

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повне найменування інституту, назва факультету, відділення)

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

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Конструювання і дослідження станини токарного напівавтомата з
нахиленими напрямними з використанням 3D-моделювання.**

Виконав: студент VI курсу, групи МВнм-61
спеціальності: 8.05050301 «Металорізальні
верстати та системи»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дерлиця К.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Ст.викл. каф ВІ, к.т.н. Гагалюк А.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль: Ярема І.Т.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Паливода Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019 року

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. зав. кафедри ВІ

к.т.н., ст. викл. Кобельник В.Р.

« »

2019 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Дерлиці Костянтину Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Конструювання і дослідження станини токарного напівавтомата з нахиленими напрямними з використанням 3D-моделювання.

Керівник роботи ст.викл. каф.ВІ, к.т.н. Гагалюк А.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету №4/7-850 від «27» вересня 2019 р.

2.Термін здачі студентом закінченої роботи « 24 » грудня 2019 р.

3.Вихідні дані до роботи: Типова деталь . Базовий технологічний процес обробки деталі

4.Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1. Аналітичний розділ, 2. Оптимізація схем формоутворення та компоувальної схеми, 3. Вибір та обґрунтування вихідних даних на розробку верстатного обладнання. Технологічний розрахунок, 4. Проектування конструкції верстатного обладнання. 5. Науково-дослідний розділ, 6. Спеціальний розділ, 7. Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень. 8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, 9. Екологія. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____
Тема і мета дослідження – 1фА1, Типова деталь -1фА1, Формоутворення -1фА1
Компоування – 1фА1, Кінематична схема – 1фА1, Шпindelь– 1фА1,
3D модель станини верстата – 1ф.А1, Наукова частина – 3фА1

6. Консультанти роботи, із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ (САПР).</i>	<i>Сеник А.А.</i>		
<i>Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень.</i>	<i>Кривий П.Д.</i>		
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Окіпний І.Б. Клепчик В.М.</i>		
<i>Екологія</i>	<i>Вітенько Т.М. Зварич Н.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ярема І.Т.</i>		

7. Дата видачі завдання 30 вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ, 1. Аналітичний розділ</i>	<i>01.10.2019 р.</i>	
2.	<i>2. Оптимізація схем формоутворення та компоновальної схеми</i>	<i>05.10. 2019 р.</i>	
3.	<i>Вибір та обґрунтування вихідних даних на розробку верстатного обладнання. Технологічний розрахунок</i>	<i>12.10. 2019 р.</i>	
4.	<i>Проектування конструкції верстатного обладнання</i>	<i>15.10. 2019 р.</i>	
5.	<i>Науково-дослідний розділ</i>	<i>21.10. 2019 р.</i>	
6.	<i>Спеціальний розділ (САПР)</i>	<i>09.11. 2019 р.</i>	
7.	<i>Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень</i>	<i>22.11. 2019 р.</i>	
8.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях,</i>	<i>26.11. 2019 р.</i>	
9.	<i>Екологія.</i>	<i>29.11. 2019 р.</i>	

Студент

Дерлиця К.А.

(підпис)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи

ст. викл. каф. ВІ, к.т.н. Гагалюк А.В.

(підпис)

(вчений ступінь, посада, прізвище, ім'я, по батькові)

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналітичний розділ.....	9
1.1. Аналіз завдання на дипломну роботу.	9
1.2. Інформаційно-патентне дослідження	10
1.3. Висновки та методика вирішення поставленої проблеми	23
2. Оптимізація схем формоутворення на проєктованому верстаті і оптимізація його компоувальної схеми.	24
2.1. Аналіз конструктивно – технологічних властивостей деталі.....	24
2.2. Вибір комплексу рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті .	25
2.3. Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата.....	28
2.4. Обґрунтування модулів верстата.....	30
2.5. Побудова загальної матриці компоновки верстату.	30
2.6. Аналіз типів базових компонок	30
2.6.1. Вибір верстатів-аналогів	30
2.6.2. Вибір оптимальної схеми компоновки	32
3. Вибір та обґрунтування вихідних даних на розробку верстатного обладнання. Технологічний розрахунок.....	34
3.1. Обґрунтування, визначення типу організаційної форми виробництва із застосуванням проєктованого верстата	34
3.2. Вибір та обґрунтування вибору заготовки.	38
3.3. Вибір технологічних баз.....	39
3.4. Структурний аналіз і синтез технологічного маршруту механічної обробки деталі	40
3.5. Призначення припусків та міжопераційних розмірів проєктування заготовки	44
3.6. Вибір ріжучого та вимірювального інструмента.....	44
3.7. Розрахунок режимів різання.	45
3.8. Нормування часу.....	48
4. Проєктування конструкції верстатного обладнання	49
4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату.....	49

4.2.	Кінематичний розрахунок токарного напівавтомата 1740РФЗ.....	50
4.2.1.	Кінематичний розрахунок приводу головного руху.....	50
4.2.3.	Проектування шпindelного вузла	53
4.3.	Конструкція та розрахунок нахиленої станини.	58
4.3.1.	Опис конструкції.....	58
4.3.2.	Автоматизоване проектування та розрахунок станини	58
5.	Науково-дослідний розділ.....	60
5.1.	Мета проведення досліджень.....	60
5.2.	Аналіз результатів попередніх досліджень	61
5.3.	Постановка задач дослідження.....	62
5.4.	Зміст досліджень	63
5.5.	Аналіз отриманих результатів	67
5.6.	Публікації отриманих результатів.....	68
6.	Спеціальний розділ	69
1.1.	Автоматизований розрахунок жорсткості станини токарного верстата	69
7.	Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень.....	75
7.1.	Характеристика технічного рівня проектного верстата.....	75
7.2.	Обґрунтування економічної ефективності розробленої конструкції	75
7.2.1.	Загальні положення.....	75
7.2.2.	Зміст та етапи конструкторської підготовки виробництва.....	75
7.2.3.	Зміст та етапи технологічної підготовки виробництва	76
7.2.4.	Визначення трудомісткості та об'єму робіт конструкторської підготовки виробництва.....	76
7.3.	Система показників економічної ефективності нової машини	82
7.3.1.	Визначення собівартості і ціни проектного верстата	82
7.3.3.	Біжучі витрати	85
7.3.4.	Узагальнюючі техніко-економічні показники проектного верстата ...	90
8.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	92

8.1. Аналіз, прогнозування, профілактика травматизму та професійної захворюваності на виробництві.....	92
8.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Шумове, вібраційне та електромагнітне забруднення міст.	95
9. Екологія.....	97
9.1. Забруднення довкілля від реалізації дипломного проекту.....	97
9.2. Заходи по зменшенню забруднення довкілля.....	98
ВИСНОВКИ.....	102
Бібліографія.	103

ВСТУП

Актуальність теми. Темою роботи є «Конструювання і дослідження станини токарного напівавтомата з нахиленими напрямними з використанням 3D-моделювання». Точність, яку забезпечує верстат є головним показником якості та продуктивності. Дослідження та шляхи покращення точності є завжди актуальними. Адже є багато різних факторів, які можуть впливати та погіршувати точність. Виявлення та вчасне запобігання дії таких чинників є завданням інженера-конструктора. А прогнозування дозволяє заздалегідь уникати факторів впливу.

Жорсткість є найголовнішим параметром, який забезпечує точність верстата. Є загальна жорсткість, яка складається із жорсткостей усіх деталей. Вузлом на який монтується інші вузли є станина. Вона є різних конструкцій, виходячи із загального призначення верстата. Станина забезпечує взаємодію усіх інших вузлів і точність переміщень рухомих частин. Вона повинна мати достатню жорсткість опиратись силам, які виникають в процесі оброблення. Більшість токарних верстатів мають горизонтальну станину, але сучасні - вийшли за звичні означення типів МРВ і зараз це обробні центри, які і обточують, і фрезерують. Відповідно на одиниці площі необхідно розмістити більшу кількість виконавчих механізмів [1]. У пошуку конструкцій інженери запропонували нахилені конструкції нахилених станин, що дозволило збільшити технологічні можливості МРВ, покращити жорсткість при аналогічній площі.

Одним з таких представників є токарний напівавтомат 1740РФ3. В часи його проектування і виробництва інженерам були доступні лише аналітичні методи розрахунку. Цікавим є провести дослідження напружено-деформованого стану станини сучасними комп'ютерними методами.

Мета і завдання магістерської роботи. Виходячи з вищеприведеного, метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану станини з використанням 3D-моделювання. Це дослідження дозволить визначити найбільш навантажені ділянки станини. Виходячи з описаної мети необхідно сформулювати завдання для її досягнення :

- проаналізувати конструкції та матеріали нахилених станин;
- проаналізувати методику розрахунку жорсткості станини;

- провести аналіз компоновок верстатів;
- побудувати 3D-модель станини верстата;
- провести дослідження напружено-деформованого стану станини.

Об'єкт дослідження – станини токарного напівавтомата з нахиленими напрямними

Предмет дослідження – напружено-деформованого стан станини.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень базується на методах математичного та комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів, синтезу а також вибору раціональних технічних рішень.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз завдання на дипломну роботу.

Як правило, нахилені станини мають токарні або токарно-фрезерні верстати з ЧПК. Таке компонування має декілька суттєвих переваг:

- дозволяє отримати значно жорсткішу станину у порівнянні з горизонтальними станинами;
- займають менше місця, що актуально в умовах серійного або масового виробництва;
- покращене відведення стружки із зони різання;
- використання багатоінструментальної обробки.

Одним із таких представників є верстат моделі 1740РФ3. Його особливістю є нахилена станина, наявність револьверної головки і використання системи ЧПК. Необхідно зауважити, що верстати такого типу є металомісними, тобто для забезпечення жорсткості і вібропоглинання використовується значна кількість металу, а вага верстата має біля 15 т., що робить його досить вартісним з точки зору металоємності. Для заміни металу використовують бетон або інші важкі суміші.

Оскільки станина є найбільш важким і відповідальним елементом верстата, то доцільно було б дослідити її напружено – деформований стан. Це дозволить виявити найбільш навантажені ділянки, які сприймають навантаження. А ті, які не несуть корисного навантаження, можливо можна буде видалити або замінити іншим матеріалом.

Виходячи з описаного можна сформулювати мету досліджень, яка полягатиме у зменшенні маси станини при збереженні жорсткості. Дослідження можна виконати використовуючи метод скінченних елементів (МСЕ). Для використання цього методу і виконання поставленої мети необхідно виконати певний перелік завдань, а саме:

- провести аналіз конструкцій та матеріалів нахилених станин;
- провести аналітичний розрахунок жорсткості станини [28].
- необхідно створити 3D – модель нахиленої станини;
- змодельовати напружено-деформований стан доступним програмним

забезпечення, яке містить метод скінчених елементів (МСЕ).

Виходячи із визначеної мети і поставлених завдань є
станина токарного верстата з ЧПК з нахиленими напрямними, а
– маса станини токарного напівавтомата з нахиленими напрямними.

1.2. Інформаційно-патентне дослідження

Забезпечення точності геометричної форми деталей при обробці є найголовнішим показником верстата. Точність характеризується величиною похибки. І чим вона менша, тим й відповідно точніший верстат. Проте, точність величина досить умовна і не завжди може бути абсолютною. Наприклад, коли мова йде про точність обробки або переміщення по напрямних, то завжди вказуються величина прогину і на якій довжині. Наприклад, 0,01 мм на довжині у 1500 мм. Це означає, що інший кінець напрямних прогнеться відносно іншого на вказану величину. І логічно, що на більшій довжині прогин буде більшим.

Точність і характеристики металорізальних верстатів регламентується стандартами ДСТУ 3630-97 (ГОСТ 22267-76) – «Верстати металорізальні. Методи перевірки точності та постійності відпрацювання колової траєкторії», ДСТУ 3600-97 (ГОСТ 30527-97) «Верстати металорізальні. Методи перевірки точності оброблення зразка-виробу», ДСТУ 3630-97 (ГОСТ 30544-97) Верстати металорізальні. Методи перевірки точності та постійності відпрацювання колової траєкторії, ДСТУ ГОСТ 27843:2007 (ИСО 230-2:1997) Випробування станків. Визначення точності та повторюваності позиціювання осей з числовим програмним керуванням. ДСТУ 3630-97 регламентує перелік параметрів, які характеризують геометричну та кінематичну точність верстатів кожного типу. Описано методи їх перевірки та допустимі відхилення параметрів.

Допустимі відхилення для регламентованих нормативами показників точності верстатів при переході від класу до класу складають геометричну прогресію із знаменником $\varphi = 1,6$ [23]. Для прикладу наведені допустимі величини відхилень прямолінійності руху на довжині переміщення 200 мм (табл. 1.1).

Значні напрацювання присвячені дослідженню точності металорізальних верстатів, покращенню точності, методам оцінювання показників точності та

прогнозування, зроблені зокрема Шевченко О.В [1], Решетов Д.Н. [5], Спирин В.А. [10], Пестунов В.М. в середині минулого століття.

Таблиця 1.1. Класифікація верстатів по точності

Позначення	Найменування	Величина допустимих відхилень прямолінійності руху, мкм.
Н	Нормальної точності	10
П	Підвищеної точності	6
В	Високої точності	4
А	Особливо високої точності	2,5
С	Особливо точні верстати	1,6

Головною вимогою технологічного процесу є забезпечення заданої точності деталі. Тому, важливо знати, які фактори зменшують точність. Похибки є статичними і динамічними. Перші пов'язані з конструктивними особливостями верстата, неточністю кріплення, тощо. Інші виникають в процесі роботи, наприклад резонанс на певних частотах, вібрації, стуки. Тому необхідно передбачити можливість усунення або компенсуючих механізмів, або дотримання режимів різання і технології. Власне тому, краще використовувати верстати ЧПК, який виключає людський фактор.

Жорсткість технологічної системи (ТС) забезпечує точність. Це, як відомо, сумарний показник жорсткостей верстата, інструмента, пристосування і деталі (ВПД). У 90% випадків, пристосування у цьому квартеті немає. У процесі обробки деталі сили різання постійно змінюються і є постійними лише у певні моменти часу. Якщо не брати до уваги перетин стружки, механічні властивості матеріалу, затуплення різального інструменту то зміна сили різання обумовлює деформацію ТС, навантаження на механізми верстата, тощо створюють мікроколивання заготовки й інструмента. Періодичність цих коливань у часі створюють вібрації, а здатність їм протидіяти залежить від жорсткості ТС. А оскільки серед складових ТС найскладнішим пристроєм є верстат, то саме він повинен мати найбільшу жорсткість. І відповідно, найбільшою деталлю верстата, на яку все кріпиться є станина. Відносно неї не тільки кріпляться всі решта вузли, а вона ще й сприймає навантаження, які на неї переважаються. Тому дослідження жорсткості станини це

актуальна тема. Як правило у малих верстатів станина базується на двох тумбах, які є і опорами, і ящиками для розміщення інших деталей. У старих верстатів, напрямні можуть бути виконані з одного й того ж матеріалу за одне ціле зі станиною або влитими, а у сучасних, особливо МРВ з ЧПК їх роблять накладними. Це значно спрощує монтаж бо станина може бути зварна і їх при необхідності можна змінити. По часозатратах це найкращий варіант Важкі верстати мають таке саме компонування, але їх станина є суцільною або складною і повністю прилягає до фундаменту.

Станини виготовляють зі сталі та чавунів, різних бетонів і полімербетонів Стальні зварюють (рис.1.1), а решту відливають (рис.1.2).

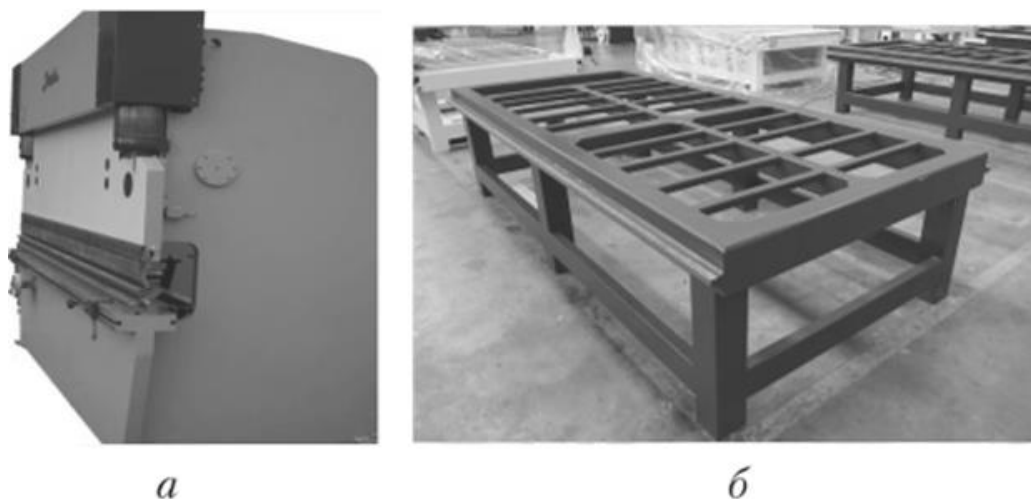


Рисунок 1.1. Зварені станини а) токарного і рами б) фрезерного верстата

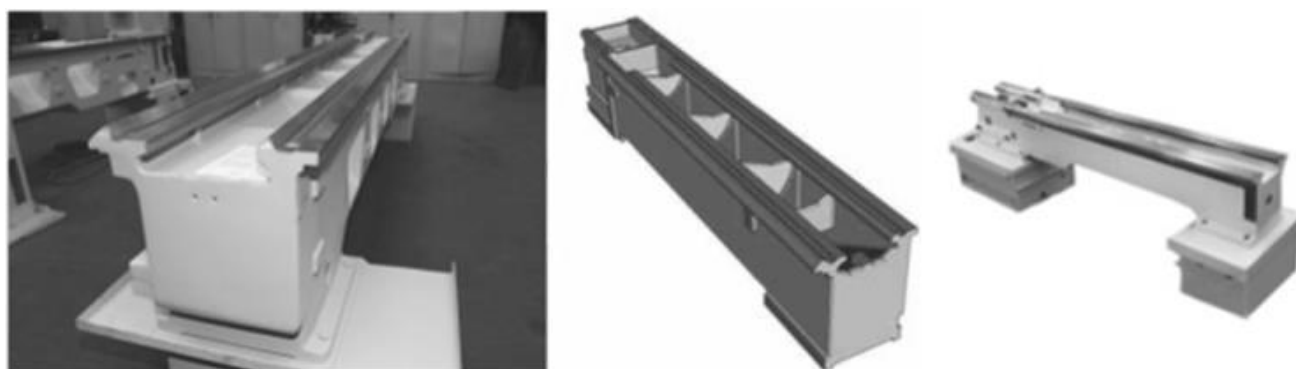


Рисунок 1.2. Чавунні станини верстатів

Зварюють станини із сталі (Ст3, Ст4) товщиною від 8 – 12 мм. Для литва використовують різні чавуни. СЧ15 і СЧ20 добре ллються, а СЧ30 і СЧ35, через погані ливарні властивості використовують для станин довших не більше, ніж 3 м. сталльні станини, при однакових навантаженнях, порівняно з чавунними є значно легшими. Модуль пружності сталі у 2 – 2,4 рази вищий, ніж чавуна. Сталь витримує

високі ударні навантаження, але погано гасить вібрації (рис.1.3.) [12], [13]. Також добре гасить вібрації і бетон, проте він крихкий і гігроскопічний, схильний до тріщин [8]. Не чутливий до температурних розширень на відміну від двох попередніх.

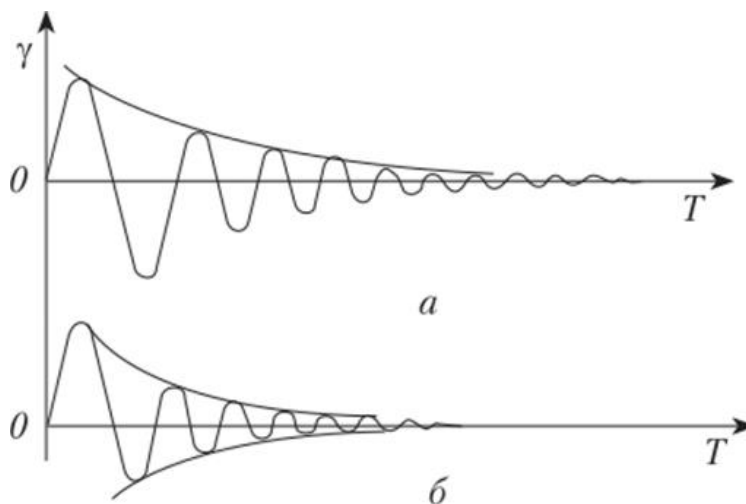


Рисунок 1.3. Інтенсивність гасіння вібрацій а) в сталі; б) в чавуні

Бетон пористий порівняно з чавуном відповідно і легший, бо його вага має 30% ваги чавуну. А для забезпечення такої ж жорсткості треба збільшувати товщину стінок станини, проте вага все одно буде меншою.

Для станин важких МРВ використовують залізобетон, що економить матеріал до 60%, а станини для малих верстатів можна і не армувати [13].

В Японії, у середині 80-х років фірми Fujita і Naimai (Японія) розробили верстат, в якому виготовили з бетону станину і колону армовану сталевим дротом. Це знизило вібрації в 2 рази. Верстат став на 20% дешевшим від металевого, хоча й важчим. У порівнянні з отриманими перевагами [8] то було неважливо.

Для станин також використовують (рис.1.4) синтегран, гранітан, епоксидбетон, акрилбетон, які є композитами, а в їх основі є природний камінь, а зв'язкою - смоли. Вони значно вигідніші у виробництві і мають високу стійкість до вібрацій, не мають внутрішніх напружень, не ржавіють і не розширюються, що позитивно впливає на стабільність розмірів [11].

Синтегран складається з епоксидної зв'язки (не більше 10% від загальної маси), а у пластобетоні зв'язувальним матеріалом є термореактивні полімери (епоксидні, поліефірні, фенолформальдегідні смоли). З наповнювача у вигляді щебеню декількох фракцій і дрібнодисперсного порошку з високоміцних гранітів і

дрібномеленого наповнювача відповідно.

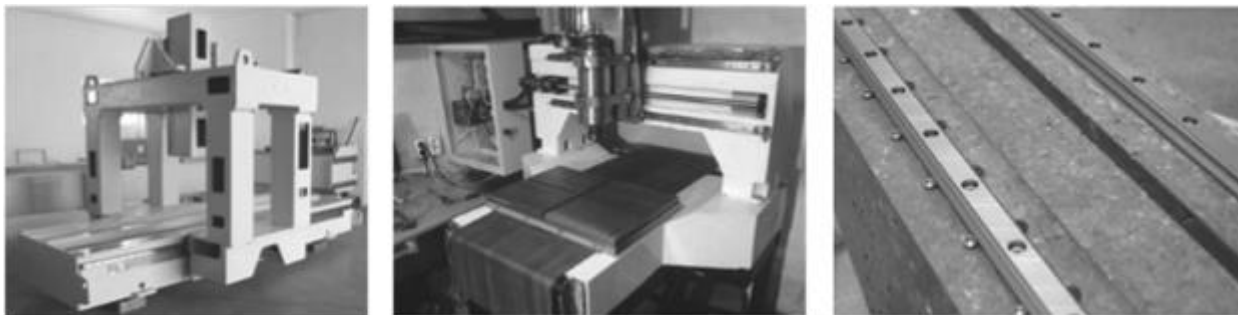


Рисунок 1.4. Використання полімер бетонів в конструкціях станин

За фізико-механічними характеристиками композити наближається до природніх гранітів, але значно перевершують їх по технологічності при виготовленні виробів. Отвердіння композиту відбувається протягом 24 год., а при нагріванні іще швидше.

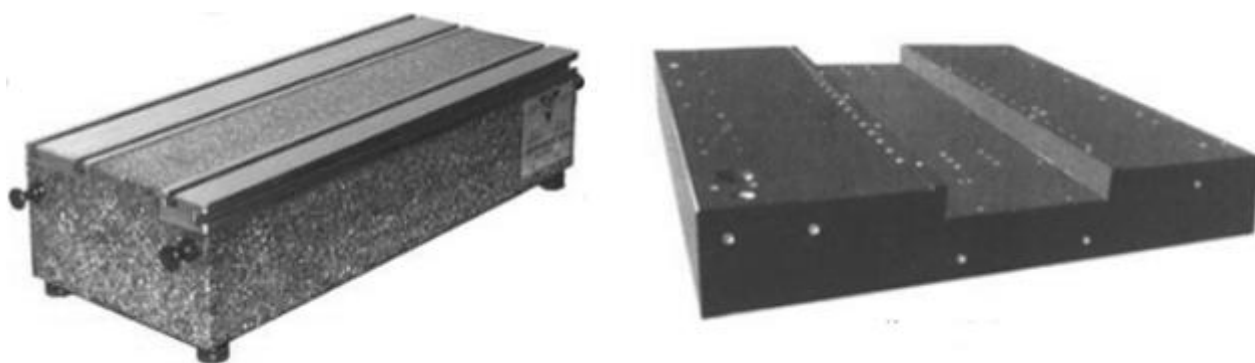


Рисунок 1.5. Деталі із синтеграну



а)



б)

Рисунок 1.6. Станини виготовлені із полімербетону

а) станина токарного верстата з ЧПК, б) станина портального фрезера

Між перерахованими матеріалами є різниця, бо синтегран – це композиційний

матеріал з підвищеними показниками у порівнянні з іншими. З нього виготовляють базові деталі верстатів та іншого обладнання (рис.1.5). З таких матеріалів виготовляють складні станини для великих верстатів, як наприклад станини верстатів Fritz Studer (Швейцарія), Burkhard und Weber (Німеччина), Landis flixline (США) [12].

Eguro і Kiosera (Японія) дуже давно розробили прецизійний токарний верстат, у якому для базових та інших деталей використали кераміку на основі оксиду алюмінію. Шпиндель, упорні і радіальні підшипники виготовлені з нітриду силіцію і встановлені у алюмінієвій шпиндельній гільзі. Кераміка легша від металу і не піддається тепловому розширенню, також є зносостійкою. Ці характеристики дозволили досягти надзвичайної точності [8].

Протягом останніх 10 років світові компанії, як Autodesk розробляли нову технологію проектування, яку успішно реалізували в модулях Autodesk Inventor і Fusion 360. Вони називаються генератор форм (Shape Generator) і генеративне проектування (Generative Design). Ці модулі використовують модифікований метод скінченних елементів (МСЕ). Ці технології активно використовують і просувають і інші. Цей метод відкрив нові горизонти у проектуванні, дозволяє отримати різні ітерації при збереженні міцності і жорсткості конструкції. Суть полягає у зменшенні маси проєктованого об'єкту. Якщо Shape Generator працює по принципу топологічної оптимізації, то інший – генеративного проектування. Між ними є суттєва різниця.

Алгоритм топологічної оптимізації розраховує напружено-деформований стан деталі від прикладених навантажень. Результатом є Mesh-модель (сітку на 3D-моделі деталі), яка показує ті частини деталі, які протидіють навантаженню, а які ні. Відповідно, частину деталі – це не корисна маса. На рис.1.7. зображено топологічну оптимізацію консолі фрезерного верстата. Це робота одного із магістрів кафедри ВІ, по зменшенню маси консолі фрезерного верстата. На рис.1.8. показано приклад оптимізації конструкції кронштейна літака виробництва.

Алгоритм генеративного проектування, виходячи із заданих умов, створює множину варіантів. Чим більше перемінних буде задано, тим більшу множину деталей буде отримаємо. Перед процесом генерування конструкції користувач повинен задати елементи, які будуть постійними – це приєднувальні поверхні або

отвори кріплення тощо. В результаті отримуємо досить химерні конструкції. такий спосіб проектування отримав також назву біонічного дизайну, оскільки в основу закладають алгоритми, які мають виражені частинки рослин або тварин. Об'єкти, виконані подібним чином, відрізняються від звичайних технологічних виробів.

Исходная масса: 481 кг
Создать массу: 387 кг
Уменьшение массы: 20%

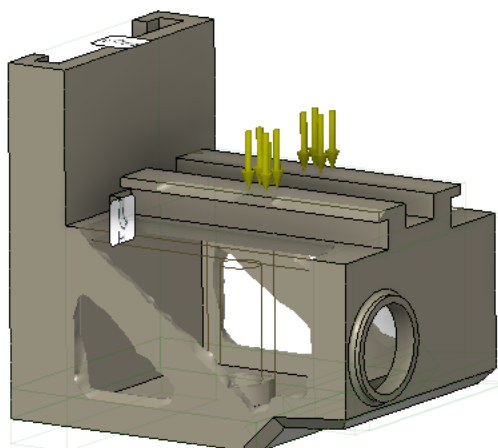


Рисунок 1.7. Консоль фрезерного верстата 6Р13Ф3 після топологічної оптимізації

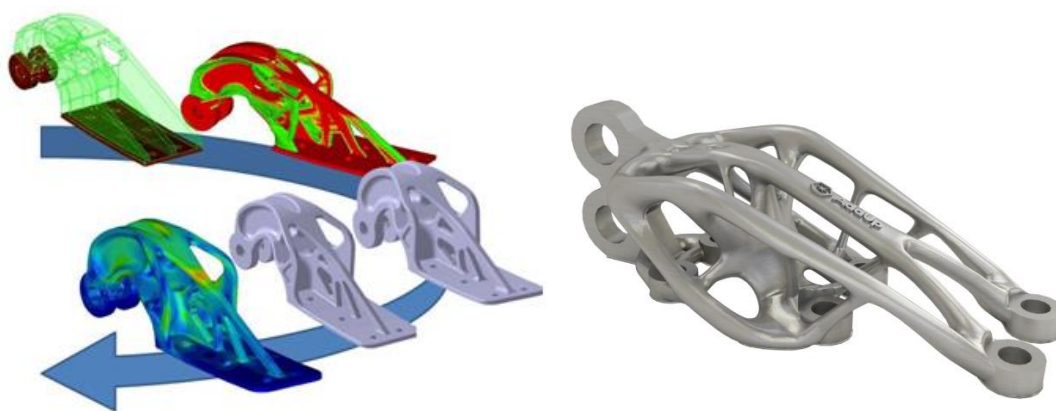


Рисунок 1.8. Приклад топологічної оптимізації кріплень

Біоніка, і те що впливає з неї біонічний дизайн являє собою поєднання технологій і природи. Природа є головним джерелом натхнення, а її механізми вдосконалювались протягом тисячоліть. Коли інженерна думка досягла свого апогею і для вирішення важких інженерних задач було випробувано, здається усе, на допомогу прийшла природа. Адже рішення було «під ногами». Спостереження за живими організмами, вивчення їх структури та будови, дозволяють по крупинках зібрати інформацію, а біоніка – застосувати цю ін.

