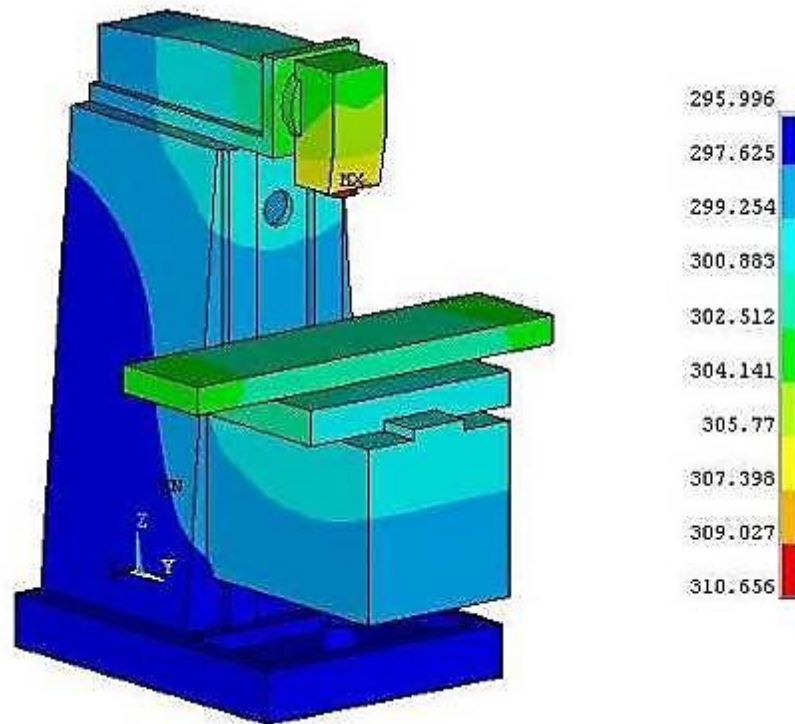


Рисунок 4.8 – Контурна вистава результату теплового розрахунку

4.1.4 Термодеформаційний розрахунок

На рисунку 4.9 представлений результат термодеформаційного розрахунку.

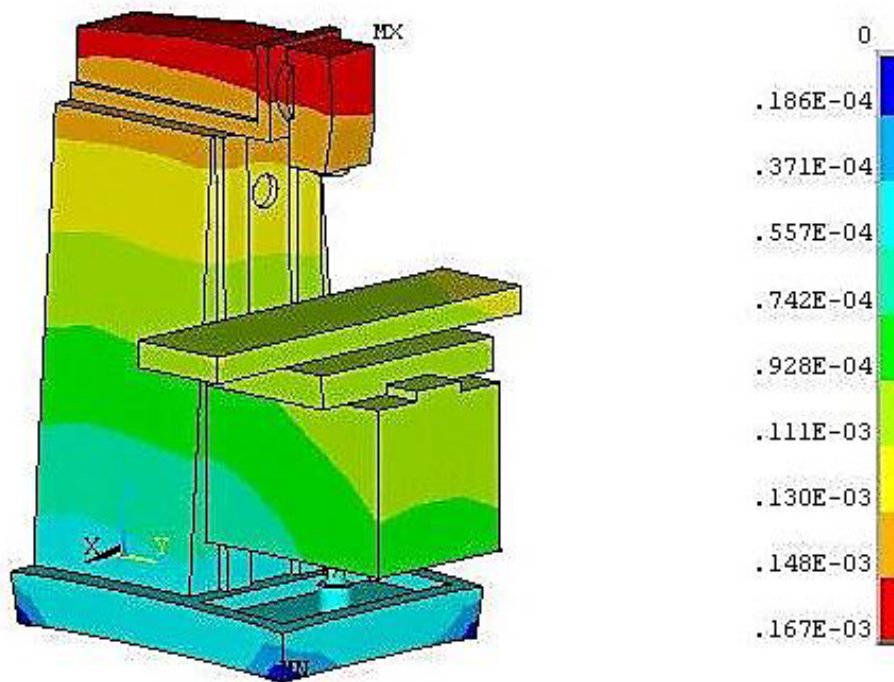


Рисунок 4.9 – Контурна вистава результату термодформаційного розрахунку

4.2 Розрахунки шпинделя додаткової фрезерної головки

Конструктивна схема шпинделя представлено на рисунку 4.10.

4.2.1 Розрахунок шпинделя на жорсткість

Для розрахунку використовується метод кінцевих елементів. Шпиндельний вузол представляється стрижневими кінцевими елементами, кожний стрижень описується трьома параметрами: довжиною, внутрішнім діаметром і зовнішнім діаметром. При розбивці шпиндельного вузла на кінцеві елементи враховується: кількість опор шпинделя; тип опор і схема їх установки. Тип опор і схема їх установки моделюється залежно від ряду умов:

- твердості підшипників;
- конфігурації внутрішніх і зовнішніх поверхонь шпинделя;
- розташування зубчастих коліс;
- наявності інших приводних елементів.

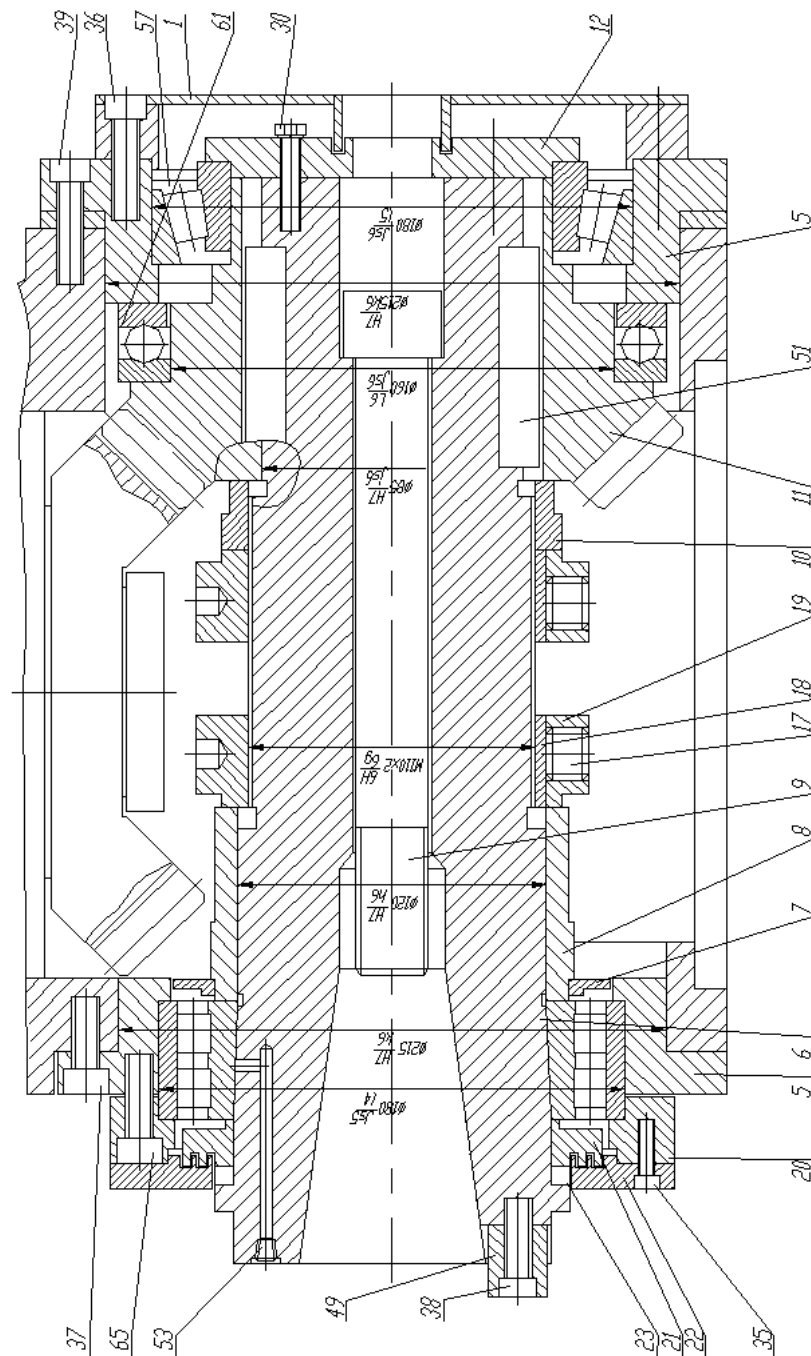


Рисунок 4.10 – Конструктивна схема шпинделя

У загальному випадку розбивка шпинделя на кінцеві елементи виконується на основі умов однозначності: фізичних, початкових і граничних.

Відповідно до зазначених умов складається розрахункова схема шпинделя, використовувана для наступного розрахунку на ЕОМ. Вона представлено на рисунку 4.11. Даний розрахунок виконаний за допомогою розрахунково-графічного пакета програм «ТЕМОС» [19,20]. Результати

розрахунку перебувають у додатку Е.

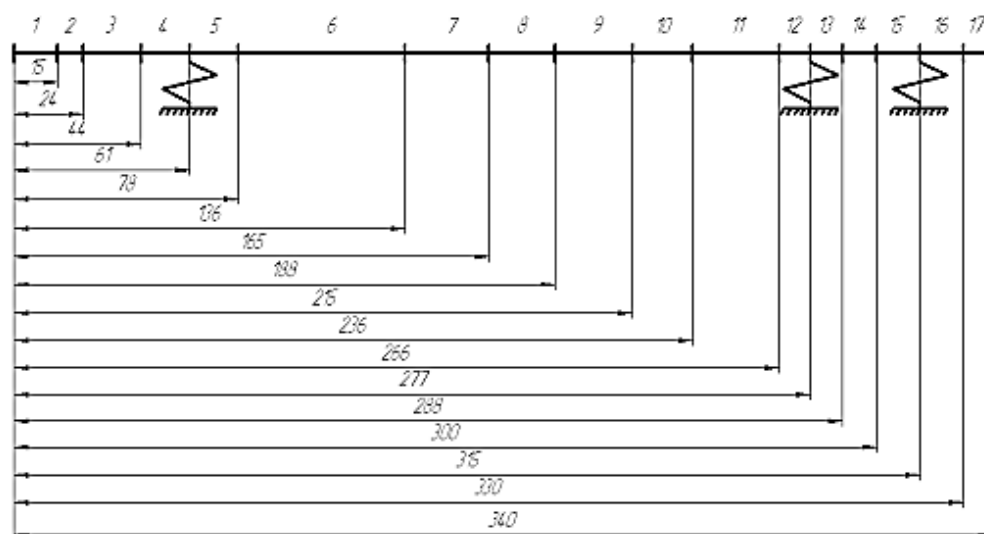


Рисунок 4.11 – Розрахункова схема шпіндельного вузла для розрахунку на жорсткість

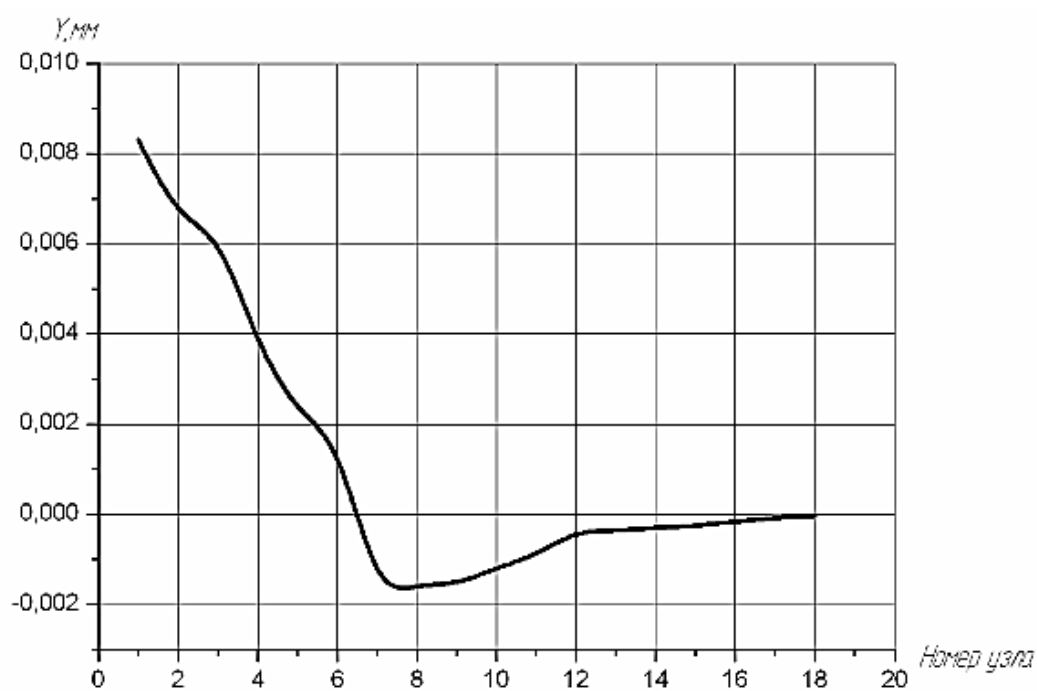


Рисунок 4.12 – Деформація шпіндельного вузла у вузлових крапках

4.2.2 Тепловий розрахунок шпindelьного вузла

Тепловий розрахунок шпindelьного вузла здійснюється на основі рішення осімметричної задачі методом кінцевих елементів. У якості типового кінцевого елемента в цьому випадку ухвалюється трикутник. Для спрощення формування розрахункової схеми, використовується процедура тріангуляції чотирикутних елементів, що представляють собою фігури, отримані при розбивці осьового переріза шпинделя. Під розбивку попадають шпindelь і всі елементи встановлені на ньому за винятком джерел тепла, якими в цьому випадку є опори кочення.

Розрахунок виконується в наступному порядку:

- 1) Призначається кількість чотирикутних областей, необов'язково правильної форми, відповідно до умов однозначності.
- 2) Призначаються граничні умови (конвективний теплообмін і потужності тепловиділення).
- 3) Призначаються вихідні дані для розрахунку потужності тепловиділення й коефіцієнтів тепловіддачі по тепловіддаючим поверхням.
- 4) Уводяться умови для виконання теплового розрахунку (час і номера вузлів).

Для теплового розрахунку шпindelьного вузла був використаний пакет програма «TEMOS». Результати розрахунку перебувають у додатку Ж.

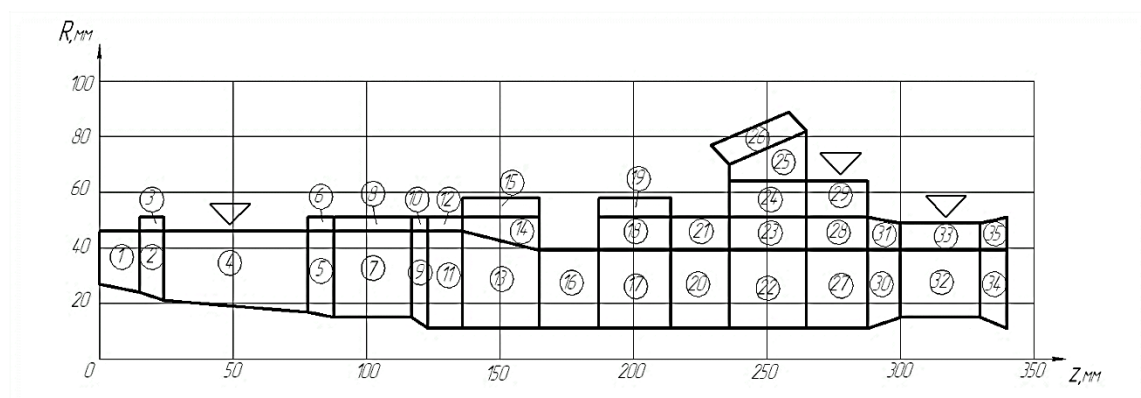


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема шпindelьного вузла (теплова модель)

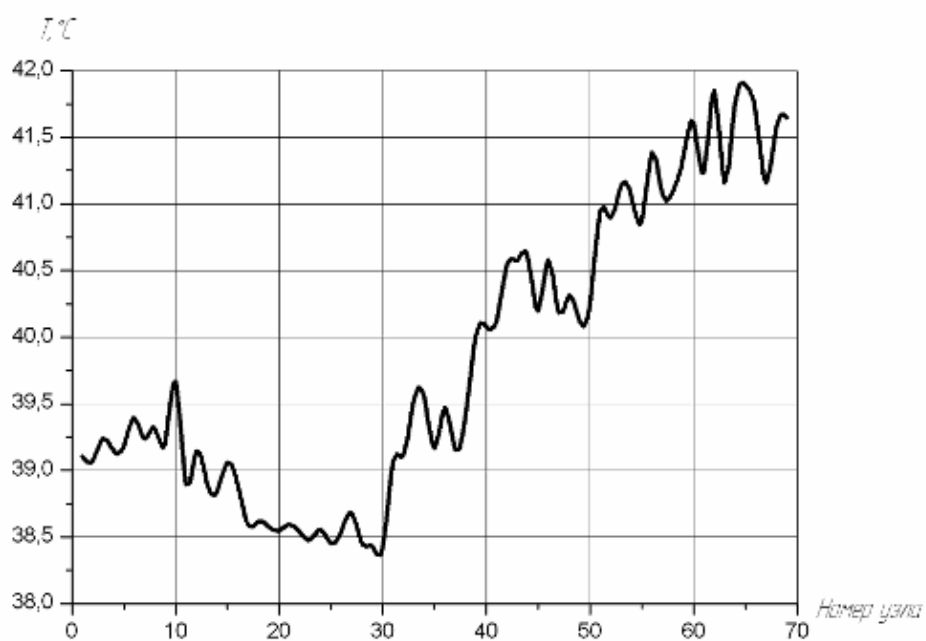


Рисунок 4.14 – Температурне поле шпиндельного вузла

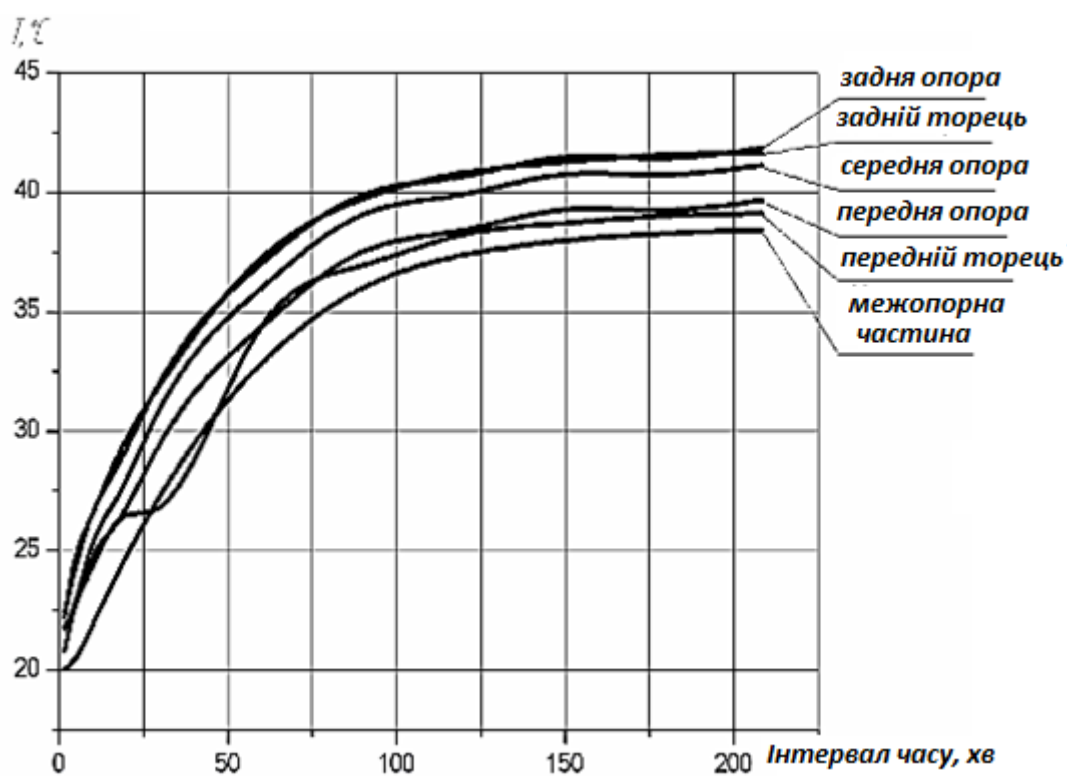


Рисунок 4.15 – Температурні характеристики окремих вузлів шпинделя

5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз програмного модуля «КОМПАС – Автопроект»

Якість виробів, що випускаються, у машинобудуванні в значній мірі залежить від рівня технологічної підготовки виробництва (ТПВ). ТПВ завжди була й залишається найбільш трудомістким і тривалим етапом освоєння виробів. Це пов'язане з необхідністю залучення до цієї роботи великої кількості висококваліфікованих фахівців (інженерів-технологів, конструкторів), а також тривалістю й трудомісткістю процесу розробки технологічної документації. При традиційнім «ручному» проектуванні технологічного процесу, особливо в умовах дрібносерійного виробництва спостерігається суб'єктивний підхід до розроблювальної технології, що приводить до неоптимальних витрат часу й засобів на ТПВ. Це змушує шукати нові методи проектування технологічних процесів, які дозволили б увести в технологічну підготовку дрібносерійного виробництва особливості, характерні для умов крупносерійного й масового виробництва, тобто в короткий термін видавати операційну технологію з режимами різання й технічно обґрунтованими нормами часу при мінімальних витратах. Тому в цей час при рішенні багатьох технологічних завдань широке застосування знаходять автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ і, зокрема, системи автоматизованого проектування технологічних процесів САПР ТВ), що стало можливо завдяки вдосконалюванню методів математичного опису виробничих процесів і використанню сучасної обчислювальної техніки (ЕОМ).