Біонічний метод проектування спрацював як «бомба». За останні 5 років він

набирає популярність, адже будь-які деталі, створені цим методом, мають наступні якості:

- гнучкість
- міцність
- можливість зміщення центру ваги у інше місце;
- наявність пустотілих ділянок;
- легкість

За рахунок грамотного проектування деталей з порожніми ділянками, вдається економити. З його допомогою реалізуються складні проекти в біоінженерії, аеронавтиці, космонавтиці, архітектурі, протезуванні тощо. Однак для біонічного методу проектування не так багато шляхів реалізації [14]. Адже стандартні підходи тут не працюватимуть, а випилювання складних деталей не допоможе. Популярність цього методу пояснюється ще й тим, що не потрібно габаритного і коштовного металообробного чи іншого обладнання – підходить 3D-друк. Зараз такі принтери відносно не дорогі, і їх можна купити або зробити самостійно. Його можна порівняти з верстатом.

Багато компаній, що займаються 3D друком прийняли біонічний дизайн на озброєння і все частіше його використовують для своїх розробок. Наприклад, Airbus Group приділяє увагу розробці дрібних деталей, які, мають велике значення у загальному проекті. Кожен кронштейн (рис.1.9). створений за допомогою біонічного методу проектування, важить на 30% менше.

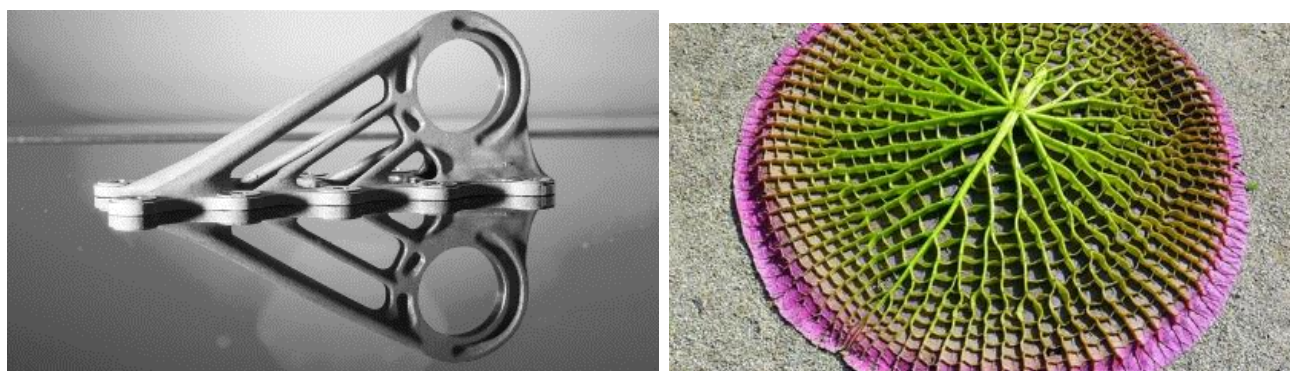


Рисунок 1.9. Кронштейн на основі лілії

Його дизайн був розроблений на основі листя водяних лілій (*Victoria amazonica* – Вікторія амазонська) і їх пустотілих ребер, що дозволяє їм залишатися на плаву незважаючи на свою вагу і можуть витримати вагу до 50 кг.

APWorks (дочірня компанія Airbus Group) представила свою розробку, ідея якої полягала в створенні «екзоскелету» мотоцикла, який дозволяє скоротити вагу конструкції (до 6 кг) на 30% менше свій попередній аналог (рис.1.10).



Рисунок 1.10. «Екзоскелет» мотоцикла

При створенні важливо було зберегти жорсткість конструкції при зменшенні маси. Кожна деталь конструкції складається з тисяч тонких шарів (близько 60 мікрон). Масу вдалося зменшити й за рахунок матеріалу - використаний корозієстійкий алюміній, який по міцності прицінюється до титану.

Більш масштабним проектом Airbus Group і Autodesk, є проект перегородки між пасажирським салоном і відсіком бортпроводників літака Airbus A320, розроблений за допомогою біонічного методу проектування. Цей унікальний проект по зниженню ваги перегородки (рис. 1.11), до якої кріпляться сидіння бортпроводників.

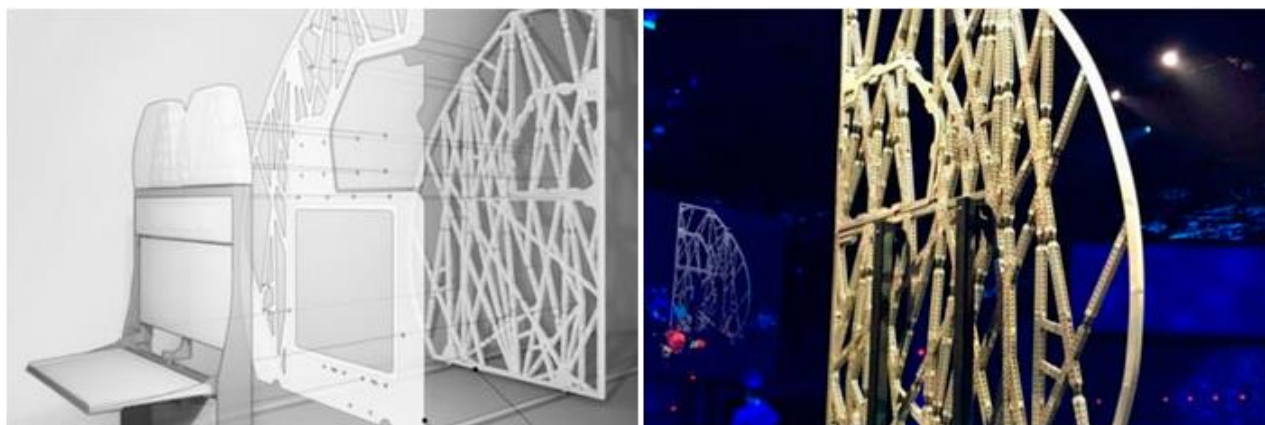


Рисунок 1.11. Перегородка Airbus A320

Мінімізація ваги, очевидно, дозволяє значно економити палива. Навіть таке, на незначне скорочення маси дозволить компанії Airbus скоротити щорічний викид CO₂ більш ніж на 465 тис. тон, що можна прирівняти до викидів, які роблять близько 96 тис. автомобілів щорічно. Було розроблено структуру перегородки на основі слизової цвілі – одноклітинних організмів, які будують міцні зв'язки між двома статичними точками. Проаналізували 10000 варіантів конструкцій, але фінальна виявилася на 55% легшою, ніж та, яку використовували донедавна. Конструкція була виготовлена по частинах за допомогою технології селективного лазерного плавлення порошків. Матеріал – сплав Scalmalloy (алюмо – магній – скандієвий сплав) [14], [17].

Корпорація Toyota Motor представила прототип полегшеного автомобільного крісла (рис.1.12).



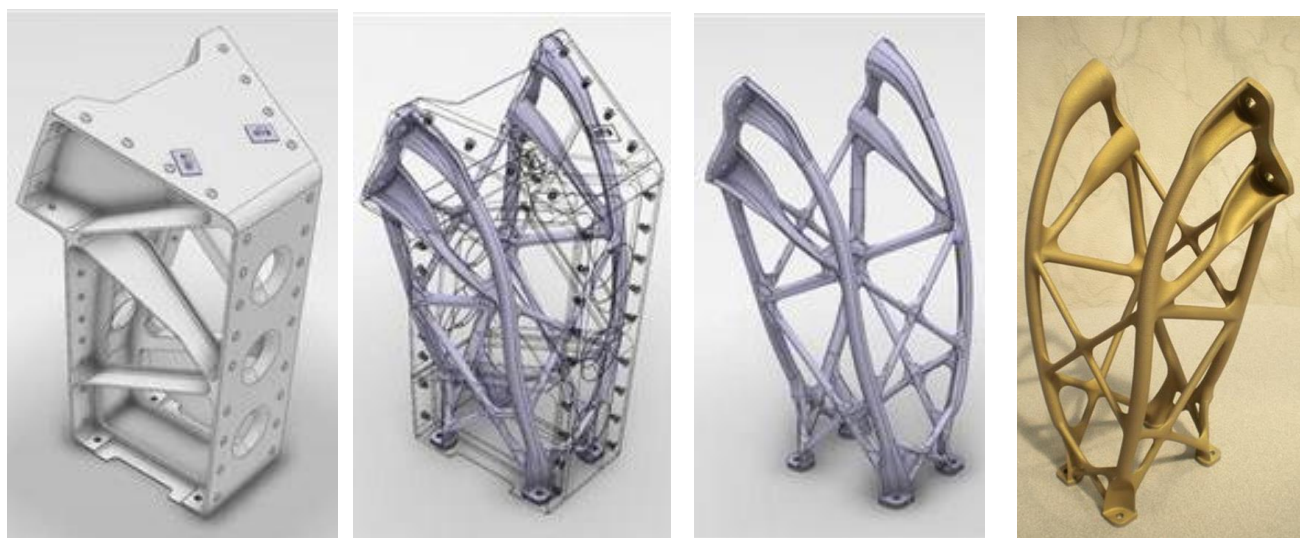
Рисунок 1.12. Автомобільне крісло

Для реалізації цього проекту використовувалась особлива система топологічної оптимізації. Виріб був поділений на високощільні і малощільні ділянки, причому останні покращили комфорт для пасажирів, дозволяючи теплу розсіюватися. Зменшення об'єму досягло 75%, і, відповідно, ваги з 25 до 7 кг і зменшити теплоємність з 35,6 до 14,5 Дж/К.

У слід за передовими компаніями, активно застосовують на практиці біонічний метод проектування, ми поставили собі за мету приборкати ці технології і зробити їх доступними нашим клієнтам. Ми розробляли анатомічний протест

На рис.1.13. показано перетворення елемента супутника Eurostar E3000, який в оригінальній конструкції виготовлявся з листового металу, до виготовленого за технологією лазерного спікання. Над цим проектом працювали біля 2 років в

Innovate UK (Великобританія).



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1.13. Кронштейн супутника Eurostar E3000: (а-в) – перетворення форми, г – фото надрукованого кронштейна методом лазерного плавлення

Ця деталь не могла бути виготовлена традиційними методами. Виготовлений з одного шматка цей кронштейн важить на 35% менше, ніж попередній аналог (рис.1.13,а), і на 40% жорсткіший [16].

Як приклад, на рис.1.14 зображено кронштейн кріплення турбіни літака, який також згенеровано використовуючи описаний алгоритм.



Рисунок 1.14. Кронштейн кріплення турбіни літака

Автоконцерн General Motors оптимізували кріплення замків ременів безпеки. Попередня конструкція складалася з 8 елементів. Оптимізація дозволила зменшити

масу на 40% і на 20% збільшити міцність. Оскільки, кронштейн знаходиться між сидінням і спинкою, а його не видно, то естетична складова відходить на другий план.



Рисунок 1.15. Кріплення ременя безпеки

З 2016 по 2018 роки GM випустила 14 моделей автомобілів, на яких вдалося зменшити масу на 5000 фунтів, що дорівнює 2268 кг. Завдяки впровадженню генеративного дизайну вдалося скоротити масу в середньому на 160 кг на кожному автомобілі [17].

BMW створила раму прототипу мотоцикла мод. S1000RR (рис.1.16). Серійний мотоцикл важить 207 кг з урахуванням повністю заправленого паливного бака, а вага гоночної версії не перевищує 162 кг.

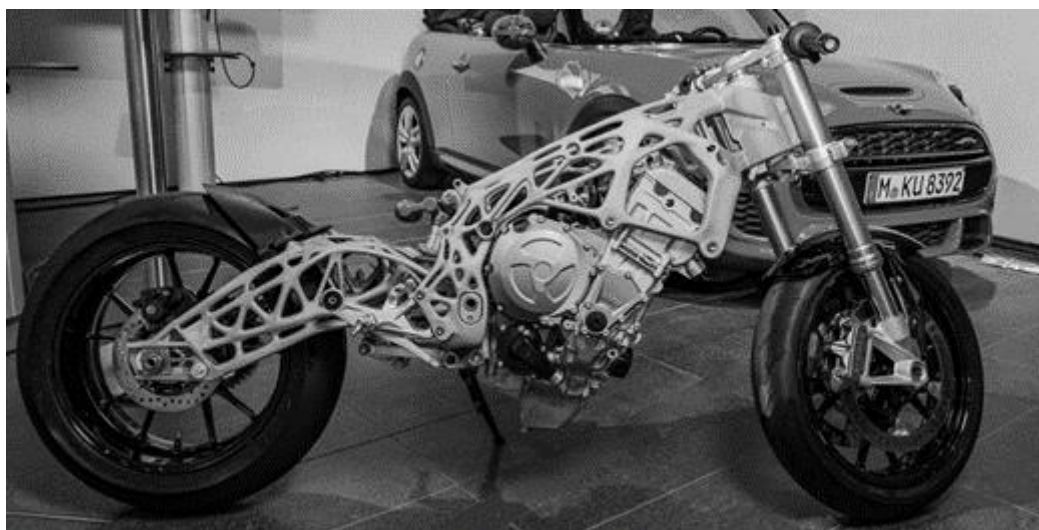


Рисунок 1.16. Рама мотоцикла мод. S1000RR

Siemens у своєму пакеті Solid Edge оптимізував конструкцію каркаса швейної машинки (рис.1.14.).

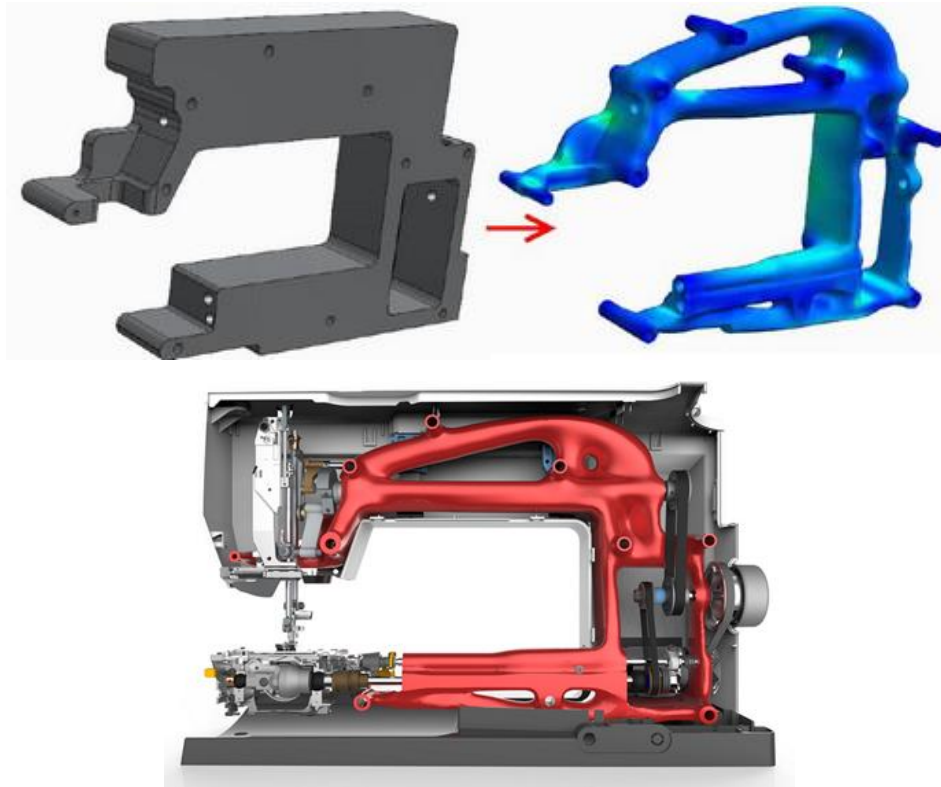


Рисунок 1.14. Оптимізація каркаса швейної машини в пакеті Solid Edge

Under Armor – виробник спортивного одягу і взуття розробила модель кросівок, підошва яких, надрукована за технологією об'ємного друку. Кожна пара розроблена індивідуально під власника [18].



Рисунок 1.16. Кросівки Under Armor

З описаного вище, можна зрозуміти, що технологія Generative Design використовується у різних галузях. Цьому сприяють зусилля різних науковців.

1.3. Висновки та методика вирішення поставленої проблеми

Промислове проектування вийшло на абсолютно інший рівень. Можна вважати, що з створенням 3D– друку почалася нова епоха проектування.

Як бачимо економія матеріалів доцільна не лише в авіації, а й у верстатобудуванні, там де вага кожного елемента конструкції важлива. З проведеного літературного огляду можна зробити наступні висновки:

1. Світова промисловість переходить до ощадливого виробництва.
2. Характеристики матеріалів визначають спосіб виробництва, зокрема литво, механічна обробка чи спікання;
3. Конструювання і проектування створюють нові способи виробництва,.
4. досвід світових компаній у проектуванні деталей методами топологічної оптимізації і генеративного проектування доводить що на жорсткість чи міцність деталі впливає не кількість матеріалу, а його розподілення у об'ємі;
5. конструюванню МРВ необхідно впровадити ці технології для свого виробництва.

1.4. Висновки та методика вирішення поставленої проблеми

В результаті ознайомлення з літературними джерелами і виходячи з описаних вище висновків і вважаючи, що магістерська робота є теоретичним дослідженням, можна сформулювати методику дослідження проблеми:

1. проведення аналітичного розрахунку жорсткості станини;
2. створити 3D – модель станини і провести статичний аналіз;
3. порівняти результати п.1. і п.2;
4. проаналізувати топологічну оптимізацію доступними засобами в Autodesk Inventor 2020.

2. ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ.

2.1. Аналіз конструктивно – технологічних властивостей деталі.

Вихідними даними для магістерської роботи є річна програма випуску деталі «Вал первинний» у кількості 5000 шт. і паспорт токарного верстата мод. 1740РФЗ.

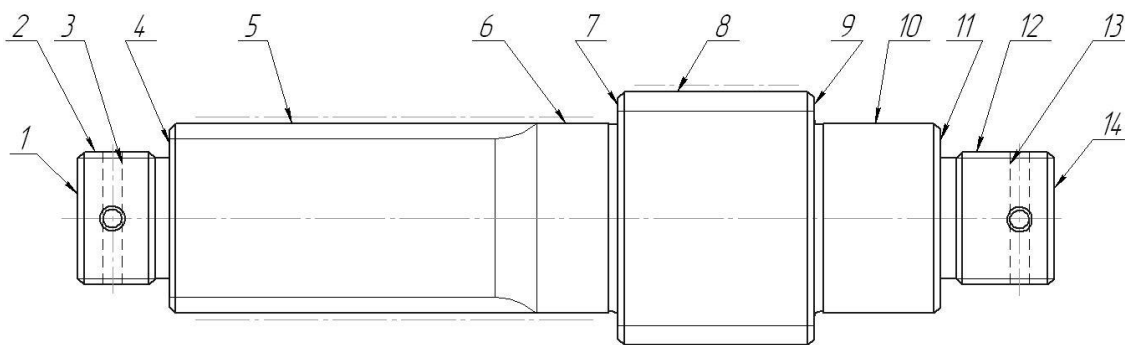


Рисунок 2.1. Загальний вигляд деталі

Деталь відноситься до тіл обертання і має 5 виступів, які збільшуються від кінців і до середини. Причому кожен з наступних діаметрів більший за попередній. На протилежних кінцях вала виконано центрувальні отвори, які використовуються в якості баз для наступних технологічних операцій (ТО). Крім того, на циліндричних кінцях нарізано різь $\varnothing 42 \times 2 - 6g$ і просвердлено два взаємоперпендикулярні отвори, які одночасно й перпендикулярні до осі деталі.

Базова обробка деталі відбувається на верстаті з ЧПК MAZAK INTEGREX 100-IVS. Це токарно-фрезерний обробний центр горизонтального компонування, який має окрім револьверної головки ще й фрезерний шпиндель. Це дозволяє нарізати зубчасті колеса і прямобічні та евольвентні шліци. Вал має дві шліцьових поверхні. З двох боків шліців знаходяться поверхні під підшипники $\varnothing 60\text{мм}$. Заготовкою для вала є поковка, яка центрується на фрезерно-центрувальному автоматі, на якому й свердяться центрувальні отвори та фрезеруються торці. Загалом точність розмірів зовнішніх поверхонь, відповідає 6...8 – му квалітетам. Точність виконання шліців виконують з допуском 0,025 і з шорсткістю поверхні $R_a 1,6$. Контроль здійснюється штангенциркулями.

Деталь виготовляється зі сталі 45 ГОСТ 1050-88. Хімічний склад сталі 45 наведений в таблиці 2.1., механічні властивості сталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1. Хімічний склад Сталі 45 згідно ГОСТ 1050-88

C α	Si α	Mn α	S α	P α	Ni α	Cr α
			не більше α			
Масова частка елементів, % α						
0,42-0,50 α	0,17-0,37 α	0,50-0,80 α	0,04 α	0,035 α	0,25 α	0,25 α

Таблиця 2.2. Механічні властивості Сталі 45

σ_T , Мпа	σ_B , Мпа	δ_5 , %	ψ , %	α_H , Дж/см ²	НВ (не більше)	
					гарячекатаної	відпаленої
360	690	16	40	50	241	197

Сталь 45 ГОСТ 1050-88 – середньовуглецева якісна сталь, що має гарні механічні властивості для оброблення різанням, добре гартується. Сталь 45 застосовують для виготовлення різних валів, які піддають термообробці й від яких потрібна підвищена міцність.

2.2. Вибір комплексу рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті

Обробка деталі передбачає такі методи формоутворення на верстаті як зовнішнє точіння, нарізання різі, зенкування (нарізання фаски), зенкерування, фрезерування шліців. Утворення поверхонь деталі залежить від багатьох факторів і рухів, що забезпечують відтворення утворюючих ліній.

Розглянемо формоутворення та обробку основних поверхонь деталі вал. В процесі обробки твірні лінії відтворюються комбінацією узгоджених між собою обертових та прямолінійних переміщень інструмента і заготовки. Рухи, які необхідні для цього називаються формоутворюючими робочими рухами. Вони можуть бути простими і відображаються тільки одним рухом $\Phi_v(O1)$, а також складними коли узгоджено два, або декілька рухів завдяки яким утворюється поверхня: $\Phi_v(O1, P2)$; $\Phi_s(P3, P4)$.

Способи утворення поверхонь детально описано у [20].

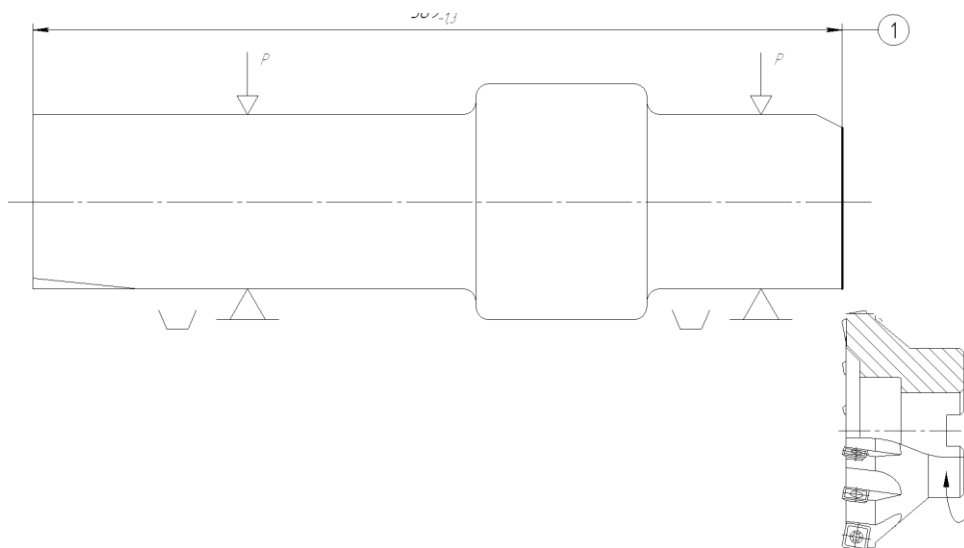


Рисунок 2.1. Підрізка торця на центрувально – фрезерному верстаті

Більшість поверхонь деталей машин можуть бути утворені при використанні в якості твірної лінії: прямої, кола, гвинтової лінії і ряду інших. Циліндричні поверхні можуть бути отримані при переміщенні твірної – прямої 1 по напрямній – колу 2, або при русі утворюючого кола 3 вздовж напрямної – прямої лінії 4.

В залежності від виду ріжучого інструменту і форми його ріжучої частини існує чотири методи формоутворення: копіювання, сліду, дотику, обкату.

Метод сліду складається з того, що твірна лінія одержується як слід руху точки – вершини різця. Наприклад при точінні різцем твірна 1 (рис.2.2) виникає як слід точки А (вершини різця).

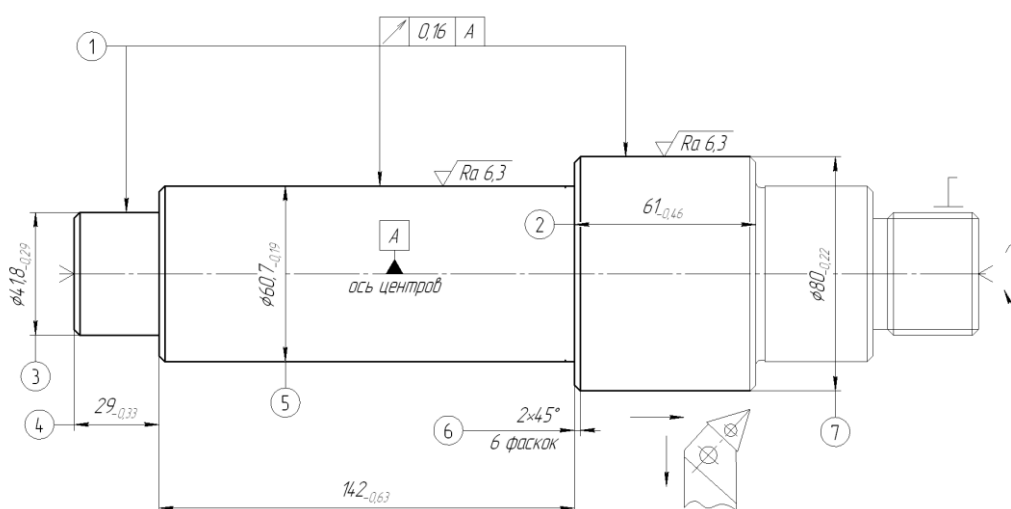


Рисунок 2.2 Утворення твірної лінії методом сліду

Інструмент і заготовка переміщається відносно один одного таким чином, що вершина А ріжучого інструмента весь час дотикається до відтворюючої лінії

1. Напрямна лінія одержується в результаті обертання заготовки. В цьому випадку необхідно два формоутворюючих рухи: обертання заготовки $\Phi_v (O_1)$, подача інструмента $\Phi_s(P_2)$. Саме цей метод формоутворення використовується на верстаті при зовнішньому точінні потрібної поверхні. 1. Твірна лінія – коло. Метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_v = (O_1)$. 2. Направляюча лінія – пряма. Метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_s(P_3)$.

Метод копіювання полягає в тому, що ріжуча кромка інструменту по формі співпадає з твірною лінією. Так при нарізанні різи твірна 1 утворюється копіюванням прямолінійної кромки інструмента, а рух різання 2 – обертання заготовки. При різанні різом використовується метод копіювання (рис. 2.3), рух P_3 є установчим. Уст (P_3). $\Phi_v (O_1, P_2)$ – це складний рух де узгоджено обертання заготовки з подачею інструменту, яка відповідає кроку різи.

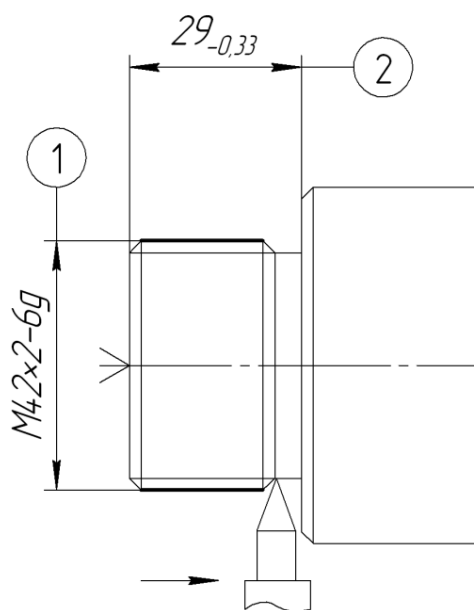


Рисунок. 2.3 Утворення твірних ліній методом копіювання

На рисунку 2.4. показано схему формоутворення при свердлінні отворів спіральними свердлами. При цьому свердлу надається обертовий рух O_1 і поступальний P_3 . При цьому заготовка нерухома.

1. Твірна – коло Метод сліду $\Phi_1, \Phi_v(O_1)$.
2. Направляюча відтворююча лінія – Метод сліду $\Phi=1, \Phi_3 = (P_3)$.

Сумарний рух $\Phi_\Sigma = 2, \Phi_v(O_1), \Phi_s(P_3)$.

Зенкування (рис. 2.5). Інструменту надається обертовий рух O_1 і поступальний P_3 . Заготовка нерухома. 1.

Твірна лінія – коло. 2. Направляюча лінія – пряма. Сумарний рух $\Phi_\Sigma = 1, \Phi_v(O_1P_2)$.

Утворення поверхонь при відтворенні твірної лінії методом копіювання різальної кромки забезпечується фрезеруванням поверхні дисковою фрезою (рис. 2.6).

1 – твірна - лінія метод сліду $\Phi=1$; 2- направляюча – пряма метод дотику $\Phi=1; \Phi_v(O_1); \Phi_s(P_2)$ Уст (P_3)

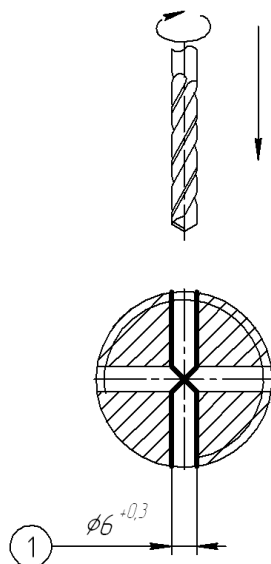


Рисунок 2.4. Схема формоутворення при свердлінні

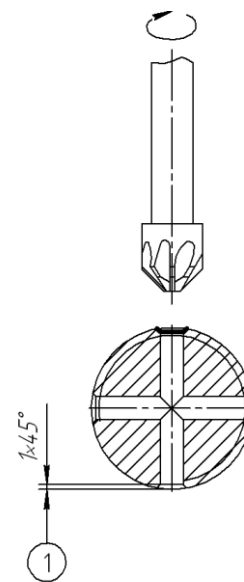


Рисунок 2.5. Схема формоутворення при зенкуванні

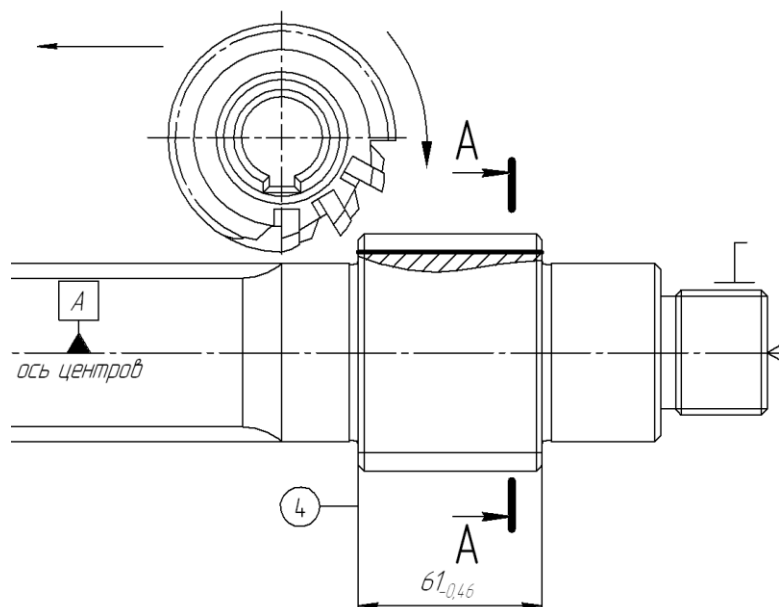


Рисунок 2.6. Формоутворення при фрезеруванні дисковою фрезою

2.3. Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата.