Автоматизація процесів підготовки виробництва приводить до підвищення продуктивності праці, оптимізації роботи різних служб підприємства, дозволяє значно підвищити швидкість і якість прийнятих рішень, виробити ефективну стратегію розвитку виробництва й підприємства в цілому.

Комплексна автоматизація технологічної підготовки виробництва (ТПВ) на базі інформаційних технологій забезпечує: скорочення строків підготовки виробництва за рахунок автоматизації етапів ТПВ, паралельного виконання

конструкторського й технологічного проектування; оптимізацію витрат праці й засобів на виготовлення виробів.

Для автоматизації процесів ТПВ «АСКОН» пропонує широкий спектр програмних продуктів, орієнтованих на їхнє використання фахівцями машинобудівних підприємств: технологами, конструкторами технологічного оснащення, розроблювачами керуючих програм для верстатів зі ЧПК, інженерами по нормуванню праці й матеріальних витрат, фахівцями з реконструкції цехів підприємства.

У технологічній підготовці виробництва задіяні практично всі основні служби підприємства. Рух даних у єдиному інформаційному просторі (ЕІП) здійснюється між системами всіх класів: PDM (керування інженерними даними), ERP (керування підприємством), CAPP (технологічна підготовка виробництва), CAD (конструкторська підготовка виробництва) і т.д.

На базі програмного забезпечення компанії «АСКОН» можна організувати три схеми взаємодії компонентів комплексу ЕІП.

САПР технологічних процесів (ТВ) «ВЕРТИКАЛЬ» вирішує різні завдання автоматизації процесів технологічної підготовки виробництва, завдання розробки техпроцесів і випуску документації, дозволяє підвищити ефективність роботи технологічних підрозділів у цілому. Як компонент єдиного інформаційного простору підприємства, САПР ТВ «ВЕРТИКАЛЬ» успішно інтегрується й з лінійкою ПО, що поставляється компанією «АСКОН», і із програмними продуктами інших розроблювачів.

Інтеграція САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ» із системою тривимірного моделювання «КОМПАС-3D» (Рисунок 5.1) забезпечує наскрізне рішення завдань конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ). Використовуючи різноманітні прикладні бібліотеки сімейства «КОМПАС», будь-яке підприємство може організувати по модульному принципу програмний комплекс, орієнтований на рішення типових завдань у різних предметних областях (наприклад, проектування приводів, механічних передач, технологічного оснащення, устаткування й інструмента). Система «КОМПАС-

3D» дозволяє організувати класичний процес тривимірного параметричного проектування – від ідеї до асоціативної об'ємної моделі, від моделі до конструкторської документації. У технологічній системі «ВЕРТИКАЛЬ» реалізована можливість роботи з усіма видами графічних документів – 3Dмоделями, кресленнями й ескізами виробів, розроблених в «КОМПАС-3D». У техпроцес автоматично передаються всі необхідні дані з конструкторської документації.

Система керування інженерними даними «ЛОЦМАН:PLM» дозволяє впорядкувати (структурувати) технологічну документацію, полегшити й прискорити запозичення типових рішень, організувати роботу технолога із составом виробу, а також колективну роботу над усім проектом. Вбудовані в систему «ЛОЦМАН:PLM» Модуль керування робочим процесом і модуль перегляду й анотування документів забезпечують паралельне виконання робіт. Взаємодія фахівців підприємства при розробці документації на виріб і організації виробництва дозволяє провести узгодження обраного рішення з іншими службами в найкоротший термін.

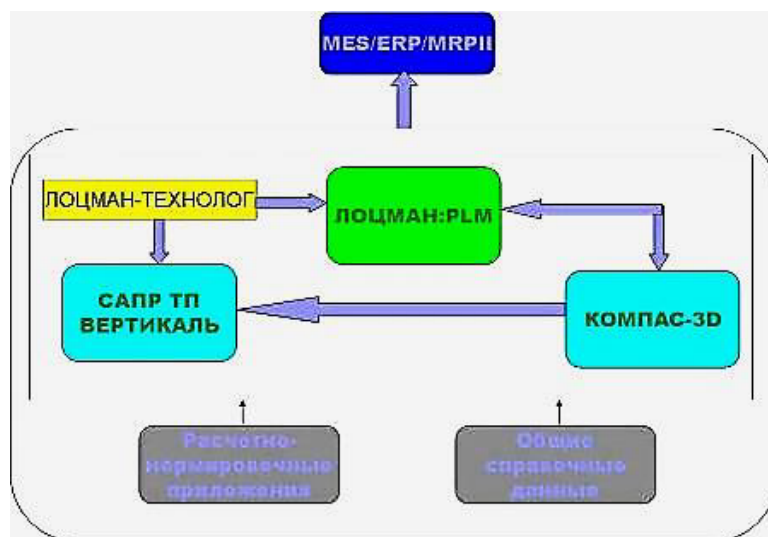


Рисунок 5.1 – Взаємодія компонентів комплексу систем : «ЛОЦМАН:PLM», САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ», «КОМПАС-3D»

Додаток Лоцман-Технолог забезпечує зв'язок САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ» з «ЛОЦМАН:PLM». Таким чином, технолог одержує можливість працювати із составом виробу усередині технологічної системи. Модуль формування звітів, що входить до складу системи «ЛОЦМАН:PLM», дозволяє сформувати відомості й зведені звіти в різних розрізах КТПВ.

При розробці техпроцесу технологіві постійно потрібно різна довідкова інформація дані про матеріали, устаткування, інструмент і т.п. Її надає «Універсальний технологічний довідник» і Корпоративний довідник: «Матеріали й Сортаменти». Їх можна використовувати у всіх системах, що входять у комплекс ЕП, вони є постачальниками єдиної технологічної довідкової інформації для всіх служб підприємства.

Різноманітні розрахункові модулі вирішують завдання нормування трудових і матеріальних витрат. Усі додатки одержують технологічні дані із системи «ВЕРТИКАЛЬ», а довідкові дані – з Універсального технологічного довідника й корпоративних довідників АСКОН.

У результаті комплекс ЕП дозволяє одержати всю інформацію про виріб у реальному масштабі часу, що є найважливішою умовою для прискорення процедур погоджень із замовником і постачальниками, швидкої розробки модифікацій виробу, оптимізації взаємодії всіх служб підприємства тобто для рішення завдань, що дозволяють підвищити конкурентоспроможність підприємства в цілому.

Якщо в якості САПР ТВ обрана система «КОМПАС – Автопроект», то комплекс по автоматизації КТПВ можна побудувати інакше. Можливі два варіанти.

Система «КОМПАС – Автопроект» складається із двох підсистем «КОМПАС – Автопроект – Технологія» (Рисунок 5.2) і «КОМПАС – Автопроект – Специфікація» (Рисунок 5.3). Остання дозволяє вести бази даних конструкторсько-технологічних специфікацій, архівувати розроблені технологічні процеси, формувати зведені звіти, тобто являє собою спрощений варіант Pdm-Системи.

Тому залежно від поставлених завдань на підприємстві можна використовувати комплекс ЕП на базі «КОМПАС – Автопроект», «КОМПАС-3D» (Рисунок 5.4). Довідкова інформація в цьому випадку буде використовуватися з баз даних САПР ТВ як при проектуванні техпроцесов, так і при проведенні нормування матеріальних і трудових витрат.

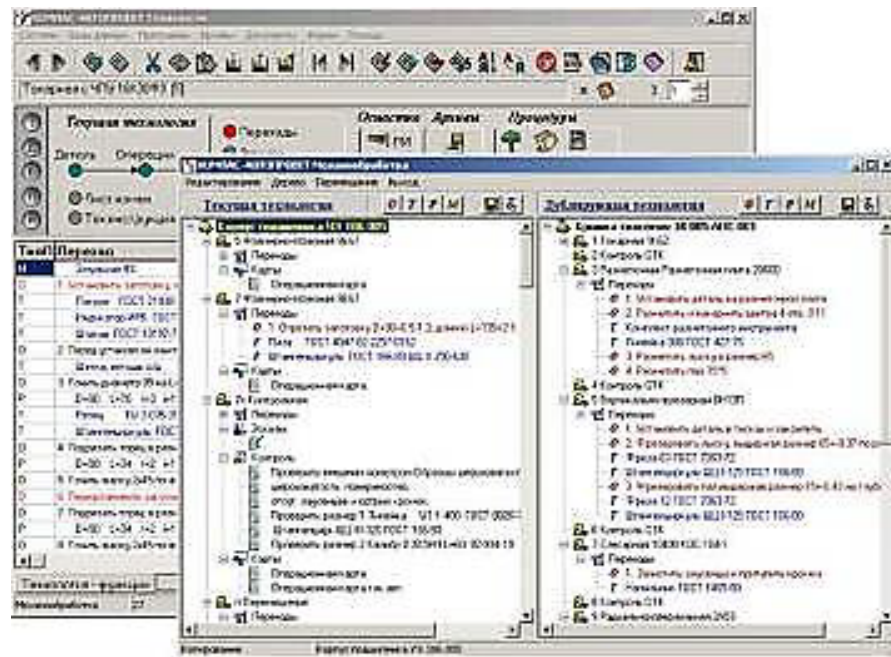


Рисунок 5.2 – Вікно модуля «КОМПАС – Автопроект – Технологія»

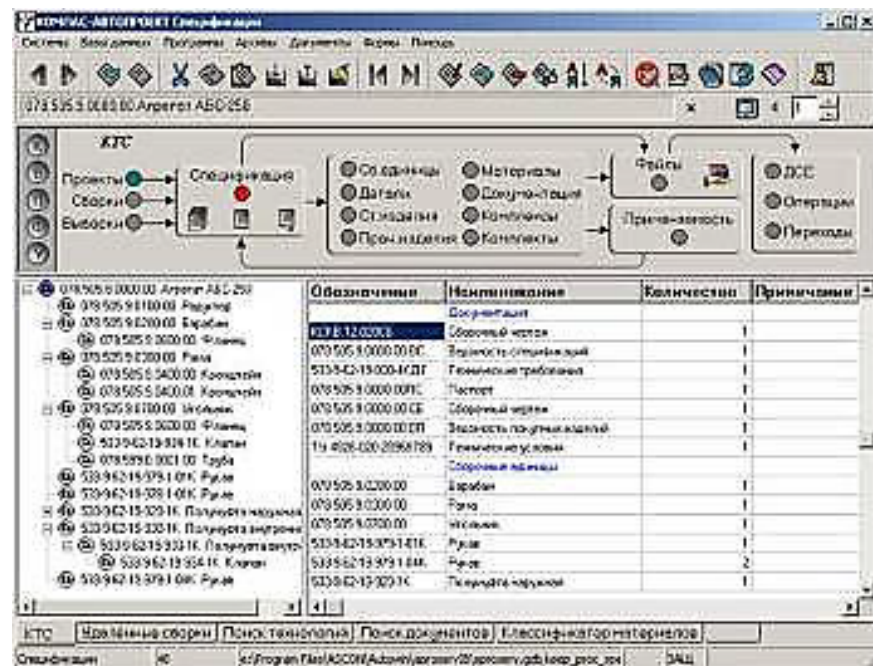


Рисунок 5.3 – Вікно модуля «КОМПАС – Автопроект – Специфікації»

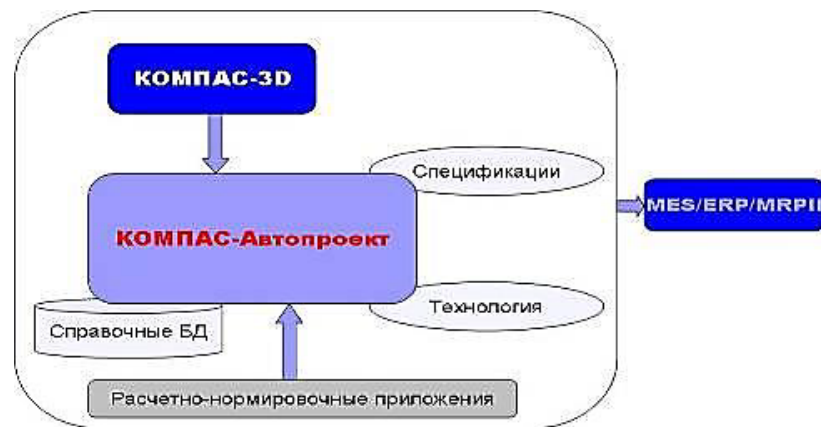


Рисунок 5.4 – Взаємодія компонентів комплексу систем «КОМПАС – Автопроект» і «КОМПАС-3D»

«КОМПАС – Автопроект» комплектується по модульному принципу. Побудова комплексу з різних модулів дозволяє організувати робочі місця технологів, фахівців з расцеховки, нормувальників матеріальних і трудових витрат.

Інтеграція системи «КОМПАС – Автопроект» з «ЛОЦМАН:PLM» (Рисунок 5.5) дозволяє побудувати ще один варіант комплекс ЕІП. Додаток «ЛОЦМАН – Технолог» забезпечує зв'язок САПР ТП «КОМПАС – Автопроект» із системою керування інженерними даними «ЛОЦМАН:PLM» і технолог одержує можливість працювати із составом виробу.

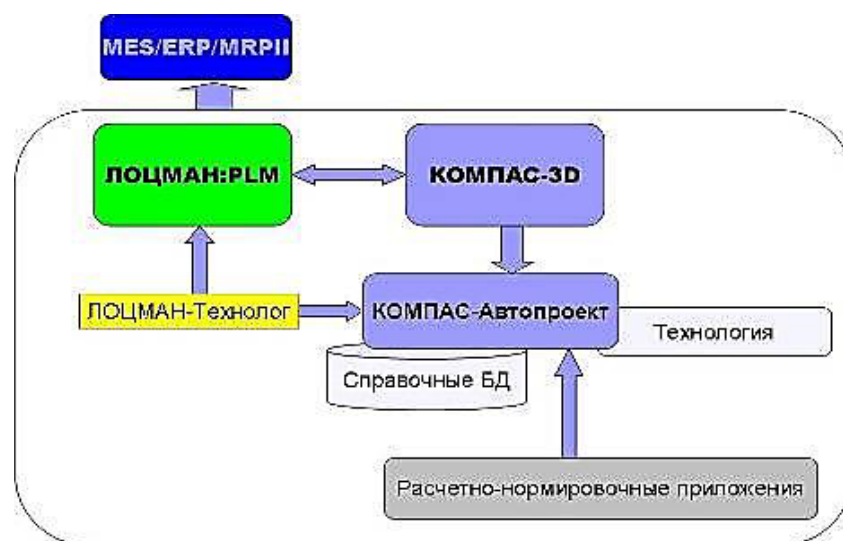


Рисунок 5.5 – Взаємодія компонентів комплексу систем «ЛОЦМАН:PLM», «КОМПАС – Автопроект», «КОМПАС-3D»

Формування відомостей і зведених звітів у такому варіанті відбувається в «ЛОЦМАН:PLM» за допомогою спеціального модуля, а розробка технологічних процесів ведеться в «КОМПАС – Автопроект – Технологія».

З багатьох систем автоматизованого проектування технологічних процесів, що поставляються на російський ринок різними постачальниками програмних продуктів, виділяється фірма «АСКОН» з розробленою нею САПР ТП «КОМПАС – Автопроект».

У програмному комплексі автоматизації технологічної підготовки виробництва «КОМПАС – Автопроект» істотна увага звернена не тільки на розробку зручного середовища для проектування технологічних процесів, але й на створення прикладних модулів для розрахунку необхідних для виробництва матеріалів, режимів обробки для різних видів виробництв, необхідних витрат праці. Використання програмного комплексу забезпечує: скорочення строків КТПП за рахунок автоматизації етапів технологічної підготовки й паралельного виконання конструкторсько-технологічної підготовки; оптимізацію витрат праці й засобів для виготовлення виробів; посилення конкурентоспроможності підприємства за рахунок точного й оперативного забезпечення необхідною інформацією різних служб і, як наслідок, своєчасного виконання укладених контрактів.

Багатопрограмна система (МШС) «КОМПАС – Автопроект» функціонує тільки при наявності персональної ЕОМ з оперативною пам'яттю не менш 64 Мб, тактовою частотою не менш 133 МГц, із зовнішньою пам'яттю не менш 1 Гб. Операційна система WINDOWS 95/98/NT і вище. Монітор – кольоровий з розміром по діагоналі не менш 14". Пристрій вказівки миша і клавіатура.

МШС «КОМПАС – Автопроект» складається із двох підсистем: КОМПАС – АВТОПРОЕКТ Специфікації (Autoktc), завданням якої є ведення конструкторсько-технологічних специфікацій виробів і організація зберігання розроблених документів КОМПАС-АВТОПРОЕКТ Технологія (Autopro), призначена для проектування технологічних процесів (ТП) виготовлення виробів, а також формування й зберігання технологічної документації. Для

запуску першої підсистеми слід виконати послідовно за допомогою лівої клавіші миші команди Пуск – Компас-Автопроект 9.4 – *autoktc*, а другої підсистеми – Пуск – Компас-Автопроект 9.4 – *autopro*. Перехід з однієї підсистеми в іншу здійснюється в нижній частині екрана монітора за допомогою панелі завдань WINDOWS: Пуск – *Autoktc* – *Autopro*. Після набору цих команд необхідно ввести пароль за замовчуванням 111 і натиснути клавішу ОК. На екрані монітора з'явиться інтерфейс, однаковий для обох підсистем, що включає: заголовок вікна, у якому відображається назва програми й поточної підсистеми; рядок меню, розташований відразу під заголовком у верхній частині екрана, що й зберігає пов'язані з ним команди; нижче – панель керування (інструментальна панель), на якій розташовані кнопки, часто використовувані при роботі з підсистемою; ще нижче – панель заголовка, призначена для відображення поточної складальної одиниці або деталі, що тече операції, переходу та інше; рядок навігації, призначений для завдання команд виконання послідовності роботи з підсистемою; робоче поле системи в центральній частині екрана, що представляє багатосторінковий блокнот для завантаження користувачем декількох інформаційних масивів (таблиць), (наприклад, збірних одиниць, технологічних процесів, операцій і т.д.); панель закладок, що служить для переходу від однієї сторінки до іншої простим клацанням на потрібній закладці; рядок поточного стану (у самому низу екрана), у якій відображається назва поточної бази даних, кількість записів у таблиці, каталог диска і т.д.

5.2 Структура «КОМПАС – Автопроект»

У попередній версії «КОМПАС – Автопроект 9.3» були внесені зміни в організацію обміну даними між ядром системи й зовнішніми додатками. Використання COM-Технології дозволило відкрити доступ до базового функціонала «КОМПАС – Автопроект» і ще більш спростити процес розробки прикладних програмних модулів технологічного призначення.

Починаючи з версії 9.3, «КОМПАС – Автопроект» є сервером автоматизації, який дозволяє клієнтським додаткам використовувати методи

об'єктів і спеціалізовані сервіси, реалізовані в системі. Зовнішні додатки, що працюють із «КОМПАС – Автопроект», можуть: реагувати на події, що відбуваються на сервері: відкриття й закриття баз даних, зміна підсистем, таблиць, зміна даних, завершення додатка й ін.; одержувати дані про поточний стан системи: зміст активної таблиці, останній виконаний SqlпЗапит, конфігураційні налаштування, ім'я користувача, його ранг і т.д.; управляти системою «КОМПАС – Автопроект»: завантажувати необхідні бази даних, автоматично переміщатися по таблицях, копіювати інформацію з довідників, виділяти блоки записів, робити їхнє видалення або вставку і т.д.

У середовищі «КОМПАС – Автопроект» реалізоване порядку 300 різних методів і сервісів, які у вигляді API Функцій можуть бути надані програмам, розробленим на різних мовах, що реалізують COM-Технологію, включаючи інтерпретуючі мови типу *Vbscript*.

Відкрита архітектура системи дозволяє підприємствам самостійно розробляти свої нові програмні модулі й органічно вбудовувати їх у програмний комплекс. Використання можливостей сервера автоматизації «КОМПАС – Автопроект» значно полегшує розробку додатків, практично знімає обмеження по адаптації системи під спеціальні вимоги замовників і забезпечує рішення різноманітних завдань технологічної підготовки виробництва, включаючи широкі можливості інтеграції із уже працюючими на підприємстві системами ERP/MRP/PLM [47].

Так, наприклад, у базову поставку тепер входить модуль інтеграції з відомою системою цехового планування й керування ФОБОС.

У рамках версії «КОМПАС – АВТОПРОЕКТ 9.4» на базі нових можливостей, надаваних сервером автоматизації, реалізований ряд технологічних модулів різного призначення [47].

5.2.1 Розрахунок норм витрати матеріалів

Значну частину в структурі собівартості продукції становлять витрати на придбання матеріалів для виготовлення виробів. Завдання оптимізації кількості необхідних матеріалів є однією з основних у технологічній підготовці виробництва.

При автоматизованому розрахунку норм витрати матеріалів ураховуються різні нормативи технологічних втрат: припуски на відрізок, відходи внаслідок неkratності розмірів вихідного матеріалу і т.д.

В «КОМПАС – Автопроект 9.4» залежно від виду й профілю заготовки передбачені різні види розрахунку, у тому числі розрахунок сортового прокату із прутків нормальної або кратної довжини, розрахунок норм витрати листового матеріалу при індивідуальному розкрої і т.д.

У системі є можливість розрахунку різних варіантів заготовки й вибору з них найбільш оптимального. Усі варіанти зберігаються й можуть бути використані надалі.

«КОМПАС – Автопроект» забезпечує настроювання на алгоритми нормування матеріалів, що діють на підприємстві. Це дозволяє оптимізувати кількість матеріалів, необхідних для виробництва. Дані можуть бути оперативно отримані як у вигляді технологічної відомості зведених або подетально-спеціфікованих норм витрати матеріалів, формованих в «КОМПАС – Автопроект», так і передані в системи класів ERP/MRP/PLM для своєчасного замовлення.

5.2.2 Витрати праці

Не менш істотну частину в структурі собівартості продукції становлять витрати праці на виконання різних технологічних операцій. Завдання їх об'єктивного розрахунку є актуальною для кожного підприємства.

Вірогідність одержуваної на даному етапі інформації суттєво впливає на всі аспекти діяльності, на роботу наступних споживачів інформації, включаючи підрозділу планування й керування виробництвом, фінансового керування при використанні впровадженими на підприємстві систем класів ERP/MRP/PLM. Для оперативного й точного розрахунку необхідних витрат праці призначені програми розрахунку режимів різання для механічної обробки й режимів обробки для зварювання, програми укрупненого нормування технологічних операцій і нормування технологічних переходів.

5.2.3 Розрахунок режимів різання

Об'єктивний розрахунок режимів різання (Рисунок 5.6) потрібно на різних етапах підготовки й виробництва виробу.

Материал 45-сталь ГОСТ 1050-68
Резец 2101-0553 Р6М5 ГОСТ 18870-73

Параметр	Переменная	Значение
Диаметр	D	60
Длина	L	100
Врезка + перебог	L1	5

Ст.	N	S прод.	S поп.
1	12.5	0.07	0.035
2	16	0.074	0.037
3	20	0.084	0.042
4	25	0.097	0.048
5	31.5	0.11	0.055
6	40	0.12	0.06
7	50	0.13	0.065
8	63	0.14	0.07
9	80	0.15	0.074
10	100	0.17	0.084
11	125	0.195	0.097
12	160	0.21	0.11
13	200	0.23	0.12
14	250	0.26	0.13
15	315	0.28	0.14
16	400	0.3	0.15
17	500	0.34	0.17

Prp = 1.5
t = 1.5
i = 1
Pm = 1

Шероховатость: Ra 0.6
Обр. поверхность: [dropdown]
☐ Термообработка: НРС [dropdown]
Жесткость станка: средняя [dropdown]
☐ Ручная подача
☐ СОЖ

S = 0.12 мм/об
V = 59.376 м/мин
n = 315 об/мин
To = 2.778 мин
To = 0.12 мин
Pz = 95.909 кгс
Nм = 0.931 кВт
Pз = 0.043 кВт*час

Доп. сведения
Рассчитать
ОК
Отмена

Рисунок 5.6 – Вікно розрахунку режимів різання

Він є і основою для розрахунку витрат часу. Вірогідність режимів обробки забезпечує об'єктивний розрахунок завантаження встаткування й, як наслідок, своєчасність виконання укладених контрактів. Точне визначення завантаження встаткування дозволяє вчасно ухвалити рішення щодо «вузьких» місць виробництва й при необхідності збільшити його обсяг, розмістивши нові замовлення на менш використовуванім устаткуванні.

На промислових підприємствах розрахунком режимів різання займаються в основному при масовому або великосерійному виробництві виробів. Основним фактором, що перешкоджають рішенню цього завдання в умовах одиничного виробництва, є її висока трудомісткість. Однак система розрахунку режимів різання в складі «КОМПАС – Автопроект» дозволяє успішно застосовувати даний розрахунок і для одиничного виробництва, забезпечує оперативний розрахунок режимів обробки, основного й допоміжного часу на основний перехід.

При цьому враховуються тип і геометрія оброблюваного конструктивного елемента, фізико-механічні властивості матеріалу й стан поверхневого шару заготовки, твердість технологічної системи, паспортні дані верстата, параметри різального інструменту і т.д. Допоміжний час на основний перехід визначається по загальномашинобудівних нормативах. Забезпечується настроювання на різні алгоритми розрахунку, у тому числі й методику, застосовувану на конкретнім підприємстві.

5.2.4 Нормування витрат праці

Нормування витрат праці в системі (Рисунок 5.7) здійснюється по загальномашинобудівних нормативах НДІ праці у двох режимах: нормування операцій по укрупнених типових нормативах; нормування технологічних переходів.

Нормування по укрупнених типових нормативах застосовується в одиничнім і дрібносерійнім виробництві. Докладне нормування всіх приймань робіт на кожному переході ведеться в основному в умовах великосерійного й масового виробництва.

Основними факторами, що перешкоджають використанню нормування технологічних переходів в умовах одиничного виробництва, була не тільки висока трудомісткість розрахунку режимів обробки (в основі розрахунку використовуються режими), але й висока трудомісткість безпосереднього нормування кожного приймання робіт.

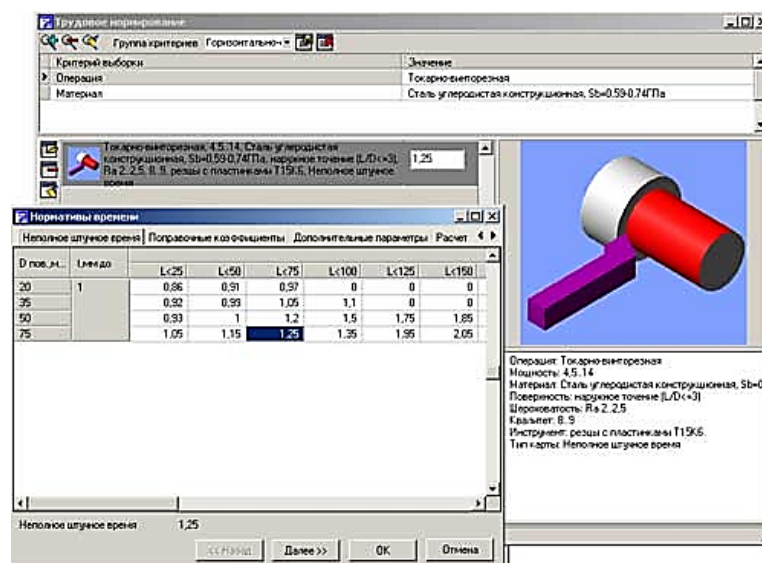


Рисунок 4.8 – Вікно розрахунку норм часу

З розробкою системи розрахунку режимів різання й системи нормування трудомісткість виконання даних розрахунків технологом і інженером по нормуванню зведена до мінімуму.

Нормування по укрупнених типових нормативах застосовується в одиничнім і дрібносерійнім виробництві. Докладне нормування всіх приймань робіт на кожному переході ведеться в основному в умовах крупносерійного й масового виробництва.

Основними факторами, що перешкоджають використанню нормування технологічних переходів в умовах одиничного виробництва, була не тільки висока трудомісткість розрахунку режимів обробки (в основі розрахунку використовуються режими), але й висока трудомісткість безпосереднього нормування кожного приймання робіт.

З розробкою системи розрахунку режимів різання й системи нормування трудомісткість виконання даних розрахунків технологом і інженером по нормуванню зведена до мінімуму.

Підприємство й в умовах одиничного виробництва може успішно, без втрат часу фахівців з підготовки виробництва, використовувати докладне нормування всіх приймань робіт на технологічних переходах.

При нормуванні розраховується час на установку заготовки, час на контрольні виміри, підготовчо-заключний час і штучний час.

При розрахунку часу на установку враховується спосіб установки деталі, состав пристосувань для установки, вага деталі, спосіб установки, оброблюваний матеріал, характер вивірки, стан настановної поверхні, кількість деталей, установлюваних у пристосування, час на транспортування й кантування великих деталей. Час на переустановку розраховується автоматично.

Розраховуючи час на контрольні виміри, система враховує застосовуваний засіб виміру, точність виміру, вимірюваний розмір, довжину вимірюваної поверхні, зручність виміру і т.д.

При розрахунку підготовчо-заключного часу залежно від виду

встаткування враховується спосіб установки деталі, кількість інструментів або переходів, група встаткування, час на пробну обробку і т.д.

При розрахунку штучно-калькуляційного часу враховується серійність виконуваних робіт з урахуванням її характеру, час на обслуговування робочого місця залежно від групи верстатів, час на відпочинок і особисті потреби залежно від інтенсивності виконання робіт.

Система нормування може бути настроєна на алгоритми розрахунку, що застосовуються на конкретнім підприємстві. У складі інтегрованого комплексу вона забезпечує системи керування й планування виробництва оперативною й достовірною інформацією [47].

5.2.5 Формування технологічних відомостей

Одним з вимог, пропонованих до програмного комплексу автоматизації технологічної підготовки виробництва, є оперативне формування найрізноманітніших технологічних відомостей для своєчасного забезпечення виробництва матеріалами, оснащенням або розрахунку собівартості виготовлення замовлення.

Новий модуль формування зведених відомостей в «КОМПАС – Автопроект» (Рисунок 5.8) забезпечує швидке налаштування будь-якої необхідної форми відомості й правил її формування.

Лист	Строки	Обозначение технологического процесса	Цех изготовления	Номер технологической операции	Наименование технологической операции	Наименование и тип оборудования	Грузоподъемность оборудования	Технологическая норма на установку
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Обработка и шлифовка детали ДСЕ		5	УЗ-106005			
						Корпус подшипника		
10	1		1	5	Презерно-отрезная	6667		
11	2		1	7	Презерно-отрезная	6667		
12	3		АПЦ	7х	Контрольная			
13	4			п	Перемещение			
14	5		2	10	Горюшка с ЧПУ	16X30Ф3	34,40	
15	6			п	Перемещение			
16	7			12	Горюшка с ЧПУ			
17	8			п	Перемещение			
18	9		2	15	Горюшка с ЧПУ	16X30Ф3	2,60	
19	10		2	20	Горюшка с ЧПУ	16X20Ф3С10	2,20	
20	11			п	Перемещение			
21	12		2	25	Сварочная с ЧПУ	2Д130МФ2	1,1	
22	13			п	Перемещение			
23	14		3	30	Презерно-отрезная с ЧПУ	6520МФ3	0,01	
24	15		АПЦ	30х	Контрольная			
25	16			п	Перемещение			
					ИТОГО:		40	

Рисунок 4.9 – Вікно технологічної операційної відомості

Додатково до наявних у базовій поставці відомостей (трудомісткості виготовлення виробу по видах устаткування, відомості матеріалів і оснащення й іншим) користувач має можливість настроїти формування відомості довільної форми без участі розроблювачів системи.

Механізм формування зведених відомостей заснований на збережених процедурах SQL сервера, АріцФункціях ядра системи зразках, що й настроюються, документів у форматі MS Excel.

5.2.6 Формування технологічних карт

В «КОМПАС – Автопроект 9.4» включена нова версія програми формування комплекту карт, розробленого технологічного процесу. Її відмінними рисами є висока швидкість формування карт (збільшена в 3-4 рази), спрощене створення нових форм технологічних документів, розширення можливостей настроювання.

Програма реалізована у вигляді спеціального майстра покрокового середовища набору й настроювання параметрів одержуваної документації. Ряд нових можливостей, у числі яких формування документів у середовищі Microsoft Excel, вставка документів у карти ескізів з інших CAD систем, додавання в карти будь-яких текстових документів, у тому числі й документів Microsoft Word, фонове формування документів, модульний принцип побудови — усе це дає можливість одержання якісних документів відповідно до ЕСТД у найкоротші рядки. Для забезпечення зручності роботи повністю змінений зовнішній вигляд програми й взаємодія з користувачем, організовані можливості швидкого формування окремих документів по «гарячих» клавішах. Реалізований механізм розробки й підключення власних технологічних карт будь-якої складності.

Об'єднання систем формування технологічних карт і зведених звітів дозволило одержати багатофункціональну, що й настроюється середовище для створення різного роду зведених відомостей. Однієї з основних частин цієї системи є зовнішній механізм формування зведених відомостей за допомогою мови Visual Basic, що дозволяє додавати користувацький функціонал безпосередньо в процес створення відомості.

Усі ці фактори в сукупності дозволяють утворювати комплексну систему підготовки документів у середовищі «КОМПАС – Автопроект».

5.2.7 Пошук технологічних процесів в архіві

В «КОМПАС – Автопроект 9.4» розширені можливості пошуку технологічних процесів в архіві. Пошук зараз можливий по вмісту технологічних операцій і переходів.

Користувач може зробити пошук технологічних процесів (Рисунок 5.9) по використуванім устаткуванню, різальному інструменті, засобах виміру і т.д., застосувати технологічні рішення обраного техпроцесса для подальших розробок.

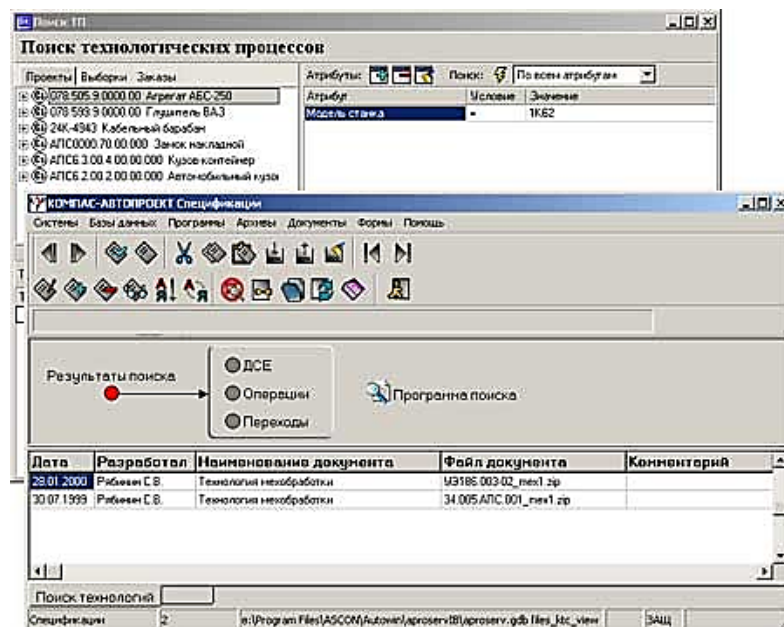


Рисунок 5.9 – Вікно пошуку технологічних процесів

Функціонал використовується підприємствами, приміром, при реорганізації виробництва. Він дозволяє швидко сформулювати перелік деталей, оброблюваних на тому або іншому встаткуванні, забезпечити інформаційну підтримку для ухвалення правильного рішення [47].

«КОМПАС - Autoproject» успішно експлуатується в тісній співробітництві фахівців з підготовки виробництва із впроваджувальними командами компанії-розроблювача. Вона продовжує подальший розвиток для рішення усе більш широкого спектра завдань користувачів і забезпечення максимальної ефективності бізнес-процесів на промислових підприємствах.

6. ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЄКТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «МОДЕРНІЗАЦІЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 6М82» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

Розвинений машинобудівний комплекс, високий рівень його технологій, конкурентоспроможність машин і механізмів є неодмінною умовою динамічного розвитку економіки. Особливе місце в розвитку галузей машинобудування і металообробки займає верстато-інструментальна промисловість, яка поставляючи технологічне обладнання, забезпечує впровадження досягнень науково-технічного прогресу в області технологій, що визначає рівень ресурсних витрат у промисловості, формує парк технологічного обладнання.

Фрезерні верстати становлять значну частку в загальному обсязі металорізального обладнання. На деяких підприємствах фрезерні верстати складають приблизно п'яту частину від всього заводського парку верстатів. На фрезерних верстатах виконують досить широке коло робіт, що забезпечується різноманітністю конструкцій і кінематики верстатів, а також інструменту. Типи і моделі фрезерних верстатів відрізняються призначенням, конструкцією, кінематикою, розмірами, рівнем автоматизації і ступенем точності.

Досягнення і збереження протягом тривалого часу високої продуктивності і точності фрезерних верстатів є важливою економічною задачею, яку можна вирішити вдосконаленням конструкцій верстатів, окремих його елементів, їх правильною експлуатацією, своєчасним і технічно грамотним обслуговуванням.

Під модернізацією верстатів розуміють внесення в конструкцію часткових змін і удосконалень в цілях підвищення їх технічного рівня до рівня сучасних моделей аналогічного призначення (загальнотехнічна модернізація) або для вирішення конкретних технологічних завдань виробництва шляхом пристосування обладнання до більш якісного виконання певного виду робіт

(технологічна модернізація). В результаті модернізації підвищується продуктивність обладнання, зменшуються експлуатаційні витрати, знижується шлюб, а в ряді випадків збільшується тривалість міжремонтного періоду.

Модернізація в цілях скорочення машинного часу здійснюється шляхом підвищення технічних характеристик: збільшення потужності приводу, розширення діапазону швидкостей різання і подач. Це зазвичай супроводжується підвищенням жорсткості та вібростійкості окремих вузлів верстата, підвищенням жорсткості кріплення інструменту і т. д.

Модернізацію для скорочення допоміжного часу проводять шляхом оснащення різними затискними, завантажувально-розвантажувальними пристроями, пристроями активного контролю розмірів, пристроями і механізмами для роботи за програмою і т. д.

Підвищення точності модернізованих верстатів отримують в результаті підвищення кінематичної точності (удосконалення відлікових пристроїв, коригувальних пристроїв і т. д.), геометричної точності (удосконалення конструкцій опор шпинделів, установка підшипників більш високої точності, підвищення жорсткості вузлів тощо), зменшення температурних деформацій (застосування циркуляційного змашування, температурних компенсаторів тощо).

Підвищення продуктивності фрезерних верстатів досягається збільшенням потужності і швидкохідності приводу головного руху, швидкості швидких переміщень, розширенням діапазону регулювання швидкостей і подач, автоматизацією циклу обробки, автоматизацією і механізацією допоміжних рухів у верстатах, застосуванням засобів, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів.

Точність і довговічність фрезерних верстатів підвищується за рахунок більш точного виготовлення деталей і вузлів, збільшення жорсткості верстатів, застосування пристроїв для автоматичної вибірки зазорів в сполучуваних парах, централізованої мастила при гарній захисту від забруднення тертьових пар.

При проектуванні фрезерних верстатів широко уніфікують вузли і механізми, що дозволяє на базі основної моделі створити гаму верстатів з єдиним рішенням по конструкції і системам управління.

6.1 Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Оперативні цілі - це проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання

Відповідно до теорії В.П. Беспалько, існують чотири рівні засвоєння навчального матеріалу:

В таблиці 6.1 приведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 6.1 - Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій студентів
Сформувати уявлення, вміння охарактеризувати та аналізувати шляхи модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82	I рівень. Мати загальне уявлення про модернізацію горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82	Базові знання з дисципліни «Механічна обробка в машинобудуванні» стосовно теми	Сформоване уявлення про модернізацію горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82
	II рівень. Уміти охарактеризувувати основні шляхи модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82	Виконання дій першого рівня:	Надано характеристику основним шляхам модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82
	III рівень. Аналізувати шляхи модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82	Визначення понять з теми	Проаналізовано шляхи модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82

6.2. Перелік літературних джерел з теми

Основні рекомендовані джерела

1. Нічков А.Г. Фрезерні верстати. М., Машинобудування, 1977-184 с.
2. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х Т.-Т.2/За ред. А.Г. Косилової та Р.К. Мещерякова. - 4-те вид., Перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1985. - 496 с.
3. Дунаєв П.Ф., Леліков О.П. Конструювання вузлів та деталей машин: Навч. посібник для техн. спец. вишів. - 5-те вид., Перероб. та дод. - М.: Вищ. шк., 1998. - 447 с., Іл.
5. Верстати горизонтально-фрезерні моделей 6М82. Посібник з експлуатації.