Напівавтомат токарний мод.1740РФ3 (рис.2.7) призначені для токарної обробки в патроні або центрах деталей складної форми з великою кількістю технологічних переходів в умовах різних видів виробництва. Верстат має виконання класів точності Н, П, В, А і забезпечує шорсткість оброблюваних поверхонь R 2,5 мкм.

Похиłe компоновання напівавтомата забезпечує зручний доступ до інструментів, полегшує установку оброблюваного виробу й створює гарні умови

сходу й збирання стружки. Висока жорсткість напівавтомата, велика потужність головного приводу й висока частота обертання шпинделя забезпечують використання як твердосплавного, так і мінералокерамічного різального інструменту, що дозволяє за одне встановлення виробу виконати чорнову й чистову обробку.

Головний привід верстата оснащений регульованим електродвигуном постійного струму. Перемикання частот обертання шпинделя у всіх діапазонах повністю автоматизоване й здійснюється від команди пристрою ЧПУ.

Приводи подачі супорта в поздовжньому й поперечному напрямках здійснюється від серводвигунів постійного або змінного струму з датчиками зворотного зв'язку й високоточних кулькових гвинтових пар, що дозволяє досягти високу точність і чистоту обробки.

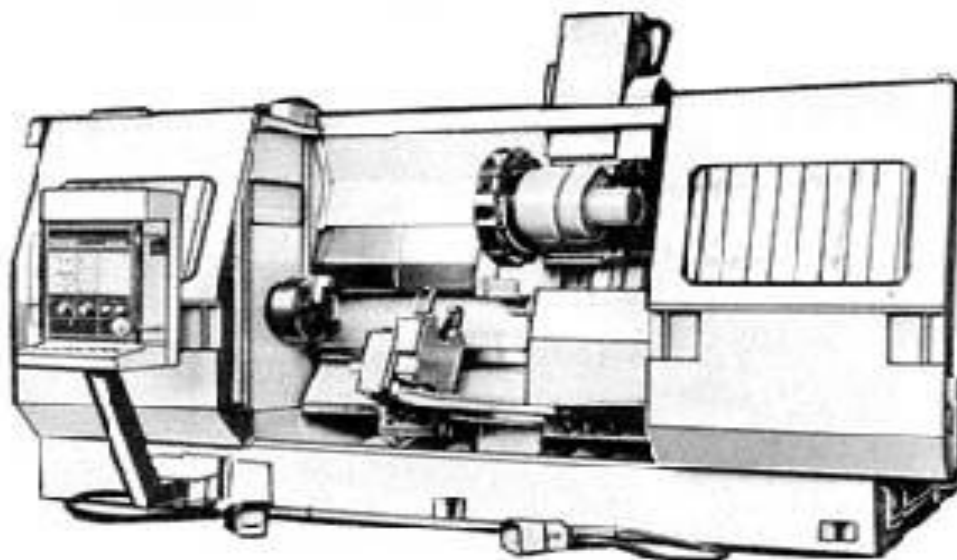


Рисунок 2.7. Зовнішній вигляд токарного напівавтомата 1740РФ30

Напівавтомат оснащений 12-позиційною інструментальною головкою, що має на планшайбі базові отвори під кріплення різцедержавок із циліндричним хвостовиком. Для обробки нежорстких деталей напівавтомат оснащують двома швидкозмінними головками, а за замовленням, кронштейном люнета, на якому закріплюється швидкозмінний автоматичний люнет з діапазоном затискання від 40...160 або 120...250мм.

Задня бабка й кронштейн люнета переміщаються супортом, що дозволяє проводити зовнішню обробку деталей в центрах, а потім, затиснувши правий кінець деталі люнетом і відвівши задню бабку, можна здійснювати розточувальні

роботи за один установ деталі.

Видалення стружки відбувається позад верстата за допомогою шнекового транспортера. Система охолодження різального інструменту (PI) забезпечує подачу охолодної рідини до кожного інструмента.

Перемикання частот обертання шпинделя у всьому діапазоні швидкостей повністю автоматизоване й здійснюється від ЧПК. Мащення шпиндельної бабки циркуляційне й здійснюється за допомогою спеціальної станції змащування. Мащення напрямних станини і супорта здійснюється автоматично від окремої станції за допомогою дозаторів.

Оскільки є безступеневе регулювання то для кожного приводу є свій мотор.

2.4. Обґрунтування модулів верстата

Враховуючи те, що за базовий верстат прийнято токарний напівавтомат мод.1740РФ3, то Первинний код компоновки $k = CZX$:

$$TM = \{O\hat{C}ZX\} \quad (2.6)$$

Тобто, це найбільший склад блоків компоновки необхідний для виконання формоутворюючих рухів. Для використання осьового інструменту в компоновку верстата можна ввести окремий вузол

$$MK = \{O\hat{C}ZXw\} \quad (2.7)$$

2.5. Побудова загальної матриці компоновки верстату.

Синтез компоновки виконуємо на основі властивостей ланцюгів формоутворення й правил кругової перестановки символів:

$$A = \begin{vmatrix} CZX & AXY & BYZ \\ CXZ & AYX & BZY \\ ZCX & XAY & YBZ \end{vmatrix}$$

2.6. Аналіз типів базових компоновок

2.6.1. Вибір верстатів-аналогів

Верстат 1Б732Ф3 призначений для валів складної форми в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва. На ньому проводять чорнову й

чистову обробку в центрах циліндричних, конічних і сферичних поверхонь, жолобників, підрізування торців, прорізування різних канавок, нарізування різьблення й інші токарські роботи, які можуть бути виконані з високим ступенем точності й малою шорсткістю оброблених поверхонь (до 6-го квалітету).

Верстат 1П426ДФЗ є універсальним із 2-ма револьверними головками. Призначений для високопродуктивної токарної обробки штучних заготовель в умовах дрібно і середньосерійного виробництва. На верстаті виконують обточування, розточення, підрізування, проточування й розточування канавок, свердління, зенкерування, розгортання, фасонне точіння, обробка різей мітчиками, плашками й різцями. Верстат оснащується 6 і 8 – ми позиційними револьверними головками на хрестовому супорті.

Напівавтомат 1П732РФЗ призначений для токарної обробки деталей у патроні деталей складної конфігурації: обточування циліндричних, конічних і сферичних поверхонь, підрізування торцев, прорезки різних канавок, нарізування різьблення, свердління, розгортання центральних отворів, розточування в умовах серійного виробництва.

Напівавтомат 1П756ДФЗ призначений для токарної обробки по програмі циліндричних, торцевих, конічних, східчастих і криволінійних поверхонь деталей із чорних і кольорових металів і сплавів, а також для свердління й розточування центральних отворів, нарізування зовнішніх різьблень. Напівавтомат оснащений двома автоматичними інструментальними головками. Конструкція чотиригранної інструментальної головки дозволяє встановлювати на кожну грань один або два блоки з інструментом.

Напівавтомат 1740РФЗ призначений для токарної обробки деталей у патроні або центрах деталей складної конфігурації: обточування циліндричних, конічних і сферичних поверхонь, підрізування торців, різних канавок, нарізування різьблення, свердління, розгортання центральних отворів, розточування в умовах серійного, багатосерійного виробництва.

Таблиця 2.3. Технічна характеристика розглянутого встаткування

Параметри	Модель верстата				
	1П426ДФ3	1П732РФ3	1Б732Ф3	1740РФ3	1П756ДФ3
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над станиною, мм	500	630	630	630	630
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над супортом, мм	400	400	400	400	500
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	500	1400	2000	1000	320
Кількість інструментів	8	12	6	12	8 (4)
Діапазон частоти обертання шпинделя, хв ⁻¹	10-2000	16-1600	25-1250	12-2500	8-1600
Потужність головного привода, кВт	30	37	37	55	22
Габаритні розміри, мм:					
- довжина	3500	4460	3825	4930	4600
- ширина	1500	2350	2140	2610	2400
- висота	2655	3100	2835	3050	2600
Маса, кг	7515	13400	9600	10000	8600

2.6.2. Вибір оптимальної схеми компоновки

Формули компоновки одержуємо шляхом підстановки символу «О» (станина) у коди компоновки. Аналіз компоновки виконуємо з урахуванням відбору [20], [23]:

- 1) Приймаємо тільки горизонтальні компоновки;
- 2) Блок заготовки й блок інструмента рухливі - $\bar{O} ** \bar{O} *$;
- 3) Блок заготовки обертовий, а блок інструмента не обертовий - $\bar{2} ** \bar{2} *$;
- 4) Вузол, що робить максимальне переміщення (супорт – блок Z) повинен переміщатися по станині - $2OZ\bar{2} *$;
- 5) Блок заготовки вертикального руху не робить - $\bar{1}OZ\bar{2} *$.

Компоновки після відбору:

$$A = \begin{vmatrix} AOXY & AOYX & AXOY & AXYO \\ AYOX & AYXO & COXZ & COZX \\ CXOZ & CXZO & CZOX & CZXO \\ XOAY & XAOY & ZOXC & ZCOX \end{vmatrix}$$

Кількість компоновок, які відповідають умовам відбору:

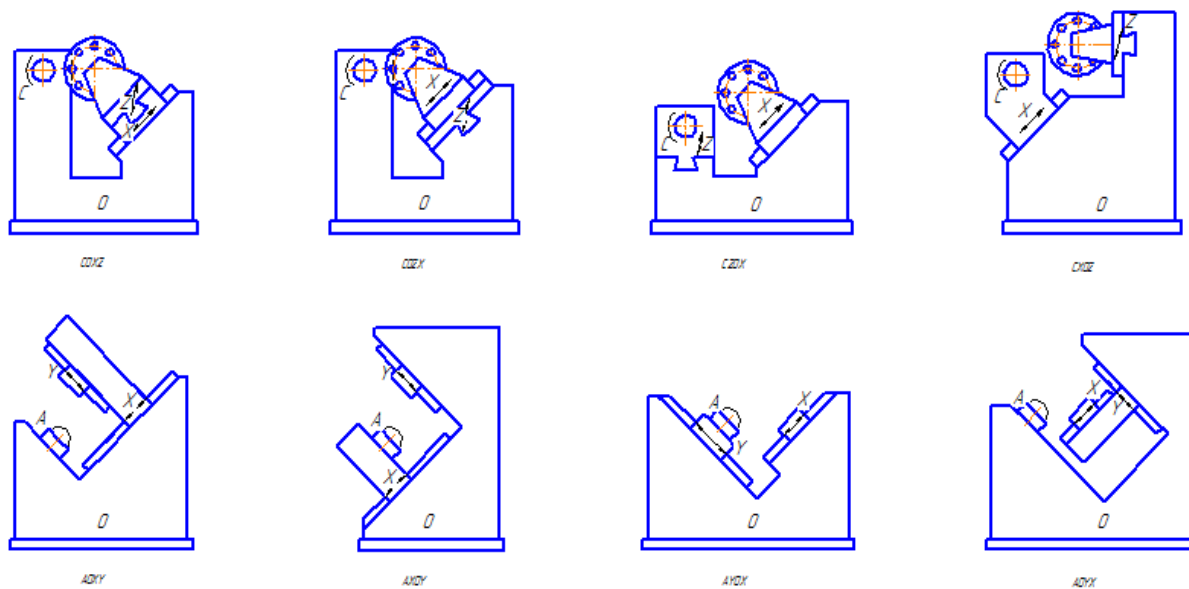
$AOXY - 2$ $CXOZ - 2$ $AYOX - 2$ $XOAY - 1$ $AOYX - 2$ $CXZO - 1$ $AYXO - 1$ $XA OY - 1$ $AXOY - 2$ $CZOX - 2$ $COXZ - 2$ $ZOCX - 1$ $AXYO - 1$ $CZXO - 1$ $COZX - 4$ $ZCOX - 1$ 

Рисунок 2.8. – Типи компоновок згідно умов відбору

Найбільш краща компоновка:

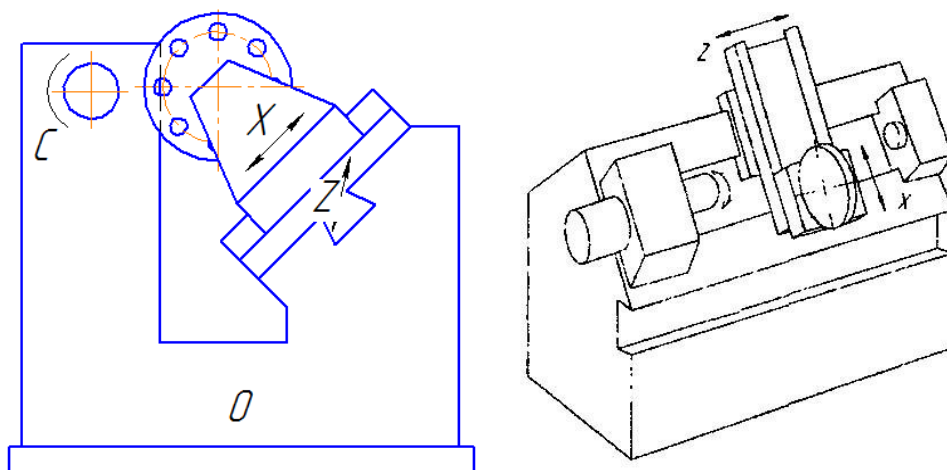


Рисунок 2.9 Кінцева компоновка COZX

3. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

3.1. Обґрунтування, визначення типу організаційної форми виробництва із застосуванням проектного верстата

Аналіз конструкції деталі на технологічність має за мету виявлення недоліків конструкції по відомостях, що містяться в кресленнях і технічних вимогах, а також можливе поліпшення технологічності розглянутої конструкції.

Аналіз технологічності проводиться, як правило, у два етапи: якісний і кількісний.

Жорсткість вала вважається недостатньою, якщо для одержання точності 6...9 -го квалітетів відношення $\frac{l}{d}$ більше понад 10...12).

Визначимо жорсткість деталі з умови:

$$\frac{l}{d} = \frac{309}{42} = 7,4 < 10 \quad (3.1)$$

Кількісна оцінка технологічності виконується відповідно до ГОСТУ 14201-73 і містить наступні показники:

Коефіцієнт точності обробки $K_{ТЧ}$ визначається по формулі:

$$k_{mч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,4} = 0,92 \quad (3.2)$$

де T_{cp} – середній квалітет точності обробки.

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \times n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 26 + 13 \cdot 4 + 9 \cdot 2 + 6 \cdot 6}{26 + 4 + 2 + 6} = 12,4 \quad (3.3)$$

де T_i – квалітет точності обробки;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету точності.

Коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{ш}$ визначається по формулі:

$$k_{Ra} = 1 - \frac{1}{Ra_{cp}} = 1 - \frac{1}{7,4} = 0,86 \quad (3.4)$$

де Ra_{cp} – середня шорсткість поверхонь виробу.

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \times n_i}{\sum n_i} = \frac{0,8 \cdot 4 + 1,6 \cdot 4 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 10}{4 + 4 + 2 + 10} = 7,4 \text{ мкм} \quad (3.5)$$

де Ra_i – шорсткість поверхні; n_i – кількість поверхонь відповідної шорсткості.

Рівень технологічності конструкції по використанню матеріалу:

$$K_{y.m.} = \frac{K_{б.в.м.}}{K_{в.м.}} = \frac{0,52}{0,77} = 0,68, \quad (3.6)$$

де $K_{б.в.м.}$, $K_{в.м.}$ – відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти використання матеріалу.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м.}$:

$$K_{в.м.} = \frac{q}{Q} = \frac{7,2}{9,36} = 0,77 \quad (3.7)$$

де q - маса деталі, кг; Q - маса заготовки, кг.

$$K_{б.в.м.} = \frac{7,2}{13,98} = 0,52$$

Рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення:

$$K_{y.t.} = \frac{T_{в.}}{T_{б.в.}} = \frac{910,734}{867,8} = 1,05 \quad (3.8)$$

де $T_{в.}$, $T_{б.в.}$ – відповідно досягнута й базова трудомісткість виготовлення виробу, хв.

Рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості:

$$K_{y.c.} = \frac{C_{т.}}{C_{б.т.}} = \frac{95427}{100815} = 0,95 \quad (3.9)$$

є $C_{т.}$, $C_{б.т.}$ – відповідно досягнута й базова технологічна собівартість виробу, грн.

На підставі якісного й кількісного аналізу можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

Тип виробництва згідно ДСТУ 3.1108-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$.

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (3.10)$$

де $\sum O$ - кількість операцій, виконуваних на робочому місці;

$\sum P$ - явочне число робочі підрозділи, що виконують різні операції.

Виходячи з наведеної формули для визначення $K_{з.о.}$ необхідно встановити співвідношення між трудомісткістю виконання операцій і продуктивністю робочих місць, призначених для проведення даного технологічного процесу за умови завантаження цього встаткування відповідно K нормативних коефіцієнтів.

Маючи у своєму розпорядженні штучно-калькуляційний час, витраченим на кожну операцію, визначаємо кількість верстатів:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (3.11)$$

де $N=5000$ шт. - річна програма; $T_{ш-к}$ – штучно-калькуляційний час, хв.; F_d – дійсний річний фонд часу, год.; $\eta_{з.н.}$ - нормативний коефіцієнт завантаження встаткування.

Приймаємо коефіцієнт завантаження встаткування $\eta_{з.н.}=0,8$.

Установлюємо число робочих місць P , округляючи K найближчого більшого цілого отримане значення m_p .

По кожній операції обчислюємо значення фактичного коефіцієнта завантаження робочого місця по формулі:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}, \quad (3.12)$$

Визначаємо кількість операцій, виконуваних на робочому місці, визначається по формулі:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}, \quad (3.13)$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.1.

τ - такт випуску – це інтервал часу, через який з конвеєра сходять готовий виріб. Такт випуску визначається як:

$$\tau = \frac{F_d \cdot 60}{N} = \frac{4016 \text{ год.} \cdot 60}{5000} = 48,19 \text{ хв} \quad (3.14)$$

Визначаємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{33}{24} = 1,4.$$

Тому що $10 < 14,2 < 20$, отже виробництво крупносерійне.

Для серійного виробництва розраховується розмір партії деталей по формулі:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi} = \frac{5000 \cdot 5}{257} = 97 \text{ дет.} \quad (3.15)$$

де a – кількість днів запасу деталей на складі; Φ - кількість робочих днів у році. Приймаємо $a=5$ днів; $\Phi=257$ днів.

Тип виробництва визначають по таблиці 19 (с. 56) [22].

Таблиця 3.1. Автоматизований розрахунок коефіцієнта закріплення операцій $K_{3.0}$ з використанням таблиць Excel

№ ТО	Технол. операція	N,шт	Фд, год.	tшт., хв.	mp	P, шт.	ηз.ф.	O	Кз.о.
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
010	Відрізна	5000	4016	2,718	0,07	1	0,07	10,64	10,64
015	Горизонтально-розточувальна	5000	4016	5,472	0,14	1	0,14	5,28	5,28
020	Токарна-гвинторізна	5000	4016	10,08	0,26	1	0,26	2,87	2,87
025	Токарна-гвинторізна	5000	4016	15,048	0,39	1	0,39	1,92	1,92
045	Токарна-гвинторізна	5000	4016	3,444	0,09	1	0,09	8,40	8,40
050	Токарна-гвинторізна	5000	4016	15,264	0,40	1	0,40	1,89	1,89
055	Токарна-гвинторізна	5000	4016	14,664	0,38	1	0,38	1,97	1,97
060	шліцефрезерна	5000	4016	130,89	3,40	1	3,40	0,22	0,22
065	шліцефрезерна	5000	4016	90,156	2,34	1	2,34	0,32	0,32
080	Вертикально-свердлильна	5000	4016	4,248	0,11	1	0,11	6,81	6,81
095	Токарна-гвинторізна	5000	4016	3,444	0,09	1	0,09	8,40	8,40
100	Круглошліфувальна	5000	4016	16,71	0,43	1	0,43	1,73	1,73
105	шліцешліфувальна	5000	4016	299,334	7,76	2	3,88	0,19	0,10
110	шліцешліфувальна	5000	4016	299,334	7,76	2	3,88	0,19	0,10
Всього				916,806	23,62	24	24,8603	60,8358	61,6426

3.2. Вибір та обґрунтування вибору заготовки.

Метод отримання заготовки для деталей визначається призначенням, конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом і серійністю випуску, а також економічністю виготовлення. Всі решта

По базовому техпроцесу заготовку одержують із круглого гарячекатаного прокату діаметром 85 мм. Розглянемо метод одержання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ).

Вартість заготовки із сортового прокату:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{о.з.}}, \quad (3.16)$$

де M - витрати на матеріал заготовки, грн.;

$\sum C_{\text{о.з.}}$ – собівартість операції плавлення, калібрування прутків, розрізки їх на штучні заготовки.

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{шт(ш-к)}}}{60} = \frac{12 \cdot 2,718}{60} = 0,544 \text{ грн} \quad (3.17)$$

де $C_{\text{п.з.}}$ - наведені витрати на робочому місці, грн./год.;

$T_{\text{шт(ш-к)}}$ – штучне або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції (виправлення, калібрування, різання й ін.).

По [22] приймаємо $C_{\text{п.з.}} = 12$ грн./год. (різання на відрізних верстатах, що працюють дисковими пилками). Для відрізної операції $T_{\text{шт(ш-к)}} = 2,718$ хв.

Витрати на матеріал визначаються по масі прокату, необхідного для виготовлення деталі, і масі здаваної стружки:

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (3.18)$$

де Q - маса заготовки, кг; $Q = 13,98$ кг;

$S = 9,8$ грн - ціна 1 кг матеріалу заготовки;

$q = 7,2$ кг - маса готової деталі;

$S_{\text{відх}} = 4500$ грн./т – ціна 1 т відходів, грн.

По [5] приймаємо: $S = 9,8$ грн.; $S_{\text{відх}} = 1,4$ грн/кг.

$$M = 13,98 \cdot 9,8 - (13,98 - 7,2) \cdot \frac{4500}{1000} = 106,50 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу по формулі (1.5):

$$K_{\text{вм}} = \frac{7,2}{13,98} = 0,52.$$

Знайдемо вартість заготовки із прокату сталевого гарячекатаного круглого:

$$S_{\text{заг}} = 106,50 + 0,544 = 107,44 \text{ грн.}$$

Вартість заготовки, отриманою штампуванням на ГKM визначається по формулі:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (3.19)$$

де C_i – базова вартість однієї тонни заготівель, грн.;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{\Pi}$ - коефіцієнти, що залежить від точності штампування, групи складності штампування, від маси штампування, від марки матеріалу штампування; від обсягу виробництва заготівель відповідно.

По [22] приймаємо: $C_i = 9800 \text{ грн/т}$; $k_T=1$; $k_C=0,75$; $k_B=0,87$; $k_M=1$; $k_{\Pi}=1$.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{9800}{1000} \cdot 9,36 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (9,36 - 7,2) \cdot \frac{4500}{1000} = 130 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу по формулі (1.6):

$$K_{\text{вм}} = \frac{7,2}{9,36} = 0,77.$$

Визначаємо річний економічний ефект від впровадження нового методу одержання заготовки – штампування на ГKM:

$$E_{\Gamma} = (S_{\text{заг}}^{\text{баз}} - S_{\text{заг}}^{\text{пр}}) \cdot N, \quad (3.20)$$

де $S_{\text{заг}}^{\text{баз}}$ – вартість заготовки по базовому варіанті;

$S_{\text{заг}}^{\text{пр}}$ – вартість заготовки по прийнятому варіанті.

$$E_{\Gamma} = (130 - 107,44) \cdot 5000 = 112800 \text{ грн.}$$

3.3. Вибір технологічних баз

Технологічною базою при точінні є чорнова поверхня заготовки, після перестановки деталі – уже оброблена поверхня вала. На шліфувальних операціях технологічною базою є вісь деталі (центрові отвори).

На всіх операцій обробка ведеться в центрах, тому похибки базування для цих операцій дорівнюють нулю.

3.4. Структурний аналіз і синтез технологічного маршруту механічної обробки деталі

Аналізується базовий ТП виробництва вала. Виробництво крупносерійне. Річний обсяг випуску - 5000 шт. Базовий технологічний представлений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.Базовий технологічний процес

№ опер.	Найменування операції	Устаткування
1	2	3
005	Переміщення	-
010	Відрізна	8М662
	Відрізка заготовки із прутка	
015	Горизонтально-розточувальна	2206ВМФ4
	Фрезерування торців у розмір, центрування торців.	
020	Токарно-гвинторізна	1М63
	Точіння чорнове: поверхонь $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, М42?2-6g; торців: $\varnothing 80(\pm 0,01)/\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}/\text{М42}\times 2\text{-6g}$	
025	Токарно-гвинторізна	1М63
	Точіння чорнове: поверхонь $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, М42?2-6g; торців: $\varnothing 80(\pm 0,01)/\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}/\text{М42}\times 2\text{-6g}$	
030	Маркування	Верстат
035	Відпал	
040	Маркування	Верстат
045	Токарно-гвинторізна	16К20
	Притирання центрових отворів	
050	Токарно-гвинторізна	16К20
	Точіння остаточне: поверхонь $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 80(\pm 0,01)$, М42×2-6g; торців: $\varnothing 80(\pm 0,01)/\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}/\text{М42}\times 2\text{-6g}$; фаски, канавки	
055	Токарно-гвинторізна	16К20
	Точіння остаточне: поверхонь $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 60(\pm 0,01)$, М42×2-6g; торців: $\varnothing 80(\pm 0,01)/\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}/\text{М42}\times 2\text{-6g}$; фаски, канавки	
060	Шліцефрезерна	5350А
	Фрезерування шліців $D-10\times 50,5-0,74\times 60\pm 0,01\times 9^{+0,03}_{-0,09}$	
065	Шліцефрезерна	5350А
	Фрезерування шліців $D-10\times 67,5-0,74\times 80\pm 0,01\times 12^{+0,03}_{-0,09}$	
070	Слюсарна	Верстат
075	Розмітка	Розм. плита

Продовж.табл.3.1.

080	Вертикально-свердлильна	2Н135
	Свердління: 4 отворів $\varnothing 6^{+0,3}$, зенкування фасок.	
085	Слюсарна	Верстат
090	Загартування ТВЧ	
095	Токарно-гвинторізна	16К20
	Притирання центрових отворів	
100	Круглошліфувальна	3М152У
	Попереднє й остаточне шліфування поверхонь: $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$, $\varnothing 80(\pm 0,01)$, $\varnothing 60(\pm 0,01)$,	
105	Шліфувальна	3451А
	Шліфування бічних поверхонь шліц $D-10 \times 50,5_{-0,09}^{0,74 \times 60 \pm 0,01 \times 9^{-0,03}}$	
110	Шліфувальна	3451А
	Шліфування бічних поверхонь шліц $D-10 \times 67,5_{-0,09}^{0,74 \times 80 \pm 0,01 \times 12^{-0,03}}$	
115	Слюсарна	Верстат
120	Промивання	Ванна
125	Контроль приймальний	Стіл ВТК
130	Маркування	Верстат
135	Консервація	

Як видно з таблиці, багато технологічних операцій доцільно поєднати на одному верстаті за одне встановлення. При оцінці ефективності того або іншого варіанта ТП найбільш вигідним виявляється той, у якого сума поточних і наведених капітальних витрат на одиницю продукції буде мінімальною. Розрахунки наведених витрат і технологічної собівартості виконуються для всіх операцій, що змінюють ТП.

Наведені витрати для двох порівнюваних варіантів ТП розраховуються по формулі:

$$Z = C + E_n \cdot (K_c + K_{зд}), \quad (3.21)$$

де C - технологічна собівартість, грн; $E_n = 0,1$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень; K_c , $K_{зд}$ - питомі капітальні вкладення у верстат і будинок відповідно.

Розрахунок основної й додаткової зарплати виконується, по формулі:

$$C_3 = C_ч \cdot K_д \cdot Z_n \cdot K_{о.м.}, \quad (3.22)$$

де $C_ч$ - годинна тарифна ставка робітника (приймається по встановлених тарифних ставках), грн/год; $K_д$ - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату

й нарахування ($K_d = 1,7$); Z_n – коефіцієнт, що враховує оплату наладчика ($Z_n = 1,0$); K_m – коефіцієнт, що враховує оплату робітника при багатостатному обслуговуванні ($K_m = 1,0$).

Розрахунок годинних витрат по експлуатації робочого місця виконується по формулі:

$$C_{\text{експ}} = C_{\text{чз}} \cdot K_m, \quad (3.23)$$

де $C_{\text{чз}}$ – вартіві витрати на базовому робочому місці (приймаються за матеріалами виробничої практики), грн. /год.; K_m – коефіцієнт показує в скільки разів витрати, пов'язані з роботою даного верстата, більше, ніж аналогічні витрати в базового верстата.

Питомі капітальні вкладення у верстат розраховуються по формулі:

$$K_c = \frac{C_c \cdot K_m \cdot C_{\text{п}}}{N}, \quad (3.24)$$

де C_c – відпускна ціна верстата, грн.;

$K_m = 1,1$ – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування й монтаж;

$C_{\text{п}}$ – прийняте число верстатів на операцію ($C_{\text{п}} = 1,0$);

N – річний обсяг випуску деталей; $N=12000$.

Питомі капітальні вкладення в будинок розраховуються по формулі:

$$K_{\text{зд}} = \frac{C_{\text{пл}} \cdot P_c \cdot C_{\text{п}}}{N}, \quad (3.25)$$

де $C_{\text{пл}}$ – вартість 1 м^2 виробничої площі, грн./ м^2 ;

P_c – площа, займана верстатом з урахуванням проходів, м^2 ;

$C_{\text{п}}$ – прийняте число верстатів на операцію ($C_{\text{п}} = 1,0$).