6.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82»

1. Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 як чинник підвищення продуктивності обладнання
2. Підвищення технічних характеристик в цілях скорочення машинного часу
3. Підвищення точності та довговічності за рахунок модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82
4. Проведення модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 з метою збільшення тривалості міжремонтного періоду.
5. Переваги та недоліки проведення модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82

Структурно-логічну схему з теми «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82» представлено на рисунку 6.1.

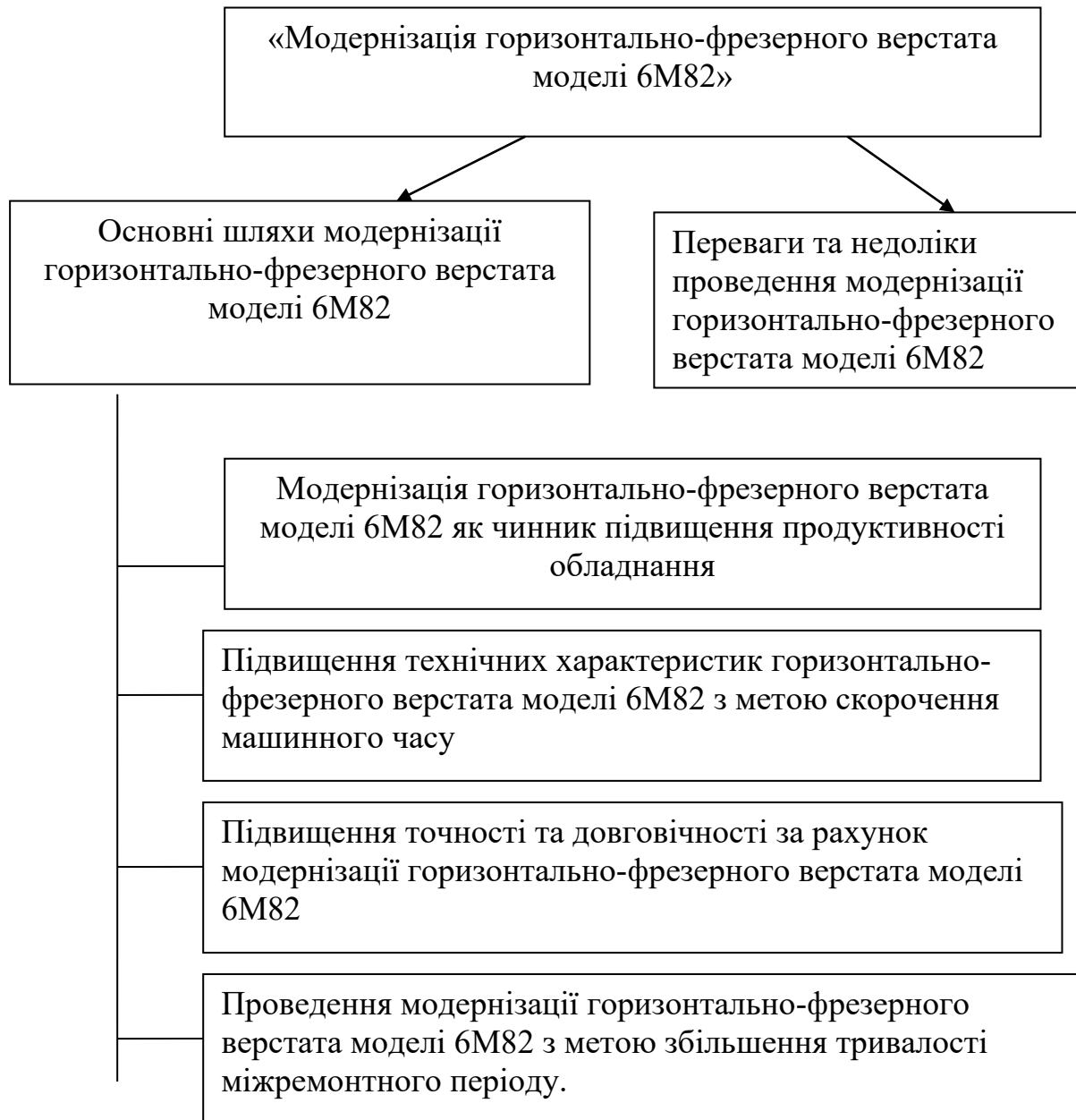


Рисунок 6.1 - Структурно-логічна схема з теми «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82»

6.4 Аналіз базових умов навчання

Базові знання - це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу. Вони відображують ті мінімальні вміння та здатності, якими повинні володіти ті що навчаються до того як вони почали програмне навчання.

В таблиці 6.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 6.2 - Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
Поняття про фрезерні верстати, про горизонтально-фрезерні верстати	Механічна обробка в машинобудуванні	Усне фронтальне опитування, за допомогою контрольних питань: 1. Для чого необхідні фрезерні верстати? 2. Які існують види фрезерних верстатів? 3. Де використовуються горизонтально-фрезерні верстати? 5. Чим відрізняється горизонтально-фрезерний верстат моделі 6М82 від інших верстатів?	Якщо базові знання знаходяться на незадовільному рівні, то необхідно нагадати головні аспекти шляхом нагадування та повторення

6.5. Просктування мотиваційних технологій навчання (характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу)

Мотивація займає провідне місце в структурі поведінки особистості і є одним з основних понять, які використовуються для пояснення рушійних сил, діяльності в цілому. Мотив, мотивація - спонукання до активності та діяльності суб'єкта, пов'язане з прагненням задовольнити певні потреби. У психології

мотивація позначає сукупність зовнішніх і внутрішніх умов, що спонукають суб'єкта до активності. У соціології мотивація розглядається як усвідомлювана потреба суб'єкта в досягненні певних благ.

Виділяють внутрішню і зовнішню мотивацію. Якщо діяльність для особистості значуща сама по собі, то говорять про внутрішню мотивації, якщо ж значимі зовнішні атрибути професії (визнання суспільства, престижність тощо) - переважає зовнішня мотивація. У наукових дослідженнях практичній діяльності використовуються не тільки методологія виявлення індивідуальних мотивів, але й усереднених, використовуючи які вивчають мотивацію професійної діяльності, соціальної групи

В таблиці 6.3 наведено способи реалізації мотивації.

Таблиця 6.3 - Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Зовнішня мотивація	Внутрішня мотивація
Вступна мотивація	По закінченні вивчення всієї теми буде проведена підсумкова контрольна робота, результати якої вплинуть на загальну оцінку вивчення дисципліни. Отже, для отримання позитивної оцінки необхідно мати повний конспект та виконанні домашні завдання.	Сьогодні ми розпочинаємо вивчати нову тему «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82». Тема має велику важливість в вашому професійному становищі, бо модернізація верстатів це внесення в конструкцію часткових змін і удосконалень в цілях підвищення їх технічного рівня до рівня сучасних моделей аналогічного призначення (загальнотехнічна модернізація) або для вирішення конкретних технологічних завдань виробництва шляхом пристосування обладнання до більш якісного виконання певного виду робіт (технологічна модернізація). В результаті модернізації підвищується продуктивність обладнання, зменшуються експлуатаційні витрати, знижується шлюб, а в ряді випадків збільшується тривалість міжремонтного періоду. Яким чином здійснюється модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 ми з вами визначимо впродовж вивчення теми. Будьте уважні, не відволікайтесь!

6.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Проектування технологій формування орієнтовної основи діяльності (ООД) включає вибір типу навчання, його структурних елементів, а також методів і прийомів їх реалізації.

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 6.4

Таблиця 6.4 - Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I	Фронтальна	Розповідь-пояснення, ілюстрація	Презентаційні слайди з теми
II	Фронтальна	Лекція з елементами пояснювання, ілюстрація	Презентаційні слайди з теми
III	Фронтальна	Пояснення , ілюстрація	Презентаційні слайди

6.7. Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Після того, як у учнів сформовані необхідні уявлення про об'єкти, що вивчаються, процеси або явища навколишній дійсності, настає етап формування умінь, навиків або, по-іншому, виконавчих дій.

Головна закономірність процесу засвоєння дійсності в тому, що пізнавальна діяльність і введення в неї знання набувають розумової форми, стають узагальненими не відразу, а пройшовши через ряд етапів. Якщо викладач будує процес навчання з урахуванням їх послідовності, він істотно підвищує можливість досягнення мети всіма учнями.

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 - Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I	Фронтальна	Бесіда	Презентаційні слайди
II	Фронтальна	Бесіда	Презентаційні слайди
III	Фронтальна	Бесіда-обговорення переваг та недоліків проведення модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6M82	Презентаційні слайди

6.8. Проектування контрольних дій з теми

Проектування системи контролю є одним з важливих видів діяльності викладача. Контроль дає можливість визначити, наскільки чітко досягнута мета навчання, які недоліки процесу навчання і що слід зробити, щоб застосувати нові технології навчання

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I	Фронтальне	Усне опитування	Контрольні питання
II	Фронтальне	Усне опитування	Контрольні питання
III	Фронтальне	Письмове опитування	Картка-завдання

6.9. Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій навчання з теми заняття на тему: «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6M82» наведено в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 - Сценарій навчання з теми заняття

№ п/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Вітання, фіксація відсутніх, перевірка зовнішньої обстановки в аудиторії Вітання викладача. Студенти підтверджують присутності у момент переключки, формують настрій на здійснення навчальної діяльності
2	Повідомлення теми і мети заняття	Повідомлення теми заняття: «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82», «Сьогодні на занятті ми з вами розглянемо питання щодо здійснення шляхів модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82.» Студенти фіксують тему, сприймають цілі, формують уявлення щодо результатів засвоєння матеріалу теми даного заняття
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Сьогодні ми розпочинаємо вивчати нову тему «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82». Тема має велику важливість в вашому професійному становищі, бо модернізація верстатів це внесення в конструкцію часткових змін і удосконалень в цілях підвищення їх технічного рівня до рівня сучасних моделей аналогічного призначення (загальнотехнічна модернізація) або для вирішення конкретних технологічних завдань виробництва шляхом пристосування обладнання до більш якісного виконання певного виду робіт (технологічна модернізація). В результаті модернізації підвищується продуктивність обладнання, зменшуються експлуатаційні витрати, знижується шлюб, а в ряді випадків збільшується тривалість міжремонтного періоду. Яким чином здійснюється модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 ми з вами визначимо впродовж вивчення теми. Будьте уважні, не відволікайтесь!»
4	Актуалізація базових знань	Проведення усного фронтального опитування, за допомогою контрольних питань: 1. Для чого необхідні фрезерні верстати? 2. Які існують види фрезерних верстатів? 3. Де використовуються горизонтально-фрезерні верстати? 5. Чим відрізняється горизонтально-фрезерний верстат моделі 6М82 від інших верстатів? Якщо студенти затрудняються відповісти на питання, коротко нагадує основні моменти по

Продовження табл. 6.7

1	2	3
		базовому матеріалу Студенти слухають питання, відповідають на них. Доповнюють відповіді друг друга
5	Формування ООД	Викладач викладає новий матеріал за планом: 1.Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 як чинник підвищення продуктивності обладнання 2.Підвищення технічних характеристик в цілях скорочення машинного часу 3.Підвищення точності та довговічності за рахунок модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 5.Проведення модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 з метою збільшення тривалості міжремонтного періоду. 5. Переваги та недоліки проведення модернізації горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82 В ході викладу використано наступні методи та засоби: метод лекції з елементами пояснення, розповідь, ілюстрація Сприйняття нової інформації, співвідношення її з наявними знаннями, розуміння, запам'ятовування, ведення конспекту.
6	Формування ВД	Обговорення та аналіз переваг та недоліків проведення модернізаціїгоризонтально-фрезерного верстата моделі 6М82
7	Формування КД	Викладач видає студентам картки-завдання. Студенти письмово відповідають на завдання.
8	Підбиття підсумків	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття

6.10 Висновки до розділу 5

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування». Було сформовано оперативні цілі з теми, обрано технологій навчання, розроблено сценарій факультативного заняття.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту було здійснено модернізацію верстата моделі 6М82 з метою розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності. Був здійснений розрахунок параметрів жорсткості і проведений тепловий аналіз шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки.

Побудована 3D - модель верстата і його формотворчих вузлів в системі КОМПАС-3D, що дає реальне уявлення про конструкцію і є основою для проектних розрахунків і дослідження працездатності верстата.

Також проводився ряд розрахунків для несучої системи верстата за допомогою програмно-математичного забезпечення «Ansys».

При проведенні розрахунку на жорсткість шпиндель додаткової фрезерної головки був представлений у вигляді стрижневий кінцево-елементної моделі. Під час розрахунку були обчислені деформації шпинделя в вузлових точках.

В ході теплового аналізу шпинделя були отримані його теплові характеристики під час роботи.

Розрахунки несучої системи верстата дозволили зробити висновок про ступінь надійності і стійкості конструкції обладнання під час його експлуатації.

Очікуваний економічний ефект від модернізації верстата моделі 6М82 складе 263 170 гривень на рік.

У методичній частині кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проект факультативного заняття з теми «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування»

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Бушуев В.В. Тенденции развития мирового станкостроения // СТИН. – 2000. – №9. – С. 20–24.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для техн. спец. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. – 447 с., ил.
3. Зинов В.Г. Управление интеллектуальной собственностью: Учеб. Пособие.-М.:Дело,2003.
4. Кирилин Ю.В. Моделирование подвижных и неподвижных стыков металлорежущего станка / Ю.В. Кирилин, П.Е. Дышловенко, Н.В. Еремин // СТИН. – 2003. – №9. – С. 22 – 28.
5. Кирилин Ю.В. Опыт применения ЭВМ при проектировании тяжелых фрезерных станков / Ю.В. Кирилин, Г.К. Матренина // Станки и инструмент. - 1982. - №7. - С. 3, 4.
6. Консольно-фрезерные станки моделей 6М82, 6М82Г и 6М82ГБ. Руководство по уходу и обслуживанию.
7. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
8. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос С, 2005. – 216 с., ил.
9. Мамет О.П. Краткий справочник конструктора-станкостроителя. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1964. – 613 с.
10. Металлорежущие станки: учебник для вузов/ В.Д. Ефремов [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2007. – 696 с.
11. Модернизация строгальных, долбежных и протяжных станков / Под ред. А.Е. Прокоповича. – М.: МАШГИЗ, 1957. – 178 с.
12. Ничков А.Г. Фрезерные станки. М., Машиностроение, 1977- 184 с.
13. Обработка металлов резанием: Справочник технолога

/А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общей редакцией Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.

14. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник/ В.А. Гапонкин, Л.К. Лукашев, Т.Г. Суворова – М.: Машиностроение, 1990. -448 с.

15. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 608 с.

16. Перель Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание. Справочник. – М., Машиностроение, 1983. – 543 с.

17. План запасных частей. Универсальный инструментальный фрезерно-сверлильный станок «DECKEL FP3».

18. Полуянов В.Т. Технологическая модернизация металлорежущих станков: – Свердловск: Уральский рабочий, 1961, – 370 с.

19. Поляков А.Н., Каменев С.В. Расчет базовых деталей станков в системе ANSYS: учебное пособие: - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 111 с.

20. Поляков А.Н., Парфенов И.В. Расчет коробок передач металлорежущих станков с применением ЭВМ: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов: - Оренбург: ГОУ ОГУ, 20034. – 49 с.

21. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник Т.2: Расчет и конструирование узлов и элементов станков / Под.ред. А.С. Пронилова - М.: МГТУ им. Баумана; Машиностроение, 1995. -320 с.

22. Руководство по эксплуатации поперечно-строгальных станков мод. 7307. Оренбургский станкостроительный завод.

23. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.

24. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х Т. - Т.2 / Под ред.

А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

25. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под ред. А.Г. Косиловой и др. – М.: машиностроение, 1985. – 496 с.

26. Схиртладзе, А.Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов, 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Схиртладзе, В.Ю. Новиков; под ред. Ю.М. Соломенцева – М.: Высшая школа, 2002. – 407 с.

27. Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

28. Хомяков В.С. Моделирование подвижных стыков при расчетах станков / В.С. Хомяков, В.В. Молодцов// СТИН. – 1996. - №6. - С. 16 – 21.

29. Хомяков В.С. Повышение эффективности расчета и анализа динамических характеристик станков на стадии проектирования / В.С. Хомяков, С.И. Досько, С.А. Терентьев // Станки и инструмент. – 1991. - №6. - С. 7 – 12.

30. Чернов Н.Н. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1978. – 389 с.

31. Виробництво і технології [Електронний ресурс]: <http://4ua.co.ua/manufacture/index.html>

32. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс]: підруч. / В. П. Головенкін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf

33. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. – 204 с.

34. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. –

174 с.

35. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтав: АСМІ, 2020. – 303 с.

36. Методика професійної освіти: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красицький, М. В. Руденко. – Київ: Компринт, 2025. – 224 с.

37. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УІПА, 2025. – 82 с.

38. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

39. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

40. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

41. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

42. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

43. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
44. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
45. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
46. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>
47. Бабічева О.Ф., Єсаулов С.М. Комп'ютерне проектування електромеханічних пристроїв: Навчальний посібник з дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» (для студентів 5 – 6 курсів спец. 7.092203, 8.092203 - «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») – Харків: ХНАМГ, 2009. - 281 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Результати кінематичного розрахунку

Вихідні дані

Найбільша частота обертання вихідного вала (хв^{-1})..... 1600

Найменша частота обертання вихідного вала (хв^{-1})..... 31,2

Частота обертання вала двигуна привода (хв^{-1})..... 1440

Потужність двигуна привода (кВт) 15

Знаменник ряду..... 1.26

Код типу коробки передач [коробки швидкостей ---> 4] 4

[коробка подач ---> 5]

Рекомендований конструктивний варіант:

3.0000, 3.0000, 2.0000

Рекомендований кінематичний варіант:

3.0000, 1.0000, 9.0000

Результати розподілу характеристики всьому ланцюга по групах передач:

Характеристика всього ланцюга 16.5392

Характеристика 0 0.5392

Характеристика 1 5.0000

Характеристика 2 5.0000

Характеристика 3 6.0000

Матриця передаточних чисел:

0 0.8828

1 0.3149 0.6299 1.2600

2 0.3149 0.3968 0.4999

3 0.2499 2.0004

Матриця чисел зубів:

0 20.00 18.00

1 57.00 18.00 46.00 29.00 33.00 42.00

2 64.00 20.00 60.00 24.00 56.00 28.00

3 72.00 18.00 30.00 60.00

Матриця частот обертання валів(хв^{-1}):

Частота обертання вхідного вала коробки передач:

1271.2743

Частота обертання другого вала коробки передач

401.4550 801.4556 1617.9855

Частота обертання третього вала коробки передач

125.4547 250.4549 505.6205

160.5820 320.5822 647.1942

200.7275 400.7278 808.9928

Частота обертання четвертого вала коробки передач

31.3637 62.6137 126.4051

40.1455 80.1456 161.7986

50.1819 100.1819 202.2482

250.9094 500.9097 1011.2409

321.1640 641.1644 1294.3884

401.4550 801.4556 1617.9855

Розрахунковий кінематичний ланцюг (хв^{-1})

1440.000 1271.2743 801.4556 320.5822 80.1456

Розрахункові моменти на валах (Н/м)

46.8738 51.5021 78.4497 188.3382 723.4446

Орієнтовні діаметри валів (мм)

16.8833 17.4216 20.0452 26.8407 42.0354

Додаток Б

*Розрахунок прямозубої евольвентної передачі**1-я група передач**ВИХІДНІ ДАНІ*

<i>Крутний момент на шестірні.....</i>	<i>46.87</i>
<i>Частота обертання шестірні (хв⁻¹).....</i>	<i>1440.00</i>
<i>контактна напруга, Що допускається (МПа).....</i>	<i>1100.00</i>
<i>Що допускається ізгибна напруга (МПа).....</i>	<i>300.00</i>
<i>Відношення ширини вінця до нач. діаметру шестірні....</i>	<i>0.40</i>
<i>Число зубів шестірні.....</i>	<i>18.00</i>
<i>Число зубів колеса.....</i>	<i>34.00</i>
<i>Степень точності передачі (6,7 або 8).....</i>	<i>7</i>
<i>Код розташування передачі.....</i>	<i>2</i>

РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ

<i>Розрахунковий модуль по контактних напругах.....</i>	<i>2.230 мм</i>
<i>Розрахунковий модуль по ізгибним напругам.....</i>	<i>2.551 мм</i>
<i>Стандартний модуль за ДСТ 9563-60.....</i>	<i>2.500 мм</i>
<i>Міжосьова відстань</i>	<i>65.000 мм</i>
<i>Ширина шестірні</i>	<i>18.000 мм</i>
<i>Окружна швидкість зубів передачі.....</i>	<i>3.4 м/з</i>

*2-я група передач**ВИХІДНІ ДАНІ*

<i>Крутний момент на шестірні.....</i>	<i>78.45</i>
<i>Частота обертання шестірні (хв⁻¹).....</i>	<i>801.46</i>
<i>контактна напруга, Що допускається (МПа).....</i>	<i>1100.00</i>
<i>Що допускається ізгибна напруга (МПа).....</i>	<i>300.00</i>
<i>Відношення ширини вінця до нач. діаметру шестірні....</i>	<i>0.30</i>
<i>Число зубів шестірні.....</i>	<i>24.00</i>
<i>Число зубів колеса.....</i>	<i>60.00</i>
<i>Степень точності передачі (6,7 або 8).....</i>	<i>7</i>
<i>Код розташування передачі.....</i>	<i>2</i>

РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ

<i>Розрахунковий модуль по контактних напругах.....</i>	<i>2.069 мм</i>
<i>Розрахунковий модуль по изгибным напругам.....</i>	<i>2.655 мм</i>
<i>Стандартний модуль за ДСТУ 9563-88.....</i>	<i>3.000 мм</i>
<i>Міжосьова відстань</i>	<i>126.000 мм</i>
<i>Ширина шестірні</i>	<i>21.600 мм</i>
<i>Окружна швидкість зубів передачі.....</i>	<i>3.0 м/с</i>

*3-я група передач**ВИХІДНІ ДАНІ*

<i>Крутний момент на шестірні.....</i>	<i>188.34</i>
<i>Частота обертання шестірні (хв^{-1}).....</i>	<i>320.58</i>
<i>контактна напруга, Що допускається (МПа).....</i>	<i>1100.00</i>
<i>Що допускається ізгибна напруга (МПа).....</i>	<i>300.00</i>
<i>Відношення ширини вінця до нач. діаметру шестірні....</i>	<i>0.40</i>
<i>Число зубів шестірні.....</i>	<i>18.00</i>
<i>Число зубів колеса.....</i>	<i>72.00</i>
<i>Степень точності передачі (6,7 або 8).....</i>	<i>7</i>
<i>Код розташування передачі.....</i>	<i>2</i>

РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ

<i>Розрахунковий модуль по контактних напругах....</i>	<i>3.264 мм</i>
<i>Розрахунковий модуль по ізгибним напругам.....</i>	<i>4.056 мм</i>
<i>Стандартний модуль за ДСТУ 9563-88.....</i>	<i>4.000 мм</i>
<i>Міжосьова відстань</i>	<i>180.000 мм</i>
<i>Ширина шестірні</i>	<i>28.800 мм</i>
<i>Окружна швидкість зубів передачі.....</i>	<i>1.2 м/с</i>

Додаток В

Розрахунок реакцій, вантажопідйомності підшипників і валів

Перший вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

Відстань від лівої опори до сили P , мм.(A)..... 24.00

Відстань від лівої опори до сили Q , мм.(B)..... 0.00

Відстань між опорами, мм.(L)..... 230.00

Сили, що діють на вал - P , Н..... 2216

Сили, що діють на вал - Q , Н..... 0.00

Кут між площинами дії сил, град..... 40.00

Частота обертання вала, хв^{-1} 1440.00

Результати розрахунку:

Реакції в опорах:

$R=1984.77 \text{ Н}$

$S=231.23 \text{ Н}$

Статична вантажопідйомність підшипників

$CO1= 1984.77 \text{ Н}$

$CO2= 231.23 \text{ Н}$

Динамічна вантажопідйомність підшипників

$C1=22684.16 \text{ Н}$

$C2=2642.81 \text{ Н}$

Згинальні моменти на валу (X від лівого кінця)

$X1=24.00 \text{ мм}$

$M1=47.63 \text{ мм}$

$X2=0.00 \text{ мм}$

$M2=0.00 \text{ мм}$

Другий вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

Відстань від лівої опори до сили P , мм.(A)..... 203.00

Відстань від лівої опори до сили Q , мм.(B)..... 24.00

Відстань між опорами, мм.(L)..... 230.00

Сили, що діють на вал - P , Н..... 2318

Сили, що діють на вал - Q , Н..... 1964

Кут між площинами дії сил, град..... 40.00

Частота обертання вала, хв^{-1} 801.45

Результати розрахунку:

Реакції в опорах:

$R=1975.27 \text{ Н}$

$$S=2206.82 \text{ Н}$$

Статична вантажопідйомність підшипників

$$CO1=1975.27 \text{ Н}$$

$$CO2=2206.82 \text{ Н}$$

Динамічна вантажопідйомність підшипників

$$C1=18568.20 \text{ Н}$$

$$C2=20744.78 \text{ Н}$$

Згинальні моменти на валу (X від лівого кінця)

$$X1=203.00 \text{ мм}$$

$$M1=400.98 \text{ мм}$$

$$X2=24.00 \text{ мм}$$

$$M2=454.60 \text{ мм}$$

Третій вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

$$\text{Відстань від лівої опори до сили } P, \text{ мм. (A)} \dots\dots\dots 259.00$$

$$\text{Відстань від лівої опори до сили } Q, \text{ мм. (B)} \dots\dots\dots 203.00$$

$$\text{Відстань між опорами, мм. (L)} \dots\dots\dots 387.00$$

$$\text{Сили, що діють на вал - } P, \text{ Н} \dots\dots\dots 5567$$

$$\text{Сили, що діють на вал - } Q, \text{ Н} \dots\dots\dots 2226$$

$$\text{Кут між площинами дії сил, град} \dots\dots\dots 40.00$$

$$\text{Частота обертання вала, хв}^{-1} \dots\dots\dots 320.58$$

Результати розрахунку:

Реакції в опорах:

$$R=2737.90 \text{ Н}$$

$$S=4680.76 \text{ Н}$$

Статична вантажопідйомність підшипників

$$CO1=2737.90 \text{ Н}$$

$$CO2=4680.76 \text{ Н}$$

Динамічна вантажопідйомність підшипників

$$C1=18960.41 \text{ Н}$$

$$C2=32415.00 \text{ Н}$$

Згинальні моменти на валу (X від лівого кінця)

$$X1=259.00 \text{ мм}$$

$$M1=709.12 \text{ мм}$$

$$X2=203.00 \text{ мм}$$

$$M2=861.26 \text{ мм}$$

Додаток Д

Розрахунок перетину суцільного вала на статичну міцність і витривалість

Перший вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

<i>Згинальний момент у перетині, Н·м.....</i>	<i>47.63</i>
<i>Крутний момент у перетині, Н·м.....</i>	<i>46.87</i>
<i>Межа міцності матеріалу вала, МПа.....</i>	<i>980.00</i>
<i>Максимальний діаметр перетину вала, мм.....</i>	<i>17.00</i>
<i>Мінімальний діаметр перетину вала, мм.....</i>	<i>17.00</i>
<i>Ширина шліца або шпонки, мм.....</i>	<i>5.00</i>
<i>Висота шпонки, мм.....</i>	<i>5.00</i>
<i>Радіус жолобника, виточення або ознака, мм.....</i>	<i>1</i>
<i>Код марки стали.....</i>	<i>30.00</i>
<i>Ознака концентратора напруг.....</i>	<i>4.00</i>
<i>Число шліців або шпонок у перетині вала.....</i>	<i>1.00</i>

Результати розрахунку:

<i>Шпонка(торцева фреза) X=4, R=1, B=5.00 мм, T=5.00 мм, Z=1</i>
<i>Запас статичної міцності при вигині – 5.70</i>
<i>Запас статичної міцності при крутінні – 9.07</i>
<i>Сумарний запас статичної міцності – 4.82</i>
<i>Запас втомної міцності при вигині – 1.59</i>
<i>Запас втомної міцності при крутінні – 4.93</i>
<i>Сумарний запас втомної міцності – 1.51</i>

Другий вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

<i>Згинальний момент у перетині, Н·м.....</i>	<i>400.98</i>
<i>Крутний момент у перетині, Н·м.....</i>	<i>78.45</i>
<i>Межа міцності матеріалу вала, МПа.....</i>	<i>980.00</i>
<i>Максимальний діаметр перетину вала, мм.....</i>	<i>45.00</i>
<i>Мінімальний діаметр перетину вала, мм.....</i>	<i>45.00</i>
<i>Ширина шліца або шпонки, мм.....</i>	<i>14.00</i>
<i>Висота шпонки, мм.....</i>	<i>9.00</i>
<i>Радіус жолобника, виточення або ознака, мм.....</i>	<i>1</i>
<i>Код марки стали.....</i>	<i>30.00</i>
<i>Ознака концентратора напруг.....</i>	<i>4.00</i>
<i>Число шліців або шпонок у перетині вала.....</i>	<i>4.00</i>

Результати розрахунку:

Шпонка(торцева фреза) $X=4$, $R=1$, $B=14.00$ мм, $T=9.00$ мм, $Z=4$

Запас статичної міцності при вигині – 7.44

Запас статичної міцності при крутінні – 83.03

Сумарний запас статичної міцності – 7.41

Запас втомної міцності при вигині – 1.88

Запас втомної міцності при крутінні – 40.98

Сумарний запас втомної міцності – 1.88

Третій вал коробки швидкостей

Вихідні дані:

Згинальний момент у перетині, Н·м..... 709.12

Крутний момент у перетині, Н·м..... 188.34

Межа міцності матеріалу вала, МПа..... 980.00

Максимальний діаметр перетину вала, мм..... 50.00

Мінімальний діаметр перетину вала, мм..... 46.00

Ширина шліца або шпонки, мм..... 8.00

Висота шпонки, мм..... 0.00

Радіус жолобника, виточення або ознака, мм..... 1

Код марки стали..... 30.00

Ознака концентратора напруг..... 3.00

Число шліців або шпонок у перетині вала..... 8.00

Результати розрахунку:

Шліци прямобочние $X=3$, $B=8.00$ мм, $Z=8$

Запас статичної міцності при вигині – 7.08

Запас статичної міцності при крутінні – 38.05

Сумарний запас статичної міцності – 6.96

Запас втомної міцності при вигині – 1.82

Запас втомної міцності при крутінні – 15.45

Сумарний запас втомної міцності – 1.81

Додаток Е (довідкове)

КІЛЬКІСТЬ ВУЗЛІВ СХЕМИ ШУ	18
---------------------------	----

номер області	номер опори	вузлова крапка
5	1	5
13	2	13
16	3	16

Деформации у вузлових крапках					
лінійні			кутові		
N Вузла	X [мкм]	Y [мкм]	Z [мкм]	XOZ	XOY
1	1.026e+00	8.305e+00	3.654e+00	4.744e-05	-1.053e-04
2	9.932e-01	6.835e+00	2.993e+00	4.673e-05	-1.042e-04
3	9.791e-01	5.902e+00	2.575e+00	4.602e-05	-1.029e-04
4	9.379e-01	3.929e+00	1.696e+00	4.144e-05	-9.330e-05
5	9.048e-01	2.448e+00	1.039e+00	3.548e-05	-8.013e-05
6	8.733e-01	1.212e+00	4.922e-01	2.898e-05	-6.557e-05
7	7.634e-01	-1.245e+00	-5.865e-01	9.716e-06	-2.245e-05
8	7.006e-01	-1.591e+00	-7.328e-01	8.965e-07	-2.648e-06
9	6.508e-01	-1.521e+00	-6.949e-01	-3.859e-06	8.061e-06
10	5.923e-01	-1.196e+00	-5.434e-01	-6.913e-06	1.500e-05
11	5.469e-01	-8.619e-01	-3.902e-01	-7.401e-06	1.618e-05
12	4.703e-01	-4.463e-01	-2.008e-01	-4.463e-06	9.824e-06
13	4.400e-01	-3.643e-01	-1.636e-01	-2.204e-06	4.860e-06
14	4.390e-01	-3.089e-01	-1.385e-01	-2.344e-06	5.176e-06
15	4.380e-01	-2.455e-01	-1.098e-01	-2.428e-06	5.367e-06
16	4.367e-01	-1.646e-01	-7.320e-02	-2.432e-06	5.377e-06
17	4.367e-01	-8.397e-02	-3.672e-02	-2.432e-06	5.377e-06
18	4.367e-01	-3.020e-02	-1.240e-02	-2.432e-06	5.377e-06

Реакції в опорах					
N Опори	лінійні			кутові	
	OX	OY	OZ	XOZ	XOY
	[Даний]	[Даний]	[Даний]	[Даний*м]	
[Даний*м]					
1	-0.000e+00	-3.182e+02	-1.351e+02	-0.000e+00	0.000e+00
2	-9.680e+01	7.067e+01	3.173e+01	1.697e+00	-3.742e+00
3	-3.196e+00	7.655e+00	3.404e+00	2.383e-02	-5.270e-02

Додаток Ж (довідкове)

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	1.65
--	------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.
1	46.00	1.00	20.822	36	51.00	214.00	20.106
2	27.00	1.00	20.727	37	58.00	187.00	20.056
3	46.00	15.00	20.972	38	58.00	214.00	20.098
4	24.00	15.00	20.812	39	11.00	236.00	20.236
5	21.00	24.00	20.863	40	39.00	236.00	20.287
6	46.00	24.00	21.207	41	51.00	236.00	20.344
7	51.00	15.00	20.998	42	11.00	265.00	20.508
8	51.00	24.00	21.131	43	39.00	265.00	20.736
9	19.00	51.00	21.006	44	51.00	265.00	20.888
10	46.00	51.00	21.728	45	64.00	236.00	20.369
11	17.00	78.00	20.531	46	64.00	265.00	20.910
12	46.00	78.00	20.962	47	70.00	236.00	20.360
13	46.00	88.00	20.600	48	82.00	265.00	20.540
14	15.00	88.00	20.414	49	75.00	225.00	20.287
15	51.00	78.00	20.867	50	87.00	254.00	20.467
16	51.00	88.00	20.597	51	39.00	288.00	21.166
17	46.00	117.00	20.166	52	11.00	288.00	20.878
18	15.00	117.00	20.155	53	64.00	276.50	21.788
19	51.00	117.00	20.167	54	64.00	276.50	21.654
20	46.00	123.00	20.127	55	51.00	276.50	21.391
21	11.00	123.00	20.122	56	64.00	288.00	22.237
22	51.00	123.00	20.127	57	51.00	288.00	21.658
23	46.00	136.00	20.068	58	15.00	300.00	21.131
24	11.00	136.00	20.075	59	39.00	300.00	21.717
25	51.00	136.00	20.064	60	49.00	300.00	22.209
26	39.00	165.00	20.035	61	15.00	330.00	21.178
27	11.00	165.00	20.041	62	49.00	315.00	22.428
28	51.00	165.00	20.035	63	49.00	315.00	23.024
29	58.00	136.00	20.061	64	39.00	315.00	22.356
30	58.00	165.00	20.034	65	49.00	330.00	22.486
31	11.00	187.00	20.046	66	39.00	330.00	22.146
32	39.00	187.00	20.053	67	11.00	340.00	21.072
33	39.00	214.00	20.106	68	39.00	340.00	22.019
34	11.00	214.00	20.115	69	51.00	340.00	22.178
35	51.00	187.00	20.055	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	4.37
--	------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.
1	46.00	1.00	22.493	36	51.00	214.00	20.783
2	27.00	1.00	22.469	37	58.00	187.00	20.569
3	46.00	15.00	22.539	38	58.00	214.00	20.753
4	24.00	15.00	22.498	39	11.00	236.00	21.311
5	21.00	24.00	22.511	40	39.00	236.00	21.408
6	46.00	24.00	22.573	41	51.00	236.00	21.500

7	51.00	15.00	22.544	42	11.00	265.00	22.096
8	51.00	24.00	22.567	43	39.00	265.00	22.181
9	19.00	51.00	22.441	44	51.00	265.00	22.189
10	46.00	51.00	22.503	45	64.00	236.00	21.584
11	17.00	78.00	21.794	46	64.00	265.00	21.970
12	46.00	78.00	21.750	47	70.00	236.00	21.576
13	46.00	88.00	21.496	48	82.00	265.00	21.746
14	15.00	88.00	21.491	49	75.00	225.00	21.507
15	51.00	78.00	21.699	50	87.00	254.00	21.678
16	51.00	88.00	21.493	51	39.00	288.00	22.939
17	46.00	117.00	20.812	52	11.00	288.00	22.882
18	15.00	117.00	20.820	53	64.00	276.50	22.634
19	51.00	117.00	20.812	54	64.00	276.50	22.253
20	46.00	123.00	20.704	55	51.00	276.50	22.564
21	11.00	123.00	20.715	56	64.00	288.00	22.836
22	51.00	123.00	20.702	57	51.00	288.00	22.916
23	46.00	136.00	20.511	58	15.00	300.00	23.329
24	11.00	136.00	20.550	59	39.00	300.00	23.541
25	51.00	136.00	20.495	60	49.00	300.00	23.492
26	39.00	165.00	20.396	61	15.00	330.00	23.933
27	11.00	165.00	20.439	62	49.00	315.00	23.998
28	51.00	165.00	20.391	63	49.00	315.00	23.946
29	58.00	136.00	20.483	64	39.00	315.00	24.034
30	58.00	165.00	20.386	65	49.00	330.00	24.337
31	11.00	187.00	20.508	66	39.00	330.00	24.334
32	39.00	187.00	20.548	67	11.00	340.00	23.960
33	39.00	214.00	20.801	68	39.00	340.00	24.342
34	11.00	214.00	20.841	69	51.00	340.00	24.386
35	51.00	187.00	20.564	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	8.85
--	------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	24.018	36	51.00	214.00	22.361
2	27.00	1.00	23.944	37	58.00	187.00	22.060
3	46.00	15.00	24.125	38	58.00	214.00	22.323
4	24.00	15.00	23.967	39	11.00	236.00	22.997
5	21.00	24.00	23.947	40	39.00	236.00	23.094
6	46.00	24.00	24.286	41	51.00	236.00	23.205
7	51.00	15.00	24.138	42	11.00	265.00	23.756
8	51.00	24.00	24.228	43	39.00	265.00	23.874
9	19.00	51.00	23.712	44	51.00	265.00	23.962
10	46.00	51.00	24.359	45	64.00	236.00	23.330
11	17.00	78.00	22.859	46	64.00	265.00	23.924
12	46.00	78.00	23.211	47	70.00	236.00	23.333
13	46.00	88.00	22.757	48	82.00	265.00	23.551
14	15.00	88.00	22.620	49	75.00	225.00	23.255
15	51.00	78.00	23.094	50	87.00	254.00	23.466
16	51.00	88.00	22.750	51	39.00	288.00	24.562
17	46.00	117.00	21.978	52	11.00	288.00	24.455
18	15.00	117.00	21.983	53	64.00	276.50	24.846
19	51.00	117.00	21.978	54	64.00	276.50	24.641
20	46.00	123.00	21.867	55	51.00	276.50	24.468
21	11.00	123.00	21.882	56	64.00	288.00	25.290
22	51.00	123.00	21.863	57	51.00	288.00	24.855
23	46.00	136.00	21.668	58	15.00	300.00	24.873
24	11.00	136.00	21.721	59	39.00	300.00	25.310
25	51.00	136.00	21.647	60	49.00	300.00	25.677

26	39.00	165.00	21.596	61	15.00	330.00	25.305
27	11.00	165.00	21.691	62	49.00	315.00	26.162
28	51.00	165.00	21.563	63	49.00	315.00	26.573
29	58.00	136.00	21.634	64	39.00	315.00	26.059
30	58.00	165.00	21.552	65	49.00	330.00	26.430
31	11.00	187.00	21.929	66	39.00	330.00	26.138
32	39.00	187.00	22.000	67	11.00	340.00	25.274
33	39.00	214.00	22.387	68	39.00	340.00	26.048
34	11.00	214.00	22.422	69	51.00	340.00	26.185
35	51.00	187.00	22.053	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	16.24
--	-------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	26.041	36	51.00	214.00	24.817
2	27.00	1.00	26.018	37	58.00	187.00	24.466
3	46.00	15.00	26.093	38	58.00	214.00	24.773
4	24.00	15.00	26.042	39	11.00	236.00	25.518
5	21.00	24.00	26.049	40	39.00	236.00	25.653
6	46.00	24.00	26.119	41	51.00	236.00	25.774
7	51.00	15.00	26.093	42	11.00	265.00	26.400
8	51.00	24.00	26.114	43	39.00	265.00	26.512
9	19.00	51.00	25.916	44	51.00	265.00	26.536
10	46.00	51.00	25.968	45	64.00	236.00	25.912
11	17.00	78.00	25.149	46	64.00	265.00	26.316
12	46.00	78.00	25.088	47	70.00	236.00	25.908
13	46.00	88.00	24.808	48	82.00	265.00	26.101
14	15.00	88.00	24.806	49	75.00	225.00	25.833
15	51.00	78.00	25.029	50	87.00	254.00	26.024
16	51.00	88.00	24.803	51	39.00	288.00	27.265
17	46.00	117.00	24.086	52	11.00	288.00	27.176
18	15.00	117.00	24.101	53	64.00	276.50	26.970
19	51.00	117.00	24.084	54	64.00	276.50	26.589
20	46.00	123.00	23.978	55	51.00	276.50	26.916
21	11.00	123.00	24.000	56	64.00	288.00	27.156
22	51.00	123.00	23.974	57	51.00	288.00	27.245
23	46.00	136.00	23.794	58	15.00	300.00	27.611
24	11.00	136.00	23.859	59	39.00	300.00	27.838
25	51.00	136.00	23.773	60	49.00	300.00	27.773
26	39.00	165.00	23.786	61	15.00	330.00	28.179
27	11.00	165.00	23.922	62	49.00	315.00	28.250
28	51.00	165.00	23.725	63	49.00	315.00	28.192
29	58.00	136.00	23.759	64	39.00	315.00	28.302
30	58.00	165.00	23.709	65	49.00	330.00	28.551
31	11.00	187.00	24.295	66	39.00	330.00	28.565
32	39.00	187.00	24.380	67	11.00	340.00	28.189
33	39.00	214.00	24.847	68	39.00	340.00	28.564
34	11.00	214.00	24.869	69	51.00	340.00	28.599
35	51.00	187.00	24.457	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	28.42
--	-------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.
1	46.00	1.00	28.691	36	51.00	214.00	28.172
2	27.00	1.00	28.632	37	58.00	187.00	27.806
3	46.00	15.00	28.806	38	58.00	214.00	28.125
4	24.00	15.00	28.673	39	11.00	236.00	28.862
5	21.00	24.00	28.668	40	39.00	236.00	28.965
6	46.00	24.00	28.966	41	51.00	236.00	29.068
7	51.00	15.00	28.814	42	11.00	265.00	29.607
8	51.00	24.00	28.902	43	39.00	265.00	29.692
9	19.00	51.00	28.510	44	51.00	265.00	29.760
10	46.00	51.00	29.099	45	64.00	236.00	29.198
11	17.00	78.00	27.837	46	64.00	265.00	29.728
12	46.00	78.00	28.161	47	70.00	236.00	29.199
13	46.00	88.00	27.781	48	82.00	265.00	29.394
14	15.00	88.00	27.665	49	75.00	225.00	29.126
15	51.00	78.00	28.053	50	87.00	254.00	29.314
16	51.00	88.00	27.770	51	39.00	288.00	30.288
17	46.00	117.00	27.174	52	11.00	288.00	30.205
18	15.00	117.00	27.192	53	64.00	276.50	30.528
19	51.00	117.00	27.170	54	64.00	276.50	30.362
20	46.00	123.00	27.095	55	51.00	276.50	30.186
21	11.00	123.00	27.127	56	64.00	288.00	30.907
22	51.00	123.00	27.088	57	51.00	288.00	30.517
23	46.00	136.00	26.967	58	15.00	300.00	30.560
24	11.00	136.00	27.034	59	39.00	300.00	30.925
25	51.00	136.00	26.945	60	49.00	300.00	31.252
26	39.00	165.00	27.017	61	15.00	330.00	30.902
27	11.00	165.00	27.171	62	49.00	315.00	31.663
28	51.00	165.00	26.937	63	49.00	315.00	32.032
29	58.00	136.00	26.929	64	39.00	315.00	31.559
30	58.00	165.00	26.917	65	49.00	330.00	31.859
31	11.00	187.00	27.623	66	39.00	330.00	31.595
32	39.00	187.00	27.713	67	11.00	340.00	30.858
33	39.00	214.00	28.212	68	39.00	340.00	31.502
34	11.00	214.00	28.230	69	51.00	340.00	31.615
35	51.00	187.00	27.802	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	58.42
--	-------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм] ПО РАД. ПО ОСІ		ТЕМПЕР.
1	46.00	1.00	34.041	36	51.00	214.00	33.895
2	27.00	1.00	34.029	37	58.00	187.00	33.522
3	46.00	15.00	34.123	38	58.00	214.00	33.844
4	24.00	15.00	34.092	39	11.00	236.00	34.573
5	21.00	24.00	34.135	40	39.00	236.00	34.698
6	46.00	24.00	34.166	41	51.00	236.00	34.793
7	51.00	15.00	34.116	42	11.00	265.00	35.361
8	51.00	24.00	34.148	43	39.00	265.00	35.459
9	19.00	51.00	34.164	44	51.00	265.00	35.471
10	46.00	51.00	34.173	45	64.00	236.00	34.907

11	17.00	78.00	33.639	46	64.00	265.00	35.252
12	46.00	78.00	33.555	47	70.00	236.00	34.895
13	46.00	88.00	33.361	48	82.00	265.00	35.063
14	15.00	88.00	33.376	49	75.00	225.00	34.821
15	51.00	78.00	33.506	50	87.00	254.00	34.987
16	51.00	88.00	33.351	51	39.00	288.00	36.093
17	46.00	117.00	32.849	52	11.00	288.00	35.993
18	15.00	117.00	32.874	53	64.00	276.50	35.796
19	51.00	117.00	32.841	54	64.00	276.50	35.454
20	46.00	123.00	32.777	55	51.00	276.50	35.779
21	11.00	123.00	32.812	56	64.00	288.00	35.914
22	51.00	123.00	32.767	57	51.00	288.00	36.032
23	46.00	136.00	32.661	58	15.00	300.00	36.345
24	11.00	136.00	32.738	59	39.00	300.00	36.541
25	51.00	136.00	32.637	60	49.00	300.00	36.446
26	39.00	165.00	32.729	61	15.00	330.00	36.775
27	11.00	165.00	32.893	62	49.00	315.00	36.823
28	51.00	165.00	32.633	63	49.00	315.00	36.750
29	58.00	136.00	32.617	64	39.00	315.00	36.885
30	58.00	165.00	32.608	65	49.00	330.00	37.014
31	11.00	187.00	33.367	66	39.00	330.00	37.055
32	39.00	187.00	33.440	67	11.00	340.00	36.750
33	39.00	214.00	33.941	68	39.00	340.00	37.037
34	11.00	214.00	33.951	69	51.00	340.00	37.048
35	51.00	187.00	33.522	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	88.42
--	-------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	36.878	36	51.00	214.00	37.054
2	27.00	1.00	36.838	37	58.00	187.00	36.709
3	46.00	15.00	37.013	38	58.00	214.00	37.003
4	24.00	15.00	36.909	39	11.00	236.00	37.664
5	21.00	24.00	36.933	40	39.00	236.00	37.741
6	46.00	24.00	37.174	41	51.00	236.00	37.805
7	51.00	15.00	37.012	42	11.00	265.00	38.265
8	51.00	24.00	37.101	43	39.00	265.00	38.315
9	19.00	51.00	36.907	44	51.00	265.00	38.356
10	46.00	51.00	37.414	45	64.00	236.00	37.893
11	17.00	78.00	36.483	46	64.00	265.00	38.328
12	46.00	78.00	36.759	47	70.00	236.00	37.885
13	46.00	88.00	36.476	48	82.00	265.00	38.038
14	15.00	88.00	36.393	49	75.00	225.00	37.818
15	51.00	78.00	36.664	50	87.00	254.00	37.965
16	51.00	88.00	36.460	51	39.00	288.00	38.754
17	46.00	117.00	36.068	52	11.00	288.00	38.686
18	15.00	117.00	36.094	53	64.00	276.50	38.964
19	51.00	117.00	36.057	54	64.00	276.50	38.854
20	46.00	123.00	36.015	55	51.00	276.50	38.673
21	11.00	123.00	36.060	56	64.00	288.00	39.252
22	51.00	123.00	36.002	57	51.00	288.00	38.913
23	46.00	136.00	35.931	58	15.00	300.00	38.938
24	11.00	136.00	36.007	59	39.00	300.00	39.230
25	51.00	136.00	35.906	60	49.00	300.00	39.509
26	39.00	165.00	35.999	61	15.00	330.00	39.131
27	11.00	165.00	36.151	62	49.00	315.00	39.802
28	51.00	165.00	35.904	63	49.00	315.00	40.130
29	58.00	136.00	35.882	64	39.00	315.00	39.704

30	58.00	165.00	35.877	65	49.00	330.00	39.883
31	11.00	187.00	36.588	66	39.00	330.00	39.658
32	39.00	187.00	36.647	67	11.00	340.00	39.059
33	39.00	214.00	37.109	68	39.00	340.00	39.554
34	11.00	214.00	37.121	69	51.00	340.00	39.636
35	51.00	187.00	36.715	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	118.42
--	--------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	38.181	36	51.00	214.00	38.415
2	27.00	1.00	38.183	37	58.00	187.00	38.094
3	46.00	15.00	38.270	38	58.00	214.00	38.366
4	24.00	15.00	38.261	39	11.00	236.00	38.975
5	21.00	24.00	38.321	40	39.00	236.00	39.074
6	46.00	24.00	38.309	41	51.00	236.00	39.137
7	51.00	15.00	38.258	42	11.00	265.00	39.603
8	51.00	24.00	38.288	43	39.00	265.00	39.679
9	19.00	51.00	38.440	44	51.00	265.00	39.678
10	46.00	51.00	38.382	45	64.00	236.00	39.213
11	17.00	78.00	38.108	46	64.00	265.00	39.471
12	46.00	78.00	37.989	47	70.00	236.00	39.195
13	46.00	88.00	37.875	48	82.00	265.00	39.324
14	15.00	88.00	37.910	49	75.00	225.00	39.128
15	51.00	78.00	37.954	50	87.00	254.00	39.258
16	51.00	88.00	37.862	51	39.00	288.00	40.172
17	46.00	117.00	37.522	52	11.00	288.00	40.076
18	15.00	117.00	37.549	53	64.00	276.50	39.876
19	51.00	117.00	37.510	54	64.00	276.50	39.585
20	46.00	123.00	37.471	55	51.00	276.50	39.900
21	11.00	123.00	37.510	56	64.00	288.00	39.925
22	51.00	123.00	37.458	57	51.00	288.00	40.076
23	46.00	136.00	37.390	58	15.00	300.00	40.340
24	11.00	136.00	37.465	59	39.00	300.00	40.486
25	51.00	136.00	37.365	60	49.00	300.00	40.361
26	39.00	165.00	37.453	61	15.00	330.00	40.643
27	11.00	165.00	37.597	62	49.00	315.00	40.636
28	51.00	165.00	37.359	63	49.00	315.00	40.539
29	58.00	136.00	37.341	64	39.00	315.00	40.706
30	58.00	165.00	37.333	65	49.00	330.00	40.740
31	11.00	187.00	38.000	66	39.00	330.00	40.808
32	39.00	187.00	38.044	67	11.00	340.00	40.601
33	39.00	214.00	38.467	68	39.00	340.00	40.785
34	11.00	214.00	38.472	69	51.00	340.00	40.776
35	51.00	187.00	38.101	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	148.42
--	--------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	38.693	36	51.00	214.00	39.020
2	27.00	1.00	38.659	37	58.00	187.00	38.701
3	46.00	15.00	38.830	38	58.00	214.00	38.970

4	24.00	15.00	38.736	39	11.00	236.00	39.579
5	21.00	24.00	38.768	40	39.00	236.00	39.641
6	46.00	24.00	38.987	41	51.00	236.00	39.689
7	51.00	15.00	38.826	42	11.00	265.00	40.111
8	51.00	24.00	38.913	43	39.00	265.00	40.145
9	19.00	51.00	38.782	44	51.00	265.00	40.177
10	46.00	51.00	39.255	45	64.00	236.00	39.758
11	17.00	78.00	38.452	46	64.00	265.00	40.152
12	46.00	78.00	38.710	47	70.00	236.00	39.747
13	46.00	88.00	38.465	48	82.00	265.00	39.881
14	15.00	88.00	38.394	49	75.00	225.00	39.684
15	51.00	78.00	38.621	50	87.00	254.00	39.813
16	51.00	88.00	38.448	51	39.00	288.00	40.523
17	46.00	117.00	38.130	52	11.00	288.00	40.465
18	15.00	117.00	38.157	53	64.00	276.50	40.724
19	51.00	117.00	38.117	54	64.00	276.50	40.637
20	46.00	123.00	38.086	55	51.00	276.50	40.452
21	11.00	123.00	38.132	56	64.00	288.00	40.980
22	51.00	123.00	38.072	57	51.00	288.00	40.660
23	46.00	136.00	38.016	58	15.00	300.00	40.678
24	11.00	136.00	38.090	59	39.00	300.00	40.940
25	51.00	136.00	37.990	60	49.00	300.00	41.204
26	39.00	165.00	38.076	61	15.00	330.00	40.820
27	11.00	165.00	38.217	62	49.00	315.00	41.454
28	51.00	165.00	37.985	63	49.00	315.00	41.768
29	58.00	136.00	37.964	64	39.00	315.00	41.357
30	58.00	165.00	37.957	65	49.00	330.00	41.501
31	11.00	187.00	38.611	66	39.00	330.00	41.288
32	39.00	187.00	38.656	67	11.00	340.00	40.743
33	39.00	214.00	39.078	68	39.00	340.00	41.183
34	11.00	214.00	39.089	69	51.00	340.00	41.254
35	51.00	187.00	38.710	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	178.42
--	--------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	39.018	36	51.00	214.00	39.316
2	27.00	1.00	39.021	37	58.00	187.00	39.003
3	46.00	15.00	39.109	38	58.00	214.00	39.268
4	24.00	15.00	39.103	39	11.00	236.00	39.858
5	21.00	24.00	39.166	40	39.00	236.00	39.954
6	46.00	24.00	39.149	41	51.00	236.00	40.012
7	51.00	15.00	39.096	42	11.00	265.00	40.461
8	51.00	24.00	39.127	43	39.00	265.00	40.538
9	19.00	51.00	39.303	44	51.00	265.00	40.536
10	46.00	51.00	39.237	45	64.00	236.00	40.083
11	17.00	78.00	38.999	46	64.00	265.00	40.331
12	46.00	78.00	38.877	47	70.00	236.00	40.064
13	46.00	88.00	38.772	48	82.00	265.00	40.188
14	15.00	88.00	38.809	49	75.00	225.00	39.998
15	51.00	78.00	38.843	50	87.00	254.00	40.123
16	51.00	88.00	38.759	51	39.00	288.00	41.011
17	46.00	117.00	38.445	52	11.00	288.00	40.910
18	15.00	117.00	38.472	53	64.00	276.50	40.720
19	51.00	117.00	38.432	54	64.00	276.50	40.435
20	46.00	123.00	38.397	55	51.00	276.50	40.750
21	11.00	123.00	38.437	56	64.00	288.00	40.761
22	51.00	123.00	38.384	57	51.00	288.00	40.914

23	46.00	136.00	38.321	58	15.00	300.00	41.162
24	11.00	136.00	38.396	59	39.00	300.00	41.307
25	51.00	136.00	38.297	60	49.00	300.00	41.180
26	39.00	165.00	38.384	61	15.00	330.00	41.445
27	11.00	165.00	38.524	62	49.00	315.00	41.440
28	51.00	165.00	38.290	63	49.00	315.00	41.343
29	58.00	136.00	38.271	64	39.00	315.00	41.512
30	58.00	165.00	38.264	65	49.00	330.00	41.529
31	11.00	187.00	38.919	66	39.00	330.00	41.600
32	39.00	187.00	38.958	67	11.00	340.00	41.397
33	39.00	214.00	39.369	68	39.00	340.00	41.575
34	11.00	214.00	39.373	69	51.00	340.00	41.564
35	51.00	187.00	39.011	70	0.00	0.00	0.000

ПОТОЧНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	208.42
--	--------

ТЕМПЕРАТУРА							
NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.	NN	КООРДИНАТИ [мм]		ТЕМПЕР.
	ПО РАД.	ПО ОСІ			ПО РАД.	ПО ОСІ	
1	46.00	1.00	39.103	36	51.00	214.00	39.473
2	27.00	1.00	39.072	37	58.00	187.00	39.157
3	46.00	15.00	39.240	38	58.00	214.00	39.423
4	24.00	15.00	39.150	39	11.00	236.00	40.026
5	21.00	24.00	39.182	40	39.00	236.00	40.086
6	46.00	24.00	39.396	41	51.00	236.00	40.131
7	51.00	15.00	39.235	42	11.00	265.00	40.549
8	51.00	24.00	39.321	43	39.00	265.00	40.578
9	19.00	51.00	39.203	44	51.00	265.00	40.606
10	46.00	51.00	39.667	45	64.00	236.00	40.196
11	17.00	78.00	38.894	46	64.00	265.00	40.582
12	46.00	78.00	39.147	47	70.00	236.00	40.185
13	46.00	88.00	38.911	48	82.00	265.00	40.314
14	15.00	88.00	38.842	49	75.00	225.00	40.122
15	51.00	78.00	39.059	50	87.00	254.00	40.248
16	51.00	88.00	38.893	51	39.00	288.00	40.945
17	46.00	117.00	38.590	52	11.00	288.00	40.893
18	15.00	117.00	38.618	53	64.00	276.50	41.139
19	51.00	117.00	38.577	54	64.00	276.50	41.056
20	46.00	123.00	38.548	55	51.00	276.50	40.871
21	11.00	123.00	38.595	56	64.00	288.00	41.387
22	51.00	123.00	38.534	57	51.00	288.00	41.073
23	46.00	136.00	38.480	58	15.00	300.00	41.099
24	11.00	136.00	38.555	59	39.00	300.00	41.350
25	51.00	136.00	38.455	60	49.00	300.00	41.609
26	39.00	165.00	38.541	61	15.00	330.00	41.233
27	11.00	165.00	38.680	62	49.00	315.00	41.851
28	51.00	165.00	38.449	63	49.00	315.00	42.159
29	58.00	136.00	38.429	64	39.00	315.00	41.754
30	58.00	165.00	38.422	65	49.00	330.00	41.892
31	11.00	187.00	39.071	66	39.00	330.00	41.682
32	39.00	187.00	39.113	67	11.00	340.00	41.156
33	39.00	214.00	39.531	68	39.00	340.00	41.577
34	11.00	214.00	39.543	69	51.00	340.00	41.646
35	51.00	187.00	39.166	70	0.00	0.00	0.000

МІНІМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ - для оцінки погрішності	20.00
--	-------

ОПОРА	НОМЕРА ВУЗЛІВ ВІДПОВІДНІ ДО ОПОР КОЧ.								
1	12	10	6	0	0	0	0	0	0
2	46	53	56	0	0	0	0	0	0
3	60	62	65	0	0	0	0	0	0

ЗАГАЛЬНИЙ ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТА (хв)	208.42
---	--------

основний час формування матриць (ТСК)	0
---------------------------------------	---

час формування температурного поля (ТСК)	64
--	----

ненулевые елементи в матриці теплопров.<size_K_len	365
--	-----

ненульові елементи в рядку матр. (< colomn_ink)	10
---	----

ЧАС РОЗРАХУНКІВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ	170	0.17
-------------------------------------	-----	------

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська
інженерно-педагогічна академія»

(назва факультету/інституту)

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

(назва кафедри)

кваліфікаційна робота рівня вищої освіти "магістр"

**Професійна підготовка фахівця машинобудівних
підприємств з підвищення продуктивності горизонтально-
фрезерного верстата моделі 6М82 за рахунок застосування
додаткової фрезерної головки.**

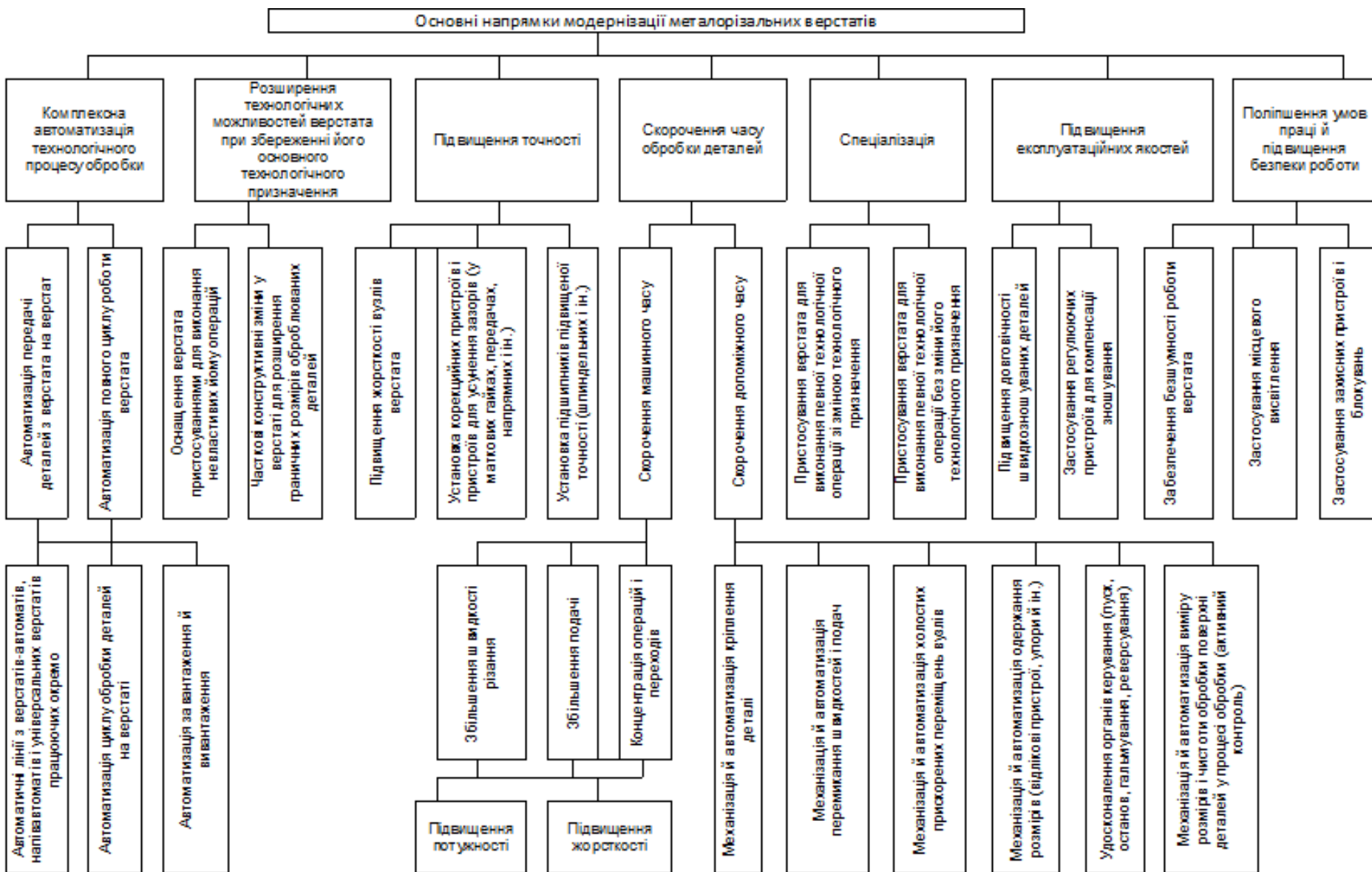
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Виконав студент групи ДІТ-ПОМ23мг

Владислав НАЛАПКО

Керівник к.т.н., проф.