Площа, займана верстатом P_c , визначається по формулі:

$$P_c = f \cdot K_c \quad (3.26)$$

де f – площа верстата в плані (довжина до ширини), м^2 ;

K_c – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу ($K_c = 3,5$ при $f=2\dots4\text{ м}^2$; $K_c = 3$ при $f = 4\dots6\text{ м}^2$; $K_c = 4$ при $f < 2\text{ м}^2$).

Технологічна собівартість розраховується для всіх операцій по формулі:

$$Z = (C_z + C_{\text{експ}}) \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60}. \quad (3.27)$$

Результати розрахунків приведених витрат зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2.

Операція	Модель станка	$T_{шт}$, мин	$C_з$, грн	$C_{експ}$, грн	K_c , грн	$K_{зд}$, грн	C , грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Базовий варіант							
010 Відрізна	8Г662	2,718	260	260	4918	1811	24
015 Горизонтально-розточна	2206ВМФ4	5,472	495	495	133544	8681	90
020 Токарно-гвинторізна	1М63	10,008	302	302	14701	3528	101
025 Токарно-гвинторізна	1М63	15,048	302	302	14701	3528	152
045 Токарно-гвинторізна	16К20	3,444	302	302	14483	2336	35
050 Токарно-гвинторізна	16К20	15,264	352	352	14483	2336	179
055 Токарно-гвинторізна	16К20	14,664	352	352	14483	2336	172
060 Шліцефрезерна	5350А	130,89	409	409	14860	2837	1784
065 Шліцефрезерна	5350А	90,156	409	409	14860	2837	1229
080 Вертикально-свердлильна	2Н135	4,248	409	409	4280	815	58
095 Токарно-гвинторізна	16К20	3,444	302	302	14483	2336	35
100 Круглошліфувальна	3М152В	16,71	352	352	30837	2915	196
105 Шліцешліфувальна	3451А	299,33	302	302	30877	3084	3014
106 Шліцешліфувальна	3451А	299,33	302	302	30877	3084	3014
Всього			4849	4849	352387	42461	10082
Проектний варіант							
005 Центрувально-фрезерна	2206ВМФ4	2,64	495	495	133544	8681	44
025 Багатоцільова із ЧПУ	1740РФ3	217,9	409	409	183333	3652	2970
030 Багатоцільова із ЧПУ	1740РФ4	2,47	352	352	14483	2336	29
045 Круглошліфувальна	3М152В	4,29	352	352	30837	2915	50
105 Шліцешліфувальна	3451А	320,27	302	302	30877	3084	3225
106 Шліцешліфувальна	3451А	320,23	302	302	30877	3084	3225
Всього			2211	2211	423951	23751	9543

Економічний ефект від впровадження прийнятого варіанта ТП розраховується по формулі:

$$E = (Z_{\text{баз}} - Z_{\text{пр}}) \cdot N, \quad (3.28)$$

де $Z_{\text{баз}}$ – наведені витрати по базовому варіанті ТП; $Z_{\text{пр}}$ – наведені витрати по проєктованому варіанті. Розрахуємо наведені витрати для базового й прийнятого техпроцесу. Економічний ефект від впровадження прийнятого варіанта ТП:

$$E = (74464,30 - 39409,014) \cdot 5000 = 2695000 \text{ грн.}$$

3.5. Призначення припусків та міжопераційних розмірів проектування заготовки

Розрахунок припусків на механічну обробку проводиться розрахунково-аналітичним методом і по таблицях відповідно до джерела [21].

Розраховуємо припуски на обробку й проміжні граничні розміри для поверхні під підшипник діаметром $60^{+0,021}_{+0,002}$ і зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок припусків на обробку поверхні діаметром $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$

Технологічні переходи обробки $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_{ϕ} , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні розміри припуску, мм	
	R_z	T	ρ				d_{max}	d_{min}	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
1. Поковка	150	250	1987	–	65,674	3600	69,3	65,7	–	–
Точіння										
2. Попереднє	50	50	119	2·2387	60,9	300	61,2	60,9	8,1	4,8
3. Чистове	30	30	100	2·219	60,462	190	60,65	60,46	0,55	0,438
Шліфування										
4. Попереднє	10	20	40	2·160	60,142	46	60,188	60,142	0,462	0,32
5. Чистове	3,2	15	–	2·70	60,002	19	60,021	60,002	0,167	0,14
Всього									9,279	5,698

В таблиці 3.4 наведено результат розрахунку припуску торця розміру $309_{-1,3}$. Технологічний маршрут обробки складається з однократного фрезерування.

Таблиця 3.4. Розраховуємо припуск торця розміру $309_{-1,3}$

Технологічні переходи обробки поверхні $309_{-1,3}$	Елементи припуску, мкм				$2Z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір l_{ϕ} , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничне значення припуску, мм	
	R_z	T	ρ	ϵ				l_{min}	l_{max}	$2Z_{min}^{IP}$	$2Z_{max}^{IP}$
1. Заготівля	150	250	250	–	–	309,22	3600	309,3	312,9	–	–
2. Фрезерування однократне	50	50	15	110	2·760	307,7	1300	307,7	309	1,6	3,9
Разом:									1,6	3,9	

3.6. Вибір ріжучого та вимірювального інструмента

Матеріал ріжучої частини інструмента – твердий сплав T15K6. Геометричні

параметри ріжучої частини інструмента: $\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 40^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 6^\circ$.

Розміри шліфувального круга (нового) приймаємо по паспорті верстата [9]: діаметр круга $D_K = 600$ мм; $B_K = 63$ мм.

В якості вимірного інструменту використовують електронний штангенциркуль.

3.7. Розрахунок режимів різання.

Розрахуємо режими різання на точіння й шліфування поверхні діаметром $60_{+0,002}^{+0,021}$. Розраховуємо режими різання на чистове точіння [22].

Глибину різання приймаємо: $t = 0,5$ мм.

Швидкість різання визначається по емпіричній формулі:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,51^{0,35}} \cdot 1,25 = 270,9 \text{ м/хв.} \quad (3.33)$$

де C_v – табличний коефіцієнт; T – стійкість інструмента, хв.; K_v – коригувальний коефіцієнт на швидкість різання. Усі коефіцієнти вибираємо з [22, с.261-268]. Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 270,9}{3,14 \cdot 60,7} = 1000 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо силу різання:

$$\begin{aligned} P_z &= 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p = \\ &= 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,51^{0,75} \cdot 270,9^{-0,15} \cdot 0,87 = 340 \text{ Н} \end{aligned} \quad (3.34)$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{340 \cdot 270,9}{1020 \cdot 60} = 1,51 \text{ кВт.} \quad (3.35)$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{L_{\text{рх}}}{S_o \cdot n} = \frac{144}{0,51 \cdot 1421} = 0,2 \text{ хв.} \quad (3.36)$$

$$L_{\text{рх}} = L_{\text{різ}} + y = 142 + 2 = 144 \text{ мм,} \quad (3.37)$$

де $L_{\text{різ}}$ – довжина різання, приймається рівній довжині обробленої поверхні в напрямку подачі, мм; $L_{\text{різ}} = 142$ мм; y – довжина підведення, врізання й перебіг інструменту.

Для чистової обробки довжина підведення дорівнює 2 мм. Довжини врізання

й перебіг інструменту дорівнюють нулю, тому що кут $\varphi = 90^\circ$.

Розраховуємо режими різання на шліфування чистове поверхні діаметром $60_{+0,002}^{+0,021}$ [22, с.261-268]. Вибір характеристик шліфувального круга по [22, с.261-268]: 23A50НСМ27К1.

Визначення частоти обертання круга:

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi \cdot D_k} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 50}{3,14 \cdot 600} = 1593 \text{ об/хв}, \quad (3.38)$$

де $V = 50$ м/с. - швидкість обертання кола, м/с; D_k – діаметр круга, мм.

частоти обертання деталі: $n_{\text{вир}} = 200$ об/хв.

Визначення хвилинної поперечної подачі:

$$S_{\text{поп.р.}} = S_{\text{поп.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 0,48 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,67 \text{ мм/хв}. \quad (3.39)$$

де $S_{\text{поп.}}$ - нормативна хвилинна поперечна подача, мм./хв.;

Усі коефіцієнти самі собі виберіть з книжки [22, с.261-268]. Визначення основного технологічного часу:

$$T_o = \frac{z}{S_{\text{поп.р.}}} = \frac{0,15}{0,67} = 0,22 \text{ хв}. \quad (3.40)$$

Режими різання на обробку інших поверхонь вибираємо з тих самих таблиць і зводимо їх у нову таблицю 3.5.

Таблиця 3.5. Режими різання

Номер операції	Найменування операції, переходу	Глибина різання t , мм	Довжина різання L , мм	Подача S_o , м/об.		Швидкість V , м/хв		Част.оберт. n , хв ⁻¹		Хвилинна подача $S_{\text{поп.р.}}$, мм/хв.	Основний час t_o , хв.
				розрахункова	прийнята	розрахункова	прийнята	розрахункова	прийнята		
005	Горизонтально-розточувальна										
	1. Фрез. торець	0,85	150	0,8	0,8	100,5	100,5	400	400	320	0,47
	2. Центр. торець	3,15	10	0,2	0,2	28	28	1415	1415	283	0,02
	3. Фрез. торець	0,85	150	0,8	0,8	100,5	100,5	400	400	320	0,47
	4. Центр. торець	3,15	10	0,2	0,2	28	28	1415	1415	283	0,02
025	Багатоцільова із ЧПУ										
	1. Гочіння чорнове:										
	Ø45-0,62	2,5	39	0,8	0,8	90	250	1769	1769	1415	0,23
	Ø63-0,74	2,5	43	0,8	0,8	125	250	1264	1264	1011	0,25

025	2. Точіння чистове:											
	Ø41,8-0,29	0,5	39	0,51	0,51	270	270	2057	2057	1049	0,11	
	Ø60,7-0,19	0,5	43	0,51	0,51	270	270	1416	1416	722	0,12	
	фаска 2,3×45°	0,5	2,3	0,51	0,51	270,9	270,9	1421	1421	725	0,003	
	канавка 5+0,3	5	3,6	0,15	0,15	186,8	186,8	1000	1000	150	0,02	
	канавка 4,5	4,5	4,4	0,13	0,13	123	122,5	1000	1000	130	0,03	
Різь М42×2	2	36	2	2	106	105,5	800	800	1600	0,03		
025	3. Свердління:											
	2 отв. Ø6+0,3	3	46,8	0,15	0,15	26,5	26,5	1400	1400	210	0,45	
	4. Зенківка:											
	2 фаски 1×45°	0,5	4	0,08	0,08	9,5	9,5	500	500	40	0,2	
025	5. Точіння чорнове:											
	Ø45-0,62	2,5	32	0,8	0,8	250	250	1905	1905	972	0,23	
	Ø63-0,74	2,5	145	0,8	0,8	250	250	1312	1312	669	0,25	
	Ø85-0,87	2,5	70	0,8	0,8	250	250	937	937	750	0,22	
025	6. Точіння чистове:											
	Ø41,8-0,29	0,5	32	0,51	0,51	270	270	2057	2057	1049	0,11	
	Ø60,7-0,19	0,5	145	0,51	0,51	270	270	1416	1416	722	0,12	
	Ø80,7-0,22	0,5	70	0,51	0,51	270	270	1066	1066	544	0,10	
	фаска 2,3×45°	0,5	2,3	0,51	0,51	271	271	1421	1421	725	0,003	
	канавка 5+0,3	5	3,6	0,15	0,15	187	187	1000	1000	150	0,02	
	канавка 4,5	4,5	4,4	0,13	0,13	123	123	1000	1000	130	0,03	
	різьМ42×2	2	29	2	2	106	106	800	800	1600	0,03	
	7. Фрез. Шліц 9,4+0,11	8,6	105	2,25	2,25	11	11	33,4	33,4	75,2	117	
	8. Фрезерування шліц 12,4+0,11	11,7	64	2	2	15	15	42,7	42,7	85,4	80,3	
	9. Свердління:											
		2 отв. Ø6+0,3	3	46,8	0,15	0,15	26,5	26,5	1400	1400	210	0,45
	10. Зенківка:											
		2 фаски 1×45°	0,5	4	0,08	0,08	9,5	9,5	500	500	40	0,2
040	10. Токарно-гвинторізна											
	Дрифт. центр. отв.	-	3	-	-	3,8	3,8	200	200	-	1,0	
045	11. Круглошліфувальна											
	Шліфувати:											
	Ø60 ^{+0,021} _{+0,002}	0,15	0,15	0,67	0,67	50	50	200	200	-	0,22	
	Ø80±0,01	0,20	0,20	0,67	0,67	50	50	200	200	-	0,30	
	Ø60 ^{+0,021} _{+0,002}	0,15	142	0,003	0,003	50	50	200	200	7440	0,95	
050	12. Шліцьошліфувальна											
	Шліфувати шліці 9 ^{-0,03} _{-0,09}	0,2	103	0,01	0,01	6	6	-	-	200	284,1	
055	13. Шліцьошліфувальна											
	Шліф. шліці 12 ^{-0,03} _{-0,09}	0,2	64	0,01	0,01	6	6	-	-	200	284,1	

3.8. Нормування часу.

Технічні норми часу в умовах якогось виробництва розраховуються розрахунково-аналітичним методом, викладеним в [22, с.261-268] або в інших підручниках по технологіях машинобудування. Його суть полягає у визначенні всіх складових поштучно-калькуляційного часу.

У серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу визначається по формулі, як і все решта [22, с.261-268] :

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт}, \quad (3.41)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заклучний час; $T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

Прощу собі поглядіти в якусь книжку з нормами часу, а ми рахуємо по [22, с.261-268].

Розрахунки норм часу по всіх операціях ми звели у таблицю 3.6

Таблиця 3.6. Розрахунки норм часу

№ операції	Назва операції	Основний час T_e	Допоміжний час $T_{д}$			Оперативний час, $T_{оп}$	Час на обслуговування і на відпочинок	Штучний час $T_{шт}$	Підготовчо - заклучний час $T_{п-з}$	Величина партії n	Штучно - калькуляційний час $T_{шт-к}$
			$T_{мс}$	$T_{у}$	$T_{вз}$						
005	Фрезерно-центрувальна	0,98	0,08	0,15	0,23	1,83	0,15	1,98	16	24	2,64
025	Багатоцільова із ЧПУ	200,51	0,13	0,05	1,78	204,14	13,27	217,40	12	24	217,90
040	Токарно-гвинторізна	1,0	0,3	0,19	0,1	2,09	0,13	2,22	6	24	2,47
045	Круглошліфувальна	2,5	0,15	0,12	0,42	3,78	0,23	4,00	7	24	4,29
050	Шліфувальна	284,1	0,15	0,18	0,27	285,21	34,23	319,44	20	24	320,27
055	Шліфувальна	284,1	0,15	0,16	0,27	285,17	34,22	319,39	20	24	320,23

4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату

Напівавтомати токарні патронно-центрові мод.1740РФ3 (рис.4.1.) призначені для токарної обробки в патроні або центрах деталей складної конфігурації з великою кількістю технологічних переходів в умовах різних видів виробництв.

Похиłe компонування напівавтомата забезпечує зручний доступ до інструментів, полегшує установку оброблюваного виробу й створює гарні умови сходу й збирання стружки. Висока жорсткість напівавтомата, велика потужність головного приводу й висока частота обертання шпинделя забезпечують використання як твердосплавного, так і мінералокерамічного різального інструменту, що дозволяє за один встановлення виробу виконати чорнову й чистову обробку.

Головний привід верстата оснащений регульованим електродвигуном постійного струму. Перемикання частот обертання шпинделя у всіх діапазонах повністю автоматизоване й здійснюється від команди пристрою ЧПУ.

Приводи подачі супорта в поздовжньому й поперечному напрямках здійснюється від серводвигунів постійного або змінного струму з датчиками зворотного зв'язку й високоточних кулькових гвинтових пар, що дозволяє досягти високу точність і чистоту обробки.

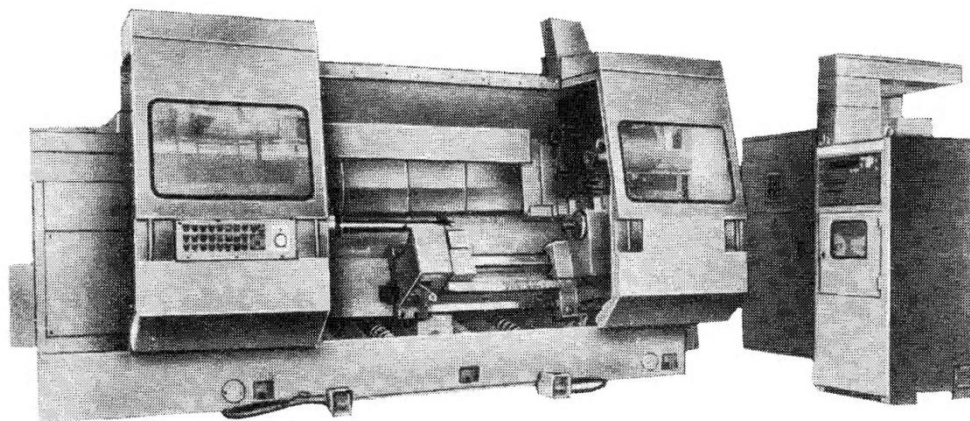


Рисунок 4.1. Зовнішній вигляд токарного напівавтомата 1740РФ30

Напівавтомат оснащений 12-позиційною інструментальною головкою, яка має на планшайбі базові отвори для кріплення різцедержавок із циліндричним

ХВОСТОВИКОМ.

Для обробки нежорстких деталей напівавтомат оснащують двома швидкозмінними головками, а на замовлення ще й кронштейном люнета, на якому закріплюється швидкозмінний автоматичний люнет з діапазоном затискання від 40...160 або 120...250мм.

Задня бабка й кронштейн люнета переміщуються супортом, це дозволяє проводити зовнішню обробку деталей типу вала в центрах, а потім, затиснувши правий кінець деталі люнетом і відвівши задню бабку, можна здійснювати розточувальні роботи за один установ деталі.

Перемикання частот обертання шпинделя у всьому діапазоні швидкостей повністю автоматизоване й здійснюється від командоапарата числового програмного керування. Змащення шпиндельної бабки циркуляційне й здійснюються за допомогою спеціальної станції змащування. Мащення напрямних станини і супорта автоматично здійснюється від окремої станції за допомогою дозаторів.

4.2. Кінематичний розрахунок токарного напівавтомата 1740РФЗ

4.2.1. Кінематичний розрахунок приводу головного руху.

Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною $d_{\max} = 630$ мм, а над супортом $d = 420$ мм.

Приймаємо привод з безступінчастим регулюванням швидкості комбінованим способом. Структура привода: регульований електродвигун постійного струму, коробка діапазонів і шпиндельний вузол.

По каталозі з урахуванням потужності приймаємо електродвигун 4ПФ200L: потужність 37 кВт; $n_{\max} = 2500$ хв⁻¹; $n_{\text{ном}} = 500$ хв⁻¹.

Визначаємо діапазон регулювання:

$$R_{E.N=const} = \frac{n_{\text{эmax}}}{n_p \frac{2300}{96}}$$

де n_p – мінімальна частота обертання шпинделя, при якій передається потужність електродвигуна:

$$n_p = n_{\min} \sqrt[3]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = 20 \sqrt[3]{\frac{2300}{200}} = 96 \text{ об}^{-1}.$$

$R_{np.N=const} > R_{Э.N=const} \Rightarrow$ потрібна коробка діапазонів.

$$R_{np.N=const} = R_{E.N=const} \cdot R_{к\delta}$$

$$R_{к\delta} = \frac{R_{np.N=const}}{R_{E.N=const}} = \frac{23,95}{5} = 4,79.$$

$R_{к\delta} < 8, \Rightarrow$ можна застосувати одну групову коробку діапазонів.

Визначення числа ступенів коробки діапазонів:

$$z_{к\delta} = \frac{\lg R_{np.N=const}}{\lg R_{E.N=const}} = \frac{\lg 23,95}{\lg 5} = 2,027.$$

Приймаємо $z_{к\delta}=2$. Визначаємо $\phi_{к\delta}$:

$$\phi_{к\delta} = \sqrt[z_{к\delta}-1]{R_{к\delta}} = R_{к\delta} = 4,79.$$

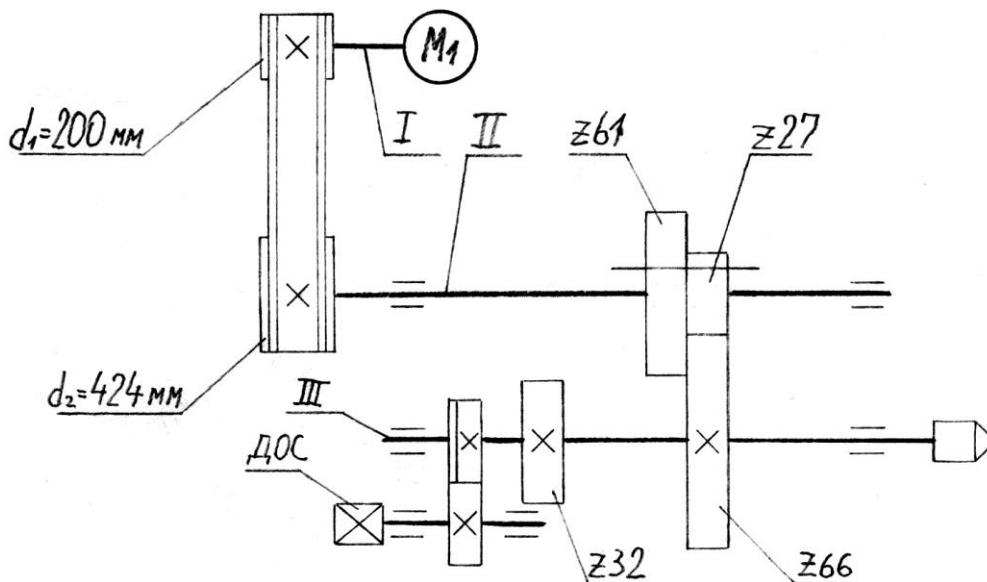


Рисунок 4.2. Кінематична схема привода головного руху

$$i_p = \frac{d_{200}}{d_{424}} = 0,472;$$

$$i_1 = \frac{z_{27}}{z_{66}} = 0,409;$$

$$i_2 = \frac{z_{61}}{z_{32}} = 1,906$$

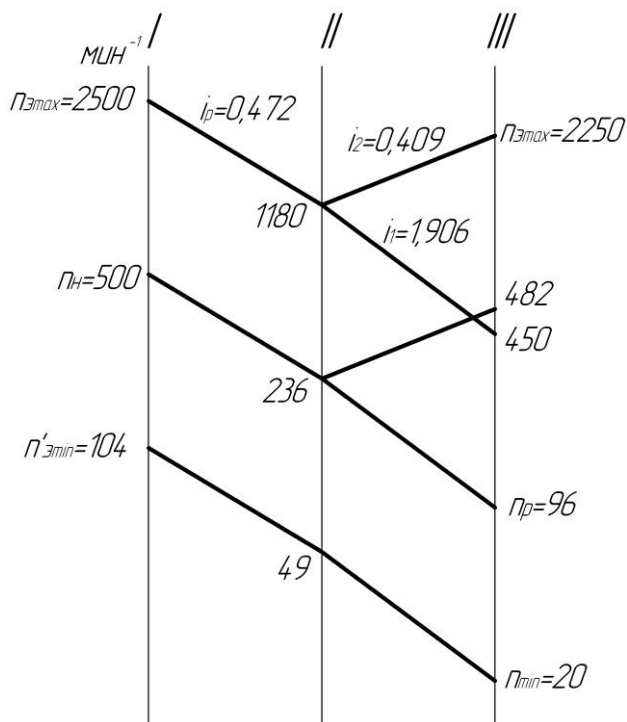


Рис. 4.3. Графік частот обертання

4.2.2. Розрахунок модуля зубчастих коліс:

Основними причинами виходу з ладу зубчастих коліс є утома поверхневих шарів зубів, їхнє зношування змінання торців зубів, поломка зубів від утоми й перевантажень. Тому при розрахунку зубчастих передач модуль зубчастих коліс визначається як з міцності зуба на вигин ($m_{изг}$), так і з утоми поверхневих шарів ($m_{нов}$).

Для сталевих циліндричних коліс із прямими зубами зазначені модулі визначаються по формулах:

$$m_{изг} = 10^3 \sqrt{\frac{1950}{z\psi\sigma_{изг}} \times \frac{kN}{n}}; \quad m_{нов} = \frac{10^3}{z} \sqrt{\left(\frac{6800}{\sigma_{нов}}\right)^2 \cdot \frac{i+1}{i\psi_0} \cdot \frac{kN}{n}}$$

де N – потужність, передана валом, $N = 37$ кВт;

n – частота обертання вала, $n = 2250$ хв-1;

$Z = 32$ – число зубів меншого колеса в розрахунковому ланцюзі;

ψ – коефіцієнт ширини, що враховує співвідношення ширини зубчастого колеса "b" і його модуля "m", $\psi = 8$; $v = 0,268$ – коефіцієнт форми зуба;

$\psi_0 = 0,7$ – коефіцієнт, що враховує симетричність розташування шестірні на валу й твердість вала; $i = 0,409$ – передатне відношення по розрахунковому ланцюзі.

Коефіцієнт навантаження дорівнює: $k = k_d \cdot k_k \cdot k_p$

де $k_d = 1,4$ – коефіцієнт динамічного навантаження;

$k_k = 1,2$ – коефіцієнт концентрації навантаження;

$k_p = 0,585$ – коефіцієнт режиму роботи.

$$k = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 0,585 = 0,983$$

Допустима напруга згину у кг/см^2 знаходять так:

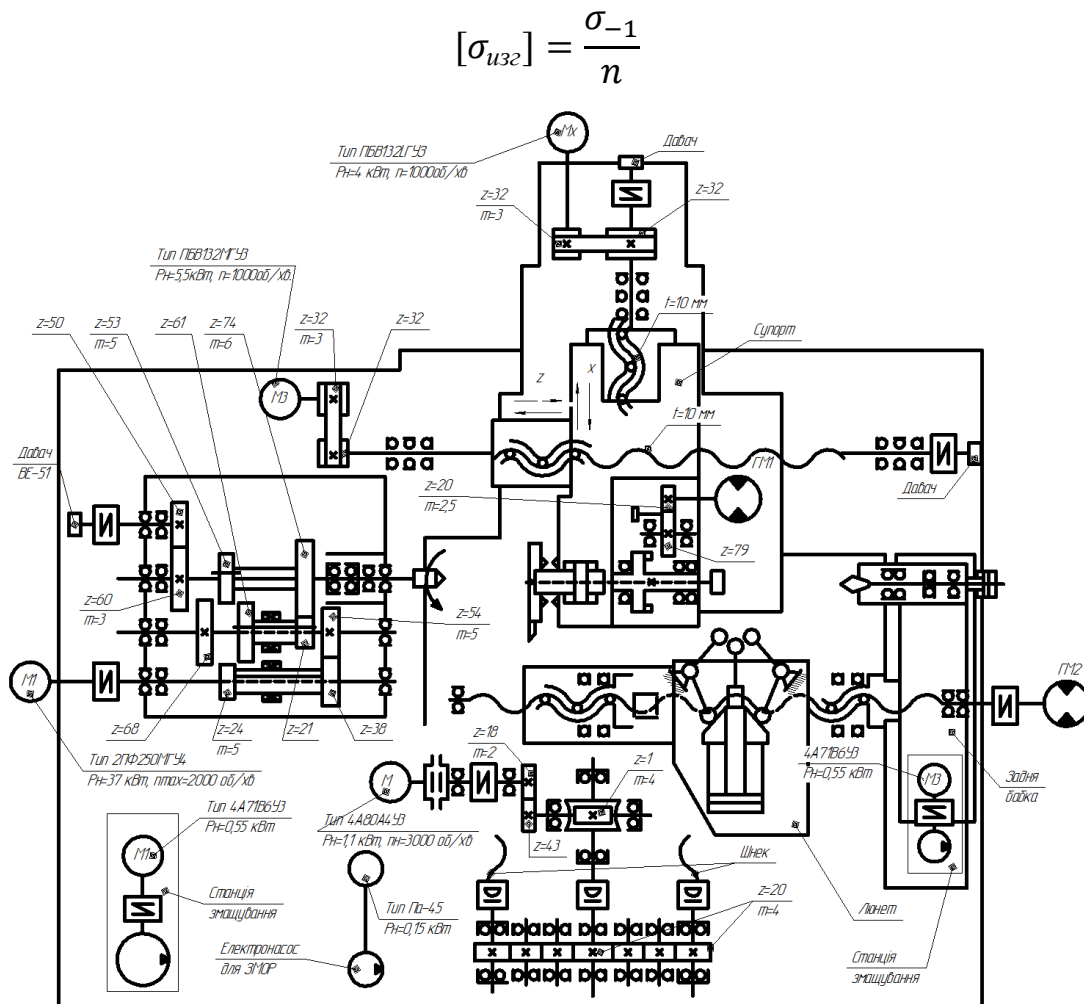


Рисунок 4.4. – Кінематична схема верстата 1740 РФЗ

де σ_{-1} – границя витривалості матеріалу зубів при вигині із симетричним циклом навантаження, $\sigma_{-1} = 5600 \text{ кг/см}^2$; $n = 2$ – запас міцності.

$$[\sigma_{изг}] = \frac{5600}{2} = 2800 \text{ кг/см}^2$$

Допустима контактна напруга стиску:

$$[\sigma_{нов}] = C_R \cdot HRC \cdot k_p = 230 \cdot 40 \cdot 0,585 = 5382 \text{ кг/см}^2$$

$$m_{изг} = 10^3 \sqrt[3]{\frac{1950}{32 \cdot 8 \cdot 0,268 \cdot 2800} \times \frac{0,983 \cdot 37}{2250}} = 0,54 \text{ см} = 5,4 \text{ мм}$$

$$m_{нов} = \frac{10^3}{32} \sqrt[3]{\left(\frac{6800}{5382}\right)^2 \cdot \frac{0,409 + 1}{0,409 \cdot 0,7} \cdot \frac{0,983 \cdot 37}{2250}} = 0,28 \text{ см} = 2,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $m = 5,5 \text{ мм}$.

4.2.3. Проектування шпиндельного вузла

Вихідними даними при проектуванні шпиндельного вузла є:

- потужність двигуна головного руху - 37 кВт;
- максимальна частота обертання шпинделя – 2250 хв⁻¹;
- допуск на радіальне биття переднього кінця шпинделя по нормах точності верстата - 8 мкм.

1. Визначення конструктивних параметрів шпиндельного вузла:

Основним конструктивним параметром приймають діаметр шпинделя в передній опорі - $d_{ш}$.

$$d_{ш} = \frac{N_{эф.мах}}{0,15 \dots 0,35 \frac{37}{0,15} \frac{37}{0,35}} \text{ мм};$$

З урахуванням типорозміру верстата й попереднього компоновки шпиндельного вузла приймаємо $d_{ш} = 140$ мм.

$d_{з.об}$ – діаметр задньої опори: $d_{з.про} = 100$ мм; $d_{с.р}$ – середній діаметр шпинделя: $d_{с.р} = 120$ мм; $d_{н.до}$ – діаметр передньої консолі: $d_{н.до} = 245$ мм; $d_{отв}$ – діаметр отвору: $d_{отв} = 72$ мм; c – відстань від передньої опори до передньої консолі: $c = 112$ мм;

l – міжопорна відстань: $l = 540$ мм;

a – відстань передньої консолі: $a = 210$ мм.

2. Типова схема опор шпинделя визначається виходячи зі значення параметра швидкохідності шпинделя:

$$d_{ш} \cdot n \text{ мм/хв}^{-1}_{мах}$$

Приймаємо схему з $d_{ш} \cdot n$ до $5 \text{ мм/хв}^{-1}_{мах}$

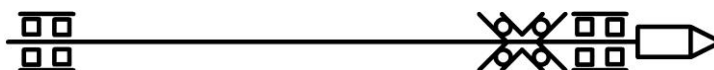


Рисунок 4.5.- Типова схема опор шпиндельного вузла

Визначаємо схему навантаження шпиндельного вузла:

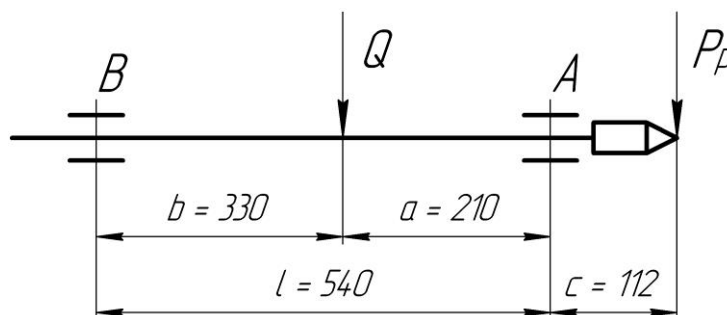


Рисунок 4.6. Схема навантаження шпиндельного вузла

4. Визначення сил навантаження шпинделя:

$$P_p = \sqrt{P_y + P_z}, \text{ Н}$$

$$Q = \frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot M}{d_{пр.кол.}}, \text{ Н}$$

де P_y й P_z - радіальна й тангенціальна складові сили різання для самого малонавантаженого виду обробки; M – момент на шпинделі при чистовому режимі обробці. У нашому випадку це чистове розточування: $P_y = 52$ Н, $P_z = 71$ Н, $M_{кр} = 2$ Н·м; $d_{пр.кол.}$ - дільний діаметр приводного колеса, $d_{пр.кол.} = m \cdot z = 32 \cdot 5,5 = 176$ мм.

$$P_p = \sqrt{52 + 71} = 88 \text{ Н}$$

$$Q = \frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot 2}{176} = 25 \text{ Н}$$

Реакції в опорах:

$$R_a = (Q \cdot b + P \cdot (b + a + c)) / (b + a);$$

$$R_a = (25 \cdot 330 + 88 \cdot (330 + 210 + 112)) / (330 + 210) = 0,12 \text{ кН};$$

$$R_b = (Q \cdot a - P \cdot c) / (b + a);$$

$$R_b = (25 \cdot 210 - 88 \cdot 112) / (330 + 210) = -0,01 \text{ кН}.$$

По довіднику підбираємо наступні підшипники:

- Передня опора (А)

- **Модель: 3182128**

Внутрішній діаметр: 140 мм

Зовнішній діаметр: 210 мм

Ширина підшипника: 53 мм

Статична вантажопідйомність: 233000 Н

- **Модель: 178828**

Внутрішній діаметр: 140 мм

Зовнішній діаметр: 210 мм

Ширина підшипника: 84 мм

Статична вантажопідйомність: 280000 Н

- Задня опора (В)

- **Модель: 3182120**

Внутрішній діаметр: 100 мм

Зовнішній діаметр: 150 мм

Ширина підшипника: 37 мм

Статична вантажопідйомність: 12800 Н

5. Розрахунок шпинделя на жорсткість:

Жорсткість опор шпинделя визначається за графіком. $J_a = 2379,18$ Н/мкм, $J_b = 2181,82$ Н/мкм.

Прогин переднього кінця шпинделя відповідно до обраної схеми визначається по формулі:

$$y = P \left[\frac{(b+a+c)^2}{J_a 1000(b+a)^2} + \frac{c^2}{J_b 1000(b+a)} + \frac{c^3}{3EI_{unn}} + \frac{(b+a)c^2}{3EI_{unn}} \right] - Q \left[\frac{b+a+cb}{J_a 1000(b+a)^2} - \frac{ac}{J_b 1000(b+a)^2} - \frac{abc(a+2b)}{1200I_{unn}(b+a)} \right], \text{ мкм}$$

$$y = P \left(\frac{(b+a+c)^2}{J_a \cdot 1000(b+a)^2} + \frac{c^2}{J_b \cdot 1000(b+a)} + \frac{c^3}{3EI_{unn}} + \frac{(b+a)c^2}{3EI_{unn}} \right) - Q \left(\frac{b+a+cb}{J_a 1000(b+a)^2} - \frac{ac}{J_b 1000(b+a)^2} - \frac{abc(a+2b)}{1200I_{unn}(b+a)} \right), \text{ мкм}$$

$$y = P \left(\frac{(b+a+c)^2}{J_a 1000(b+a)^2} + \frac{c^2}{J_b 1000(b+a)} + \frac{c^3}{3EI_{unn}} + \frac{(b+a)c^2}{3EI_{unn}} \right) - Q \left(\frac{b+a+cb}{J_a 1000(b+a)^2} - \frac{ac}{J_b 1000(b+a)^2} - \frac{abc(a+2b)}{1200I_{unn}(b+a)} \right), \text{ мкм}$$

де J_a й J_b - жорсткості опор А і В, Н/мм; I_{unn} - усереднений момент інерції шпинделя, мм⁴; E - модуль пружності матеріалу шпинделя, МПа; b й a - відстані від межопорної сили відповідно до опор А і В; c - довжина консолі, мм; P - сила різання, Н; Q - сила від приводного елемента, Н.

$$y = 88 \left(\frac{(330 + 210 + 112)^2}{2379,18 \cdot 1000 \cdot (330 + 210)^2} + \frac{112^2}{2181,82 \cdot 1000 \cdot (330 + 210)} \right. \\ \left. + \frac{112^3}{600 \cdot 18,85 \cdot 10^6} + \frac{(330 + 210) \cdot 112^2}{600 \cdot 18,85 \cdot 10^6} \right. \\ \left. - 25 \left[\frac{330 + 210 + 112 \cdot 330}{2379,18 \cdot 1000 \cdot (330 + 210)^2} - \frac{210 \cdot 112}{2181,82 \cdot 1000 \cdot (330 + 210)^2} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{210 \cdot 330 \cdot 112 \cdot (210 + 2 \cdot 330)}{1200 \cdot 18,85 \cdot 10^6 \cdot (330 + 210)} \right) \right) = 0,063 \text{ мкм}$$

Кут повороту переднього кінця шпинделя визначається по формулі:

$$\theta = \frac{P \cdot (b + a) \cdot c + Q \cdot b \cdot a \cdot \frac{2b + a}{2 \cdot (b + a)}}{3 \cdot E \cdot I_{unn}}, \text{ рад}$$

$$\theta = \frac{88 \cdot (330 + 210) \cdot 112 + 25 \cdot 330 \cdot 210 \cdot \frac{2 \cdot 330 + 210}{2 \cdot (330 + 210)}}{6 \cdot 10^8 \cdot 18,85 \cdot 10^6} = 5,94 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$$

Значення у порівнюємо із граничним припустимим значенням $[y]$.

$$y \leq [y]$$

$$[y] = 1/3\Delta$$

де $\Delta = 8 \text{ мкм}$ – радіальне биття шпинделя.

$$[y] = 8/3 = 2,7 \text{ мкм}$$

$0,063 < 2,7$ - умова виконується.

6. Розрахунок шпиндельного вузла на вібростікість :

Визначаємо власну частоту шпиндельного вузла:

$$\omega_c = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{unn}}{m \cdot \left(1 + \frac{l}{c}\right)^3 \cdot c^2}} = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 18,85 \cdot 10^6}{73,7 \cdot \left(1 + \frac{4,82}{112}\right)^3 \cdot 112^2}} = 345,03 \text{ с}^{-1}$$

де m – маса шпинделя.

Визначаємо змушену частоту шпиндельного вузла:

$$d_0 = 10^{-5} \mu l^2 KV_{XX}/P, \text{ с}^{-1}$$

Визначаємо на скільки відсотків вони відрізняються:

$$\frac{\omega_c - \omega_e}{\omega_c} \cdot 100 \% \geq 25 \dots 30 \%$$

$$\frac{345,03 - 235,5}{345,03} \cdot 100 \% = 46,51 \% > 25 \dots 30 \%$$

4.3. Конструкція та розрахунок нахиленої станини.

4.3.1. Опис конструкції

Станина відноситься до несучих вузлів верстата, на якому монтують деталі та вузли верстата. Відносно неї орієнтуються і переміщуються рухомі деталі і вузли. Станина, як і інші елементи несучої системи, повинна забезпечувати задану точність протягом усього терміну служби верстата, Це досягається правильним вибором матеріалу станини, формою і технології її виготовлення для забезпечення необхідної жорсткості, вібростійкості і зносостійкості напрямних. Форма перерізу типових горизонтальних станин (рис. 4.4) визначається багатьма факторами, описаними в [26].

Станини розраховують на жорсткість і температурні деформації. Жорсткість визначає похибки обробки і характеризується величиною зміщення інструменту відносно заготовки. Вона визначає також працездатність механізмів верстата, яка залежить від розподілу тиску в з'єднаннях.

Жорсткість базових деталей визначається власною їх жорсткістю на згин, кручення, зсув тощо [26].



Рисунок 4.4. Типовий переріз нахилених станин

4.3.2. Автоматизоване проектування та розрахунок станини

Як правило, для розрахунку пружних деформацій верстата використовують методику описану в [26], [28], а нахилену станину розглядають як горизонтальну станину. Можна застосувати ту ж саму методику (рис.4.5). Конструктивні елементи, як ребра жорсткості можуть бути і відсутні, а сам корпус мати станину закритою контура.

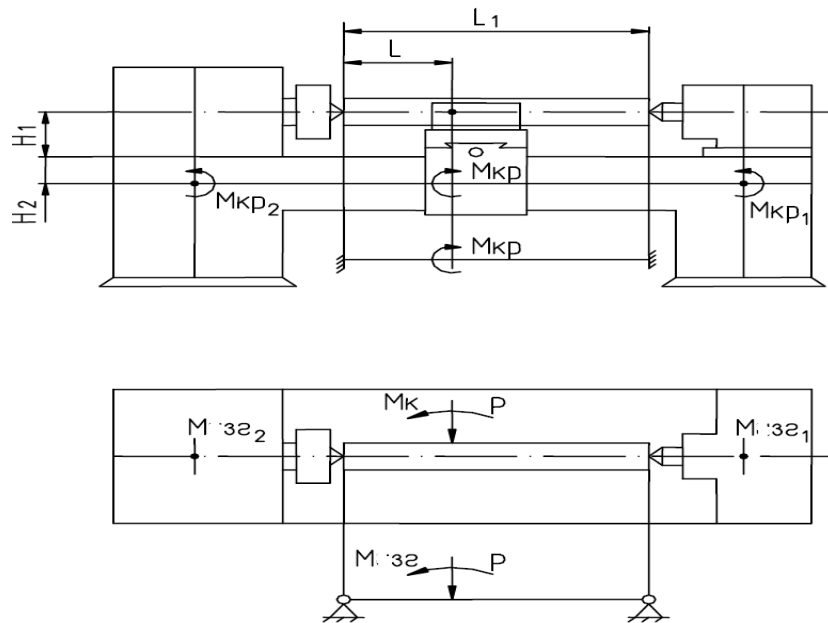


Рисунок 4.5. Розрахункова схема для визначення пружних переміщень

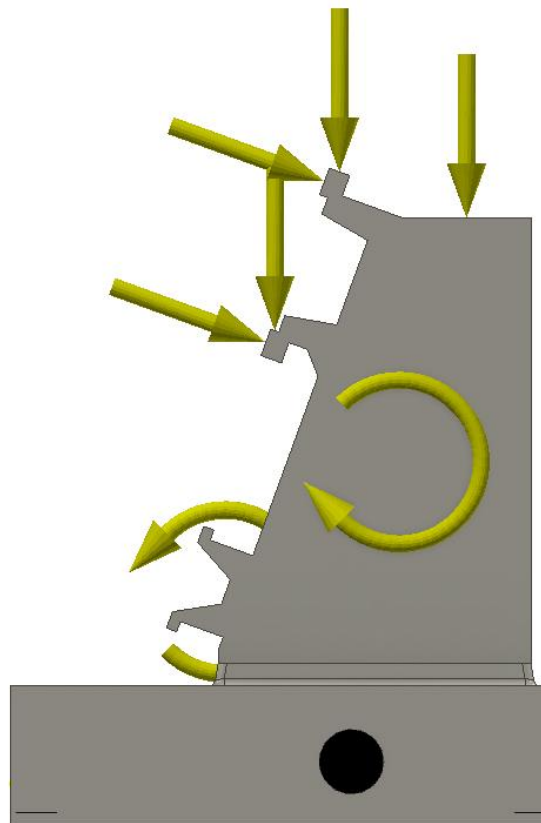


Рисунок 4.6. Поперечне січення 3D моделі станини верстата 1740РФЗ

Для розрахунку станини попередньо складають розрахункову схему (рис.4.5) з діючим навантаженнями. Деформацію визначають з використанням наближених формул. Ґрунтуючись на методиці описаній в [26], [28] було проведено автоматизований розрахунок жорсткості проектованої станини в пакеті Mathcad [29], який подано у Розділі 6.

5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

5.1. Мета проведення досліджень

Мету, завдання, об'єкт і предмет магістерського дослідження описано на початку цієї роботи.

Показник жорсткості є одним з найважливіших показників якості верстата, який вагомо впливає працездатність верстата і його механізмів. Відповідно й на такі вихідні показники як швидкохідність, енергетична ефективність, надійність і витривалість. Точність верстата у кінцевому результаті це точність виробів.

Розвиток верстатобудування постійно пов'язаний прагненням до точності, маючи на увазі, в процесі роботи і під навантаженням. Вирішення проблем точності у верстатів є першочерговим завданням. Деталі верстатів повинні бути взаємозамінними, що забезпечуватиме зростання роботи в машинобудуванні. Зростання точності металообробного обладнання покращує їх продуктивність через зменшення кількості робочих ходів, оптимізуванні режимів оброблення, зменшенню фінішних операцій.

Як відомо жорсткість впливає на точність системи ВПД, відповідно й на вібростійкість і т.д. Чим система ВПД жорсткіша, тим краща точність. Виходячи з описаного можна припустити, що чим більше рухомих частин у верстата, тим точність менша.

Верстат є динамічною системою, який не повинен змінювати точність в під навантаженнями, а навпаки – повинен її зберігати. Найважливіша властивість це динамічна стійкість машини а саме здатність верстата постійно повертатися у стаціонарне положення під дією зовнішніх чи внутрішніх факторів. І тоді ми можемо стверджувати що система динамічно стійка. Під системою ми розуміємо верстат. І при цьому всьому повинно виконуватися важливі умови:

- Оброблення має виконуватися на заданих режимах різання і з запрограмованою точністю, а розміри повинні відповідати кресленням;
- верстат як складна машина, повинен бути простий та інтуїтивно зрозумілий в роботі щоденно, повинна бути продумана ергономіка робочого місця, бо від цього залежить, як це не дивно психологічний стан

верстатника). А при тривалому терміні служби бути ремонтпридатним.

5.2. Аналіз результатів попередніх досліджень

Точність верстатів є головним експлуатаційним показником, який свою точність переносить на виріб. Точність залежить від багатьох параметрів, які у більшості не видно людському оку, наприклад теплові деформації або мікродеформації. Їх можна визначити лише з використанням спеціальним вимірювальним приладів. При проектуванні МРВ інженери повинні вирішити 3 важливих завдання:

- Забезпечити міцність і жорсткість конструкції;
- Конструкція повинна бути метало ефективна;
- Верстат повинен бути конкурентним.

Збільшення або покращення однієї із цих характеристик невпинно піднімає ціну обладнання. Тому інженери повинні вирішувати питання точності комплексно.

Дослідженням точності верстатів присвячено багато праць, зокрема і українських вчених Литвина О.В., Кравця О.М., Струтинського В.Б. Київська наукова школа розробила унікальну методику і випробувала її при дослідженні шпинделів та супортів токарних верстатів, які визначають не лінійні характеристики жорсткості. Ця методика випробувана на продукції київського заводу токарних автоматів «Веркон». В основу методики покладено використання багатоциклового знакозмінного статичного навантаження шпинделя в зоні різання в напрямку вектора динамічної складової сили різання. Модуль знакозмінного навантаження не перевищує максимальної зміни динамічної складової сили різання.

Є багато теоретичних досліджень щодо проблем, які впливають на процес обробки і описано можливі методи боротьби з негативним впливом. Внутрішні коливання, або власні коливання можуть створювати явище резонансу, що негативно впливає не лише на процес обробки, а й на працівника. Створено математичні моделі прогнозування динамічної стійкості технічних систем.

Саме цим проблемам присвятили праці Врагов Ю.Д., Ковальов В.Д., а

Камінська В.В. багато праць присвятила розрахунку жорсткості корпусних деталей і станин, Решетов Д.Н. – розрахунку верстатів загалом, Кузнєцов Ю.Н. – розробці затискних цангових пристроїв, адаптивним різальним системам – Луців І.В.. Багато інших вчених як, зокрема Маталін А.А., Митрофанов С.П., Соломенцев Ю.М., Пуш В.Е., Трушин Н.Н., Черпаков Б.І., Чуліков Е.И., Шарін Ю.С., Федотов А.И., Y.Altintas, R.N.Arnold, S.T.Chiriacescu, S.Doi, R.S.Hahn, S. Kato, S.A. Tobias, J. Plusty, W. Fishwick зробили внесок в інженерну науку верстатобудування та ін.

На основі джерел встановлено, що на точність верстата в процесі обробки впливають такі фактори:

- зношення інструменту;
- зношення вузлів МРВ;
- теплові деформації
- деформація конструкції через недостатню жорсткість.

Низька жорсткість станин це малоймовірний факт, проте на мікродеформації її все ж таки розраховують. Насправді це складаний процес, бо він є динамічним, а будь-який розрахунок – статичним. Тобто, неможливо врахувати усі фактори. Це твердження лише доводить, що будь-який алгоритм розрахунку є наближеним. Але принаймні дозволяє дати уявлення про процеси і явища, які були невідомі. А це означає, що станина як головний вузол який формує несучу здатність верстата протидіяти динамічним силам і вібраціям, які виникають в процесі металообробки.

5.3. Постановка задач дослідження

Як було описано вище головною задачею магістерської роботи є отримання порівняння результатів аналітичного і комп'ютерного розрахунків. Це дозволить знайти можливі похибки в обох методах.

Для завершеності дослідження необхідно доповнити завдання, які були описані раніше, а саме:

- провести аналітичний розрахунок жорсткості станини [28];
- провести моделювання станини МСЕ;
- порівняти результати;
- зробити висновки.

5.4. Зміст досліджень

Зміст досліджень полягає у проведенні статичного розрахунку прогину станини, а потім змодельовати напружено-деформований стан. МСЕ дозволяє отримати динамічні результати, зокрема прогин чи поширення тепла. Цей захоплюючий процес моделювання значно полегшує інженерні розрахунки. Моделювання виконано в Autodesk Inventor. 3D-модель станини виконано по кресленнях із незначними змінами (рис.4.4.), оскільки точних креслень станини немає, то ми відтворили конструкцію по фотографіях(рис.5.1.). Було створено 3D-модель станини верстата 1740РФ3 з перегородками, яку ми і дослідили. Надалі ми і будемо її досліджувати., що дозволило визначити неробочі ділянки, а після оптимізації отримати полегшену (рис.5.2.) станину.

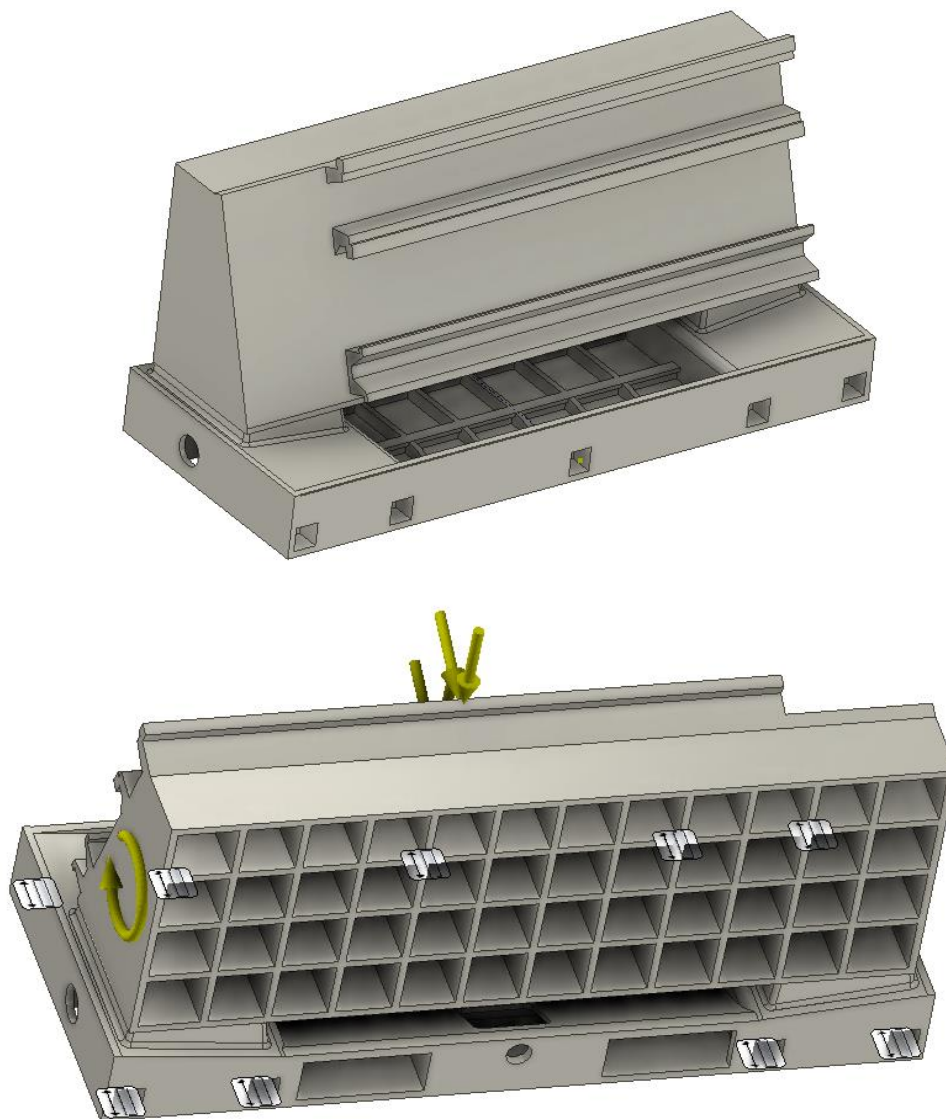


Рисунок 5.1. 3D-модель станини верстата 1740РФ3 з перегородками

Вага станини складає 6,5 т. рис.5.2.

Матеріал	Чугун, сирій
Плотность	7,15 г/см ³
Масса	6575,94 кг
Площадь	57117400 мм ²
Объем	919712000 мм ³
Центр масс	x=773,302 мм y=616,147 мм z=29,8782 мм

Тип нагрузки	Сила
Величина	3000,000 Н
Вектор X	2819,078 Н
Вектор Y	-1026,060 Н
Вектор Z	-0,000 Н

Рисунок 5.2. Фізичні характеристики сірого чавуна та сили прикладені до станини

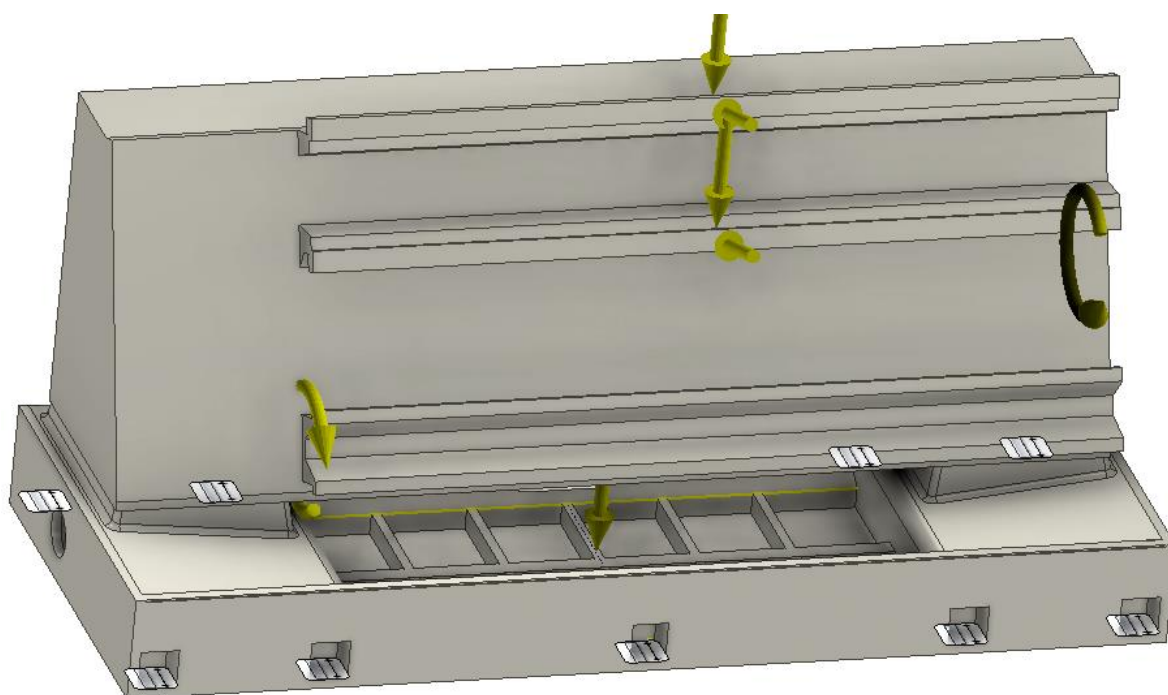


Рисунок 5.3. Розрахункова схема станини токарного верстата

Проведено статичний аналіз станини. коригуванням для відображення рисунків прийнято 0,5. Після прикладених сил ми отримали результати.

Задано було сили які діють на верхні напрямні у напрямку осі X, осі Y та крутні моменти, які діють на верхню напрямну від револьверної головки і крутний момент, який діє на нижню напрямну з протилежним знаком. Також було прикладено силу ваги до верхньої поверхні по середині площі, де очікувано напруження будуть найбільшими. Станина перебувала у синій зоні. Максимальне напруження за Мізесом склали 4,645 МПа і мінімальні 0,005МПа (рис.5.4.).

1-е еквівалентне напруження зображено на рис. 5.4.

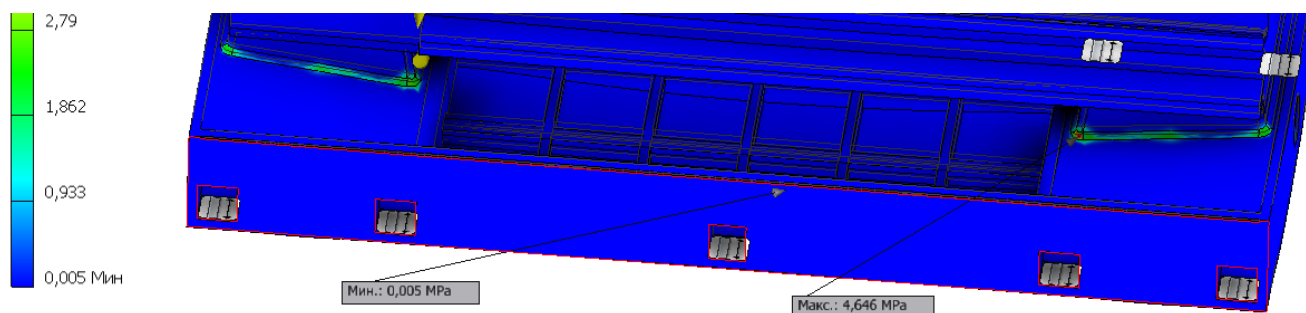


Рисунок 5.3. нпапруження за Мізесом

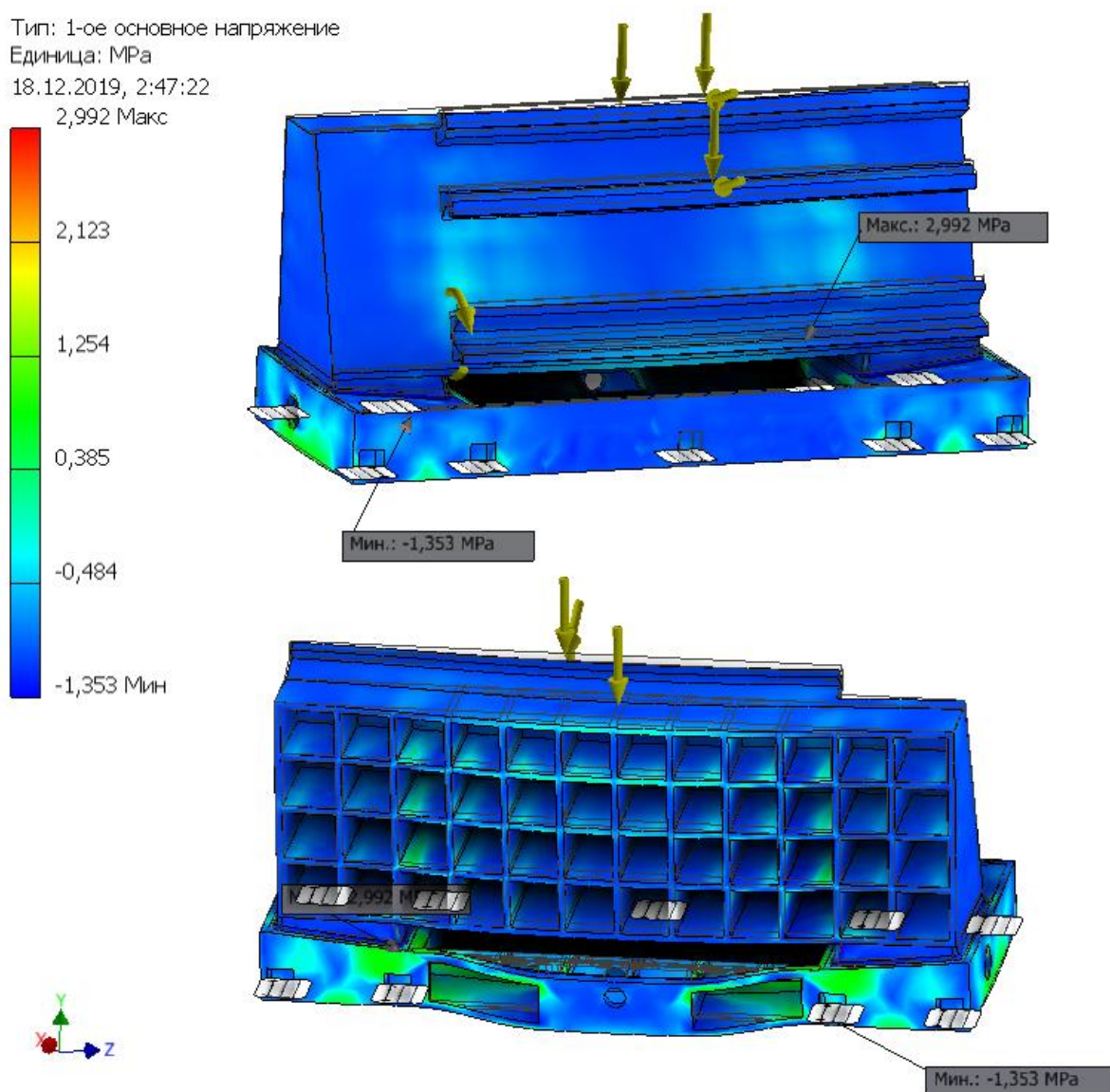


Рисунок 5.4. Зображено 1-е еквівалентне напруження

Проте нас найбільше цікавить прогин і переміщення (рис.5.5). найбільший прогин показано у ділянці задньої стінки, якраз під валом приводу шнекового стружкозбирача. Це пов'язано з тим, що у тому місці немає додаткових опор.

Величина найбільшого теоретичного прогину складає 0,06 мм.

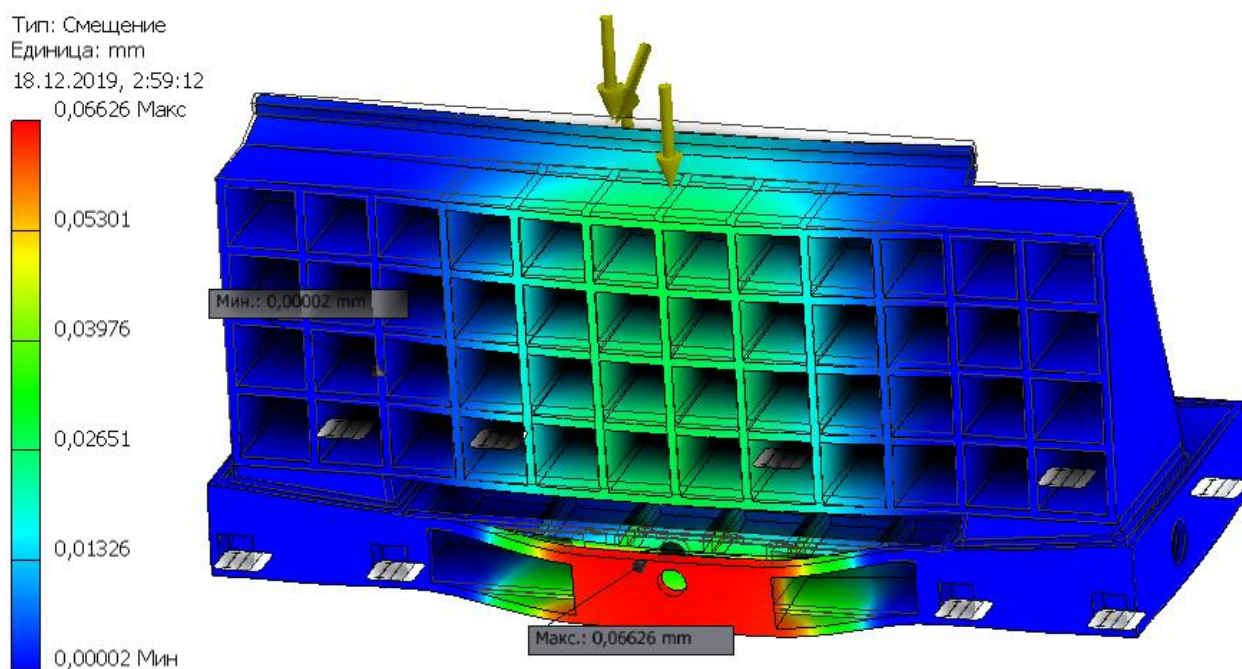


Рисунок .5.5. Зміщення частин верстату

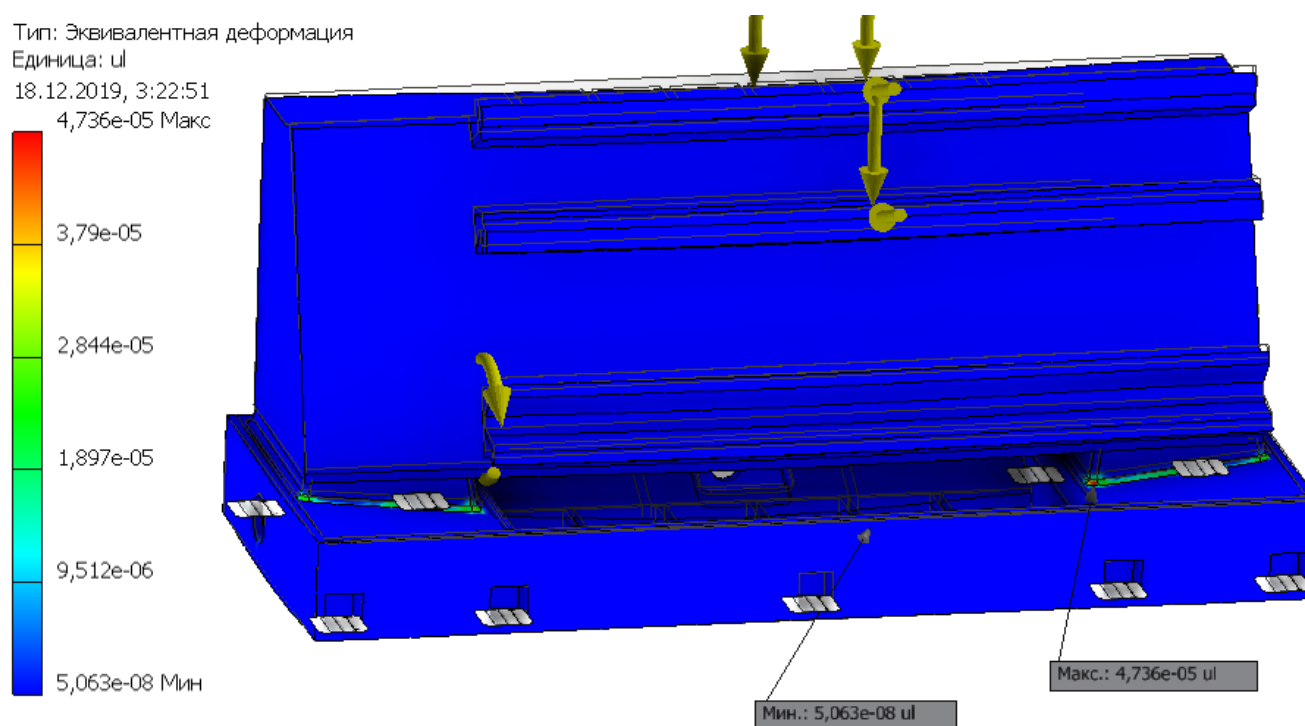


Рисунок 5.6. Еквівалентна деформація

Найбільша еквівалентна деформація верстата від прикладених сил складає $y = 4.736 \times 10^{-5}$ мм, а найменша $y = 5,063 \times 10^{-8}$ мм. З рештою результатів досліджень можна ознайомитись в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати дослідження

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	919712000 мм ³	
Масса	6575,94 кг	
Напряжение по Мизесу	0,00525406 МПа	4,64614 МПа
1-ое основное напряжение	-1,3531 МПа	2,99206 МПа
3-е основное напряжение	-5,47446 МПа	0,430217 МПа
Смещение	0,0000152333 мм	0,06626 мм
Коэфф. запаса прочности	15 бр	15 бр
Напряжение XX	-3,69988 МПа	1,81793 МПа
Напряжение XY	-2,29068 МПа	1,96581 МПа
Напряжение XZ	-1,1413 МПа	1,11294 МПа
Напряжение YY	-3,80516 МПа	1,15206 МПа
Напряжение YZ	-1,48987 МПа	1,45585 МПа
Напряжение ZZ	-2,24103 МПа	2,24451 МПа
Смещение по оси X	-0,0157443 мм	0,0187695 мм
Смещение по оси Y	-0,0639108 мм	0,00080724 мм
Смещение по оси Z	-0,00615023 мм	0,00654492 мм
Эквивалентная деформация	0,0000000506264 бр	0,000047359 бр
1-ая основная деформация	-0,00000432956 бр	0,0000294382 бр
3-я основная деформация	-0,0000543686 бр	0,0000000340022 бр
Деформация XX	-0,0000316731 бр	0,0000187743 бр
Деформация XY	-0,0000330875 бр	0,0000283951 бр
Деформация XZ	-0,0000164854 бр	0,0000160758 бр
Деформация YY	-0,0000323097 бр	0,0000141822 бр
Деформация YZ	-0,0000215204 бр	0,000021029 бр
Деформация ZZ	-0,0000238965 бр	0,0000201899 бр
Контактное давление	0 МПа	3,86693 МПа
Контактное давление по оси X	-0,717512 МПа	0,360771 МПа
Контактное давление по оси Y	-0,272275 МПа	3,625 МПа
Контактное давление по оси Z	-1,05873 МПа	1,13915 МПа

5.5. Аналіз отриманих результатів

Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану разом з МСЕ роблять теоретичне магістерське дослідження можливим. Як було описано раніше, аналітичні методи дають результат в статиці і виходячи з конкретних точок. Як видно на рис. 5.3., на якому зображено напруження у зоні стику нахиленої поверхні і площини контакту станини є невеличка червона зона, яку неможливо вирахувати

жодними доступними аналітичними методами. Завдяки використанню останніх методів моделювання ми можемо проводити й складніші теоретичні дослідження, а потім з допомогою індикаторів перевіряти ту чи іншу зони деформації. Тим самим шукати і знаходити підтвердження своїм гіпотезам.

Дані методи дозволяють нам провести оцінювання використання матеріалів у різноманітних конструкціях, чим досягати ощадливого використання матеріалів.

5.6. Публікації отриманих результатів

За темою магістерської роботи опубліковано тези [30], які подано в додатках.

6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Автоматизований розрахунок жорсткості станини токарного верстата

Вихідними даними для розрахунку є розміри і параметри станини, яку ми змоделювали в Autodesk Inventor (рис.4.6):

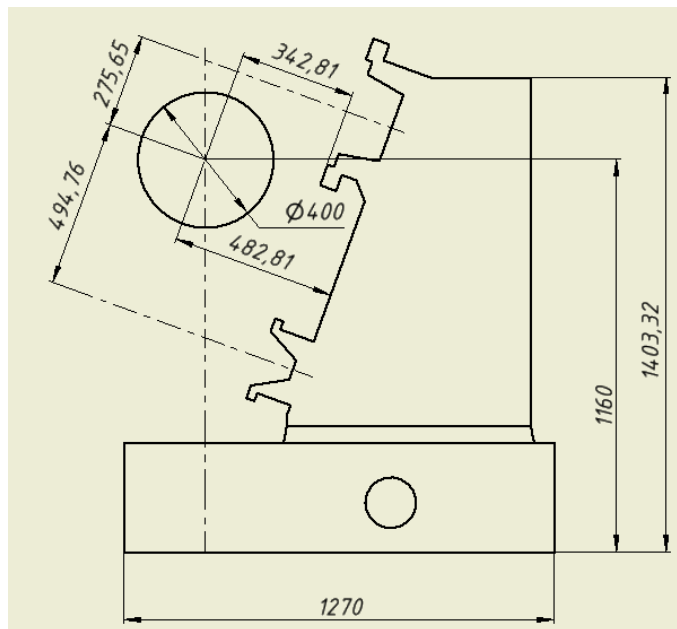


Рисунок 6.1. 3D-модель станини

Основні розміри станини

$$a := 358 \quad b := 272 \quad c := 300 \quad \delta := 30 \quad L1 := 1500 \quad V_{xv} := 50$$

$$L := 700 \quad L2 := 1000 \quad d := 400 \quad H1 := 276 \quad H2 := 495$$

$$N_{dv} := 37000$$

Визначаємо силу і момент, які діють на верстат:

$$v := \frac{V_{xv}}{60} \quad P_z := \frac{N_{dv}}{v} = 4.44 \times 10^4 \quad +$$

$$P_y := 0.5 \cdot P_z = 2.22 \times 10^4 \quad P_x := 0.3 \cdot P_z = 1.332 \times 10^4$$

H1 - висота центрів верстата

H2 - відстань від площини напрямних станини до осі, яка проходить через центр ваги станини

$$M_{kr} := P_y \cdot (H1 + H2) + P_z \cdot \frac{d}{2} = 2.6 \times 10^7 \quad M_{zg} := P_x \cdot \frac{d}{2} = 2.664 \times 10^6$$

Для розрахунку центра ваги відтворимо еквівалентну схему заміщення станини (рис.4.5). Розрахунок центра маси виконуємо по спрощеній схемі, наведеній на рис.4.7., для чого розрахуємо площі F_n і центри мас Y_{cn} відповідних ділянок станин $n=1-4$

$$F_1 := \frac{a - (b - 2 \cdot \delta)}{2} \cdot 2 \cdot \delta = 4.38 \times 10^3 \quad F_2 := (c - 3 \cdot \delta) \cdot \delta = 6.3 \times 10^3$$

$$F_3 := \left(\frac{1}{4} \cdot b\right) \cdot \delta = 2.04 \times 10^3 \quad F_4 := \delta^2 = 900$$

$$Y_{c1} := \delta = 30 \quad Y_{c2} := \frac{(c - 3 \cdot \delta)}{2} + 2 \cdot \delta = 165$$

$$Y_{c3} := c - \frac{\delta}{2} = 285 \quad Y_{c4} := 3 \cdot \delta + \frac{\delta}{2} = 105$$

$$H2 = 495$$

Визначаємо діаметр оброблюваної деталі $d = 400$

$$M_{\text{max}} := \left[P_y \cdot (H1 + H2) + P_z \cdot \frac{d}{2} \right] = 2.6 \times 10^7 \quad M_{\text{zg}} := P_x \cdot \frac{d}{2} = 2.664 \times 10^6$$

Визначаємо приведену жорсткість станини:

а) жорсткість станини у вигляді двх стінок з перепендикулярними перегородками (розглядаються плоскі рами)

$$EJ_{\text{zg_pr}} := s_1 \cdot E \cdot J_{\text{stZ}}$$

де J_{stZ} - момент інерції на згин площини, меншої жорсткості бокової стінки станини

$$J_{\text{stZ}} := \frac{(c - 3 \cdot \delta) \cdot \delta^3}{12} = 4.725 \times 10^5$$

$E := 1.6 \cdot 10^5$ модуль пружності матеріала станини, для сталі

Для станини з П-подібними перегородками у кількості 5 штук

$$n := 12$$

$$v := \frac{L}{b \cdot (n + 1)} = 0.198$$

$$w := \frac{F_2}{(c - 4 \cdot \delta) \cdot (b - 2 \cdot \delta)} = 0.165$$

$$\psi := \frac{J_{\text{stZ}}}{F_2 \cdot b^2} = 1.014 \times 10^{-3}$$

$$J_{nZ} := \frac{(c - 4 \cdot \delta) \cdot (b - 2 \cdot \delta)^3}{12} = 1.429 \times 10^8$$

$$\xi := \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{J_{\text{stZ}}}{J_{nZ}} + 36 \cdot \psi \cdot w \right) = 0.047$$

$$\eta_1 := 1 + \frac{36 \cdot \psi}{v} = 1.184$$

$$\eta_2 := \frac{3 + 4 \cdot \xi}{3 + \xi} + \frac{36 \cdot \psi}{v^2} \cdot \left[1 + \frac{9 \cdot v \cdot w}{(3 + \xi)^2} \right] = 2.007$$

$$E_{\text{pr}} := 1.5 \cdot 10^5$$

$$s_1 := \frac{32}{\eta_2} = 15.943 \quad \text{Тоді}$$

$$EJ_{zg_pr} := s_1 \cdot E \cdot J_{stZ} = 1.13 \times 10^{12}$$

Момент інерції на згин в площині, більшій площині січення бокової стінки

$$J_{stX} := \frac{\delta \cdot (c - 3 \cdot \delta)^3}{12} = 2.315 \times 10^7 \quad F_{stX} := \delta \cdot L = 2.1 \times 10^4$$

$$\underline{\underline{K}} := 0.95 \quad \underline{\underline{G}} := 4.5 \cdot 10^5$$

$$GJ_{kr_pr} := \frac{b^2 \cdot E \cdot J_{stX}}{\left(\frac{K \cdot L^2}{6} + \frac{2 \cdot E \cdot J_{stX}}{G \cdot F_{stX}} \right)} = 3.281 \times 10^{12}$$

Визначаємо переміщення станини від згину в горизонтальній площині

$$\begin{aligned} \underline{\underline{l}} := \frac{2}{3} \cdot L1 = 1 \times 10^3 & \quad x_1 := \frac{1}{4} \cdot l = 250 & \quad x_2 := \frac{2}{4} \cdot l = 500 & \quad L1 = 1.5 \times 10^3 \\ & \quad x_3 := \frac{3}{4} \cdot l = 750 & & \quad + \end{aligned}$$

$$Y_{gzg1} := \frac{P_y \cdot (x_1)^2 \cdot (1 - x_1)^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_1 \cdot (1 - x_1) \cdot (2 \cdot x_1 - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} = 0.205$$

$$Y_{gzg2} := \frac{P_y \cdot (x_2)^2 \cdot (1 - x_2)^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_2 \cdot (1 - x_2) \cdot (2 \cdot x_2 - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} = 0.409$$

$$Y_{gzg3} := \frac{P_y \cdot (x_3)^2 \cdot (1 - x_3)^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_3 \cdot (1 - x_3) \cdot (2 \cdot x_3 - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} = 0.256$$

Визначаємо перемщення станини від деформації кручення в характерних точках

$$Y_{g_{kr1}} := M_{kr} \cdot \frac{x_1 \cdot (1 - x_1)}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) = 1.146 \quad H2 = 495$$

$$Y_{g_{kr2}} := M_{kr} \cdot \frac{x_2 \cdot (1 - x_2)}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) = 1.527$$

$$Y_{g_{kr3}} := M_{kr} \cdot \frac{x_3 \cdot (1 - x_3)}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) = 1.146$$

Визначаємо загальну деформацію станини в напрямку осі різця для даних точок

$$Y_1 := Y_{g_{zg1}} + Y_{g_{kr1}} = 1.35 \quad Y_2 := Y_{g_{zg2}} + Y_{g_{kr2}} = 1.937$$

$$Y_3 := Y_{g_{zg3}} + Y_{g_{kr3}} = 1.401$$

$$Y_{g_{zg}(x)} := \frac{P_y \cdot (x)^2 \cdot (1 - x)^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x \cdot (1 - x) \cdot (2 \cdot x - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} \quad x := 0..1$$

$$Y_{g_{kr}(x)} := M_{kr} \cdot \frac{x \cdot (1 - x)}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) \quad Y_{\Sigma}(x) := Y_{g_{zg}(x)} + Y_{g_{kr}(x)}$$

$$l2 := \frac{2}{3} \cdot L2 = 666.667 \quad x_{21} := \frac{1}{4} \cdot l2 = 166.667 \quad x_{22} := \frac{2}{4} \cdot l2 = 333.333$$

$$+ \\ x_{23} := \frac{3}{4} \cdot l2 = 500$$

$$Y_{g_{zg21}} := \left[\frac{P_y \cdot (x_{21})^2 \cdot (1 - x_{21})^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_{21} \cdot (1 - x_{21}) \cdot (2 \cdot x_{21} - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} \right] \cdot g = 0.993 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{g_{zg22}} := \left[\frac{P_y \cdot (x_{22})^2 \cdot (1 - x_{22})^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_{22} \cdot (1 - x_{22}) \cdot (2 \cdot x_{22} - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} \right] \cdot g = 2.975 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{g_{zg23}} := \left[\frac{P_y \cdot (x_{23})^2 \cdot (1 - x_{23})^2}{3 \cdot l \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_{23} \cdot (1 - x_{23}) \cdot (2 \cdot x_{23} - 1)}{3 \cdot l \cdot GJ_{kr_pr}} \right] \cdot g = 4.014 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Визначаємо переміщення станини від деформації кручення в характерних точках при точінні довшої деталі

$$Y_{g_{kr21}} := M_{kr} \cdot \frac{x_1 \cdot (1 - x_{21})}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) \cdot g = 12.482 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{g_{kr22}} := M_{kr} \cdot \frac{x_2 \cdot (1 - x_{22})}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) \cdot g = 19.971 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{g_{kr23}} := M_{kr} \cdot \frac{x_3 \cdot (1 - x_{23})}{l \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2) \cdot g = 22.467 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Визначаємо загальну деформацію станини в напрямку осі різця для даних точок

$$Y_{21} := Y_{g_{zg21}} + Y_{g_{kr21}} = 13.475 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad x_4 := 0..l_2$$

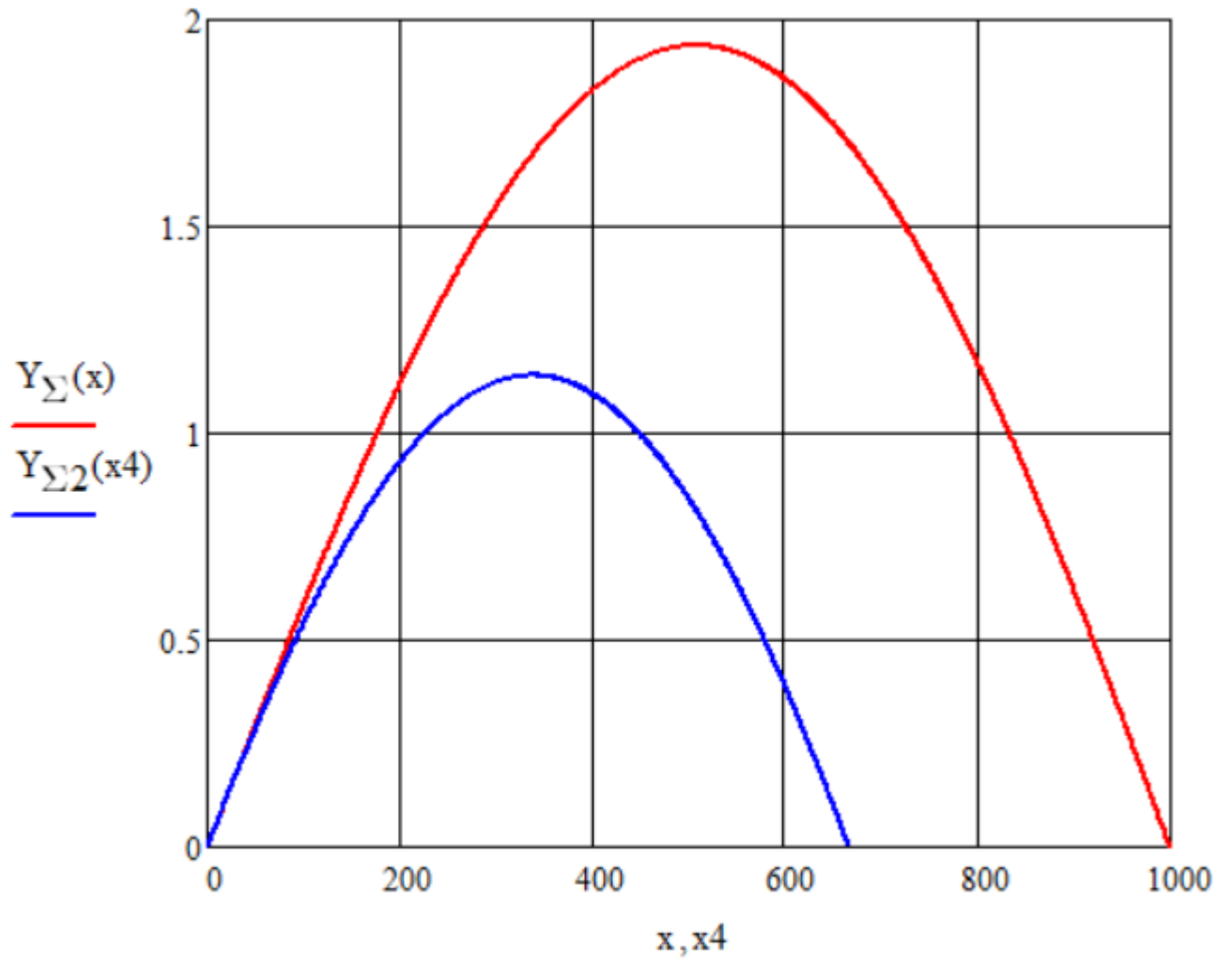
$$Y_{22} := Y_{g_{zg22}} + Y_{g_{kr22}} = 22.946 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{23} := Y_{g_{zg23}} + Y_{g_{kr23}} = 26.481 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$Y_{g_{zg2}}(x_4) := \frac{P_y \cdot (x_4)^2 \cdot (l_2 - x_4)^2}{3 \cdot l_2 \cdot EJ_{zg_pr}} + \frac{M_{zg} \cdot x_4 \cdot (l_2 - x_4) \cdot (2 \cdot x_4 - l_2)}{3 \cdot l_2 \cdot GJ_{kr_pr}}$$

$$Y_{g_{kr2}}(x_4) := M_{kr} \cdot \frac{x_4 \cdot (l_2 - x_4)}{l_2 \cdot GJ_{kr_pr}} \cdot (H1 + H2)$$

$$Y_{\Sigma 2}(x_4) := (Y_{g_{zg2}}(x_4) + Y_{g_{kr2}}(x_4))$$



7. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

7.1. Характеристика технічного рівня проектованого верстата

Токарно-гвинторізний верстат використовується для обробки деталі «Даний вал розташований у коробці передач автомобіля і передає крутний момент від двигуна до КПП.

При проектуванні верстата за основу взято зарубіжні аналоги. Запозичені складові частини (складальні одиниці), основні покупні і комплектуючі вироби та матеріали, які забезпечують працездатність верстата відповідають розробленому верстату за технічними характеристиками, режимами роботи, гарантійними термінами і умовами експлуатації. Річна програма випуску деталі 5000 шт.

7.2. Обґрунтування економічної ефективності розробленої конструкції

7.2.1. Загальні положення

За існуючим технологічним процесом обробка деталі виконується на універсальному обладнанні. Цей процес має велику трудомісткість.

Обробка проводиться на токарно-револьверному автоматі з використанням фрезерного відрізного пристрою. Необхідно провести розрахунок економічної ефективності розробленого верстату. В розробленій конструкції застосовуються уніфіковані вузли, що випускаються вітчизняною промисловістю. Це зменшує вартість виготовлення верстата.

В базовому технологічному процесі для обробки деталі-представника використовується універсальне металорізальне обладнання послідовно за декілька установів. Процес обробки має високу трудомісткість. В запропонованому технологічному процесі використовується один токарно-револьверний верстат, який заміняє декілька універсальних верстатів.

7.2.2. Зміст та етапи конструкторської підготовки виробництва

Відповідно до вимог ГОСТ 2.103-68 встановлені такі етапи конструкторської підготовки: технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, технічний

проект, розробка робочої документації:

При розробці конструкції верстата проходять всі згадані вище етапи конструкторської підготовки.

7.2.3. Зміст та етапи технологічної підготовки виробництва

Згідно з положеннями Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ) ГОСТ 14002-73 встановлені такі етапи технологічної підготовки виробництва: технологічний контроль креслень, складання міжцехових технологічних маршрутів, розробка технологічних процесів проектування та виготовлення технологічного оснащення, наладка та впровадження технологічних процесів.

При впровадженні у виробництво та при виготовленні верстата будуть пройдені всі етапи технологічної підготовки виробництва.

Деталі верстата та складальні одиниці технологічні і відповідають вимогам ГОСТ 14202-73.

7.2.4. Визначення трудомісткості та об'єму робіт конструкторської підготовки виробництва

Величина трудових та фінансових витрат на підготовку виробництва нових взірців техніки залежить від ступеня їх новизни та складності. При виконанні дипломної роботи розрахунки трудомісткості конструкторської підготовки виробництва виконуються за укрупненими нормативами із врахуванням вищезазначених критеріїв.

Конструкторські роботи з проєктованого верстата відносяться до групи новизни Б, група складності 2. Проєктовані вузли та схеми відносяться до групи складності 2 [32]. Деталі відносяться до 1, 2, 3 груп складності [41].

Кількість умовних деталей визначається за формулою:

$$D_{\text{умов}} = \sum D \cdot k \quad (7.1)$$

де $D_{\text{умов}}$ – кількість умовних деталей; D – кількість деталей кожного роду;

k - поправочний коефіцієнт кожного роду.

Трудомісткість розробки технічного Тт та робочого проєктів визначається за формулою [31]:

Кількість деталей		Поправочний коефіцієнт		Д_умов			
Оригінальні деталі	24		1,00		24,00		
Деталі, які розроблені як уніфіковані для моделей даної групи обладнання							
	10		1,20		12,00		
Уніфіковані деталі і деталі з інших машин, які застосовуються при проектуванні:							
	8		0,30		2,40		
Уніфіковані вузли які використовуються при проектуванні обладнання:							
	6		0,10		0,60		

$$\begin{cases} T_T = m_i \cdot kT_i \cdot k_c \cdot k_r \cdot \sum HT_i \\ T_p = m_i \cdot kT_i \cdot k_c \cdot k_r \cdot \sum HP_i \end{cases} \quad (7.2)$$

де HT_i та HP_i – норми робочого часу на розробку технічного і робочого проектів в розрахунку на одну умовну деталь для i -го вузла в залежності від ступеня складності і новизни вузла;

m_i – кількість умовних деталей, визначених із врахуванням коефіцієнтів, наведених в табл. 6 [31];

kT_i – коефіцієнт зміни норм часу при проектуванні верстатів різної складності, $kT_i=1,1$; k_c – коефіцієнт серійності, $k_c=1,0$; k_r – коефіцієнт габаритності, $k_r=1,0$ (при масі верстата більшій за 1,58 т).

$kT_i =$	1,10
$K_c =$	1,00
$K_r =$	1,00

Норми робочого часу на розробку технічного і робочого проектів (люд.год.)							
1-ї групи складності		2-ї групи складності		3-ї групи складності			
Тех. Проект	1,40		2,00				3,00
Роб. Проект	2,20		2,60				3,50

Визначаємо трудомісткість розробки технічного проекту.

Технічне завдання :				2	форматі	A4	
				к-ть		Разом	
група складності		1	12	1		12	
		2	33,3	1		33,3	
						Всього	45,3

Технічна пропозиція :					4	форматі	A4
			норма		к-ть		Разом
група складності	1	62			1		62
	2	106			2		212
						Всього	274
Ескізний порект					6	форматі	A1
			норма		к-ть		Разом
група складності	2	108			6		648
						Всього	648
Технічний проект :					12	форматі	A4
			норма		к-ть		Разом
група складності	1	1,54			6		9,24
	2	2,2			3		6,6
	3	3,3			2		6,6
						Всього	22,44
Робочий проект :					29	форматі	A4
			норма		к-ть		Разом
група складності	1	2,42			12		29,04
	2	2,86			10		28,6
	3	3,85			7		26,95
						Всього	84,59
Складання технічного паспорта на верстат					15	форматі	A4
			норма		к-ть		Разом
група складності	1	32			15		480
						Всього	480
							87
Монтажні креслення					4	форматі	A1
			норма		к-ть		Разом
група складності	2	3			4		12
						Всього	12
Розробка електричної схеми верстата					3	форматі	A2
			норма		к-ть		Разом
група складності	2	53,7			3		161,1
						Всього	161,1
Розробка гідравлічної схеми верстата					2	форматі	A2
			норма		к-ть		Разом
група складності	2	48			2		96
						Всього	96

Складання технічних умов						4	форматі	A4
				норма		к-ть		Разом
група складності		1	65			4		260
							Всього	260

Участь у наладці верстата - 6 % від трудомісткості технічного і робочого проектів:

люд.год.	коєф.				Значення
107,03	0,06				6,42

Коректування технічної документації - до 14% від трудомісткості технічного і робочого проектів:

люд.год.	коєф.				Значення
107,03	0,12				12,84

Впровадження верстата у замовника - 6% від трудомісткості технічного і робочого проектів:

люд.год.	коєф.				Значення
107,03	0,06				6,42

Копіювально – мнотильні роботи складають 8-10% від трудомісткості конструкторських робіт:

люд.год.	коєф.				Значення
997,69	0,09				89,79

Виконання робіт, які не ввійшли у даний перелік, складає до 5% від трудомісткості конструкторських робіт [31]:

люд.год.	коєф.				Значення
997,69	0,04				39,91

Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки виробництва поетапно зводимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Трудомісткість конструкторської підготовки проекту

Найменування конструкторської документації або видів робіт	Стадії проектування	Кількість облікових одиниць			Групи		Норми часу, люд.год.		Кваліфікація виконавця
					Новизни	Складності	На одиницю	ВСЬОГО	
1	2	3			4	5	6	7	8
Розробка техзавдан	технічне завдання	форматів	1	A4	Б	1	12	12	Ін.2к.
			1	A4	Б	2	33,3	33,3	Ін.2к.
Підготовка техн. пропозиції	технічна пропозиція	форматів	1	A4	Б	1	62	62	Ін.1к.
			2	A4	Б	2	106	212	Ін.1к.
Проробка конструкції верст.	ескізний проект	форматів	6	A1	Б	2	108	648	Ін.1к.
Пропрацювання деталей та вузлів	технічний проект	ум. од.	6	A4	Б	1	1,54	9,24	Ін.3к.
			3	A4	Б	2	2,2	6,6	Ін.2к.
			2	A4	Б	3	3,3	6,6	Ін.1к.
Креслення загальн-го вигляду вузлів і деталей	розробка роб. докум по проекту	ум. од.	12	A4	Б	1	2,42	29,04	Ін.3к.
			3	A4	Б	2	2,86	8,58	Ін.2к.
Складання техн-го паспорта на верст.	розробка роб. докум	форматів	15	A4	Б	1	32	480	ст. тех. констр.
			4	A1	Б	2	3	12	Ін.3к.
Розробка електр. схеми верстата	розробка роб. докум	форматів	3	A2	Б	2	53,7	161,1	Ін.1к.
Розробка гідравл. схеми верстата	розробка роб. докум	форматів	2	A2	Б	2	48	96	Ін.1к.
Складання техн-х умов	розробка тех. докум	форматів	4	A4	Б	1	65	260	Ст.ін
Участь у налазці досл. Взірця	Авт. контр за виготов	6% від Тт+Тр			Б	2	107,03	6,42	Ін.1к.
Корег. Техн. документації	тех. докум по проекту	12% від Тт+Тр			Б	2	107,03	12,84	Ін.1к.
Копіювально-множилні роб.	тех. докум по проекту	9% від ТКР			Б	2	997,69	89,79	ст.тех
Роботи, що не ввійшли у перелік	тех. докум по проекту	5% від ТКР			Б	2	997,69	39,91	ст.тех
Впровадження верст. у замовн.	Авт. контр за виготов	6% від ТКР			Б	2	107,03	6,42	Ін.1к.
Загальна трудомісткість								2199,55	

7.2.5. . Визначення трудомісткості та обсягу робіт технологічної підготовки виробництва

Обробка деталей для проєктованого спеціального верстата буде виконуватись в стандартних пристосуваннях та універсально-складальному

обладнанні. Проектування спеціального оснащення для одиничного виробництва економічно не вигідне. Виходячи з вищевикладеного, в трудомісткість технологічної підготовки включаємо лише час на проектування технологічних процесів. Вид техпроцесу – укрупнена технологія. Розрахунок виконується для оригінальних, стандартних і уніфікованих деталей.

Таблиця 7.3 – Трудомісткість технологічної підготовки

Види робіт	Групи складності	Кількість об'єктів	Норми часу, люд.год.		Кваліфікація виконавців
			на одиницю	Разом	
Проектування технологічних процесів	1	14	2,6	36,4	ін.-техн.3 кат.
	2	10	5,2	52	ін.-техн.2 кат.
	3	7	9,4	65,8	ін.-техн.1 кат.
Всього:				154,2	

7.2.6. Кошторис витрат на технічну підготовку виробництва

Вихідними даними для визначення вказаних витрат є:

- а) трудомісткість окремих етапів технічної підготовки виробництва;
- б) фактична погодинна зарплата учасників технічної підготовки (з доплатами);
- в) вартість всіх матеріалів для виготовлення дослідних взірців, спеціальної технологічної оснастки;
- г) відсоток цехових та загальноцехових витрат до прямої заробітної плати.

Всі дані для розрахунку кошторису витрат приймаємо за попередніми розрахунками.

Пряма заробітна плата конструкторів, технологів, креслярів і копіювальників визначається за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = T_{\text{заг}} \cdot C_{\text{г}} \quad (7.3)$$

де $T_{\text{заг}}$ - сумарна трудомісткість по кожному етапу, год.;

$C_{\text{г}}$ - середньо годинна оплата праці робітників відповідної категорії.

Доплати приймаємо у розмірі 50%, соціальне страхування - у розмірі 61% від загального фонду зарплати.

Визначаємо зарплату по відповідних категоріях працюючих:

Категорія працівника	Трудо-місткість	Оплата за год.	Заробітна плата
конструктори	2199,55	30,00	65986,41
технологи	154,20	30,00	4626,00
креслярі і копію	89,79	25,00	2244,80
Всього витрат:			72857,21

Визначаємо доплату по відповідних категоріях працюючих:

Категорія працівника	Частка доплат	Заробітна плата	Розмір доплат
конструктори	0,50	65986,41	32993,20
технологи	0,50	4626,00	2313,00
креслярі і копію	0,50	2244,80	1122,40
Всього витрат:			36428,60

Визначаємо додаткову зарплату по відповідних категоріях працюючих:

Категорія працівника	Частка доплат	Заробітна плата	Розмір доплат
конструктори	0,20	98979,61	19795,92
технологи	0,20	6939,00	1387,80
креслярі і копію	0,20	3367,20	673,44
Всього витрат:			21857,16

Визначаємо сумарну зарплату по відповідних категоріях працюючих із врахуванням коштів на соціальне страхування:

Таблиця 7.4 - Кошторис витрат на технічну підготовку виробництва

Статті витрат по етапах	Сума, грн.
Конструкторська підготовка виробництва	191228,61
Технічна підготовка виробництва	13406,15
Організаційна підготовка виробництва	6505,44
Всього витрат	211140,19

7.3. Система показників економічної ефективності нової машини

7.3.1. Визначення собівартості і ціни проєктованого верстата

Цехова собівартість виготовлення верстата визначається за формулою:

$$Ц = M_{\text{заг}} \cdot Z_{\text{заг}} \cdot P_{\text{ц}} \quad (7.4)$$

де $M_{\text{заг}}$ - загальна сума витрат на основні матеріали та покупні вироби для проєктованої машини:

$$M_{\text{заг}} = \sum_i^T M_{\text{пр}} + \sum_i^K M_{\text{пок.вир.}} \quad (7.5)$$

де T - кількість видів основних матеріалів, од.; K - кількість видів покупних виробів, од.; $M_{\text{пок.вир.}}$ - витрати по кожному виду покупних виробів, грн.; $Z_{\text{заг}}$ - загальна сума зарплати робітників:

$$Z_{\text{заг}} = Z_o + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{доп}} \quad (7.6)$$

$$\text{де } Z_o = P \cdot K_{\text{сер}} \cdot C \cdot \Phi_p \quad \text{або} \quad Z_o = K_{\text{сер}} \cdot T$$

де $K_{\text{сер}}$ - середньо годинна тарифна ставка виробничих робітників, визначається за формулою:

$$K_{\text{сер}} = K_M + (K_B - K_M) \cdot (P_{\text{сер}} - P_M) \quad (7.7)$$

де K_M - менша, а K_B - більша з двох суміжних тарифних ставок; $P_{\text{сер}}$ - середній тарифний розряд виробничих робітників; P_M - більший тарифний розряд, що відповідає меншій з двох суміжних тарифних ставок.

Доплату для робітників приймаємо у розмірі 20%; соціальне страхування у розмірі 37% від загального фонду зарплати; T - трудомісткість виготовлення проєктованого верстата.

В заводську собівартість входять: цехова собівартість, витрати на підготовку та освоєння виробництва (80%), витрати на утримання та експлуатацію обладнання (80% від Z_o), цехові витрати (200% від Z_o), загальнозаводські витрати (50% від Z_o).

Визначаємо витрати на основні матеріали за формулою:

$$M_{\text{прив}} = E \cdot C_M \cdot M_{\text{чорн}} - (M_{\text{чорн}} - M_{\text{чист}}) \cdot C_o \quad (7.8)$$

$$M_{\text{чорн}} = \frac{M_{\text{чист}}}{K_M} \quad (7.9)$$

чиста маса деталей, т	коэф. викор. матеріалів	чорнова маса деталей	коэф. трансп. виграг	Вартість тони прокату	Вартість тони відходів	Витрати на основні матеріали, грн.
Мчист	Км	Мчор	Е	Цм	Цо	Мпр
11,3	0,75	15,067	1,1	17300	4500	269768,67

Куплені вироби (електромотори, електроніка, пластмасові вироби тощо)

$M_{\text{пок.вир.}}$	48500	грн.
-----------------------	-------	------

Визначаємо загальну суму витрат на основні матеріали та куплені вироби:

Мпр	М пок.вир.	=	Мзаг=	318269	грн.
-----	------------	---	-------	--------	------

Вид оплат та витрат	Коеф.	По відношенню до суми, грн	Сума, грн.
Осн зарпл виробн робітників	0,3	318268,6667	95480,60
Доплата для робітників	0,2	95480,6	19096,12
Додаткові виплати	0,1	114576,72	11457,67
Виплати на соцстрах	0,37	126034,39	46632,73
Витрати на підгот і осв вир-ва	0,8	95480,60	76384,48
Витрати на експл обладнання	0,8	95480,60	76384,48
Цехові витрати	2	95480,60	190961,20
Загальнозаводські витрати	0,5	95480,60	47740,30
ВСЬОГО:			564137,58

Річна програма випуску деталей: 500 шт. Результати розрахунків заносимо в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. – Кошторисна калькуляція собівартості та відпускна ціна проєктованого верстата

№ п/п	Статті витрат	Сума, грн	% до підсумку	Джерело даних
1.	Сировина та основні матеріали за вирахуванням відходів	269768,67	24,04	розрахунок
2.	Напівфабрикати, придбані комплектуючі вироби	48500	4,32	робочі дані
3.	Основна заробітна плата виробничих робітників	95480,60	8,51	розрахунок
4.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	19096,12	1,70	розрахунок
5.	Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників	46632,73	4,16	розрахунок
6.	Витрати на освоєння та підготовку виробництва	76384,48	6,81	80% від п.3
7.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	76384,48	6,81	80% від п.3
8.	Цехові витрати	190961,20	17,02	200% від п.3
9.	Загальнозаводські витрати	47740,30	4,25	50% від п.3
10.	Разом заводська собівартість	870948,57	77,61	сума п.1-п.9
11.	Позавиробничі витрати	26128,457	2,33	3% від п.10
12.	Відрахування у Фонд Чорнобиля	1374,9206	0,12	1,2% від ФЗ
13.	Відрахування у ФЗ та ПФ	36664,55	3,27	32% від ФЗ
14.	Повна собівартість	935116,5	83,33	сума п.10-13
15.	Плановий прибуток	187023,3	16,67	20% від п.14
16.	Ціна модернізації	1122139,8	100	сума п.14-15

7.3.2. Капітальні витрати

Собівартість і ціна нового верстата визначається за договірними цінами. Витрати на доставку, монтаж та наладку складають 8-15% від ціни обладнання. Витрати на виробничу площу будівель визначаються за формулою:

$$C_{пл} = П_{л} \cdot K_{дп} \cdot Ц_{б}, \text{ грн.} \quad (7.10)$$

де: $П_{л}$ – площа машин та обладнання в плані, м; $K_{дп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові площу на проходи, службові приміщення. Для верстатів з ЧПК $K_{дп} = 3,5$; для універсальних $K_{дп} = 2,5$.

Запишемо основні дані стосовно верстатів, які необхідні для розрахунків. Приймаємо витрати на доставку і монтаж у розмірі 10%.

Назва моделі	ширина	довжина	маса верстата	ціна верстата
Базовий варіант				
16K20	3,2	1,16	3,2	150000
16K20	3,2	1,16	3,2	150000
16K20	3,2	1,16	3,2	150000
Проектний варіант				
1740PФ3	2,49	4,49	15	500000

Базовий варіант						
Назва моделі верстату	Площа та Кдп		ціна верстата	кількість	Ціна 1м ²	Всього витрат
16K20	3,71	1,5	150000	3	680	506359
Всього за базовим варіантом						506359
Проектний варіант						
1740PФ3	11,2	3,5	500000	1	680	576609
Всього за проектним варіантом						576609

Витрати на будівлі і споруди за базовим варіантом 11359 грн.

Витрати на будівлі і споруди за проектним варіантом 26609 грн.

Ціна верстатів разом з доставкою і мотажем (базовий варіант) 495000 грн.

Ціна верстатів разом з доставкою і мотажем (проектний варіант) 550000грн.

Капітальні витрати за базовим варіантом 506359 грн.

Капітальні витрати за проектним варіантом 576609 грн.

7.3.3. Біжучі витрати

Річні експлуатаційні (біжучі) витрати визначаються сумою таких елементів [41]:

$$Ц = C_M + C_{CM} + C_{ЗП} + C_{кр} + C_p + C_{тр} + C_e + C_{зд} + C_{п} + C_{пр} + P_M \quad (7.11)$$

де C_M - витрати на сировину та матеріали, використані у технологічному процесі.

Вартість допоміжних матеріалів визначається у розмірі 1,2-2% від вартості основних матеріалів.

$$C_{Мдоп} = 0,015 \cdot C_{Mo}$$

$$C_M = C_{Mo} + C_{Мдоп} \quad (7.12)$$

$C_{ЗП}$ - витрати на зарплату виробничих робітників, зайнятих у технологічному процесі із застосуванням даної техніки

$$C_{ЗП} = \sum_{i=1}^M T_c \cdot \Phi_d \cdot \eta_{доп} \cdot \eta_d \cdot \eta_c \quad (7.13)$$

де T_c - годинна тарифна ставка робітника відповідно III розряду, що обслуговує даний верстат; $\Phi_d = 1978$ год. - дійсний річний фонд часу, год.

$$\Phi_d = \Phi_n \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) = 2080 \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1860 \text{ год.} \quad (7.14)$$

де Φ_n - номінальний річний фонд часу робітника, $\Phi_n = 2080$ год.; α - відсоток втрат робочого часу за відпустками та хворобами, 10%; $\eta_d = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує доплати до основної зарплати; $\eta_{доп} = 1,25$ - коефіцієнт перевиконання плану; $\eta_c = 1,332$ - коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування, фонд Чорнобиля та фонд зайнятості.

В 3 розділі, пункті 3.2. було здійснено економічне обґрунтування доцільності вибору заготовки та визначено її технологічну собівартість. Так згідно проведених розрахунків вартість заготовки отриманої з кругляка становить 295,4 грн., а поковки 598 грн.

При партії виробів 5000 шт, з врахуванням необхідного запасу партія виготовлення заготовок буде становити 7700 шт.

Програма випуску продукції - 5500 шт.

Собівартість виготовлення партії заготовок (базовий вар.) грн.

Собівартість виготовлення партії заготовок (проектн. вар.) грн

Вартість матеріалів:				
базовий варіант:		$C_{мб} =$	3289000	грн.
проектний варіант:		$C_{м-пр} =$	1624700	грн.

Вартість допоміжних матеріалів			Коеф.	грн.
базовий варіант:		$C_{мб_доп.} =$	0,015	49335
проектний варіант:		$C_{м-пр_доп.} =$	0,015	24371

Витрати на сировину та матеріали:			грн.
базовий варіант:		$C_{мб} =$	3338335
проектний варіант:		$C_{м-пр} =$	1649071

Витрати на зарплату виробничих робітників, зайнятих у технологічному процесі із застосуванням даної техніки. Годинна тарифна ставка робітника відповідно III розряду, що обслуговує даний верстат:

$T_c =$	60,00	грн.
---------	-------	------

Кількість робітників за базовим ТП	3		
Кількість робітників за проектним ТП	1		
базовий варіант:		$C_{зб} =$	668930
проектний варіант:		$C_{зпр} =$	222977

Амортизаційні відрахування на капітальний ремонт визначаються за формулою:

$$C_{кр} = \frac{A_{кр} \cdot K}{100}, \text{ грн} \quad (7.15)$$

де $A_{кр} = 8\%$ - річна норма амортизаційних відрахувань; K - балансова вартість об'єкта техніки, грн;

базовий варіант:		$C_{крб} =$	40509
проектний варіант:		$C_{крпр} =$	46129

Амортизаційні відрахування на реновацію визначаються за формулою:

$$C_p = \frac{A_p \cdot K}{100} \quad (7.16)$$

де $A_p = 5\%$ - відсоток амортизаційних відрахувань на повне відновлення (реновацію)

базовий варіант:		$C_{рб} =$	25318
проектний варіант:		$C_{рпр} =$	28830

Річні витрати на ремонт і технічне обслуговування верстатів укрупнено приймаються у розмірі 6% від вартості обладнання:

базовий варіант:		$C_{T_6} =$	29700
проектний варіант:		$C_{T_{пр}} =$	33000

Витрати на електроенергію враховуються за двоставковим тарифом:

а) за кожний кВт приєднаної потужності $C_{еп} = 5,4$

Базовий варіант	Потужність верстата	кількість верстатів
16K20	11	4
Проектний варіант	Потужність верстата	кількість верстатів
1740PФ3	37	1

б) за використання електроенергії - за формулою:

$$C_{ев} = M_{вст} \cdot \Phi_d \cdot K_B \cdot K_M \cdot C_e \quad (7.17)$$

де $M_{вст}$ - сумарна потужність електродвигунів, кВт (на одному верстаті)

$K_B = 0,7$ - коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів протягом робочого дня; $K_M = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності електродвигунів машин; $C_e = 2,297$ - C_e - відпускна ціна 1 кВт-год електроенергії/

$\Phi_d = 1860$			
базовий варіант:		$C_{еп_6} =$	122020,3152
проектний варіант:		$C_{еп_{пр}} =$	26318,1072

Сумарні витрати на електроенергію складуть:

$$C_e = C_{еп} + C_{ев} \quad (7.18)$$

базовий варіант:	26378	грн.
проектний варіант:	88724	грн.

Витрати на стиснуте повітря. При укрупнених розрахунках приймаємо 2000-3000 м³ на 1 верстат при однозмінній роботі. Вартість 1000 м³ стиснутого повітря становить 100 грн.

Розхід повітря на один верстат:		
базовий варіант:	2000	м ³
проектний варіант:	2000	м ³

Вартість витраченого повітря при роботі верстатного обладнання							
базовий варіант:		800	грн.				
проектний варіант:		200	грн.				

Витрати на воду. Згідно нормативних даних для роботи одного верстата необхідно витратити: $Q_v = 10 \text{ м}^3$.

Згідно нормативних даних для роботи одного верстатника необхідно витратити за зміну: $Q_p = 25$ літрів.

Вартість 1 м³ води становить 12,6 грн.

Вартість витраченої води для роботи верстатного обладнання

базовий варіант:		504	грн.
проектний варіант:		126	грн.

Вартість витраченої санітарної норми води для роботи верстатника

базовий варіант:		327,6	грн.
проектний варіант:		162,5	грн.

Сумарні витрати на воду для забезпечення виробничого процесу

базовий варіант:		831,6	грн.
проектний варіант:		288,5	грн.

Витрати на обігрів приміщень та технічні потреби:

Потреба пари на опалення та вентиляцію на 1 м³ будівлі складає

$q = 20$ ккал/год. Річна потреба пари на опалення та вентиляцію складає:

$$Q_p = \frac{q \cdot H \cdot V}{1000 \cdot C} \quad (7.19)$$

де H - число годин в опалювальному сезоні, $H = 4320$ год.; C - теплота випаровування, $C = 540$ ккал/год; V - об'єм будівлі у м³ (висота будівлі 7 м).

Вартість 1т пари становить		Епари	420	грн.
базовий варіант:	43,82599	т.		
проектний варіант:	14,55104	т.		

Кошти для забезпечення виробничого процесу парою:

базовий варіант:		7857,6	грн.
проектний варіант:		18407	грн.

Сбуд - річні витрати на амортизацію та утримання будівель цеху. Укрупнено Сбуд складає 2,5% від вартості будівель.

базовий варіант:		283,97	грн.
проектний варіант:		665,22	грн.

Сумарні витрати на паливо та енергетичні джерела:

базовий варіант:		36151	грн.
проектний варіант:		108085	грн.

Сп - витрати на перебазування обладнання, грн/рік приймаємо у розмірі 1-3% від суми статей експлуатаційних витрат.

Спр - витрати на інші потреби, грн/рік приймаємо у розмірі 10% від суми всіх попередніх статей експлуатаційних витрат.

Рн - накладні витрати, грн/рік приймаємо у розмірі 30% від суми основної заробітної плати робітників, зайнятих обслуговуванням і керуванням технікою.

Визначаємо розрахунком статті експлуатаційних витрат по новій та базовій техніці, які заносимо в таблицю, де також розраховується підсумкова величина економії по кожній із статей витрат.

Таблиця 7.6 Експлуатаційні (поточні) річні витрати на техніку

Статті витрат	Сума, грн.		Економія і перевирати
	Базовий варіант	Проектний варіант	
Сировина та матеріали	3338335	1649070,5	+
Заробітна плата робітників зайнятих у техпроцесі	668930,4	222976,8	+
Амортизаційні відрахування	40508,6976	46128,691	-
Відрахування на реновацію	25317,936	28830,432	+
Витрати на ремонт і технічне обслуговування	29700	33000	+
Витрати на паливо, енергію і мастильні матеріали	36150,6368	108084,97	+
Витрати на перебазування	82778,85341	41761,828	+
Інші витрати	422172,1524	212985,32	+
Накладні витрати	200679,12	66893,04	+
Всього:	4844572,796	2409731,6	+

7.3.4. Узагальнюючі техніко-економічні показники проектного верстата

Для комплексної оцінки нового верстата використовують технічні та

економічні показники. Економічний ефект від виробництва та використання одиниці нової техніки за весь термін її служби буде складати:

$$E_{ep} = C_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(U_1 - U_2) - E_H \cdot (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - C_2 \text{ грн.} \quad (7.20)$$

де C_1 і C_2 - оптова ціна базового і нового верстата, грн.;

$B_2/B_1 = K_{пр}$ - коефіцієнт, який враховує ріст продуктивності одиниці обладнання (коефіцієнт приведення), $K_{пр} = 1,19$ за попередніми розрахунками;

P_1 та P_2 - частка амортизаційних відрахувань від балансової вартості на повне відновлення базового та нового взірця верстата; визначається як величини, обернені до термінів служби взірців техніки, $P = 1/T_c$;

де $T_{c1} = 5$ років, $T_{c2} = 6$ років - терміни служби старої і нової техніки.

$$P_1 = 1/5 = 0,2; \quad P_2 = 1/6 = 0,16$$

$$\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} = \frac{0,2 + 0,15}{0,16 + 0,15} = 1,13 \text{ - коефіцієнт обліку зміни терміну служби нового}$$

верстата порівняно із базовим;

E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_H = 0,15$;

U_1 та U_2 - річні експлуатаційні витрати споживача при використанні ним базової і нової машини в розрахунку на річний об'єм продукції;

K_2' та K_1' - супутні капітальні вкладення споживача (без вартості машини) при використанні базової та нової техніки в розрахунку на річний обсяг продукції.

Економічний ефект від виробництва та використання одиниці нової техніки буде складати

7952062	грн.
---------	------

 за весь період окупності.

8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

8.1. Аналіз, прогнозування, профілактика травматизму та професійної захворюваності на виробництві

Професійні хвороби – це поступове погіршення стану здоров'я людини внаслідок постійної чи тривалої дії на нього виробничих факторів, причому результат дії може відчуватися не зразу, а через деякий час (іноді тривалий).

Список професійних захворювань затверджений Міністерством охорони здоров'я і налічує 27 названих хвороб. Однак до проф. хвороб належать не тільки ті, що зазначені в цьому списку, але й ті ускладнення й наслідки, які вони викликають.

До основних причин професійних захворювань відносяться:

1. порушення режиму праці, відпочинку і харчування
2. нервово-психологічні перевантаження
3. нехтування засобами індивідуального захисту і правилами особистої гігієни
4. підвищені концентрації, дози і рівні шкідливостей
5. надмірна запиленість повітря;
6. перевищуючі норму рівні шумів і вібрацій;
7. простудні захворювання і перегріву;
8. отруєння пестицидами і мінеральними добривами та ін.;

Знання причин професійних захворювань дозволяють розробити ефективні профілактичні заходи. Окрім хвороб існують травми і травматизм. Якщо ж травми характеризують порушення анатомічної цілості організму або порушення його функцій внаслідок раптової дії на нього будь-якого небезпечного виробничого фактору, то травматизм це явище, сукупність травм, які повторюються у тих чи інших контингентів населення відповідно до різних обставин. Залежно від того, за яких обставин виникають травми у людей, розрізняють травматизм виробничий, побутовий, спортивний та ін.. Відповідно, вирізняють 4 групи причин виробничого травматизму:

1. Технічні – не залежать від рівня організації праці на підприємстві. Це недосконалість технологічних процесів, конструктивні недоліки

обладнання, інструментів, недостатня механізація важких робіт; недосконалість огорожень, запобіжних пристроїв, засобів сигналізації і блокіровок; дефекти міцності матеріалів; незнайомі раніше небезпечні властивості оброблювальних середовищ та ін. Ці причини іноді ще називають конструкторськими або інженерними.

2. Організаційні – повністю залежать від рівня організації праці на підприємстві. Це недоліки в утриманні території, проїздів, проходів, порушення правил експлуатації обладнання, транспортних засобів, інструменту; недоліки в організації робочих місць: порушення технологічного регламенту; порушення правил і норм транспортування, складування та сховування матеріалів і виробів; порушення норм і правил планово-запобіжного ремонту обладнання, транспортних засобів; недоліки в навчанні працюючих безпечним методам праці; слабкий технічний нагляд за небезпечними роботами; застосування машин, механізмів, інструментів не за призначенням; відсутність або недосконалість огорожень міст роботи; відсутність, несправність або незастосування засобів індивідуального захисту тощо.
3. Санітарно-гігієнічні – підвищений (вище ГДР) рівень у повітрі робочих зон шкідливих речовин, недостатнє або нераціональне освітлення, підвищені рівні шуму, вібрації; неблагоприятні метеорологічні умови; наявність різних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни тощо.
4. Психофізіологічні – фізичні та нервово-психічні перевантаження працюючих.

Людина може робити помилкові дії із-за втоми, яка викликана великими фізичними (статистичними або динамічними) перевантаженнями, розумовою перенапругою, перенапругою аналізаторів(зору, слуху, дотику), одноманітність праці, стресовими ситуаціями, хворобливим станом.

До травми можуть призвести невідповідність анатомо-фізіологічних і психічних особливостей організму людини, характеру виконуваної роботи. У теперішніх складних технічних системах у конструкціях машин, приладів і систем управління ще недостатньо враховуються фізіологічні, психофізіологічні,

психологічні та антропометричні особливості та можливості людини.

Проф. отруєння можуть бути обумовлені усіма вказаними вище причинами, а професійні захворювання частіше всього спричиняються санітарно-гігієнічними та психофізіологічними причинами.

Таким чином, усунення цих причин являється основним змістом роботи з ОП.

Аналіз виробничого травматизму потрібен для того, щоб виявити причини виробничих травм як у масштабі окремого підрозділу чи підприємства, так і в масштабі галузі і вжити заходи по їх запобіганню.

Найбільш поширеними методами аналізу виробничого травматизму на підприємствах є статистичний, топографічний, монографічний і економічний.

1. Статистичний – засновується на аналізі статистичного матеріалу по травматизму, накопленій за деякий час на підприємстві. Вихідні дані для цього Результати аналізу статистичного матеріалу дають у вигляді таблиць, діаграм та графіків. Аналіз матеріалів здійснюють методами математичної статистики.
2. Топографічний – на вивченні нещасних випадків по місці їх виникнення. При цьому методі всі НВ систематично наносять уловними знаками на план розміщення обладнання в цеху, на ділянці. Накопичення таких знаків на обладнанні характеризує його підвищену травмонебезпечність, що потребує прийняття відповідних профілактичних заходів.
3. Монографічний – засновується на аналізі небезпечних і шкідливих виробничих факторів конкретного обладнання чи технологічного процесу. Він дозволяє виявити потенційні небезпечні фактори.
4. Економічний – застосовується на визначенні економічних збитків від травматизму, щоб виявити економічну ефективність заходів з ОП. Цей метод не дозволяє виявити причини травматизму, тому є допоміжним.

Ці методи не дозволяють порівнювати різні виробництва. Для характеристики рівня вир травматизму на виробництві і в цілому по галузі, для порівняння різних виробництв по рівню травматизму поширення одержали відносні показники травматизму, які визначаються по даним звітів про нещасні випадки. Основними з них є показники частоти і важкості травматизму, які називаються також коефіцієнтами частоти і важкості травматизму [39].

8.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Шумове, вібраційне та електромагнітне забруднення міст.

Шум для мешканців міста є звичним явищем, і майже ніколи людина навіть не замислюється над його протиприродністю. У будь-якому населеному пункті шумить автотранспорт, гуркоче трамвай, працюють підприємства, поблизу злітають з аеродрому літаки. У квартирах шумлять холодильники і пральні машини, в парадних – ліфти. Цей перелік можна продовжити.

За своїм впливом на організм людини шум більш шкідливий, ніж хімічне забруднення. За останні 30 років у всіх містах з чисельністю від 200 тис. чол. І більше шум збільшився на 12–15 дБ, а суб'єктивна гучність виросла в 3–4 рази. Шум зменшує продуктивність праці до 20% і суттєво підвищує захворюваність. Експерти вважають, що у великих містах шум скорочує життя людей на 8–12 років. Частота захворювань серцево-судинної системи у людей, що живуть в зашумлених районах, у кілька разів вища, а ішемічна хвороба серця зустрічається у 3 рази частіше, ніж у сільських. Якщо на 100 тисяч сільських мешканців припадає 20–30 умовно «глухих», то в містах ця цифра виростає в 5 разів. Під впливом шуму втрачається гостроту слуху, погіршується сон та сприйнятливність до навчання. Діти стають більш дратівливими. Для позначення комплексного впливу шуму на людину медики ввели термін – «шумова хвороба». Симптомами цієї хвороби є головний біль, нудота, дратівливність, які досить часто супроводжуються тимчасовим зниженням слуху.

Більшість мешканців великих міст схильні до шумової хвороби, бо постійно отримують шумові навантаження. Наприклад, нормативні рівні звуку для мешканців житлових кварталів повинні становити 55 дБ вдень і 45 дБ вночі. Однак різні джерела техногенного шуму вносять вагомий вклад у звукове середовище міста: літаки, які низько летять, – до 100 дБ, автобуси – до 89 дБ, легкові автомобілі – до 71 дБ, трамваї – до 90 дБ, сміттєпроводи – 83 дБ, пральні машини – 74–76 дБ. У сучасних міських районах зі значним рухом транспорту рівень шуму близький до небезпечної межі у 80 дБ. Шум діє не лише на організм людини, а й на тривалість життя дерев. У сільській місцевості вона довшіа. При дії шуму в 100 дБ рослини виживають 10 днів. При цьому швидко гинуть квіти і уповільнюється ріст

рослин. Зменшити вплив шуму на живі організми, включаючи людину, можливо різними заходами: вдосконалювати транспортні засоби; відокремлювати від магістралей та ділових центрів житлові забудови; покращувати покриття доріг; забезпечувати озеленення місцевості. Природний шум, на відміну від техногенного, позитивно впливає на людину і навіть лікує.

Пташиний спів, дзюркотіння струмкової води, шум листя, лагідний шум морських хвиль – усі ці звуки чули наші далекі пращури і свого роду схильність до них успадкувала наша психіка як звичайне й потрібне для нас явище. Існує накопичений медичний досвід щодо лікування душевних розладів пташиним співом, який радує і підбадьорює, підіймає працездатність і настрій. Поряд з шумом до негативних фізичних чинників міста належить також вібрація.

Джерелами вібрації у містах є транспорт, будівельна техніка, промислові установки. Зазвичай вібрація розповсюджується від її джерела на відстань до 100 м. Найбільш потужне джерело вібрації – залізничний транспорт. Коливання ґрунту поблизу залізниці перевищує землетрус силою 6–7 балів. У метро інтенсивна вібрація розповсюджується на 50–70 м. 180

Поганий вплив на організм людини чинять і електромагнітні випромінювання промислової частоти (50 Гц) та частот радіохвильового діапазону. У помешканнях ЕМП створюють: побутові прилади. Відомо, що кожен внутрішній орган людини працює на певній частоті, наприклад, серце – біля 700 Гц (коливань в секунду), мозок у стані сну – 10 Гц, бадьорості – 50 Гц та ін. Якщо поруч знаходиться постійне джерело ЕМП, яке працює на аналогічній або кратній частоті, то це може призвести до неправильної частоти роботи органу. Наслідком цього може бути головний біль, порушення сну, перевтома, навіть загроза виникнення стенокардії. Найбільш небезпечне випромінювання під час сну, але обійтися без електропобутових приладів неможливо, тому потрібно дотримуватись певних правил: 1) у спальні не варто встановлювати комп'ютер, “базу” для радіотелефону, а також вмикати на ніч пристрої для підзарядки батарейок та акумуляторів; 2) прилади розваг треба вимикати з електромережі на ніч; 3) електронний будильник не повинен стояти біля голови 4) потужність мікрохвильових печей може змінюватись, тому час від часу треба звертатися до майстра, щоб контролювати рівень випромінювання [37].

9. ЕКОЛОГІЯ

9.1. Забруднення довкілля від реалізації дипломного проекту

В процесі реалізації розробленого проекту очікується забруднення навколишнього середовища промисловими відходами, стоками.

До промислових відходів відносяться залишки сировини, матеріалів та напівфабрикат, що виникають у результаті виготовлення деталі і повністю або частково втратили свої властивості, наприклад, сталева стружка, браковані деталі, а також продукти механічної обробки заготовок, одержання яких не є метою виробничого процесу і які в подальшому можуть бути використані як готова продукція після відповідної переробки.

До промислових відходів також належать різного роду вироби, комплектуючі деталі й матеріали, які з тих чи інших причин не придатні для подальшого використання.

Механічний цех містить у своєму складі заготівельні та обробні виробництва, більшість з яких є, в процесі виконання операцій технологічного процесу, джерелом забруднення атмосферного повітря і водного середовища.

Так, при заточуванні різального інструменту у повітря виділятиметься пил абразивний та абразивно-металевий.

При механічній обробці деталей також використовуються змащувально-охолоджувальні рідини, які частково, при нагріванні випаровуються.

Основним джерелом забруднення водного середовища є масла та змащувально-охолоджувальні речовини, які використовуються в цехах машинобудівного виробництва.

Усі види відходів можна поділити на ті, що переробляються або переробка яких планується, та ті, які на даному етапі розвитку економіки переробляти недоцільно.

Відходи, що утилізуються, переробляються на місці їх утворення або на інших підприємствах, що мають відповідну технологію. Відходи, які не піддаються утилізації, захоронюються, якщо вони не несуть небезпеку для навколишнього середовища.

9.2. Заходи по зменшенню забруднення довкілля

Для зменшення забруднення довкілля, яке виникає в результаті реалізації проекту, необхідний цілий комплекс заходів, направлених як на розв'язування конкретних задач – очищення шкідливих викидів і усунення причин забруднення, наприклад очищення повітря, води, ґрунту, так і на вирішення всієї проблеми в цілому.

Очищення забрудненого повітря від газів, рідких і газоподібних домішок є основним способом охорони повітряного басейну від забруднення, що виникає в усіх випадках коли використання активних методів поки неможливе або економічно не вигідне. Задача промислового газоочищення полягає у вилученні або нейтралізації шкідливих речовин з організованих газових викидів від стаціонарних джерел.

Способи очищення викидів в атмосферу від шкідливих речовин при реалізації проекту можна об'єднати в такі групи:

- очищення викидів від пилу та аерозолів шкідливих речовин;
- очищення викидів від газоподібних шкідливих речовин;

Для пилоочищення все ширше використовуються конденсаційні установки, що є різновидом мокрих пиловловлювачів. Принцип дії таких апаратів заснований на швидкому зниженні тиску повітря, що призводить до випаровування води і наступної конденсації водяної пари на пилинках, які у даному випадку стають центрами конденсації. Коагулюючи і обважуючись, пилинки легко відокремлюються у будь-якому пристрої, наприклад в циклоні.

Потік повітря подається до корпусу циклону тангенціально (Рис. 10.1), тому зволожені обважнілі частинки пилу, обертаючись навколо внутрішньої поверхні, скочуються по ній, осідають в нижній частині циклону і видаляються з неї в міру нагромадження, а очищене повітря через розташовану у центрі трубу виходить в атмосферу. Використання зволоження перед попаданням частинок пилу в циклон значно підвищує ефективність такого процесу очищення повітря.

Для очищення вентеляцій і технологічних відходів від газоподібних шкідливих речовин можна використовувати абсорбери. В них, як показано на рисунку 9.2, пилогазовий потік пронизує шар абсорбенту (це як правило рідини – вода, розчини солей), який поглинає шкідливі пари і гази. Більшість шкідливих речовин просто розчиняється в абсорбенті, а деякі з них утворюють з ним нелетючі хімічні сполуки.

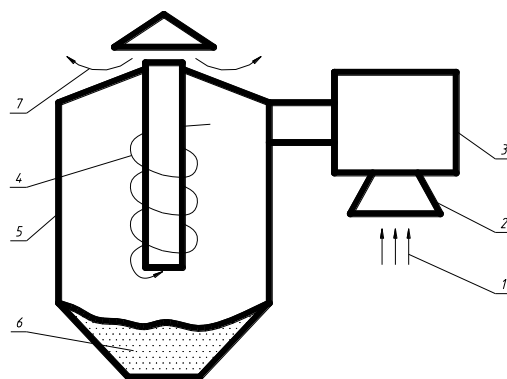


Рис. 9.1 – Схема конденсаційної установки з циклоном

1 – забруднене повітря; 2 – забірна камера; 3 – конденсаційна установка; 4 – зволожене повітря; 5 - циклон; 6 – осаджений пил; 7 – чисте повітря.

Відпрацьований сорбент необхідно видалити і з метою запобігання вторинного забруднення використати в інших виробництвах. Наприклад, для очищення відпрацьованого повітря від ртуті як сорбент використовують піролюзитову руду. Потім з відпрацьованого сорбенту виплавляють ртуть, під час чого проходить відновлення первісних властивостей ртуті.

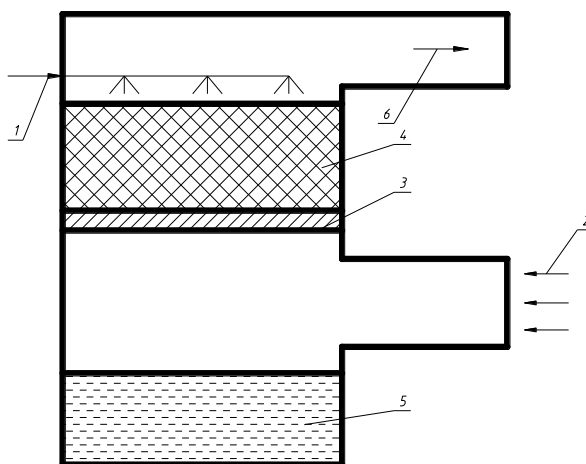


Рисунок 9.2. – Схема абсорбуючого пристрою

1 – абсорбент; 2 – забруднений потік повітря; 3 – сітка; 4 – насадка; 5 – викид відпрацьованого абсорбенту; 6 – очищений потік повітря.

Очищення стічних вод на підприємстві може здійснюватися за такою схемою - очищення стічних вод на заводських спорудах, а потім на міських очисних спорудах з подальшим випуском у водойми.

Для очищення стічних вод машинобудівних підприємств використовують

головним чином наступні методи:

- механічні (проціджування, відстоювання, фільтрування);
- хімічні (нейтралізація, коагуляція, флокуляція);
- фізичні (випаровування, виморожування, магнітна і електромагнітна обробка);
- фізико-хімічні (флотація, електрохімічні методи);
- комбіновані.

Для попереднього видалення плаваючих крупних або волокнистих забруднень застосовують проціджування через решітки і сита.

Для видалення високодисперсних мінеральних домішок і легких органічних частинок застосовують відстійники і маслоуловлювачі. Конструкції застосовуваних в промисловості відстійників є різні. Найбільш поширені горизонтальні відстійники, в яких частинки, осідаючи на дно чи спливаючи, рухаються горизонтально разом з водою. Застосовуються також радіальні відстійники метод флотації, фільтрування через шар зернистого чи пористого матеріалу (найчастіше кварцового піску).

Для фільтрування стічних вод, забруднених мінеральними маслами, мазутом, застосовують в якості фільтра кварцову крихту, а також фільтруючі матеріали. Фільтри повинні піддаватись промивці водою, направленою в зворотному напрямку руху. Для видалення менших частинок застосовують реагенту обробку з допомогою флокулянтів, десорбцію і віддування.

Очищення викидів в атмосферу і стічних вод є вимушеним заходом, зумовленим недосконалістю технологічних процесів, що застосовуються на виробництві. Тому найбільш ефективний шлях - комплексне вдосконалення технології в напрямку мінімізації шкідливих відходів і широке впровадження екологічно чистих технологічних процесів.

Велика кількість води, яку споживає машинобудівне підприємство, витрачається на охолодження установок, матеріалів, продукції. Замінивши водяне охолодження повітряним, можна досягнути значного скорочення використання води і її забруднення.

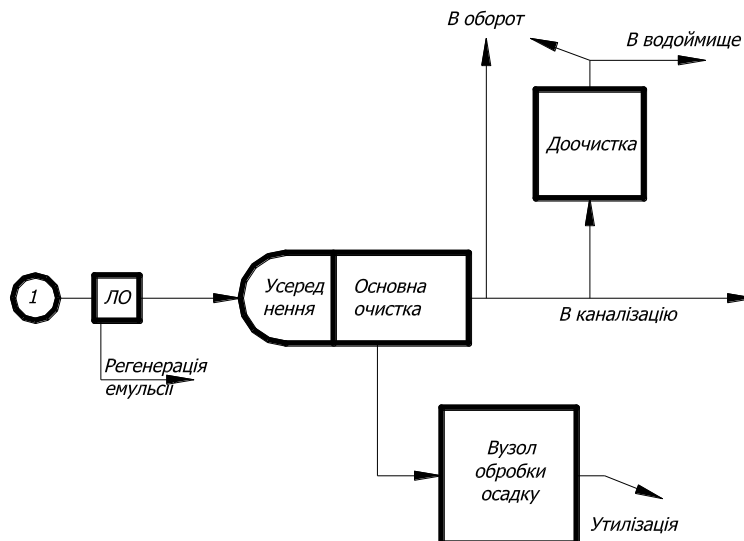


Рисунок 9.3 – Схема очистки стічних вод

Зменшити забруднення навколишнього середовища можна також шляхом мінімізації відходів металів за рахунок проведення комплексу конструкторських, технологічних та організаційних заходів.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного магістерського дослідження можна зробити наступні висновки та рекомендації:

1. У першому розділі проведено інформаційний пошук, з якого випливає, що проектування і виготовлення деталей методом генеративного моделювання та топологічної оптимізації є прогресивним та перспективним методом проектування.
2. Можна стверджувати, що комп'ютерне моделювання спрощує і пришвидшує проведення досліджень, але є лише візуальним підтвердженням аналітичних розрахунків. Разом з тим аналітичний розрахунок є основою розрахунків проведених алгоритмом.
3. Для максимальної правдивості результатів досліджувана 3D-модель має максимально відповідати оригіналу. А для кращого отримання результатів необхідно моделювати збірку, що буде краще відтворювати реальні умови навантажень.
4. Проведені дослідження типових об'єктів методом генеративного моделювання і різних галузях науки довели, що на жорсткість і міцність конструкції впливає не кількість матеріалу, а його розподілення в об'ємі.
5. З вищеперелічених пунктів можна зробити висновок, що дані методи проектування не лише можна, а й необхідно використовувати у верстатобудуванні, що суттєво зможе зекономити використання металу.

БІБЛІОГРАФІЯ.

1. Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. образования / Б.И.Черпаков, Т.А.Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 368 с.
2. <https://www.newequipment.com/research-and-development/what-generative-design-and-why-its-future-manufacturing>
3. <https://www.autodesk.com/redshift/generative-design-examples/>
4. Li, Haibing & Lachmayer, Roland. (2018). Generative Design Approach for Modeling Creative Designs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 408. 012035. 10.1088/1757-899X/408/1/012035.
5. Elie Daher & Sylvain Kubicki & Annie Guerriero, 2017. Data-driven development in the smart city: Generative design for refugee camps in Luxembourg. Entrepreneurship and Sustainability Issues, VsI Entrepreneurship and Sustainability Center, vol. 4(3), pages 364-379, March.
6. Ачеркан Н.С и др. Металлорежущие станки. В двух томах. Т1. М.: «Машиностроение», 1965. – 764 с.
7. Ачеркан Н.С и др. Металлорежущие станки. В двух томах. Т2. М.: «Машиностроение», 1965. – 629 с.
8. Бочков В.М, Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / За ред. Сіліна Р.І. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с.
9. Кирилин, Ю.В. Применение полимербетона для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков / Ю.В. Кирилин // Технология машиностроения. – 2007. - №12. – С. 32-35.
10. Кирилин, Ю. В. Методика моделирования несущей системы станка / Ю.В.Кирилин, В. И. Табаков, И. В. Еремин// СТИН. - 2004. - № 6. - С. 13-17.
11. Барт, В. Е. Применение полимербетонов в станкостроении / В.Е.Барт, Г.С.Санина, С.А.Шевчук // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Серия 6-3. Технология металлообрабатывающего производства. Обзорная информ., вып. 11. - М. : ВНИИТЭМР, 1985. -40 с.
12. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т2. ч.2 / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В.Бушуев и др.; под

- общ. ред. А.С. Пронилова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. – 320 с.
13. Марголит Р.Б. Технология машиностроения : учебник для среднего профессионального образования / Р. Б. Марголит. - Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 413 с.
 14. Бионический дизайн — решение трудных технических задач с помощью природы - Режим доступа до ресурсу: <https://can-touch.ru/blog/bionics-design/>
 15. Инновационные решения компании Altair Engineering и её партнеров в области аддитивных технологий (3D-печати) и аддитивного производства позволяют создавать сложные структуры и конструкции – Режим доступа до ресурсу: <http://fea.ru/news/6000>
 16. Next Eurostar E3000 satellite to feature Airbus 3D printed aluminum parts – Режим доступа до ресурсу: <https://www.3ders.org/articles/20150321-next-eurostar-e3000-satellite-to-feature-airbus-3d-printed-aluminum-parts.html>
 17. Легкие конструкции с помощью генератора форм (autodesk netfabb) – Режим доступа до ресурсу: [https://www.pointcad.ru/istorii-uspeha/legkie-konstrukcii-s-pomoshhyu-generatora-form-\(porozhdayushhego-proektirovaniya\)](https://www.pointcad.ru/istorii-uspeha/legkie-konstrukcii-s-pomoshhyu-generatora-form-(porozhdayushhego-proektirovaniya))
 18. Why GM’s Electric Future Is Also an Additive Future – Режим доступа до ресурсу: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/why-gms-electric-future-is-also-an-additive-future>
 19. Суперстильные 3D-кроссовки от Under Armour и Autodesk .. – Режим доступа до ресурсу: <https://innotech.ua/ru/news/superstilnie-3d-krossovki-ot-under-armour-i-autodesk-43921>
 20. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948. – 200 с.
 21. Радкевич Я. М., Тимирязев В. А., Схиртладзе А. Г., Островский М. С. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов – М.: Высш. шк., 2004 – 272 с.
 22. К.Ф. Антипов, Б.И. Горбунов, С.Н. Калашников и др./ Под ред. А.Г. Косіловой и Р.К. Мещерякова. Справочник технолога-машиностроителя. Т1/. Изд. 3-е М.: Машиностроение, 1972. 694 с.
 23. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонетики). – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.

24. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование. Учеб. пособие для вузов — Мн.: Вышш, шк., 1991. – 382 с.
25. Кузнецов В.Т. Приводы станков с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1983. – 217с.
26. Металлорежущие станки / под ред. В.Э.Пуша. – М.: Машиностроение, 1986. – 575 с.
27. Ковальов В.Д. Натурні випробування крутної жорсткості станин важких токарних верстатів / В.Д. Ковальов, Я.С. Антоненко, Б.Ю. Виганяйло // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Сер.: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University «KhPI»: coll. works. Ser.: Techniques in a machine industry. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 94-98.
28. Методические указания к выполнению контрольной работы и экзамена по дисциплине «Конструирование и расчет станков и станочных комплексов» для студентов заочного отделения специальности 6.050.503 / Сост.: В.Д.Ковалев, М.В. Шаповалов – Краматорск: ДГМА, 2012.- 38 с.
29. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / В.В.Шанайда. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
30. Гагалюк А.В. Дослідження навантажувальної здатності несучої системи токарного верстата аналітичним методом / Гагалюк А.В., Духнич Ю.П., Дерлиця К.А. // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) – Тернопіль: ТНТУ, 2019. С.59 – 60.
31. Конструкции и расчет направляющих металлорежущих станков: учеб. пособие / В. Г. Гусев [и др.] ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. унта, 2011. – 96 с.
32. Кривий П.Д. Трудомісткість конструювання та виготовлення металорізальних і деревообробних верстатів: Навчальний посібник/ Кривий П.Д., Шарик М.В., Сотник І.П. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – 128 с.
33. Никитина И.П. Моделирование несущей системы станка с использованием 3D-принтера Dimension Elite / Никитина И.П. Романенко К.С., Сердюк А.И., Поляков А.Н. – Оренбург: БИБКОМ, 2013. – 140 с.

34. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Інтегрований курс безпеки життєдіяльності (теоретичні основи): Навч. посіб. - Кам'янець-Подільський: Буйницький О .А. ,2009 . - 200 с .
35. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності та охорона праці (Практичний курс): Навчальний посібник . - Кам'янець-Подільський: "Думка", 2010 - 152 с
36. Безпека життєдіяльності . Лабораторно-практичні заняття: Навч посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів /За ред . С . П . Величка . - Кіровоград: КДПУ ім . В Винниченка, 2004 - 140 с.
37. Толлок А.О. Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. –2011. – 215 с.
38. Голубець М А., Кучерявий В.П., Генсірук СА. таін. Конспект лекцій з курсу «Екологія та охорона природи» (теоретичні основи загальної екології, охорони природи, комплекс природоохоронних заходів). — К.: УМКВО, 1990. — 216 с.
39. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці: Навчально-методичний комплекс для підготовки спеціалістів ступеня «бакалавр» III-IV рівнів акредитації для всіх напрямків підготовки / М.М.Сақун, І.В.Москалюк, В.Ф.Нагорнюк; за редакцією Сақуна М.М. – Одеса: Видавництво, 2017. – 400 с.

ДОДАТКИ

УДК 621.9

А.В. Гагалюк, канд. техн. наук, Ю.П. Духнич, К.А. Дерлиця

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ
ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ.

A.V. Gagalyuk, Ph.D.; Yu.P. Duhnych, K.A. Derlytsya

RESEARCH OF LOAD CAPACITY OF CARRIER SYSTEM OF LATHE MACHINE
BY ANALYTICAL METHOD.

Несучу систему верстатів утворюють сукупність його елементів, через які замикаються сили, що виникають між інструментом і заготовлею у процесі різання. Основними елементами несучої системи верстатів є станина і корпусні деталі. Оскільки станина слугує для монтажу деталей та вузлів верстата і відносно неї орієнтуються інші рухомі деталі та вузли, то вона повинна володіти стабільними властивостями протягом усього терміну експлуатації [1]. Основним критерієм працездатності станин є жорсткість, що являє собою властивість тіла або конструкції протистояти деформації [3].

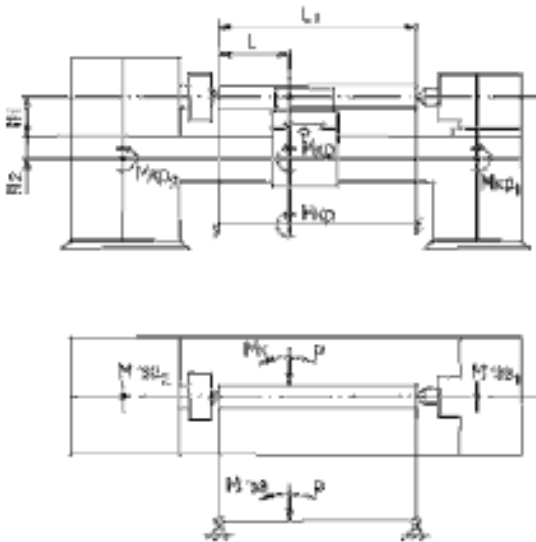


Рисунок 1. Розрахункова схема для визначення пружних переміщень

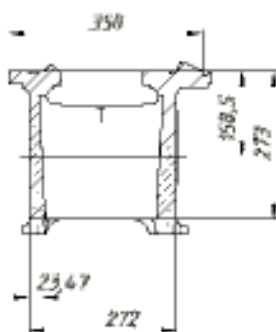


Рисунок 2. Поперечне січення 3D моделі станини

Прості горизонтальні станини розглядають як двоопорні балки з розрахунковою довжиною L_p . Саме конструкція станини визначає особливість розрахунку. У [3, с.12-15] описано, що перегородки не впливають на жорсткість станини у вертикальній площині. Як правило, їх розраховують на згин у поперечному напрямку і на кручення. Проте, через складність конструктивних форм станин аналітичне визначення жорсткості ускладнюється і можливе лише за певних спрощень. Використовуючи методику розрахунку жорсткості станини токарного верстата наведену в [4] було проведено розрахунок в пакеті Mathcad і застосовано до геометричних розмірів 3D моделі станини. У якості вихідних даних частково було використано паспортні дані, а саме: відстань між центрами прийнято $L_1 = 1400$ мм, відстань від різця до патрона прийнято $L = 700$ мм, діаметр заготовки прийнято $d = 220$ мм, швидкість різання – $V_{різ} = 50$ м/хв., відстань до центрів $H_1 = 215$ мм, решта розмірів (рис.2) визначено вимірюванням.

Після проведених розрахунків отримано наступні результати: жорсткість станини на кручення $GJ_{кр} = 3,001 \times 10^{12}$, переміщення станини від згину в характерних точках, а саме на 1/4, 2/4 і 3/4 довжини заготовки склали $y_{кр1}^c = 0,057$ мм.

$Y_{\Sigma 2}^I = 0,106 \text{ мм}$, $Y_{\Sigma 2}^I = 0,062 \text{ мм}$, а переміщення станини від деформації кручення в цих точках $Y_{\Sigma 1}^I = 0,074 \text{ мм}$, $Y_{\Sigma 2}^I = 0,099 \text{ мм}$, $Y_{\Sigma 3}^I = 0,074 \text{ мм}$, відповідно сумарна деформація станини в напрямку

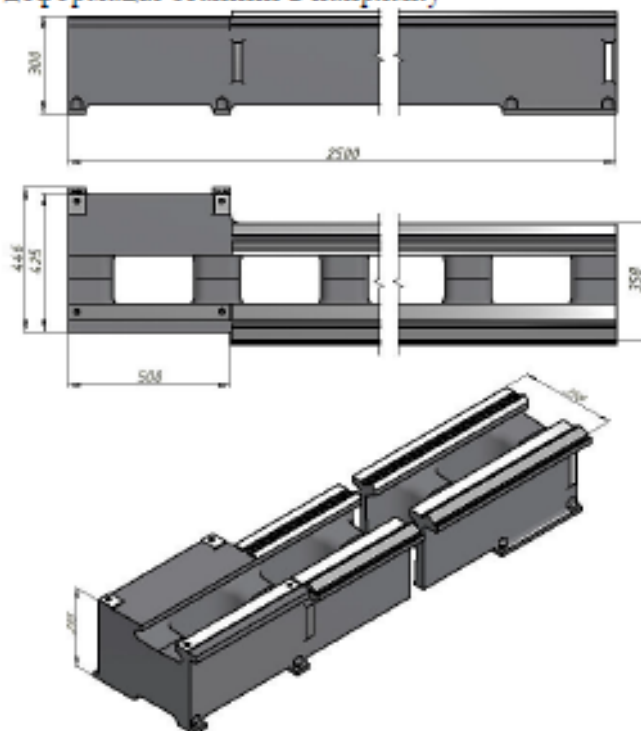


Рисунок 3. 3D модель станини 16K20

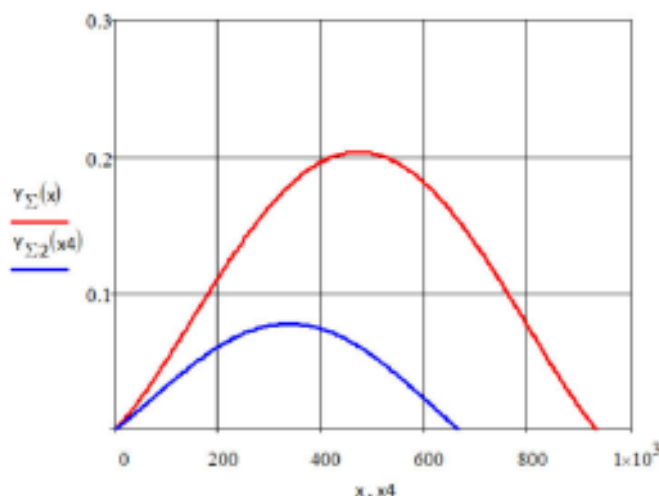


Рисунок 4. Графік прогину напрямної станини

жесткости станков: Учеб. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации инженеров конструкторов в машиностроении / В.В. Каминская, З.М. Левина. – М: Машиностроение, 1983, – 47 с.

4. Методические указания к выполнению контрольной работы и экзамена по дисциплине «Конструирование и расчет станков и станочных комплексов» для студентов заочного отделения специальности 6.050.503 / Сост.: В.Д.Ковалев, М.В.Шаповалов. – Краматорск: ДГМА, 2012.- 38 с

осі різця складала $Y_1 = 0,131 \text{ мм}$, $Y_2 = 0,203 \text{ мм}$, $Y_3 = 0,136 \text{ мм}$. Проте слід зауважити, що маса заготовки складає $m = 418 \text{ кг}$ і деталь довжиною 1400 мм завжди обробляється з додатковою опорою – люнетом. Зменшення довжини заготовки до 1000 мм зменшує прогин майже в 2 рази, а саме $Y_1 = 0,073 \text{ мм}$, $Y_2 = 0,109 \text{ мм}$, $Y_3 = 0,076 \text{ мм}$, про що свідчить графік зображений на (рис.4)

Висновок. На основі проведених розрахунків видно, що при максимальних режимах різання деформація станини має місце і вона безпосередньо впливає на форму оброблюваних деталей, а саме – створює відхилення від циліндричності у формі бочкоподібності, що суперечить висновкам поданих у [3].

Література

1. Черпаков Б.И. Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. образования / Б.И.Черпаков, Т.А.Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 368 с.

2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / За ред. Сіліна Р.І. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с.

3. Каминская В.В. Расчет