Олег КОНДРАТЮК.



Мета роботи - розширити технологічні можливості верстата моделі 6М82 з метою підвищення його продуктивності, скорочення часу на обробку деталі, а також зниження витрат на встаткування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- модернізувати привод головного руху;
- спроектувати конструкцію додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- розрахувати несучу систему верстата (деформаційний, динамічний, модальний, тепловий);
- виконати розрахунок параметрів твердості шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- виконати динамічний розрахунок шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки;
- виконати спеціальну частину проекту, пов'язану з аналізом програми «Компас – Автопроект»;
- зробити оцінку економічних витрат пов'язаних з модернізацією верстата й сформулювати загальні висновки про можливість його застосування.

Об'єкт дослідження – теплові, деформаційні й динамічні випробування металорізальних верстатів на етапах виготовлення й експлуатації.

Предмет дослідження - формалізація процесу випробувань як функціонального модуля системи інформаційної підтримки життєвого циклу верстата.

Наукова новизна роботи полягає в:

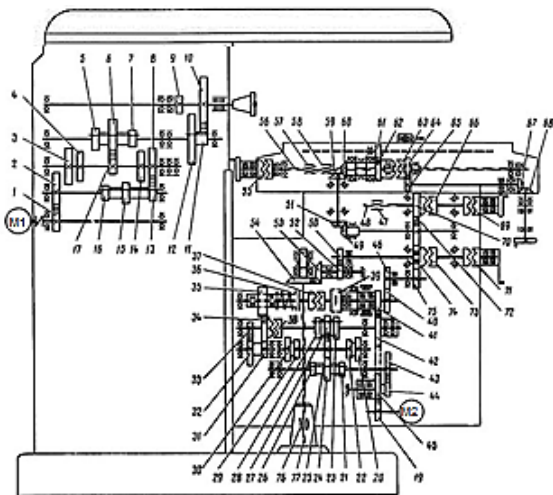
- установлених закономірностях між модальними параметрами теплових характеристик і погрішністю їх прогнозування;
- критеріях і алгоритмах оцінки теплових характеристик верстата, що забезпечують задану погрішність прогнозування;
- обґрунтуванні тривалості натурних теплових випробувань, що забезпечують мінімально-припустиму погрішність прогнозування.

Спеціальні пристосування, що розширюють технологічні можливості фрезерних верстатів

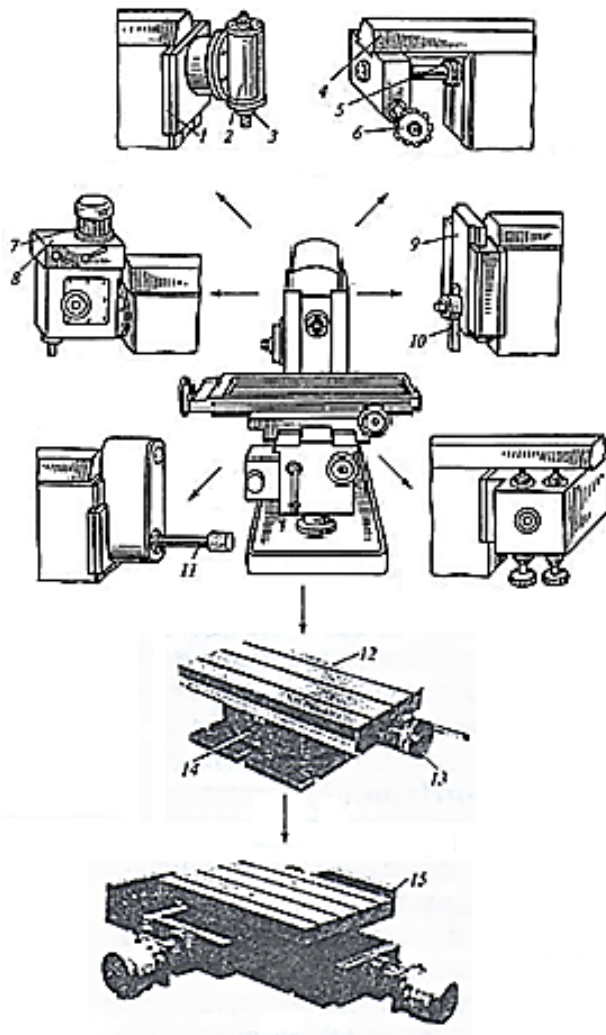
Об'єкт модернізації -
верстат моделі 6М82



Кінематична схема
верстата моделі 6М82



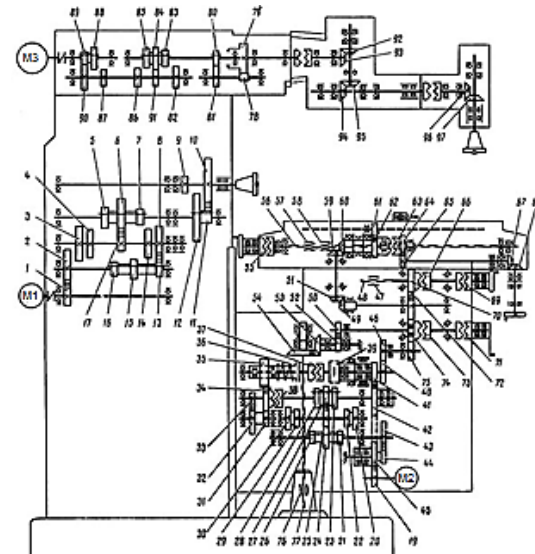
Пристосування, що розширюють
технологічні можливості
фрезерних верстатів



Модернізований верстат

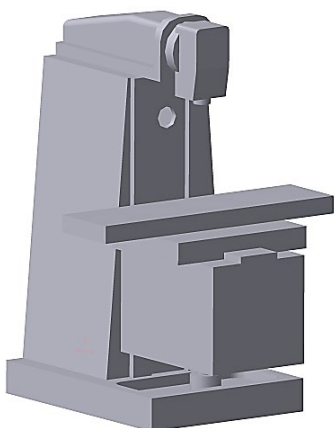


Кінематична схема модернізованого
верстата моделі 6М82

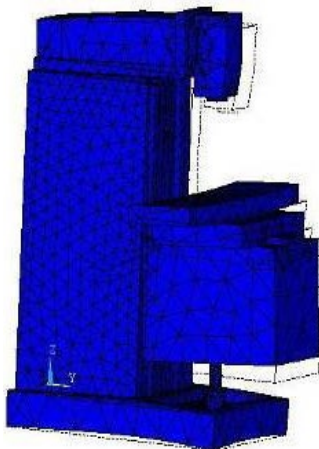


Розрахунки несучої системи модернізованого верстата моделі 6M82 методом кінцевих елементів у пакеті ANSYS

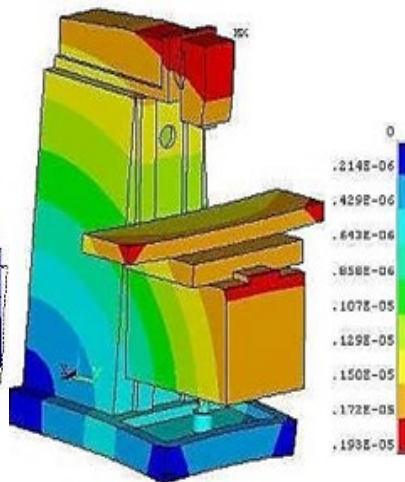
Твердотільна модель
верстата
в системі
КОМПАС – 3D



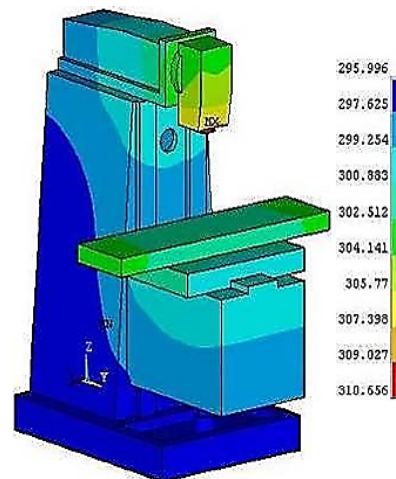
Розрахунок на жорсткість
(статичний розрахунок)



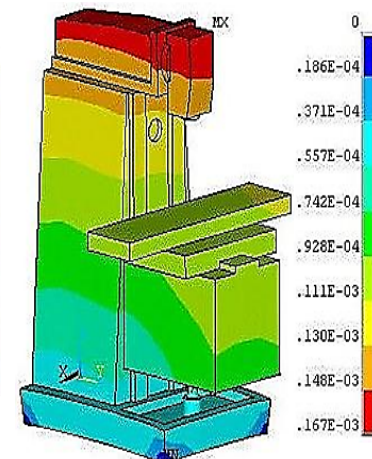
Контурний вид
результату
статичного розрахунку



Тепловий розрахунок

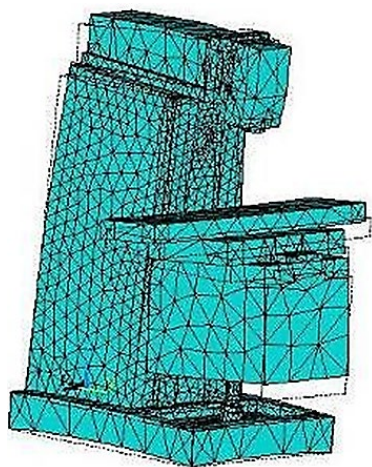


Термодеформаційний
розрахунок

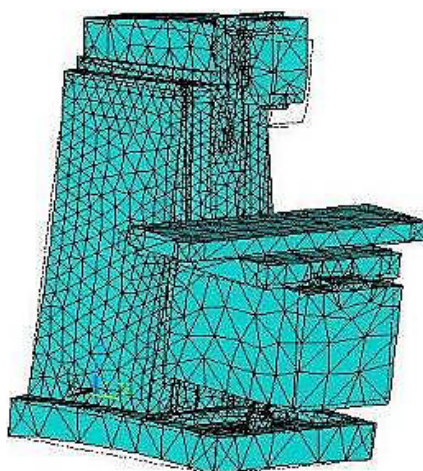


Модальний розрахунок – частотні, амплітудно-частотні характеристики

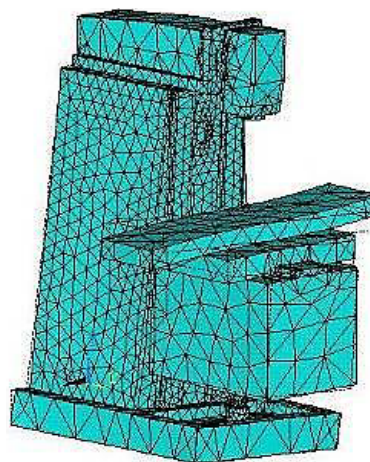
Перша мода



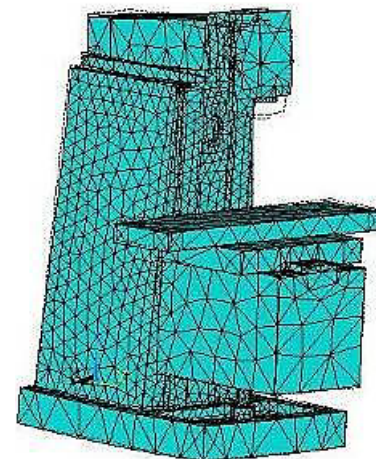
Друга мода



Третя мода



Четверта мода



Розрахунки на жорсткість базової деталі верстата з умовами жорсткого закріплення в окремих вузлах

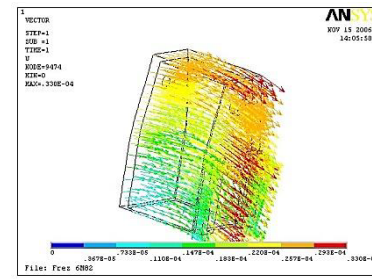
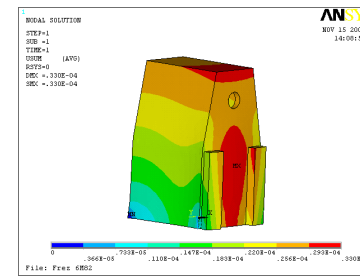
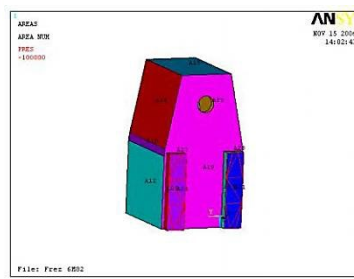
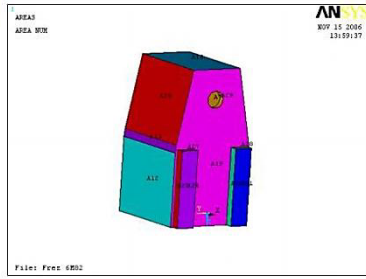
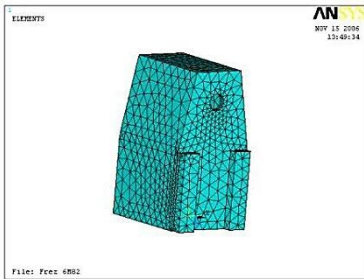
Сіткова модель

Модель із нумерованими поверхнями

Модель із заданими навантаженнями

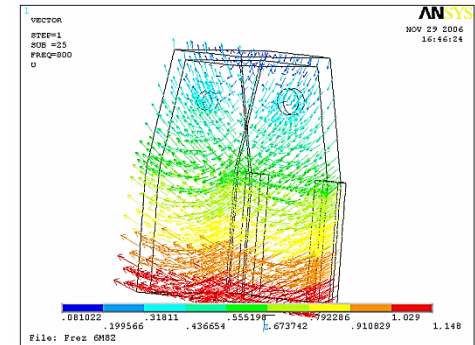
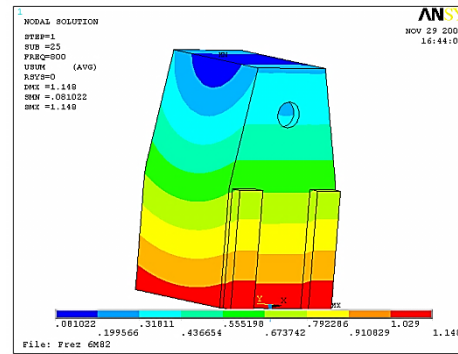
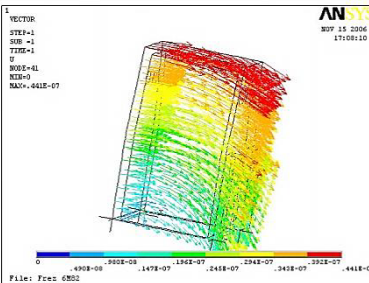
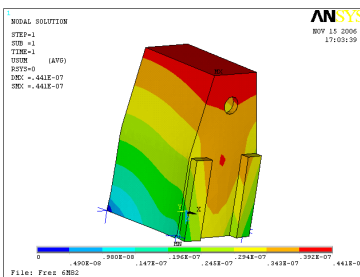
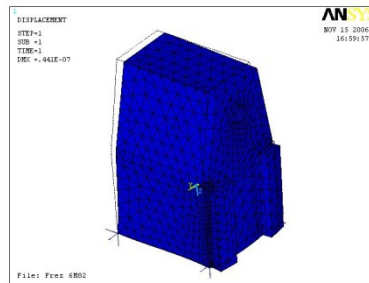
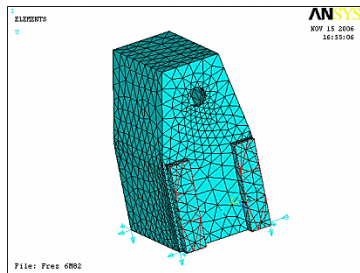
Деформований стан моделі (контурний вид)

Деформований стан моделі (векторний вид)



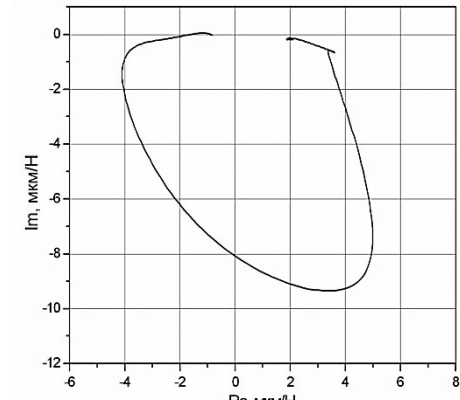
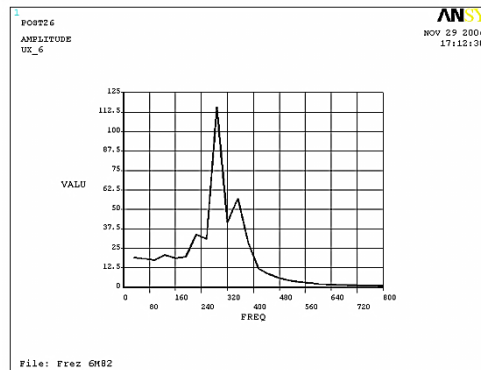
Розрахунки на жорсткість базової деталі верстата з умовами пружного закріплення в окремих вузлах

Динамічний розрахунок



Графік АЧХ

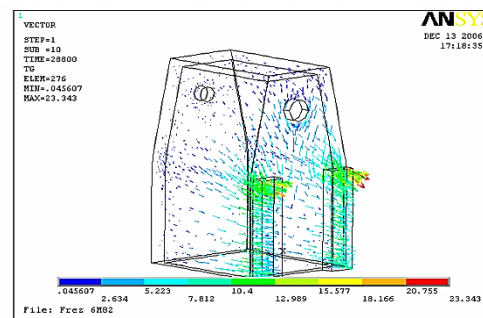
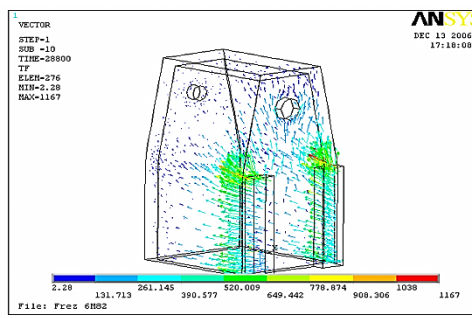
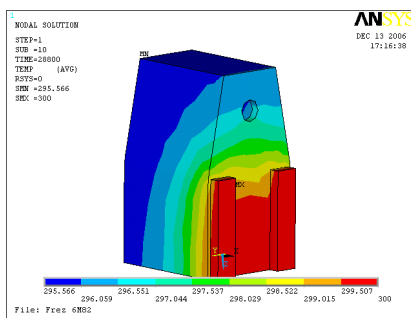
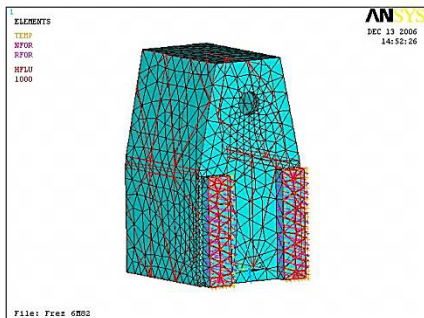
Графік АФЧХ



Модель із заданими навантаженнями

Тепловий стан моделі (контурний вид)

Тепловий стан моделі (векторний вид)

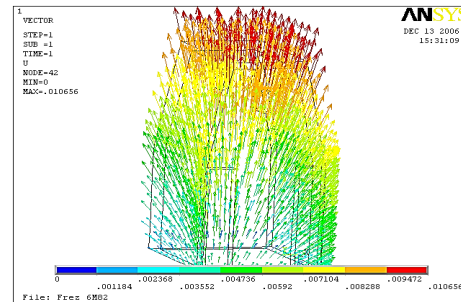
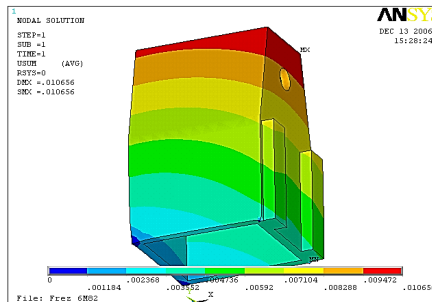
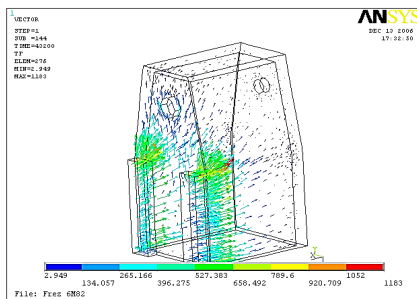
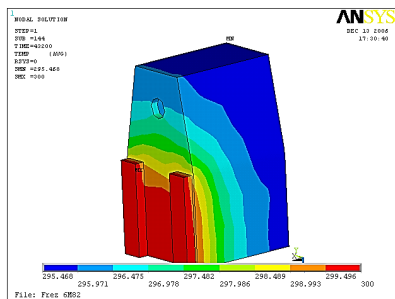


Розрахунки нестационарного теплового стану станини

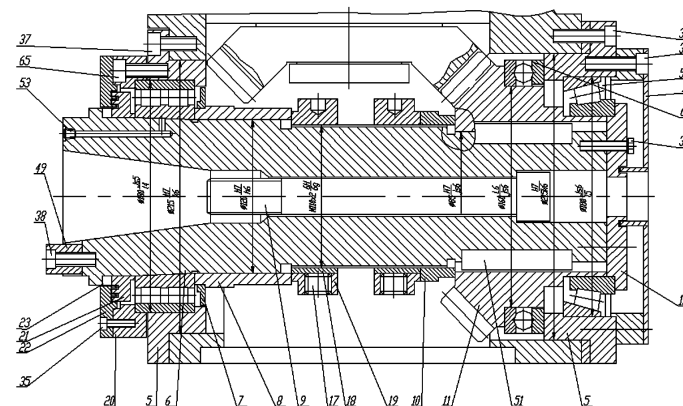
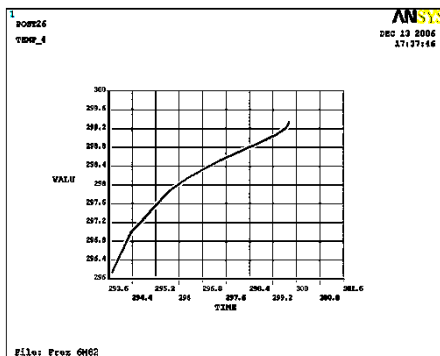
Термодеформаційний розрахунок базової деталі верстата

Тепловий стан моделі (контурний вид) у фіксований момент часу

Тепловий стан моделі (векторний вид) у фіксований момент часу

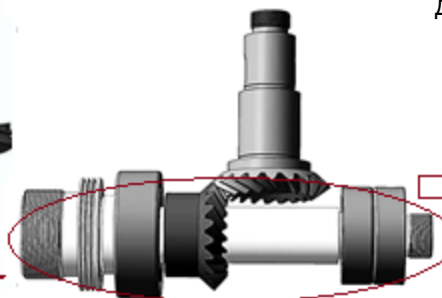
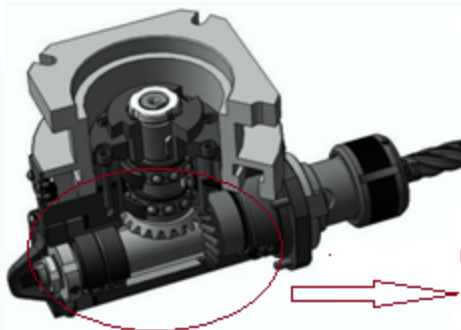
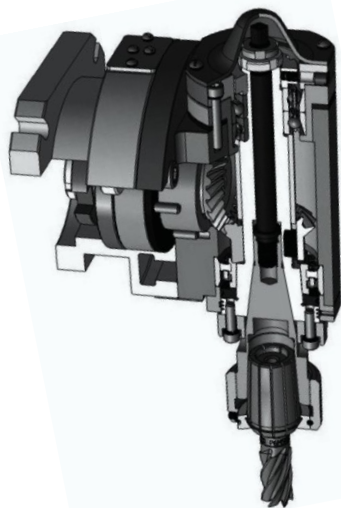


Конструктивна схема шпинделя



Розрахунки шпинделя додаткової фрезерної головки

3D-модель додаткової свердлильно-фрезерної головки



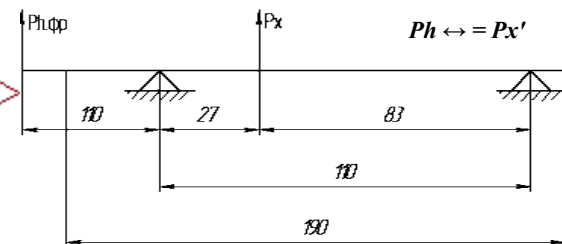
Шпиндель: сталь 40X; $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_b = 950$ МПа; $\tau_T = 785$ МПа; $n = 800$ хв⁻¹; $T = 5000$ год.

Момент опору поперечного перерізу шпинделя: $W = \frac{M_{екв}}{\sigma_b} = \frac{260}{950 \cdot 10^6} = 2,74 \cdot 10^{-6}$ мм⁴.

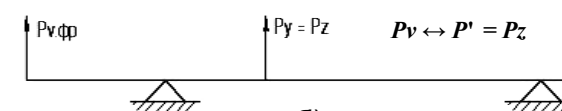
Діаметр шпинделя d при розрахунку за критерієм міцності приймає значення: $d = 32$ мм.

Процедури методу кінцевих елементів: а - 3D - модель шпинделя; б- опори і навантаження, що діють на шпиндель; в - кінцево-елементна сітка; г - глибина перегляду

Розрахункова схема шпинделя модель додаткової свердлильно-фрезерної головки: а - в горизонтальній площині, б- у вертикальній площині

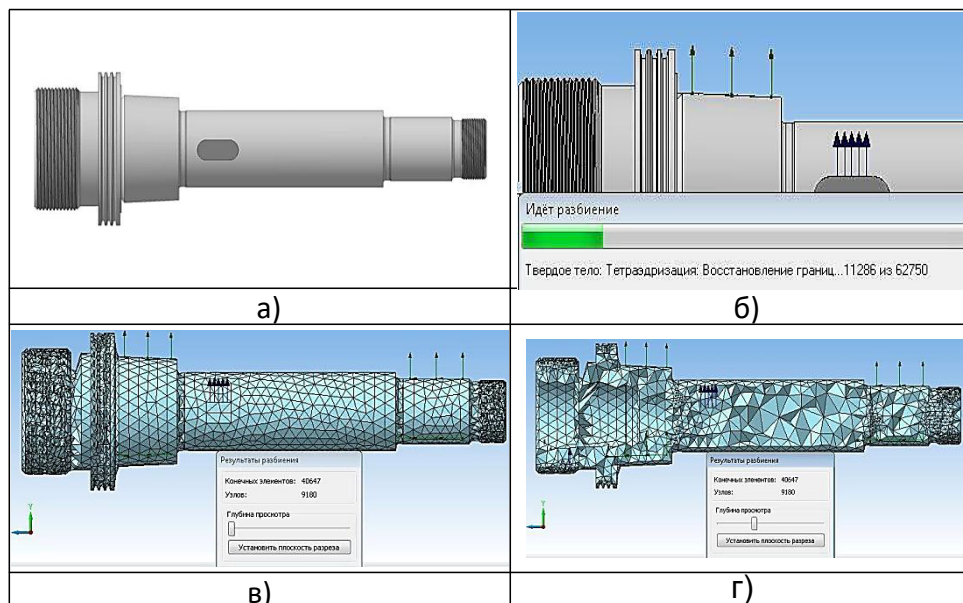


а)

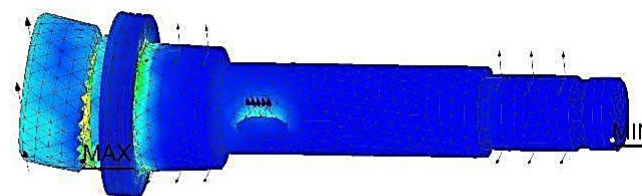
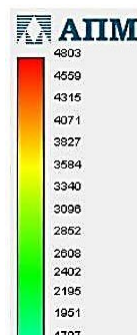


б)

Напружений стан шпинделя
(Результати статичного розрахунку)

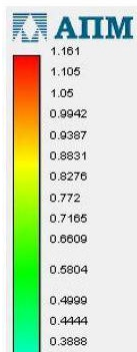


Найменування	Тип	мінімальне значення	максимальне значення
Еквівалентне напруження по Мизесу	SVM (МПа)	0,000606	4803,127843



Сумарні лінійні переміщення

Найменування	Тип	мінімальне значення	максимальне значення
Сумарні лінійні переміщення	USUM (мм)	0	1,160879



Протокол розрахунку в APM FEM

Інформація про навантаження

Найменування	Вибрані об'єкти	Параметри навантаження
Питома сила по довжині: Питома сила по довжині: 1	Ребра: 1	Вектор навантаження: X = 755; Y = 2265; Z = 0 Величина: 2662,171294 Н/мм
Питома сила по довжині: Питома сила по довжині: 2	Ребра: 1	Вектор навантаження: X = 870; Y = 2516; Z = 0 Величина: 2387,519633 Н/мм

Інформація про закріплення

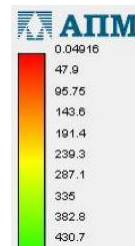
Найменування	Вибрані об'єкти	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	Rot,X [град]	Rot,Y [град]	Rot,Z [град]
Закріплення: 1	Грані: 1	Заборо- нено	Заборо- нено	Заборо- нено	-	-	-
Закріплення: 2	Грані: 1	Заборо- нено	Заборо- нено	Заборо- нено	-	-	-

Інерційні характеристики моделі

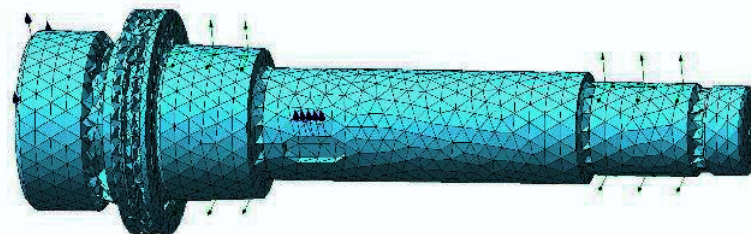
Найменування	Значення
Вага моделі [кг]	1,149566
Центр ваги моделі [м]	(- 0,000048; - 0,000066; - 0,083411
Момент інерції моделі відносно центру мас [кг·м^2]	(0,000132; 0,000134; 0,011444
Реактивний момент відносно центру мас [Н·м]	(27980,833096; - 9328,013116; - 345,056917
Сумарна реакція опор [Н]	(- 12356,461762; - 366129,385286; 0)
Абсолютне значення реакцій [Н]	386033,457753
Абсолютне значення моменту [Н·м]	29496,74412

Коефіцієнт запасу міцності

Найменування	Тип	мінімальне значення	максимальне значення
Коефіцієнт запасу текучості		0,049165	1000



Кінцево-елементна сітка. Параметри і результати розбиття



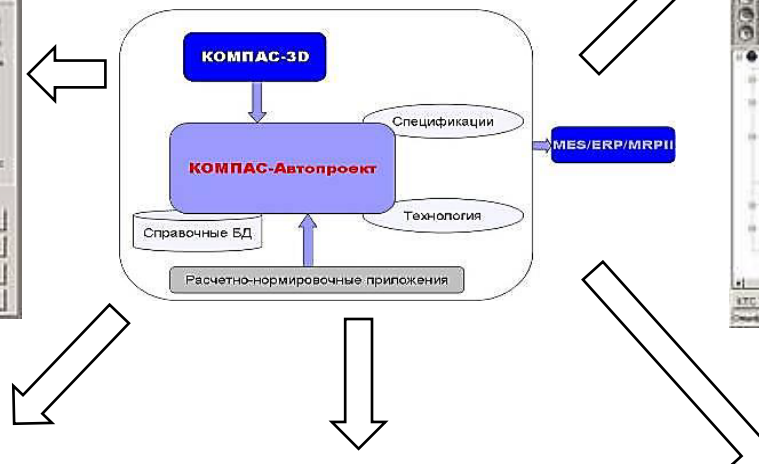
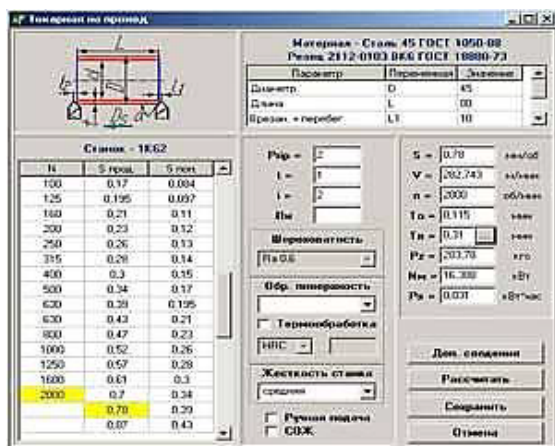
Найменування	Значення
Максимальна довжина сторони елемента [мм]	5
Максимальний коефіцієнт згущення на поверхні	1
Коефіцієнт розрідження в об'ємі	1,5
Кількість кінцевих елементів	25754
Кількість вузлів	5659

Шпиндель кутовий головки монтується на двох опорах:

Передня - підшипник 3182108 - роликовий радіальний дворядний з короткими циліндричними роликами з конічним отвором внутрішнього кільця з бортами на внутрішньому кільці. Напрямок сприймаються навантажень - радіальне. Допускають регулювання радіального зазору. Підшипник відповідає стандарту ДСТУ 7634-2015.

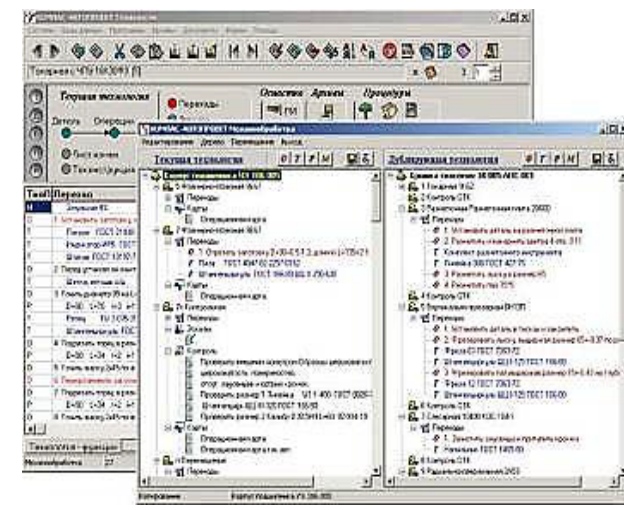
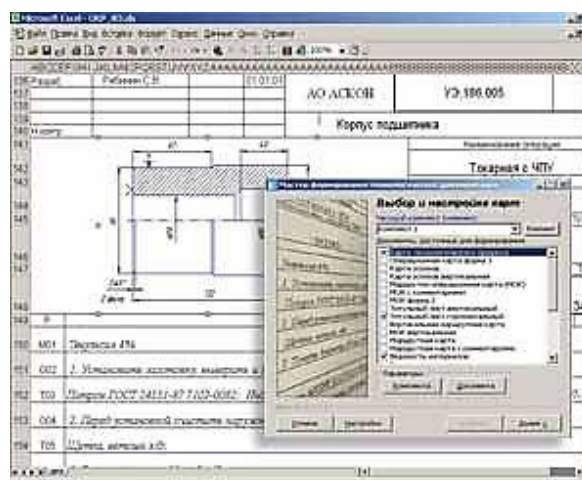
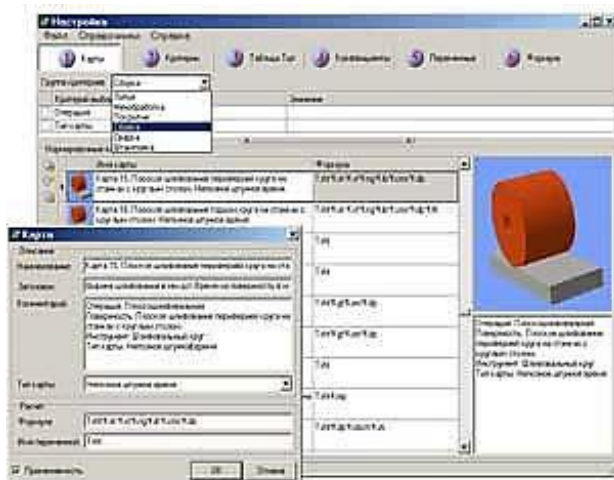
Задня: - підшипник 246205 - кульковий радіально-завзятий здвоєний, зовнішні кільця якого звернені один до одного широкими торцями, кут контакту $\alpha = 26^\circ$. Напрямок сприймаються навантажень - радіальне і осьове в обидві сторони. Комплект підшипників фіксує вал і корпус в обох осьових напрямках і забезпечує більш жорстку кутову фіксацію вала ніж відповідний підшипник 346205. Підшипник відповідає стандарту ДСТУ 832-2015.

**Взаємодія компонентів
комплексу систем
«КОМПАС – Автопроект»
і «КОМПАС-3D**

[illegible]

Розробка технологічної документації

Технологія



ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту було здійснено модернізацію верстата моделі 6М82 з метою розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності. Був здійснений розрахунок параметрів жорсткості і проведений тепловий аналіз шпиндельного вузла додаткової свердлильно-фрезерної головки.

Побудована 3D - модель верстата і його формотворчих вузлів в системі КОМПАС-3D, що дає реальне уявлення про конструкцію і є основою для проектних розрахунків і дослідження працездатності верстата.

Також проводився ряд розрахунків для несучої системи верстата за допомогою програмно-математичного забезпечення «Ansys».

При проведенні розрахунку на жорсткість шпиндель додаткової фрезерної головки був представлений у вигляді стрижневий кінцево-елементної моделі. Під час розрахунку були обчислені деформації шпинделя в вузлових точках.

В ході теплового аналізу шпинделя були отримані його теплові характеристики під час роботи.

Розрахунки несучої системи верстата дозволили зробити висновок про ступінь надійності і стійкості конструкції обладнання під час його експлуатації.

Очікуваний економічний ефект від модернізації верстата моделі 6М82 складе 263 170 гривень на рік.

У методичній частині кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проект факультативного заняття з теми «Модернізація горизонтально-фрезерного верстата моделі 6М82» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування»