

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

на здобуття освітнього ступеня
магістр

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПмз-61
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

		Парастюк Б.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Васильків В.В..
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Ткаченко І.Г.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Окіпний І.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Сеник А.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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

Факультет Інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістра

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

студенту Парастюку Богдану Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу

ЖВМ 22.122.22 та методики вибору необхідного

металорізального устаткування для його реалізації

Керівник роботи Васильків Василь Васильович, доктор технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » 11 2024 року № 4/7 -1098

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі, інформація про технологічні можливості машинобудівного підприємства (перелік устаткування тощо), дрібносерійний тип виробництва (500 шт.)

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розробити ТП виготовлення корпусу та вибрати, а також спроектувати необхідне спорядження.

2. Розробити методику вибору необхідного металорізального устаткування для реалізації ТП виготовлення машинобудівних виробів та використати її для підбору згаданих засобів для реалізації технології виготовлення корпусу ЖВМ22.122.22

3. Розглянути питання стосовно охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях щодо виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Креслення корпусу – 1 лист А2,

Технологічна наладка на операцію 010 – 1 лист А1

Пристрій для вимірювання торцевого биття – 1 лист А1

Багатошпиндельна свердлильна головка для свердління 8-ми отворів – 1,5 листа А1

Розмірний аналіз – 0,5 листів ф. А1.

Графічна ілюстрація результатів наукових досліджень (2А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	Ткаченко І. Г., к.т.н., доц. каф. МТ		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання 15.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Аналітична частина</i>	28.11.2024	
	<i>Науково-дослідна частина</i>	04.12.2024	
	<i>Технологічно-конструкторська частина</i>	09.12.2024	
	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	16.12.2024	
	<i>Виконання графічної частини</i>	14.12.2024	
	<i>Опублікування матеріалів результатів досліджень</i>	12.12.2024	
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	20.12.2024	
	<i>Подання роботи до кафедри та попередній захист</i>		
	<i>Захист магістерської роботи</i>	28.12.2024	

Студент

(підпис)

Парастюк Б.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильків В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22 та методику програмної реалізації методу аналізу ієрархій для вибору необхідного технологічного устаткування.

У роботі показано, що метод аналізу ієрархій забезпечує комплексний підхід до вибору металорізального устаткування, дозволяючи оптимізувати процес прийняття рішень з урахуванням багатьох факторів і обмежень.

У першому розділі описано конструктивні та функціональні особливості деталі та технічні умови для її матеріалізації, проаналізовано технологічність конструктивного виконання деталі, виконано технічний контроль креслення, сформульовано задачі досліджень.

У другому розділі розроблено методику програмної реалізації такого методу для вибору металорізального устаткування. Вона використана для вибору технологічного устаткування для реалізації технологічного процесу виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22.

У третьому розділі розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення корпусу та конструкції технологічного спорядження для його реалізації. Виконано порівняння результатів розрахунків режимів різання, отриманих за методикою фірми Sandvik Coromant та за вітчизняною методикою на основі аналітичних залежностей.

У 4-ому розділі наведено результати аналізу потенційних небезпек та шкідливих умов у дільниці механічної обробки корпусу ЖВМ 22.122.22, описано дію вібрації на організм людини, описано пристрої захисного вимкнення, заходи щодо пожежної безпеки на дільниці механоскладального цеху. Виконано оцінку стійкості роботи виробничого об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій.

Робота також містить 14 таблиць, 16 рисунків, а також розділи загальних висновків та додатків. Обсяг основної частини роботи виконаний на 79 сторінках.

Ключові слова: лита заготовка, корпус, технологічний процес, метод аналізу ієрархій, вибір металорізального устаткування, механічне оброблення.

ЗМІСТ

ВСТУП

1.1 Системний аналіз службового призначення деталі “Корпус ЖВМ 22.122.22” та його технологічності

1.1.1 Конструктивні та функціональні особливості деталі та технічні умови для її матеріалізації

1.1.2 Аналіз технологічності конструктивного виконання деталі

1.2 Технічний контроль креслення

1.3 Висновки та постановка задачі на дипломне проектування

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Методика використання методу аналізу ієрархій для вибору металорізального устаткування

2.2 Використання методу аналізу ієрархій для вибору металорізального устаткування у ТП виготовлення корпусу

2.3 Висновки до розділу

3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Проектування початкової заготовки

3.1.1 Вибір та обґрунтування технології отримання заготовки корпусу

3.1.2 Конструювання заготовки та її термічне оброблення

3.2 Вибір технологічних баз

3.3 Маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки корпусу

3.4 Визначення режимів різання

3.5 Розмірний аналіз механічної обробки деталі

3.6 Використання розрахунково-аналітичного методу для визначення припусків та міжопераційних розмірів оброблюваної заготовки

3.7 Вибір металорізальних інструментів та засобів технічних вимірювань

3.8 Розрахунок параметрів часу розробленого технологічного процесу

3.9 Розрахунок конструктивних параметрів елементів конструкції багатопшпіндельної свердлильної головки

3.10 Пристосування контрольне для перевірки торцевого биття

3.11 Розрахунок технологічної собівартості виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

3.12 Висновки до розділу

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз характеристика потенційних небезпек та шкідливих умов у дільниці механічної обробки корпусу ЖВМ 22.122.22

4.2 Дія вібрації на організм людини і розробка заходів для зниження вібрації технологічного обладнання на дільниці

4.3 Пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії

4.4 Заходи пожежної безпеки на дільницях механоскладального цеху

4.5 Оцінка стійкості роботи виробничого об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій

4.6 Висновки до розділу

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

Додаток А. Таблиці, рисунки

Додаток Б. Методика розрахунку технологічної собівартості виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

Додаток В. Комплект документів на технологічний процес виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

Додаток Д. Специфікації.

Додаток Ж. Копія публікації

Додаток К. Графічний ілюстративний матеріал

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарського машинобудування вимагають підвищення якості виробів, зменшення витрат на їх виготовлення та скорочення термінів виробничого циклу.

Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від якості застосовуваного устаткування, зокрема техніки для обробки посівів. Однією з ключових складових таких агрегатів є корпус ЖВМ 22.122.22 вентилятора установки для обприскування культур, який забезпечує правильну роботу механізму та довговічність експлуатації. Розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу цього елемента потребує врахування особливостей його конструкції, вибору оптимальних методів виготовлення заготовок, а також застосування сучасного металорізального устаткування для обробки.

Використання сучасних методів аналізу для обґрунтованого вибору металорізальних верстатів дозволяє забезпечити не лише високу якість обробки деталей, але й оптимізувати витрати підприємства. Методи аналітичного ієрархічного планування, зокрема метод аналізу ієрархій (MAI), у поєднанні зі спеціалізованими комп'ютерними програмами надають можливість виконувати всебічну оцінку альтернатив і приймати зважені рішення.

Мета цієї дипломної роботи полягає у створенні ефективного технологічного процесу виготовлення корпусу вентилятора, який включає методику вибору металорізального устаткування на основі аналітичного підходу. Для досягнення цієї мети використано MAI та спеціально розроблену комп'ютерну програму, яка дозволяє оптимізувати вибір верстатів відповідно до технічних і економічних вимог.

У межах роботи розглянуто метод отримання заготовки шляхом лиття в піщані разові форми із застосуванням машинної формовки за металевими моделями. Як матеріал використано чавун GG20 відповідно до стандарту DIN 1691, що забезпечує необхідні механічні властивості деталі. Для реалізації технологічного процесу обрано два верстати моделі DMTG VT20 та один трьох

позиційний агрегатний верстат, що дозволяє забезпечити високу точність обробки та знизити виробничі витрати.

Окрему увагу приділено розробленню восьмишпindelної свердлильної головки та пристрою для контролю торцевого биття, який сприяє забезпеченню точності готової деталі та відповідності технічним вимогам, що є ключовим фактором у забезпеченні довговічності устаткування та безперебійної його роботи.

Результати роботи спрямовані на підвищення ефективності виготовлення деталей сільськогосподарського обладнання, зокрема корпусу вентилятора обрисувальної машини, шляхом впровадження сучасних методів планування та реалізації технологічних процесів.

Реалізований у дипломній роботі підхід дозволяє забезпечити ефективну організацію виробничого процесу та високу якість виготовлення деталі.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Системний аналіз службового призначення деталі “Корпус ЖВМ 22.122.22” та його технологічності

1.1.1 Конструктивні та функціональні особливості деталі та технічні умови для її матеріалізації

У боротьбі зі шкідниками, сеgetальними бур'янами та хворобами культурних високорослих багатолітніх насаджень рослин (виноградників і садів), а також польових культур в умовах помірного клімату часто використовують причепні малооб'ємні вентиляторні оприскувачі. Вони забезпечують надійне аерозольне нанесення суспензій чи мінерало-маслянистих емульсій фунгіцидів, гербіцидів та інсектицидів на промислові насадження таких сільськогосподарських культур. Однією із високопродуктивних машин такого типу є експериментальний оприскувач ЖВМ. Він агрегатується переважно з усіма тракторами класів 1,4 - 3,0 типів Т-40М, Т-25А, МТЗ-80/82, ДТ-75Б тощо.

Особливо відповідальним вузлом такої машини є пристрій для транспортування на оброблювану рослинність: вентилятор ЖВМ 22, а у його конструкції - корпус ЖВМ 22.122.22.

Метою роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення згаданого корпусу.

Корпус ЖВМ 22.122.22 виготовлений з сірого чавуну марки GG20 DIN 1691. Особливістю такого матеріалу є дешевизна, відмінні ливарні та антифрикційні властивості, висока зносостійкість, здатність дещо гасити вібрації, а також високопродуктивна оброблюваність різанням за допомогою лезового інструменту. Це досягається завдяки вмісту заліза 93,6%, вуглецю в межах (3,3 – 3,5)%, марганцю в межах (0,7 – 1,0)%, кремнію в межах (1,4 – 2,4)%, а також сірки і фосфору відповідно до 0,15% і до 0,2% [22].

При цьому, $\sigma_b = 200\text{МПа}$, твердість 170...245 НВ. Він забезпечує задовільну функціональність в умовах парів води і масла при температурі до 70 град.

За відсутності такого матеріалу згаданий матеріал може бути замінено на чавун СЧ20 ДСТУ 8833:2019, або китайську сталь HT200. Маса деталі $M = 8,89$ кг.

Згадана деталь належить до класу корпусних виробів фланцевого типу, так як вона характеризується наскрізним отвором $\varnothing 85\text{H}7$ (функція - розміщення двох підшипників, манжет та у виточках - стопорних кілець $\varnothing 94$ і шириною 4,2 мм), посадочною поверхнею $\varnothing 198_{-0,165}^{-0,050}$ (функція - встановлення вентилятора на корпус), вісьмома отворами $\varnothing 13$ під болти М12 (функція - кріплення частини вузла вентилятора у фланці корпусу), внутрішньою посадочною поверхнею $\varnothing 175\text{H}9$ (функція – розміщення тормозних колодок), а на торці отвору $\varnothing 85\text{H}7$ двома отворами М12-7Н (функція – кріплення до вузла із внутрішньої сторони корпусу).

Відсутня потреба у покращенні якісних параметрів поверхонь деталі через можливе зростання собівартості та працемісткості її виготовлення.

Результати системного аналізу технічних вимог та відповідних методів кінцевого оброблення та контролю найвідповідальніших поверхнях виробу подано нижче у таблиці 1.1.

Для забезпечення виготовлення деталі необхідне високопродуктивне та сучасне устаткування. У сучасних умовах швидкого розвитку промислових технологій та зростання конкуренції підприємства стикаються із необхідністю прийняття ефективних рішень щодо вибору металорізального устаткування на основі переліку змісту матеріальної бази підприємства (із існуючої номенклатури на машинобудівному підприємстві). , а також ринкових пропозицій для його купівлі. В обох випадках часто виникають труднощі стосовно його вибору. Від правильності цього вибору залежить продуктивність, якість продукції, економічна ефективність виробництва та конкурентоспроможність на ринку.

Такий вибір реалізують на основі сталих прийомів і досвіду технічного персоналу, або розроблення економіко-математична моделі [1, 17].

Таблиця 1.1 – Технічні умови та відповідні методи можливого кінцевого механічного оброблення та контролю окремих поверхнях виробу

Код поверхні	Необхідні характеристики поверхонь згідно креслення	Спосіб оброблення	Технічні засоби контролю
<i>E, B</i>	Шорсткість 2,5 од. Ra, лінійні розміри згідно 7-го квалітету, допуск овальності та конусоподібності 0,016 мм.	Розвертання	Профілометр-профілограф електронний, обертовий кругломір згідно ГОСТ17353-80
<i>B₁</i>	Допуск на торцеве биття 0,12мм; Шорсткість - Rz40.	Напів-чистове точіння	Контрольне пристосування спеціального типу
<i>P</i>	Різьбовий отвір ØM12-7H.	Нарізання різі мічиком M12-7H	Калібр і відповідний контркалибр
<i>P₂</i>	Граничне відхилення від співвісності 0,08 мм щодо отвору Ø85H7, шорсткість 20 од. Rz.	Чистове точіння	Спеціальне пристосування

Однак останній підхід є суб'єктивним, а для реалізації другого - необхідні фахівці та додаткова інформація, яка дещо ускладнює вирішення цього завдання. Тому актуальним є розроблення методики вибору необхідного технологічного устаткування на основі використання сучасних методів системного аналізу, наприклад, такого як метод аналізу ієрархій [24, 26]. Використання останнього на основі сучасних принципів наукових досліджень та комп'ютерних засобів [7, 11, 19, 24] дозволяє ефективно вирішувати поставлені завдання прийняття обґрунтованих рішень.

1.1.2 Аналіз технологічності конструктивного виконання деталі

Із креслення деталі бачимо, що є простою по конфігурації, конструктивне виконання зовнішньої охоплюючої та внутрішніх її охоплюваних поверхонь не спричиняє особливих труднощів в плані отримання початкової заготовки та її наступного механічного оброблення. Дещо складні елементи, які мають форму ребра жорсткості та кишень можуть бути отримані переважно лише на етапі отримання початкової заготовки.

Завдяки цьому, виріб “Корпус ЖВМ 22.122.22” є достатньо технологічним. Висока жорсткість дозволяє здійснювати багатоінструментальне оброблення, реалізовувати високопродуктивні режими різання та зручність закріплення завдяки зручним базовим поверхням.

1.2 Технічний контроль креслення

Креслення корпусу виконано на належному рівні без надлишкової ускладнюючої інформації з наявністю усіх необхідних відомостей стосовно її конструктивного виконання: вказано розміри з допусками, параметри шорсткості усіх поверхонь, загальні технічні вимоги, інформацію про матеріал і масу деталі, тип покриття, вимоги до відповідальних поверхонь тощо. Граничні відхилення від правильних геометричних форм та їх взаємного розміщення встановлені адекватно існуючим нормативним вимогам згідно [22, 23].

Чіткість інформаційного подання забезпечена достатньою кількістю проекцій, розрізів та додаткових зображень.

Загалом, існуюче креслення забезпечує повне та чітке уявлення про оброблювану деталь.

1.3 Висновки та постановка задачі на дипломне проектування

У розділі в рамках системного аналізу службового призначення деталі “Корпус ЖВМ 22.122.22” та його технологічності описано конструктивні та функціональні особливості деталі та технічні умови для її матеріалізації,

проаналізовано технологічність конструктивного виконання деталі, виконано технічний контроль креслення.

Мета і завдання дослідження

Метою дипломної роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу вентилятора та методики вибору необхідного металорізального устаткування.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання

1. Розробити ТП виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22. Для цього виконати вибір та обґрунтувати технологію отримання початкової заготовки корпусу, спроектувати початкову заготовку, вибрати технологічні бази для її механічного оброблення, розробити маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки згаданого корпусу, визначити режими різання, виконати розмірний аналіз механічної обробки деталі, розрахувати припуски та міжопераційні розміри оброблюваної заготовки на основі використання розрахунково-аналітичного методу, вибрати металорізальні інструменти та засоби технічних вимірювань, розрахувати параметри часу розробленого технологічного процесу, виконати розрахунок конструктивних параметрів елементів конструкції багатошпindelної свердлильної головки для одночасного свердління 8-ми отворів, описати контрольне пристосування для перевірки торцевого биття. У підсумку визначити технологічну собівартість виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22.

2 Використовуючи метод аналізу ієрархій, обґрунтувати вибір металорізального устаткування та розробити відповідну комп'ютерну програму. На основі цього обґрунтувати застосування необхідних верстатів та спеціального чотирьохпозиційного вертикального агрегатного верстату для виконання обробки.

3 Розробити комплект технологічної документації на виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22, а також конструкторську документацію щодо спеціального контрольного пристрою для контролю торцевого биття і багатошпindelної свердлильної головки для одночасного свердління 8-ми отворів.

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Методика використання методу аналізу ієрархій для вибору металорізального устаткування

У сучасних умовах швидкого розвитку промислових технологій та зростання конкуренції підприємства стикаються із необхідністю прийняття ефективних рішень щодо вибору металорізального устаткування. При цьому, для реалізації нового технологічного процесу часто доводиться вирішувати задачі, що пов'язані із необхідністю встановлення переліку об'єктів у плані придбання нового технологічного устаткування, або вибору із існуючої номенклатури на машинобудівному підприємстві. Від правильності цього вибору залежить продуктивність, якість продукції, економічна ефективність виробництва та конкурентоспроможність на ринку. Такий вибір реалізують на основі сталих прийомів і досвіду технічного персоналу, або розроблення економіко-математична моделі [1, 17, 18, 30-34].

Одним із найбільш потужних і гнучких інструментів для ухвалення раціональних технічних рішень є метод аналізу ієрархій (MAI), що запропонований американським математиком Томасом Сааті. Він дозволяє структурувати складну задачу вибору, розділити її на підзадачі та оцінити можливі альтернативи на основі чітких критеріїв. Цей підхід забезпечує логічну прозорість процесу прийняття рішень і враховує як кількісні, так і якісні фактори, що робить його особливо корисним у випадках, коли необхідно узгодити різні точки зору або переваги. Тому для реалізації вибору металорізального устаткування на нашу думку доцільно використовувати згаданий MAI (рис. 2.1).

Перший ієрархічний рівень 1^1 характеризує глобальну мету.

У загальному випадку, на другому J_i^{21} і третьому 3_i^{021} рівнях такої ієрархії нами виділено такі критерії:

Технічні характеристики (1_1^{21}): потужність ($1_1^{31^2}$), точність оброблення ($2_1^{31^2}$), продуктивність ($3_1^{31^2}$), діапазон оброблюваних матеріалів ($4_1^{31^2}$), максимальний діаметр обробки ($5_1^{31^2}$), максимальна довжина обробки ($6_1^{31^2}$), тип системи ЧПК ($7_1^{31^2}$), універсальність ($8_1^{31^2}$), прийнятність у використанні у структурі типових, групових чи модульних технологічних процесах ($9_1^{31^2}$).

Економічні характеристики (2_1^{21}): ціна устаткування ($1_1^{32^2}$), вартість обслуговування ($2_1^{32^2}$), витрати на інструменти ($3_1^{32^2}$), енергоефективність ($4_1^{32^2}$), термін окупності ($5_1^{32^2}$), витрати на навчання персоналу ($6_1^{32^2}$).

Надійність і довговічність (3_1^{21}): рівень зношеності деталей ($1_1^{33^2}$), частота ремонтів ($2_1^{33^2}$), гарантійний період ($3_1^{33^2}$).

Ергономічність і безпека (4_1^{21}): простота керування ($1_1^{34^2}$), рівень автоматизації ($2_1^{34^2}$), безпека роботи ($3_1^{34^2}$), рівень шуму ($4_1^{34^2}$).

Інноваційність (5_1^{21}): наявність інноваційних функцій ($1_1^{35^2}$), інтеграція з CAD/CAM системами ($2_1^{35^2}$), гнучкість налаштувань ($3_1^{35^2}$), новизна (було у користуванні, нове) ($4_1^{35^2}$).

Підтримка і сервіс (6_1^{21}): доступність сервісу ($1_1^{36^2}$), якість технічної підтримки ($2_1^{36^2}$), доступність запчастин ($3_1^{36^2}$).

Інші критерії (7_1^{21}): габарити (площа) ($1_1^{37^2}$), вага ($2_1^{37^2}$), екологічність ($3_1^{37^2}$), популярність марки ($4_1^{37^2}$), відгуки користувачів ($5_1^{37^2}$).

В результаті проведених досліджень визначено, що домінантними є критерії:

Точність обробки (Q2);	Доступність запасних частин
Швидкість (продуктивність) обробки (Q1);	Можливість модернізації (Q9);
Надійність (Q3);	Екологічність (Q10);
Вартість устаткування (Q4);	Шумові характеристики (Q11);
Енергоефективність (Q5);	Автоматизація (Q12);
Зручність обслуговування (Q6);	Програмне забезпечення (Q13);

Габарити (Q7);

Репутація виробника (Q14);

Довговічність (Q15)

У залежності від кількості критеріїв, другий і третій ієрархічні рівні можуть бути зведені до одного такого рівня.

На четвертому ієрархічному рівні розміщують конкретні обрані альтернативи, тобто марки технологічного устаткування.

Зважаючи на викладене, математична модель, яка описує ієрархічну структуру задачі вибору раціонального устаткування є такою:

$$\begin{bmatrix} 1^1 \\ 1_i^2 1^1 & 2_i^2 1^1 & 3_i^2 1^1 & 4_i^2 1^1 & 5_i^2 1^1 & 6_i^2 1^1 & 7_i^2 1^1 & \dots & \dots \\ 1_i^3 1^2 & 2_i^3 1^2 & 3_i^3 1^2 & 4_i^3 1^2 & \dots & 9_i^3 2^2 & 1_i^3 2^2 & \dots & 6_i^3 2^2 & 1_i^3 3^2 & \dots & 3_i^3 3^2 & \dots \\ 1_i^4 J^3 & 2_i^4 J^3 & 3_i^4 J^3 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & M_i^4 J^3 & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix},$$

де M - кількість альтернатив;

J^3 - позначення елементів, розміщених на другому ієрархічному рівні;

i - позначення конкретного виконання об'єкту ієрархії.



Рисунок 2.1 - Фрагмент ієрархії задачі вибору раціонального устаткування для реалізації ТП виготовлення деталі

Для мінімізації похибки у розрахунках на кожному із ієрархічних рівнів кількість альтернатив та критеріїв не повинно перевищувати оптимальне число

Мюллера (5-9 елементів).

Отже, побудова ієрархічної структури проблеми є такою (рис. 2.2):

Рівень 1: Глобальна мета (вибір оптимального устаткування).

Рівень 2: Групи критеріїв (технічні, економічні, ергономічні, сервісні ((5-7 груп)).

Рівень 3: Обрані конкретні критерії із групи критеріїв (5-9 критеріїв).

Рівень 4: Ідентифікація альтернатив (конкретні моделі обладнання).
Створення переліку альтернатив ((5-9 альтернатив)A1, A2, A3, A4).

Якісні показники доцільно перетворювати у кількісні на основі шкали порівнянь. Приклад такого перетворення наведено на рисунку 2.2, у якому наведені критерії та альтернативи для вибору гідромолота для промислового підприємства.

Показник	Вага показника	Абсолютне значення	Оцінка	Значення	Абсолютне значення	Оцінка	Значення
Продавець	5%	ТОВ "ПРОМОТРЕЙ Д ГРУП"	3	0,15	ГК "ІНДУСТРІЯ"	3	0,15
Марка	10%	МТВ 215	4	0,4	ЈАВ ЈВ120	3	0,3
Країна виробник	5%	Туреччина	4	0,2	Корея	3	0,15
Вага, т	10%	2200	2	0,2	2650	4	0,4
Технічний стан	10%	новий	5	0,5	новий	5	0,5
Робочий тиск, bar	5%	140	4	0,2	170	5	0,25
Діаметр піки, мм	5%	145	3	0,15	192	5	0,25
Частота ударів за хв	5%	350-550	4	0,2	300-400	2	0,1
Термін поставки, днів	15%	21	4	0,6	14-21	4	0,6
Гарантія, місяців	10%	12	5	0,5	6	4	0,4
Комплект	5%	Перехідна плита, дві піки, централізована система змазки	4	0,2	Дві піки, рукава високого тиску, перехідна плита	4	0,2
Вартість, \$	15%	30 000,00	5	0,75	34 700,00	4	0,6
Сумуюче значення	100%			4,1			3,9

Рисунок 2.2 - Критерії та альтернативи для вибору гідромолота для промислового підприємства

Абсолютне значення	Оцінка	Значення	Абсолютне значення	Оцінка	Значення	Абсолютне значення	Оцінка	Значення
ТОВ "Констракшин Машинері"	4	0,2	ТОВ "Актіс Україна"	3	0,15	ТОВ з ІІ "Цеппелін Україна"	5	0,25
JCB NM270T	4	0,4	Epiroc EC155T CL	4	0,4	Caterpillar H140Ds	5	0,5
Англія	5	0,25	Швеція	5	0,25	Китай	4	0,2
2700	5	0,5	2600	3	0,3	2600	3	0,3
новий	5	0,5	новий	5	0,5	новий	5	0,5
160-190	5	0,25	160-180	5	0,25	160	5	0,25
150	4	0,2	155	4	0,2	140	3	0,15
230-470	3	0,15	380-590	5	0,25	350-600	5	0,25
Гідромолот в наявності	5	0,75	Гідромолот в наявності	5	0,75	56-98	2	0,3
12	5	0,5	12	5	0,5	12	5	0,5
Автоматична змазка	3	0,15	Перехідна плита, болти, гайки, шайби, долото тупе, шланг гідравлічний	4	0,2	Перехідна плита, дві піки, шланг з металевим захистом + 2 запасні шланги	5	0,25
35 900,00	3	0,45	53 500,00	2	0,3	68 000,00	1	0,15
		4,3			4,1			3,6

Продовження рисунка 2.2

Як відомо, у МАІ здійснюють порівняння критеріїв між собою, а також альтернатив за кожним із критеріїв на основі використання дев'ятибальної шкали відносної важливості.

Потім здійснюють обчислення локальних і глобальних пріоритетів. Для кожного критерію розраховується локальний вектор пріоритетів на основі результатів попарних порівнянь.

Далі визначають глобальні пріоритети як добуток локальних пріоритетів на ваги критеріїв.

Окремо розраховують показник узгодженості. Його значення у встановлених межах є критерієм відсутності протиріч у прийнятих рішеннях.

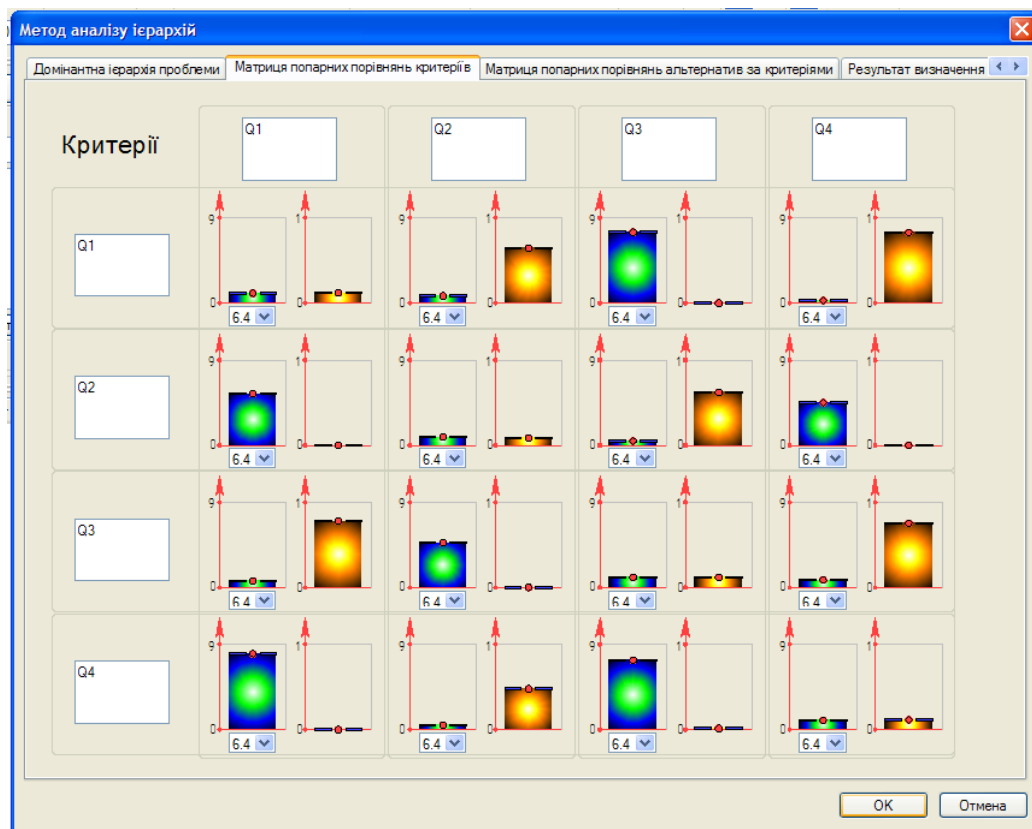
Через складність та об'ємність таких розрахунків для автоматизованої реалізації згаданого методу використовують програмні продукти на зразок MPRIORITY 1.0. Однак з огляду на психологічні особливості людини у плані роботи з цифровими та візуальними даними, нами розроблена спеціальна комп'ютерна програма (рис. 2.3). Її особливістю є те, що визначення переваги

одного об'єкту над іншим здійснюють шляхом зміни висоти діаграми шляхом перетягування її зовнішньої крайки за допомогою курсора (рис. 2.4, 2.5). Висота такої діаграми виконана відповідною до шкали відносної важливості. При цьому, висота однієї діаграми відображає величину переваги першого об'єкту над іншим, а суміжна – перевагу другого об'єкту над першим.

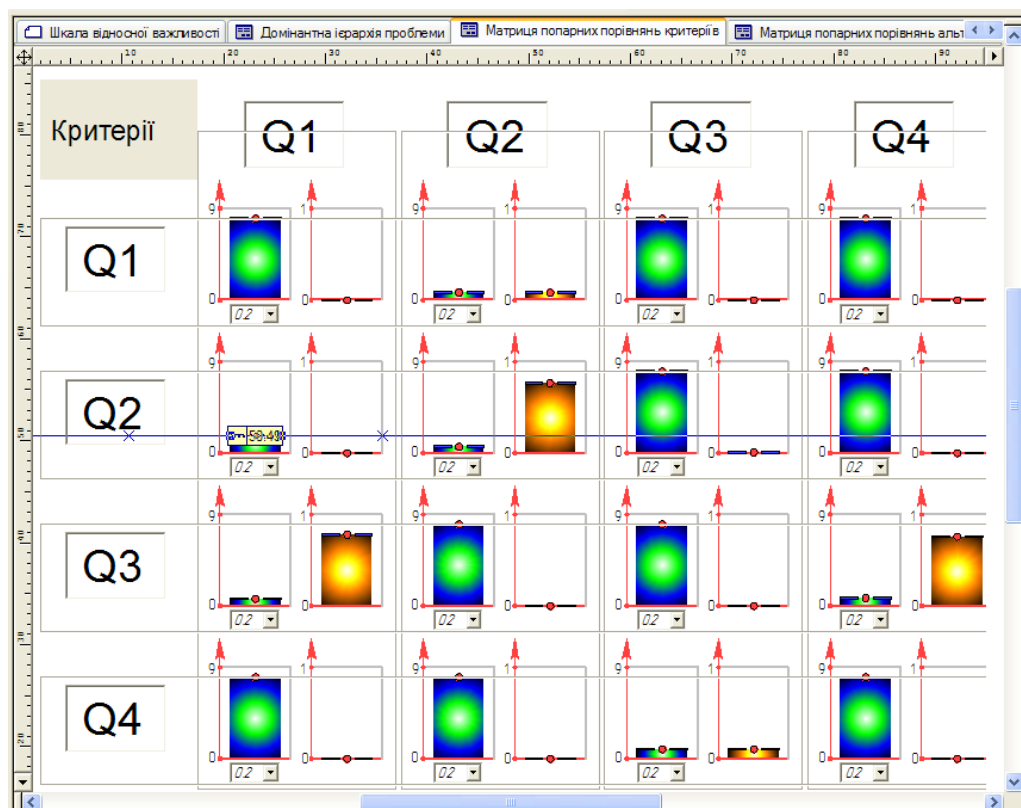
При цьому, існує можливість введення конкретних числових значень переваг (рис. 2.6).

У наведених рисунках символами Q1, Q2 і т.п. позначено критерії, а символами A1, A2, A3 і т.д. – альтернативи.

Рисунок 2.3 – Діалогове вікно для ідентифікації альтернатив та критеріїв



а



б

Рисунок 2.4 – Діалогові вікна для встановлення відносної важливості критеріїв (а, б) та альтернатив щодо кожного із критеріїв (в)

Продовження рисунка 2.4

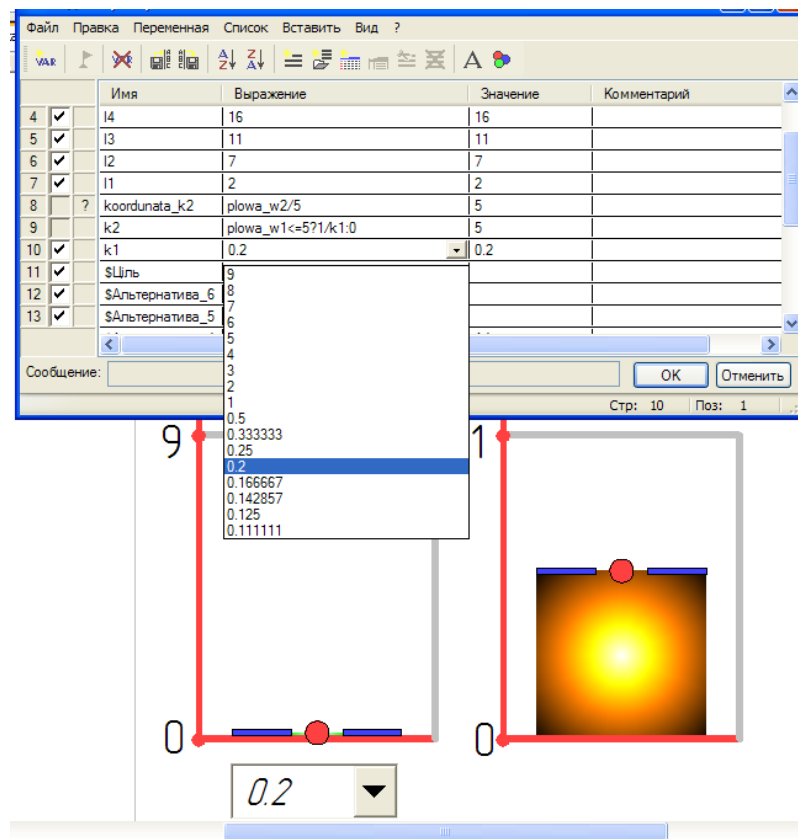
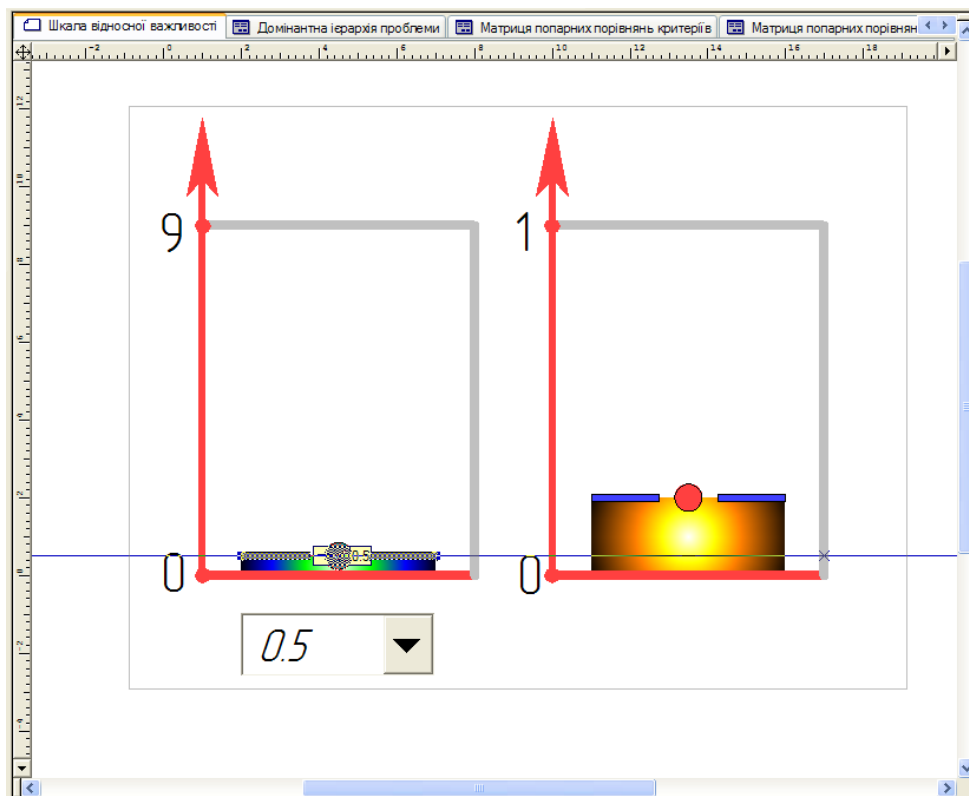


Рисунок 2.5 – Встановлення відносної важливості альтернатив та критеріїв за допомогою зміни розміру діаграм



Продовження рисунка 2.5

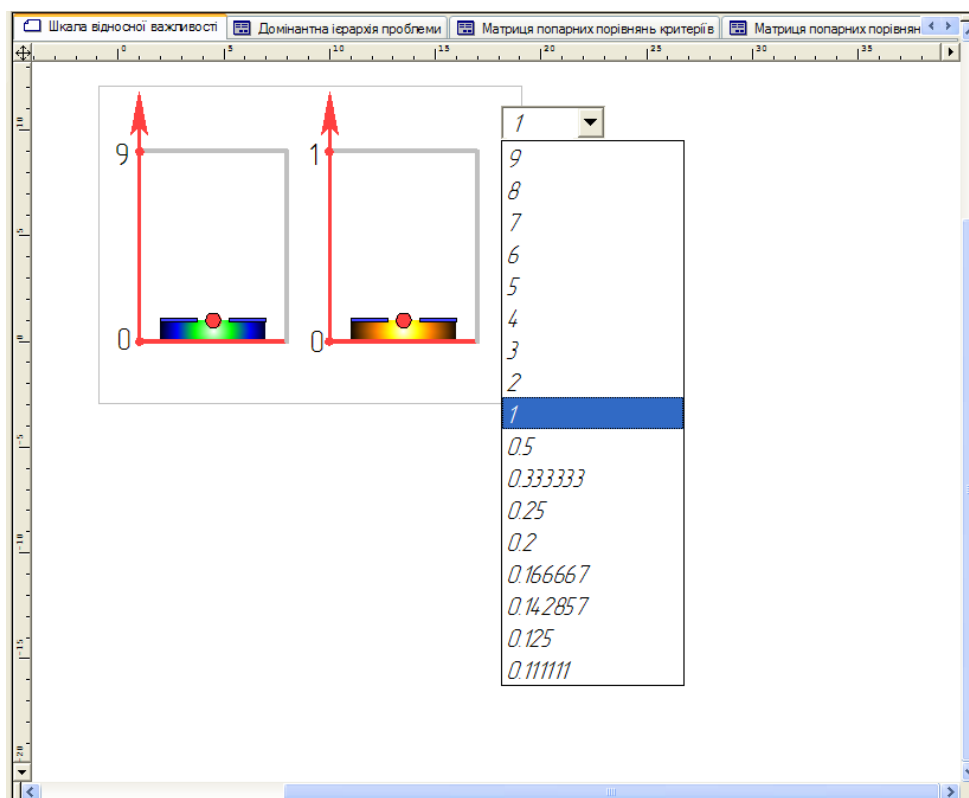


Рисунок 2.6 – Варіант встановлення відносної важливості альтернатив та критеріїв за допомогою зміни числових значень шкали розміру діаграм

Результатом програмних розрахунків є отримання діаграми пріоритетів варіантів металорізального устаткування (рис. 2.7), а також діаграми індексів узгодженості (рис. 2.8). Важливим показником є співвідношення узгодженості (СУ). Якщо його значення перевищує 0,1, то результати попарних порівнянь слід переглянути повторно. Альтернативу з найвищим глобальним пріоритетом ідентифікують як оптимальний варіант вибору.

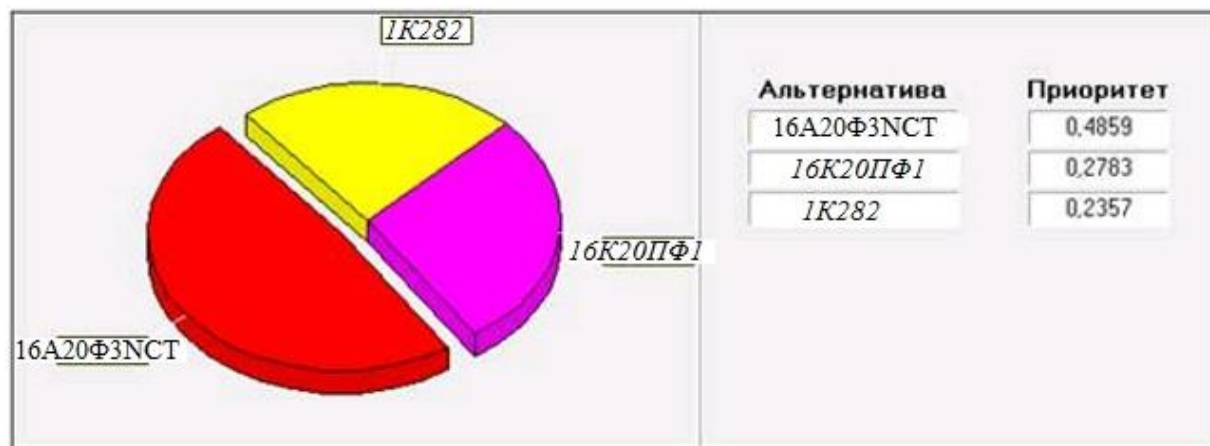


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд діаграми пріоритетів

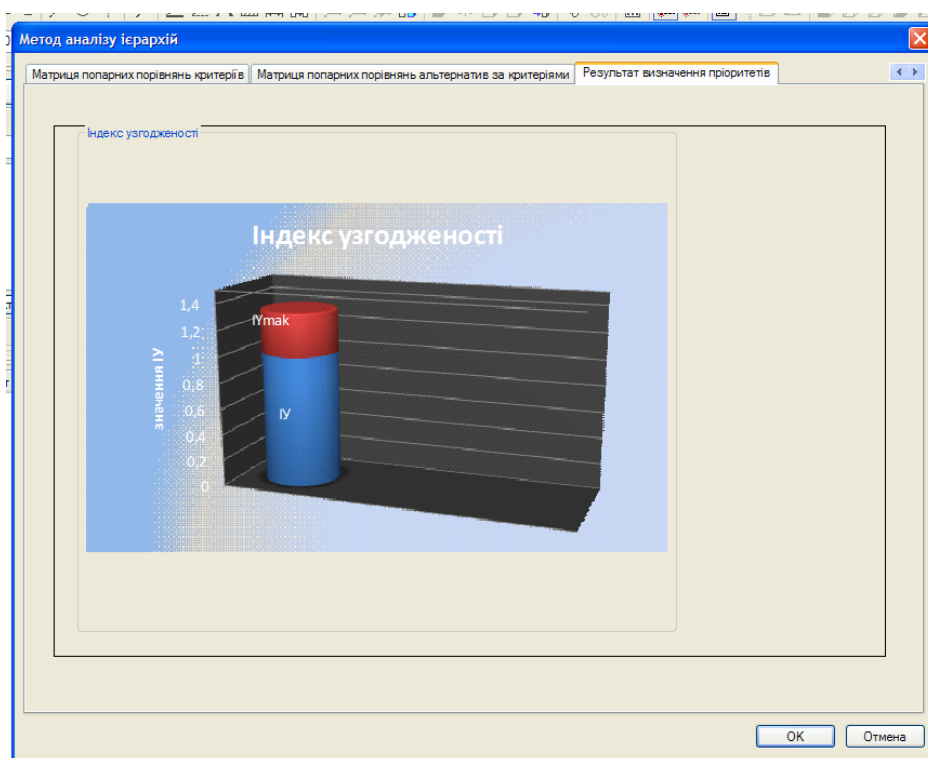


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд діаграми узгодженості

Запропонований метод дозволяє урахувати специфічні потреби виробництва і може використовуватись у різних галузях промисловості у широкому спектрі задач. Він забезпечує прозорість та логічність процесу прийняття рішень.

Поряд з цим, зростання кількості критеріїв і альтернатив значно ускладнює обчислення. Крім цього не виключена можливість появи суб'єктивних помилок при визначенні ваг і оцінок.

2.2 Використання методу аналізу ієрархій для вибору металорізального устаткування у ТП виготовлення корпусу

Мета: Обрати найкращий токарний верстат для обробки деталей.

Ієрархія складається з трьох рівнів (рис. 2.9):

Ціль: Вибір оптимального устаткування.

Критерії: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7.

Альтернативи: А, В, С, D, E, F. Вони обрані з урахуванням переліку наявного на підприємстві металорізального устаткування.



Рисунок 2.9 - Фрагмент ієрархії задачі вибору раціонального устаткування для реалізації ТП виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

Критерії:

Продуктивність (Q1)

Точність (Q2)

Надійність (Q3)

Ціна устаткування (Q4)

Енергоефективність (Q5)

Обслуговування

та

Габарити та компактність (Q7)

ремонтпридатність (Q6)

Для кожного рівня (критеріїв і альтернатив) будуюмо матриці попарних порівнянь, використовуючи шкалу Сааті (1–9):

Приклад матриці результатів попарних порівнянь:

Критерій	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Q1 (Продуктивність)	1	3	5	7	5	3	7
Q2 (Точність)	1/3	1	3	5	3	2	5
Q3 (Надійність)	1/5	1/3	1	3	2	1	3
Q4 (Вартість)	1/7	1/5	1/3	1	1/2	1/3	2
Q5 (Енергоефективність)	1/5	1/3	1/2	2	1	1/2	3
Q6 (Обслуговування)	1/3	1/2	1	3	2	1	3
Q7 (Габарити)	1/7	1/5	1/3	1/2	1/3	1/3	1

Побудована матриця попарних порівнянь для критеріїв. Наприклад, продуктивність є у 2 рази важливішою за вартість, але поступається точності.

Для кожної альтернативи за кожним критерієм також виконуються попарні порівняння. Така матриця має вигляд

Альтернатива	A	B	C	D	E	F
A	1	3	5	7	9	7
B	1/3	1	3	5	7	5
C	1/5	1/3	1	3	5	3
D	1/7	1/5	1/3	1	3	2
E	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1/2
F	1/7	1/5	1/3	1/2	2	1

Індекс узгодженості та співвідношення узгодженості знаходяться в допустимих межах, що підтверджує надійність розрахунків.

В результаті виконаних розрахунків встановлено, що верстат В отримав найвищий пріоритет завдяки високій продуктивності та помірній вартості.

2.4 Висновки до розділу

1. У роботі показано, що метод аналізу ієрархій забезпечує комплексний підхід до вибору металорізального устаткування, дозволяючи оптимізувати процес прийняття рішень з урахуванням багатьох факторів і обмежень.

2. Розроблено методику програмної реалізації такого методу для вибору металорізального устаткування. Вона базується на використанні діаграм, висота яких виконана відповідною до шкали відносної важливості. При цьому, висота однієї діаграми відображає величину переваги першого об'єкту над іншим, а суміжна – перевагу другого об'єкту над першим. Такий підхід зумовлений психологічними особливостями людини у плані роботи з цифровими та візуальними даними.

3. Розроблена методика висвітлена нами у праці [27].

4. Розроблена комп'ютерна програма використана для вибору технологічного устаткування для реалізації технологічного процесу виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22. В результаті дослідження варіантів технологічного устаткування за критеріями продуктивність, надійність, енергоефективність, габарити та компактність, точність, ціна устаткування, обслуговування та ремонтпридатність, визначено оптимальними варіантами технологічного устаткування є токарний верстат з ЧПК моделі DMTG VT20 (операції 005, 010) корпорації DMTG (Китай), а також модифікований агрегатний вертикальний чотирьох позиційний верстат Aggregate 212.

3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА- ЧАСИТИНА

3.1. Проектування початкової заготовки

3.1.1 Вибір та обґрунтування технології отримання заготовки корпусу

На основі використання літературних джерел [6, 8, 9] обрано декілька можливих способів отримання заготовки корпусу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Основні способи отримання заготовки корпусу

№ з/п	Технології отримання заготовки корпусу та їх особливості	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
1	<i>Лиття під тиском</i> Точність отримуваних виробів - 3...7 кл. згідно ГОСТ26645-81, доцільний інтервал ваги заготовок - 0,1-20 кг.	Високі продуктивність (1000-3600 шт./год.) та точність, автоматизований процес виробництва.	Необхідність у застосуванні спеціальних устаткування і спорядження
2	<i>Відцентрове лиття</i> Точність отримуваних виробів – 6...12 кл. згідно ГОСТ26645-81, допустима мінімальна вага заготовки 0,5 кг.	Висока продуктивність, низька собівартість та задовільні умови праці. Відсутність потреби у застосуванні спеціальних технічних прийомів та засобів (стержнів). Підвищений коефіцієнт використання матеріалу через знижені його витрати на ливникову систему. Підвищена якість виробів через седиментацію газових бульбашок та сторонніх неметалічних включень у структурі такого матеріалу, а також якісне заповнення форми залитим металом.	Незначне погіршення якості виробів через значну ліквідацію структурних елементів сплаву, особливо таких як S, C, P. Можливість виникнення механічного пригару. Необхідність у застосуванні спеціалізованого устаткування.

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
3	<i>Лиття в кокіль</i> Точність отримуваних виробів – 4...12 кл. згідно ГОСТ26645-81, допустима мінімальна вага заготовки 10 кг. Найменша товщина стінки виробу – 10 мм.	Висока продуктивність, низька собівартість та задовільні умови праці. Відсутність потреби у застосуванні спеціальних технічних прийомів та засобів (стержнів).	Необхідність у застосування спеціального технологічного спорядження. Ліміти за критеріями мінімальної ваги та товщини стінки виробу.
4	<i>Лиття в сухі піщано-глиняні форми при машинній формовці за допомогою металічних моделей</i> Точність отримуваних виробів – 6...12 кл. згідно ГОСТ26645-81. Допустиме відхилення відливки по масі при нормальній точності становить 7,5%.	Простота технології. Точність розмірів відповідає 13 кв.	Необхідність у складанні стержнів
5	<i>Лиття в сухі піщано-глиняні форми при машинній формовці за допомогою дерев'яних моделей</i> Допустиме відхилення відливки по масі при нормальній точності становить 11,8%.	Простота технології. Точність розмірів відповідає 14 кв.	Необхідність у складанні стержнів
6	<i>Виконання збірно-зварної заготовки</i>	Високий коефіцієнт використання матеріалу	Збільшення частки складальних операцій
7	<i>Використання адитивних технологій</i>	Простота технології.	Низька продуктивність

Застосування технології відцентрового лиття обмежено відсутністю устаткування.

Обґрунтування вибраної технології здійснюємо частковим методом для двох останніх наведених у таблиці 3.1 технологічних способів. Його виконуємо за методикою, яка наведена у працях [18, 30-33].

Коефіцієнт варіації маси відливки для першого способу становить 3,6, а для другого - 4,7. Отже, значення коефіцієнту економії матеріалу першого згаданого способу у порівнянні з другим у розрахунку на одну деталь становить 0,044.

Таким чином, порівняння норм витрат матеріалу при виготовленні заготовок за такими способами показала, що економія маси заготовки усієї програми випуску становить 19890 кг. Отже, доцільніше застосовувати технологію лиття при машинній формовці з використанням металічних моделей.

Для порівняння згаданого способу і технології лиття під тиском проведемо математичні розрахунки вартості заготовок на основі методики, що наведена у праці [18]:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{100} \cdot Q \cdot R_T \cdot R_C \cdot R_B \cdot R_M \cdot R_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{inlets}}}{1000}, \quad (3.1)$$

У такій формулі базові вартості C_i заготовок у розрахунку на одну тону; $C_1 = 1598$ грн., $C_2 = 9275$ грн. Коефіцієнти класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу, а також об'єму виробництва $R_T, R_C, R_B, R_M, R_{II}$ відповідно є такими: $R_T = 1,07, R_M = 1,04, R_C = 1,1, R_B = 0,92, R_{II1} = 0,78$ (друга група серійності); $R_{II2} = 1$ (третя група серійності). Ціна 1 т відходів $S_{\text{inlets}} = 7,0$ тис. грн.

На основі проведеного комп'ютерного моделювання з використанням сучасних програмних продуктів та методик створення ескізного та параметричного креслення [2-5], розроблені 3D-моделі виробу та початкової заготовки та визначено їх масо-інерційні характеристики [16].

Так як маса заготовки для першого і другого способів відповідно $Q_1 = 9,6 \text{ кг}, Q_2 = 8,9 \text{ кг}$, а маса готової деталі $q = 8,69 \text{ кг}$ то

для способу лиття в піщано-глинясті форми

$$S_{\text{заг1}} = 12,88 \text{ грн.}$$

для способу лиття під тиском

$$S_{\text{заг2}} = 82,48 \text{ грн.}$$

Таким чином, доцільніше обрати перший варіант.

3.1.2 Конструювання заготовки та її термічне оброблення

На основі використання ГОСТ 26645-85 для технології лиття у піщано-глиняній форми визначаємо точність заготовки: 7-6-5-3. На основі цього здійснюємо визначення припусків і допусків в мм на отримання поверхонь заготовки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Припуски і допуски на окремі поверхні початкової ливарної заготовки

Поверхня та її розмір		Припуск	Допуск	Розмір заготовки
Циліндрична поверхня	охоплювана $\varnothing 85H7$	$2 \times 2,0$	$\pm 0,4$	$81,5 \pm 0,4$
	охоплювана $\varnothing 175H9$	$2 \times 3,0$	$\pm 0,7$	$169 \pm 0,6$
	охоплююча $\varnothing 198_{-0,65}^{-0,05}$			$204 \pm 0,7$
	охоплююча $\varnothing 196_{-1,15}$	$2 \times 3,5$		
Торцева поверхня, що суміжна з циліндричною поверхнею	$\varnothing 196$	2,5	$\pm 0,4$	-
	$\varnothing 290$			
	$\varnothing 270$			
	$\varnothing 85$	2,0		

Відповідно до правила тіней площину роз'єму виливки розміщуємо у діаметральній площині максимального габаритного розміру. Обране позиційне розміщення забезпечує можливість у подальшому при механічній обробці

здійснити нейтралізацію виникаючих похибок такого базування та створити умови безпроблемного формування при литті криволінійних суміжних поверхонь.

Формування внутрішніх порожнин необхідно забезпечити шляхом використання стержнів. Так отримання конфігурації моделі здійснюватиметься машинним методом то формувальні ливарні нахили призначаємо відповідно до ГОСТ 3212-80. Торцеві поверхні та циліндричні поверхні - від 1° до 2° , ребра жорсткості - $5 \dots 8^\circ$, решта – $4 \dots 5^\circ$.

Товщину кожного ребра жорсткості виконуємо відповідно до вимог креслення: 8 мм.

Величину радіусів заокруглень визначаємо за формулами

$$R_{m1} = \frac{(M1 + M2)}{4} = \frac{12 + 12}{4} = 6 \text{ мм}; \quad R_{m2} = \frac{(M1 + M3)}{4} = \frac{12 + 14}{4} = 6,5 \text{ мм}; \quad (3.2)$$

де $M1$, $M2$, $M3$ тощо – визначені розміри суміжних товщин стінок виливки.

Отримані значення заокруглюємо до найближчих більших стандартних величин ливарних галтелей $R_{m1} = R_{m2} = 8 \text{ мм}$.

Заокруглення невідповідальних поверхонь приймаємо рівними $4 \dots 6 \text{ мм}$.

За результатами проектування заготовки нами визначено такі вимоги до її виконання:

- твердість 160...250 НВ у зонах де механічне оброблення не передбачено;
- ливарні радіуси заокруглень дорівнюють $5 \dots 8 \text{ мм}$, а технологічні нахили $1 \dots 3^\circ$;
- обов'язкова відсутність ливарних дефектів у зоні розміщення різьбових поверхнях;
- на поверхнях, які не підлягають подальшому механічному обробленню можливе відбілювання;
- можливе виникнення дефектів типу раковин глибиною не більше 2 мм у зоні товщині стінки до 7 мм, і не більше 3 мм у зоні товщини від 7 до 16 мм на

невідповідальних поверхнях;

– сумарна поверхня раковин не повинна перевищувати 8 % від загальної площі поверхні їх розміщення.

З метою зменшення внутрішніх напружень виливної заготовки та зміни її крупнозернистої структури необхідно здійснити її термічне оброблення. Варіанти режимів такого оброблення є такими:

- низькотемпературний відпал (максимальна температура нагрівання $T_{\max} = 500-600$ °С, загальна тривалість обробки (включно з нагріванням та витримуванням) $t = 16-18$ годин;

- нормалізація ($T_{\max} = 650-750$ °С, тривалість $t = 3$ год.).

Режими очищення заготовки:

- попереднє очищення в дробометальній напівавтоматичній камері площею до 80 м², режими: частота обертання стола n – 3-4 об/хв., витрати абразивного дрібнодисперсного матеріалу – 6 кг/т, продуктивність - до 14 т/год.

- остаточне очищення в гідравлічній камері площею до 25 м² (тиск води до 12000 кПа, продуктивність – до 4 т, витрати води – до 5-6 м³/т.

На основі викладеного із побудованої 3D-моделі з використанням методик [2-6, 16] визначаємо уточнений коефіцієнт використання матеріалу:

$$K = \frac{M}{M_m} = 8,89/9,4 = 0,94$$

де M_m – маса початкової заготовки, $M_m = 9,4$ кг; M – маса виробу.

3.2 Вибір технологічних баз

З метою забезпечення найменшої похибки базування і необхідної точності при виборі баз реалізуємо принцип єдності і постійності баз, а також суміщаємо базову, вимірювальну і складальні поверхні:

- на першій операції механічної обробки чорною однократною базою є

необроблювані поверхні корпусу Ø290мм і Ø198мм;

- на другій та третій операціях механічного оброблення базою є уже оброблені поверхні, тобто поверхні що отримані на першій операції: торець Ø270 і отвір Ø85H7.

3.3 Маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки корпусу

Для механічного оброблення початкової заготовки можна використовувати різне технологічне устаткування, яке наявне у структурі верстатного парку машинобудівного підприємства, або ж здійснювати його закупівлю підприємством з огляду на перспективи його використання.

У даному випадку, на основі методики, описаної в розділі 2 нами обрано таке технологічне устаткування:

Токарний верстат з ЧПК моделі DMTG VT20 (операції 005, 010) корпорації DMTG (Китай).

Конструктивні особливості є такими.

Верстат має вертикальну компоновку, що забезпечує кращу стабільність під час обробки великих і важких деталей із штучних заготовок та займає малу площу у цеху (3900x1940x3200). Система приводу: Оснащений змінними сервошпинделями та гідравлічними патронами типів A2-8, A2-15, A2-11, і їх сучасним приводом, що забезпечує високошвидкісне оброблення заготовок.

Наявність гідростанції розміром 1100 x 700 x 700 мм та об'ємом на 280 л. і тиском 8МПа. Верстат укомплектований транспортером для видалення стружки, автоматичною системою змащування направляючих.

Технічні параметри: Максимальний діаметр обробки: 2000 мм (приблизно).

Максимальна висота деталі: 1200–1400 мм (залежно від конфігурації моделі). Вага оброблюваної деталі: до 10 тон. Діапазон швидкостей шпинделя: Від низьких (для важких деталей) до високих (для високоточної обробки). Потужність основного двигуна – 22 кВт. Тип інструментального блоку: обладнаний

револьверною 8-ми позиційною головкою з привідним інструментом.

Таблиця 3.3 – Маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки початкової ливарної заготовки корпусу

№ та назва операції	Зміст операції та технологічного переходу		Позначення поверхні яку обробляють	Базові поверхні	Назва та модель устаткування
1	2		3	4	5
Транспортна	Транспортування початкових заготовок на ділянку механічного оброблення		-		ЕК-202Б
005 Токарна з ЧПК	1, 2. Підрізання торця	Ø270 довжиною 26±0,4	<i>D</i>	<i>C, P</i>	Оброблюючий центр моделі DMTG VT20. Гідравлічний патрон KITAGAWA
		отвору Ø78 довжиною 40±0,2	<i>L</i>		
	3, 4. Розточування попереднього отвіру	за один прохід з Ø78,5 до Ø84,4H12 (+0,35) довжиною 98 _{+0,1}	<i>F, C</i>		
		за один прохід з Ø84,4H12 до Ø84,8H10 (+0,14) довжиною 98 _{+0,1}	<i>F, C</i>		
	5. Розточування двох канавок шириною кожна 4,12H13 (+0,18) з витримуванням розмірів 12±0,28; 77 ^{+0,3} і Ø89H14		<i>G, G₁</i>		
	6. Чистове розвертання отвору з Ø84,8H10 до Ø85H7 (+0,035) за один прохід		<i>F, C</i>		
	7. Одночасне розточування фаски 1.5×1.5° та канавки шириною 34 мм і довжиною 34,5 мм		<i>C₁, G₂</i>		

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
010 Токарна з ЧПК	1. Одночасне підрізання двох торців на діаметрах 210мм і 250 мм з витримуванням розмірів 22 і 160мм	C_1, J	C, F, D	Оброблюючий центр моделі DMTG VT20 Гідравлічний патрон KITAGAWA
	2. Чорнове попереднє розточування отвору $\varnothing 171$ мм	I		
	3. Одночасне попереднє розточування отвору $\varnothing 174,2H12(\pm 0,4)$, з дотриманням розміру $44(\pm 0,4)$ мм та точіння попереднє $\varnothing 196,8h12_{(0,46)}$ з витримуванням розміру 75 мм	P_1, P_2, E		
	4. Розточування отвору $\varnothing 174,8H10(\pm 0,4)$ з дотриманням розміру $42^{+0,4}$ мм та одночасне точіння $\varnothing 198,2h10_{(-0,46)}$, витримуючи розмір 75 мм	P_1, P_2, E		
	5. Одночасне точіння двох фасок та поверхні $\varnothing 196H14$ з дотриманням розміру 56 мм	N, G_1, P_1		
	6. Точіння поверхні $\varnothing 196f9$ довжиною 18 мм	P_2		
	7. Розточування отвору $\varnothing 175,8H9$ з витримуванням розміру $45 \pm 0,1$ мм	E_2		
015 Агрегатна з ЧПК	1. Одночасне свердління 8-ми отворів $\varnothing 13H14$ з витримуванням розміру $\varnothing 240 \pm 0,1$	P	C, D, F	Агрегатний верстат Aggregate 212
	2. Послідовне свердління двох отворів $\varnothing 10,5^{+0,2}$ на глибину $34 \pm 0,6$ з витримуванням розміру $130 \pm 0,1$ та формуванням на них фасок	Q		
	3. Одночасне нарізання різей у двох отворах $\varnothing 10,5^{+0,2}$ з витримуванням розміру $25 \pm 0,5$	Q		

Тип управління: верстат оснащений системою ЧПК FANUC.

Інтерфейс системи простий у використанні, що зменшує час налаштування.

На третій операції 015 доцільно використати наявний на підприємстві модифікований агрегатний вертикальний чотирьох позиційний верстат Aggregate 212. Він складається із трьох уніфікованих модулів свердлильної групи типу УМ 2521-1,00 та оснащений силовим та поворотним ділильним столом УМ 4154 згідно МН 4491-631 з діаметром планшайби 1250мм. Управління: верстат також оснащений системою ЧПК FANUC. Одна з позицій верстату призначена для встановлення та зняття деталі завдяки використанню поворотного стола.

Для транспортування початкових заготовок на дільницю механічного оброблення доцільно використовувати електрокар моделі ЕК-202Б.

Розроблений маршрут та операційний технологічні процеси механічної обробки деталі представлений у таблиці 3.3.

Обране технологічне устаткування є ефективним в умовах як крупносерійного, так і серійного типів виробництв.

3.4 Визначення режимів різання

Метод вибору раціональних параметрів режиму різання залежить від використовуваного технологічного устаткування.

У випадку використання сучасних закордонних верстатів з ЧПК можна використовувати методику фірми Sandvik Coromant [12].

Основні етапи розрахунку:

1. Вибір інструменту

Матеріал різальної пластини: обирається залежно від матеріалу заготовки (Р – сталь, М – нержавіюча сталь, К – чавун, N – алюміній, S – жароміцні сплави, Н – тверді матеріали).

Геометрія інструменту: важливий вплив мають передній кут, задній кут і форма пластини.

Система кріплення інструменту: токарний тримач, фреза чи свердло вибираються відповідно до типу операції.

2. Параметри заготовки.

Матеріал заготовки: враховуються його механічні властивості, зокрема твердість, міцність, абразивність.

Габарити заготовки: впливають на стійкість та можливості інструменту.

3. Розрахунок основних параметрів режимів різання.

Використовують рекомендації Sandvik Coromant з таблиць та графіків в їх офіційних посібниках та інтернет-сторінках.

3.1. Швидкість різання v залежить від матеріалу заготовки, матеріалу різального інструменту, типу операції (токарна обробка, фрезерування, свердління тощо):

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

де D – діаметр оброблення;

n — частота обертання шпинделя, об/хв.

3.2. Частота обертання шпинделя визначають так:

$$n_p = \frac{1000 v_p}{\pi D}$$

3.3. Глибина різання t

Sandvik Coromant рекомендує орієнтуватися на два типи обробки:

Чорнова обробка: максимальна допустима глибина.

Чистова обробка: мінімальна для досягнення високої якості поверхні.

3.4. Подача S залежить від геометрії інструменту, необхідної якості поверхні, жорсткості системи верстат-інструмент-пристосування-заготовка.

Рекомендують:

Чорнова обробка: висока подача (для видалення більшого об'єму матеріалу).

Чистова обробка: низька подача (для покращення якості поверхні).

3.5. Потужність різання

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \eta$$

4. Корекція режимів різання

Враховують додаткові фактори: зношення інструменту, стан устаткування.

Рекомендації виробника (подано в таблицях для конкретних матеріалів).

5. Використання таблиць і програм Sandvik Coromant (рис. 3.1).

Компанія Sandvik Coromant надає спеціалізовані довідники та програмне забезпечення (наприклад, CoroPlus Tool Guide), які автоматично визначають рекомендовані режими різання на основі введених даних.

CoroPlus Tool Guide від Sandvik Coromant — це інтерактивна платформа, що автоматично визначає оптимальні режими різання, враховуючи матеріал заготовки, тип інструменту та операцію.

Етапи роботи з CoroPlus Tool Guide

1. Доступ до інструменту

Онлайн-версія: Відкривають інструмент на офіційному сайті Sandvik Coromant.

Вбудована версія: Деякі CAD/CAM системи підтримують інтеграцію з CoroPlus Tool Guide.

Реєструють обліковий запис: Для повного доступу до функціоналу бажано створити профіль користувача.

2. Вибір операції

У головному можна обрати необхідний тип обробки. Варіанти є такими.

Токарна обробка. Фрезерування. Свердління. Також інші спеціалізовані процеси (розточування, нарізання різьби тощо).

3. Введення вхідних даних

Матеріал заготовки: його обирають зі стандартної класифікації ISO (наприклад, P — сталь, K — чавун, N — алюміній).

Вказують додаткові параметри: твердість (HB, HRC), тип сплаву.

Тип обробки: чорнова чи чистова обробка.

Габарити заготовки: діаметр, довжина, або геометричні особливості.

4. Вибір інструменту

Система автоматично підбирає рекомендовані інструменти (наприклад, ріжучі пластини, фрези, свердла).

Ручний вибір: Користувач може вручну вказати наявний інструмент (тип пластини, її код або геометрію).

5. Розрахунок параметрів

Натискають "Розрахувати":

Інструмент запропонує оптимальні режими різання: швидкість різання, подачу S , глибину різання t .

Система також оцінить тривалість роботи інструменту, продуктивність, рівень вібрації та якість поверхні.

6. Аналіз результатів

Основні режими різання:

Швидкість обертання n .

Швидкість подачі V_f .

Потужність P .

Додаткові рекомендації:

Інструмент може запропонувати альтернативні режими для більшого терміну служби інструменту чи економії часу.

Оцінка інструменту: Вказують строки служби та можливі ризики зносу.

7. Завантаження результатів

Зберігають отримані параметри у форматі PDF або експортують у CAM-систему користувача.

Доступна конвертація у вигляді технічної специфікації для зручності використання на виробництві.

Приклад розрахунку режимів різання для чистового точіння торця отвору Ø265. Устаткування – токарний верстат з ЧПК мод. DMTG VT20.

Матеріал заготовки: сірий чавун марки GG20 DIN 1691 (група ISO K).

Діаметр обробки $D=265$ мм. Тип операції: чистова токарна обробка.

Інструмент: токарний тримач з пластиною з твердого сплаву типу ISO K20.

для визначення режимів різання

2. Рекомендації Sandvik Coromant для чистового точіння чавуну (ISO K):

Швидкість різання: 180–250 м/хв для чавуну GG20 DIN 1691 (обираємо 220 м/хв для чистової обробки). Пластина - GC3210.

Подача S: 0.1–0.2 мм/об (вибираємо S=0.15мм/об).

Глибина різання: 0.5–2 мм (вибираємо t=1,0 мм).

3. Розрахунок частоти обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot 220}{\pi \cdot 265} \approx 265 \text{ об/хв.}$$

Розрахунок швидкості подачі

$$V_f = f \cdot n \quad V_f = 0.15 \cdot 265 \approx 39.75 \text{ мм/хв.}$$

Оцінка потужності різання P:

Для чавуну за даними Sandvik Coromant, сила різання складає приблизно 1500 Н на 1 мм² перерізу стружки.

Переріз стружки:

$$A = f \cdot a_p = 0.15 \cdot 0.8 = 0.12 \text{ мм}^2.$$

Сила різання:

$$F_c = A \cdot 1500 = 0.12 \cdot 1500 = 180 \text{ Н.}$$

Розрахунок потужності :

$$P = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot \eta}, \quad P = \frac{180 \cdot 220}{60 \cdot 0.85} \approx 7.75 \text{ кВт.}$$

6. Підсумкові режими різання:

Швидкість різання 220 м/хв.

Частота обертання шпинделя n: 265 об/хв.

Подача 0.15 мм/об.

Глибина різання 1 мм.

Швидкість подачі 39,75 мм/хв.

Орієнтовна потужність різання 7,75 кВт.

Аналітичний метод розрахунку режимів різання.

Швидкість різання визначимо за відомою методикою [5]:

$$v = \frac{C_v}{T_m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.36)$$

У такій формулі прийнято: коефіцієнти $C_v = 292$; показники степені: $x = 0,150$, $y = 0,200$, $m = 0,200$; уточнюючий коефіцієнт впливу фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, стану поверхні, інструментального матеріалу, геометричних параметрів різця: $K_v = K_{Mv} \cdot K_{Iv} \cdot K_{Uv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi 1v} \cdot K_{2v} = K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v} \cdot K_{Iv} \cdot K_{Uv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi 1v} \cdot K_{2v} = \left(\frac{190}{241}\right)^{1,25} \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 0,735$, показник степені; $n_v = 1,25$, стійкість інструменту $T = 60,0$ хв; подача $S = 0,06 \div 0,25$ мм/об [5], приймаємо $S = 0,108$ мм/об; глибина різання, $t = 2,50$ мм:

$$v_p = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,108^{0,2}} \cdot 0,735 = 138,7 \text{ м/хв.}$$

Розрахункову кількість обертів шпинделя ми визначаємо за формулою

$$n_p = \frac{1000 v_p}{\pi D},$$

де D – діаметр обробки: $D = 265$ мм

$$n_p = \frac{1000 \cdot 138,74}{\pi 265} = 166,65 \text{ об/хв.}$$

Далі коректуємо отриману розрахункову частоту із частотами паспорту верстату. Приймаємо $n = 170$ об/хв. Тоді дійсна швидкість різання

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \cdot 265 \cdot 170}{1000} = 141,528 \text{ м/хв.}$$

Силу різання ми визначимо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot c_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 92 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,108^{0,75} \cdot 141,6^0 \cdot 1,485 = 643,46 \text{ Н}$$

де константа $C_p = 92$; показники степені: $x = 1,0$, $y = 0,750$, $n = 0$; комплексний уточнюючий коефіцієнт впливу геометричних параметрів різця

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{vp} = 1,1 \cdot 1,08 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,485, \quad \text{так} \quad \text{як}$$

$$K_{Mp} = (HB/190)^{n_m} = (241/190)^{0,4} = 1,1, K_{\varphi p} = 1,08, K_{\gamma p} = 1,25, K_{\lambda p} = 1,0, K_{vp} = 1,0$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{643,46 \cdot 141,6}{1020 \cdot 60} = 1,488,$$

Необхідна потужність приводу:

$$N_n = \frac{N}{\eta} = \frac{643,46 \cdot 141,6}{1020 \cdot 60} = 1,488 \text{ кВт}$$

так як прийнято $\eta - \text{ккд}, \eta = 0,8$

Механічний час обробки:

$$T_M = \frac{l_1 + l_2 + l}{n \cdot S} = \frac{6 + 6 + 25}{170 \cdot 0,108} = 2,02 \text{ хв.},$$

так як довжина різання $l = 0,5(D - d) = 0,5(265 - 215) = 25 \text{ мм}$;, довжина врізання $l_1 = 6 \text{ мм}$, довжина перебігу інструменту $l_2 = 6,0 \text{ мм}$; максимальний $D = 265 \text{ мм}$ та мінімальний $d = 215 \text{ мм}$ діаметри обробки.

Основний технологічний час обробки:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + T_M = 0,1 + 0,02 + 0,03 + 0,03 + 2,02 = 2,20 \text{ хв.}$$

так як час повороту revolverної головки $t_1 = 0,10 \text{ хв.}$, необхідна тривалість паузи $t_2 = 0,020 \text{ хв.}$, необхідний час для швидкого підводу revolverної головки $t_3 = 0,030 \text{ хв.}$, необхідний час для швидкого відводу revolverної головки $t_4 = 0,030 \text{ хв.}$

Інші режим різання визначаємо за допомогою програмних продуктів, яка розроблена фахівцями кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка. Опис такого програмного продукту наведено в дипломній роботі Івашківа А.В. [12].

На основі порівняння результатів розрахунків режимів різання, отриманих за методикою фірми Sandvik Coromant та за вітчизняною методикою на основі

аналітичних залежностей, ми бачимо розходження. Перший варіант у порівнянні з другим характеризується у 1,5 рази більшою швидкістю різання та відповідно і частотою обертання шпинделя, в 1,4 рази більшою подачею, та у 5 разів більшою необхідною потужністю. Таким чином закордонне устаткування дозволяє реалізувати високошвидкісну обробку матеріалів при малих затратах часу. Тому при розрахунках режимів різання для випадку використання вітчизняних верстатів доцільно використовувати класичний аналітичний метод обчислень, а для випадку обробки деталі на устаткуванні, яке створене за кордоном доцільно використовувати закордонні методики розрахунків режимів різання на зразок інтерактивної платформи CoroPlus Tool Guide.

Результати розрахунку режимів різання на усі операції наведено у таблиці А.1 в додатку А.

3.5 Розмірний аналіз механічної обробки деталі

Для визначення обґрунтованих значень проміжних та остаточних розмірів, та їх відповідних допусків проведемо розмірний аналіз механічної обробки деталі на основі загальноприйнятих методів [21].

Основними елементами таких розрахунків є i -ий конструкторський розмір A_i , припуск Z_m m -ої проміжної або фінішної поверхні якої стосується припуск; технологічний розмір S_R R -ого переходу; розмір Z_v v -ої поверхні заготовки.

На рисунку А1 у додатку А зображено розмірну схему технологічних розмірних ланцюгів для процесу механічного оброблення корпусу,

На основі такого графу нами отримано систему рівнянь для визначення числових елементів технологічних розмірних ланцюгів (рис. 3.2).

Усі рівняння ми трансформуємо на основі урахування величини найменшого $S_{j \min}$ та найбільшого $S_{q \max}$ граничних розмірів відповідно збільшуючої та зменшуючої ланок розмірного ланцюга.

$$Z_{\min} = \sum_{j=1}^{n_j} S_{j\min} - \sum_{q=1}^{n_q} S_{q\max},$$

Зокрема вираз $-S_1 + A_2 + Z_6 = 0$ зручно подати у формі $Z_{6\min} = S_{1\min} - A_{2\max}$.

Так як $Z_{6\min} = 1.74 \text{ мм}$, $A_{2\max} = 20.26 \text{ мм}$, то $S_{1\min} = A_{2\max} + Z_{6\min} = 20.26 + 1.74 = 22 \text{ мм}$

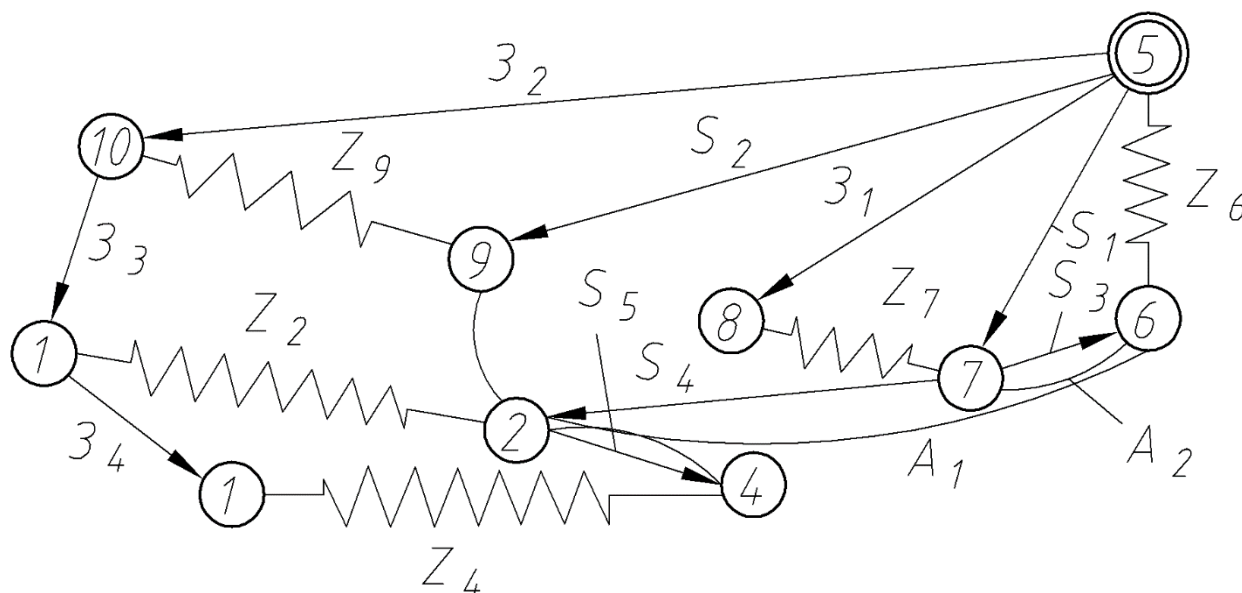


Рисунок 3.2 – Схема графу технологічних розмірів і припусків

На основі креслення деталі бачимо, що розмір S_1 можна ідентифікувати 14-им квалітетом з полем допуску h . При цьому його граничне відхилення $TS_1 = 0,52 \text{ мм}$. Позаяк на основі цього визначаємо номінальне значення розміру $S_1 = S_{1\min} + TS_1 = 22 + 0,52 = 22,52 \text{ мм}$.

Це дозволяє ідентифікувати уточнений розмір $S_1 = 22,52^{+0,52}_{-0,52}$.

Відповідно значення необхідного номінального розміру і припуску

$$Z_6 = S_1 - A_2 = 22,52^{+0,52}_{-0,52} - 20 \pm 0,26 = 2,52^{+0,26}_{-0,78}$$

Його верхнє граничне відхилення $Z_{6\max} = 2,78 \text{ мм}$.

За наведеним прикладом здійснюємо розрахунок інших технологічних розмірів і припусків. Результати розрахунків зведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Аналітичні залежності для визначення технологічних розмірів і припусків

Аналітична залежність		Значення технологічного розміру і припуску
розрахункова	початкові умови з урахуванням припусків	
$-S_5 + A_3 = 0$ $-S_4 + A_2 + A_1 = 0$ $-S_3 + A_2 = 0$ $-S_2 + A_4 - A_1 + Z_6 = 0$ $-S_1 + A_2 + Z_6 = 0$ $-Z_4 + Z_2 + A_3 - Z_4 = 0$ $-Z_3 + Z_2 + A_4 + Z_9 = 0$ $-Z_2 + A_4 - A_1 + Z_6 + Z_9 = 0$ $-Z_1 + Z_1 + A_2 + Z_6 = 0$	$A_3 = S_5$ $A_2 + A_1 = S_4$ $A_2 = S_3$ $Z_6 = A_1 - A_4 + S_2$ $Z_6 = S_1 - A_2$ $Z_4 = A_3 + Z_2 - Z_4$ $Z_2 = Z_3 - A_4 - Z_9$ $Z_9 = Z_2 - A_4 + A_1 - Z_6$ $Z_7 = Z_1 - A_2 - Z_6$	$S_5 = 42 \pm 0,31$ $S_4 = 94 \pm 0,63$ $S_3 = 20 \pm 0,26$ $S_2 = 78,52$ $S_1 = 22,52_{-0,52}$ $Z_4 = 42,52$ $Z_3 = 154,52$ $Z_2 = 80,52$ $Z_1 = 25,04$ $Z_2 = Z_7 = Z_6 = 2,52^{+0,26}_{-0,78}$ $Z_1 = Z_9 = 2 \pm 0,4$

3.6 Використання розрахунково-аналітичного методу для визначення припусків та міжопераційних розмірів оброблюваної заготовки

Використання розрахунково-аналітичного методу розрахунків характеризується значною економією матеріалу до 15 % від сумарної ваги деталі у порівнянні з дослідно-статистичним методом. Він характеризується урахуванням виробничих похибок, які виникають у конкретних умовах виробничого середовища.

Аналітичні залежності для розрахунку припусків розрахунково-аналітичним методом згідно [21] наведені нижче у таблиці 3.5.

Наведемо приклад розрахунку припусків і допусків на обробку отвору Ø85H7
Для розрахунку припусків і допусків для згаданого отвору значення розрахункових величин є таким:

$$D = 290 \text{ мм}; \rho_{\text{кор}} = (0,7 \div 1,0) \cdot 290 = 199,5 \div 290 \text{ мкм. Приймаємо } \rho_{\text{кор}} = 245 \text{ мкм.}$$

Таблиця 3.5 - Аналітичні залежності для розрахунку припусків розрахунково-аналітичним методом

Припуск мінімальний				
симетричний			асиметричний	
стосовно зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання		стосовно паралельної обробки протилежних поверхонь		стосовно послідовної обробки протилежних поверхонь
$2z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_i^2})$		$2z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + E_i)$		$z_{i\min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + E_i$
Параметр, який характеризує перехід				
попередній				поточний
R_{zi-1}	T_{i-1}	ρ_{i-1}		E_i
висота мікронерівностей поверхні згідно ГОСТ 2189-82	глибина дефектного поверхневого шару	сумарне значення просторових відхилень взаємозв'язаних поверхонь, для початкових ливарних заготовок: $\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2}$; $\rho_{кор} = \Delta_{\kappa} \cdot D$		похибка встановлення заготовки $E = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_z^2 + E_n^2}$ (багатопозиційна обробка)
Складові параметри				
$\rho_{кор}$	$\rho_{см}$	D		Δ_{κ}
остаточне короблення заготовки: $\rho_{ікко} = R_{yi} \cdot \rho_{кор}$	остаточне зміщення осі отвору	максимальний діаметр заготовки		питоме значення короблення (0,7 ÷ 1,0) мкм/мм
R_{yi}	$\rho_{см}$	E_{δ}	E_z	E_n
коефіцієнт уточнення форми	зміщення осі після технологічних переходів $\rho_{зм} = R_{yi} \cdot \rho_{зм}$	похибка базування	похибка закріплення	похибка розміщення заготовки

Для отримання отвору нами використовуються такі методи оброблення: розточування чорнове ($R_{y1} = 0,06$) та чистове ($R_{y2} = 0,05$), розвертання ($R_{y3} = 0,04$). Тому після чорнового розточування $\rho_{1\text{кор}} = 0,06 \cdot 245 = 15$ мкм, після чистового $\rho_{2\text{кор}} = 0,05 \cdot 245 = 12$ мкм, а після розвертання $\rho_{3\text{кор}} = 0,04 \cdot 245 = 10$ мкм.

Зміщення стержнів, які формують отвір та внутрішні порожнини у даному випадку дорівнює допуску на номінальний розмір відносно осі центрального отвору. Так як точність виливки 7-6-5-3 згідно ГОСТ 26645-85, то допуск $\delta = \pm 0,4$ мм, і $\rho_{3\text{м}} = \delta = 400$ мкм. Також $R_{y1} = 0,05$; $R_{y2} = 0,005$; $R_{y3} = 0,002$.

Величина зміщення осі отвору після чорнового розточування $\rho_{3\text{м}} = 0,05 \cdot 400 = 20$ мкм; після чистового розточування $\rho_{3\text{м}} = 0,005 \cdot 400 = 2$ мкм, а після розвертання $\rho_{3\text{м}} = 0,002 \cdot 400 = 1$ мкм.

Для початкової заготовки (виливки) сумарні просторові відхилення $\rho_0 = \sqrt{240^2 + 400^2} = 466$ мкм. Після чорнового розточування вони становлять $\rho_1 = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25$ мкм, після чистового розточування $\rho_2 = \sqrt{12^2 + 2^2} = 13$ мкм. У кінцевому випадку після розвертання $\rho_3 = \sqrt{10^2 + 1^2} = 10$ мкм.

Похибка встановлення для переходу чорнового розточування $E_1 = \sqrt{650^2 + 100^2 + 50^2} = 660$ мкм; для переходу чистового розточування $E_2 = \sqrt{0^2 + 0^2 + 50^2} = 50$ мкм, а для переходу розвертання $E_3 = \sqrt{0^2 + 0^2 + 50^2} = 50$ мкм,

У таких розрахунках для першого згаданого переходу нами прийнято: $E_\delta = 650,0$ мкм; $E_z = 100,0$ мкм; $E_n = 50,0$ мкм; для другого $E_\delta = 0$ мкм; $E_z = 0$ мкм, (обробку здійснюють з однієї установки); $E_n = 50,0$ мкм, а для останнього $E_\delta = 0$ мкм; $E_z = 0$ мкм; $E_n = 50,0$ мкм.

У підсумку ми визначаємо розрахункові мінімальні значення припусків для кожного з переходів:

- для чорнового розточування $R_{z0} + T_0 = 600$ мкм, тому

$$2z_{\min 1} = 2(R_0 + T_0 + \sqrt{\rho_0^2 + E_1^2}) = 2 \cdot (600 + \sqrt{466^2 + 600^2}) = 2816 \text{ мкм},$$

- для чистового розточування $R_{z1} = 100 \text{ мкм}$, $T_1 = 100 \text{ мкм}$ тому

$$2z_{\min 2} = 2(R_{z1} + T_1 + \sqrt{\rho_1^2 + E_2^2}) = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{25^2 + 50^2}) = 512 \text{ мкм},$$

- для розвертання $R_{z2} = 10 \text{ мкм}$, $T_2 = 20 \text{ мкм}$ тому

$$2z_{\min 3} = 2(R_{z2} + T_2 + \sqrt{\rho_2^2 + E_3^2}) = 2 \cdot (10 + 20 + \sqrt{13^2 + 50^2}) = 164 \text{ мкм}$$

Результати розрахунків припусків і граничних розмірів для кожного з технологічних переходів представлені у таблиці 3.6, а їх графічна ілюстрація представлена на рисунку 3.3.

Таблиця 3.6 – Розрахунок припусків і граничних розмірів стосовно технологічних переходів механічного оброблення отвору $\varnothing 85\text{H7}$

№	RZ	T	ρ	E	Розрахунковий припуск	Розрахунковий діаметр	Допуск	Граничні розміри		Граничні значення припуску	
								Мінімаль- -ний	Макси- мальний	Мінімаль- ний	Максималь- ний
МКМ					ММ	МКМ	ММ		МКМ		
0	300	300	466	0	0	81,54	400	81,14	81,54	0	0
1	100	100	25	660	2816	84,36	350	84,01	84,36	2816	2866
2	10	20	13	50	512	85,87	140	84,73	84,87	512	722
3	5	10	10	50	163	85,04	35	85,00	85,04	163	268
Сумарно										3491	3856

Достовірність проведених розрахунків підтверджена виконанням умови:

$$T_{d(3)} - T_{d(0)} = 2Z_{0(\min)}, \quad 400 - 35 = 3856 - 3491 = 365$$

де $T_{d(3)}$, $T_{d(0)}$ – відповідно допуски початкової заготовки та виробу

$$T_{d(3)} = 400 \text{ мкм}, \quad T_{d(0)} = 35 \text{ мкм}.$$

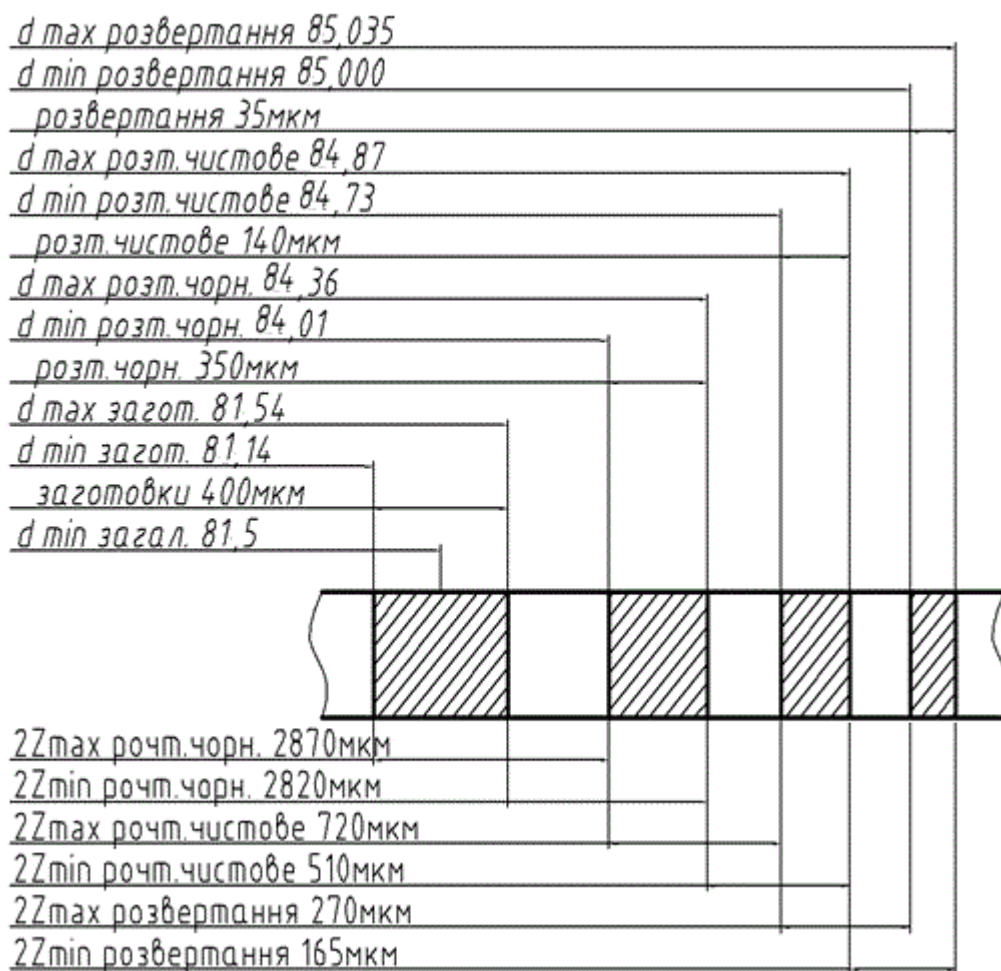


Рисунок 3.3 – Графічне розміщення припусків і допусків, які характеризують процес механічного оброблення отвору $\varnothing 85H7 (+0,035)$

3.7 Вибір металорізальних інструментів та засобів технічних вимірювань

Вибір металорізальних інструментів та засобів технічних вимірювань здійснюємо на основі використання вікна інтерактивної платформи фірми Sandvik Coromant та довідкової літератури [12], [22], [24].

Виконаємо лише розрахунок гладкого граничного калібру для контролю отвору $\varnothing 85H7 (+0,035)$, на основі СТСЭВ 157-75 (табл. 3.7). Із СТСЭВ 144-75 бачимо, що $D_{\max} = 85,035$ мм, $D_{\min} = 85$ мм, так як граничні відхилення згаданого отвору $ES = +35$ мкм; $EI = 0$. Із таблиці 2 згаданого стандарту обираємо: відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру-пробки (КП) відносно

Перелік вибраного ріжучого та вимірювального інструментів, які необхідні для реалізації ТП виготовлення корпусу методами механічного оброблення представлено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Перелік вибраного ріжучого та вимірювального інструментів, які необхідні для реалізації ТП виготовлення корпусу

№ з/п	Назва операції	Інструмент	
		ріжучий	вимірювальний
1	2	3	4
1	005 Токарна з ЧПК	<i>Різець</i>: Sandvik Coromant SCLCR 2020K12: (тип державки: SCLCR (прохідний відігнутий 32x20x170 лівий), розмір державки: 20x20 мм, пластина CCMT 12T308, матеріал пластини: твердий сплав, GC4225. Sandvik Coromant Sandvik Coromant SCLCR 2020K16: тип державки: SCLCR, розмір державки: 20x20 мм, кут нахилу: 95°, пластина: CCMT 12T308, матеріал пластини: твердий сплав з покриттям GC3210 <i>Розвертка</i> Sandvik Coromant CoroReamer 830 <i>Різець</i> Sandvik Coromant: державка: R151.21-2525-3, тип державки: R151.21, розмір державки: 25x25 мм, пластина: N151.2-400-4E 235, ширина пластини: 4 мм, матеріал пластини: твердий сплав з покриттям 235 Різець C5-LF123K20CE-040B, різальна пластина CCMT-09T308-WM <i>Різець</i> Seco Tools SNMG 120408-TP0500	Цифровий електронний штангенциркуль торгової марки Shan ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89 компанії Guilin Measuring & Cutting Tool Co. Ltd, або Mitutoyo 530-312 Скоба 12 ± 0,29 8102-4306 Скоба 84^{+0,3} 8100-4308 Нутромір 94^{+0,35} Пробка 85H7 Пр 8136-0015 ГОСТ14815-69 Не 8136-0015 ГОСТ14815-69 Зразки шорсткості компанії Mitutoyo Surface Roughness Comparison Specimens згідно ISO 2632-1:1979 Патрон A2-15

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4
2	010 Токарна з ЧПК	<i>Різець Kennametal DNMG 150608 K68 (аналог Різець BK8 2102-0316 ГОСТ21151-75)</i> <i>Різець Sandvik Coromant CCMT 09T308 H13A</i> <i>Різець Sandvik Coromant R151.21-2525-3 з пластиною N123T3-0300-0002-GF 1125 Sandvik Coromant SCLCR 2020K12: (державка: SCLCR (прохідний відігнутий 32x20x170 лівий), розмір державки: 20x20 мм, пластина CCMT 12T308, матеріал пластини: твердий сплав GC4225.</i> <i>Різець Iscar CNMG 120404-IC20;</i> <i>Різець Mitsubishi Materials WNMG080408-VP15TF;</i> <i>Різець Seco Tools SNMG 120408-TP0500</i> <i>Різець Sandvik Coromant SCLCR 2020K16: (тип державки: SCLCR (прохідний відігнутий 32x20x170 лівий), розмір державки: 20x20 мм, пластина CCMT 12T308, матеріал пластини: твердий сплав, GC4225.</i> <i>Різець Sandvik Coromant SCLCR 2020K18, тип державки: SCLCR, розмір державки: 20x20 мм, пластина: CCMT 12 04 08</i>	Цифровий електронний штангенциркуль торгової марки Mitutoyo 530-312, або Shan ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89 компанії Guilin Measuring & Cutting Tool Co. Ltd. Глибиномір 44±0,5 8151-0268 Пробка 175H9 Пр 8136-0024 ГОСТ14815-69 He 8136-0024 ГОСТ14815-69 Скоба 198f9 8113-0305 ГОСТ8364-73 Зразки шорсткості компанії Mitutoyo Surface Roughness Comparison Specimens згідно ISO 2632-1:1979 Патрон A2-11
3	015 Агрегатна з ЧПК	Свердло (Ø 13) 2301-0416 ГОСТ 10903-77 у кількості 8 шт. Свердло спеціальне комбіноване 7850-0092 у кількості 2 шт. Мітчик M12 2621-1505 ГОСТ3266-81 у кількості 2 шт.	Калібр 26±0,5 8220-4201-01, Штангенциркуль Mitutoyo 530-312, або Starrett 125MEA-6/150, або Fowler 52-008-706 Пробка M12-7H 8221-3044 ГОСТ17758-72 Головка 8-ми шпиндельна KPM17-342.06.00 Кондуктор 8866-4310

3.8 Розрахунок параметрів часу розробленого технологічного процесу

Аналітичні залежності для розрахунку складників нормування ТП зведені у таблиці 3.9. Розрахунки виконані на основі методики, наведеної у праці [22].

Таблиця 3.9 - Аналітичні залежності для розрахунку складників нормування технологічного процесу механічного оброблення початкової заготовки корпусу

Позна-чення	Параметр часу		Формула для розрахунку параметра часу
$T_{\text{шт}}$	Норма штучного часу		$T_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{доп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{відп}}$
t_o	Час	основний (технологічний)	
$t_{\text{доп}}$		допоміжний	$t_{\text{доп}} = t_{\text{вз}} + t_{\text{в}}$
$t_{\text{вз}}$		допоміжний на встановлення і зняття заготовки	
$t_{\text{в}}$		на вимірювання	
$T_{\text{обсл}}$		на обслуговування робочого місця	$T_{\text{обсл}} = t_{\text{м.о}} + t_{\text{ор}}$
$t_{\text{м.о}}$		технічного обслуговування	
$t_{\text{ор}}$		організації робочого місця	
$t_{\text{відп}}$		на відпочинок і природні потреби	

Для розробленого ТП для оброблення на агрегатному верстаті з ЧПК Aggregate 212 : $t_o = 2,20$ хв. $t_{\text{вз}} = 0,10$ хв., $t_{\text{в}} = 0,05$ хв.

$$t_{\text{доп}} = 0,10 + 0,05 = 0,15 \text{ хв.}, t_{\text{м.о}} = 0,14 t_o = 0,14 \times 2,20 = 0,31 \text{ хв.};$$

$$t_{\text{ор}} = 0,136 t_o = 0,135 \times 2,20 = 0,30 \text{ хв.}, T_{\text{обсл}} = 0,31 + 0,30 = 0,61 \text{ хв.},$$

$$t_{\text{відп}} = 0,06 t_o = 0,062, 20 = 0,013 \text{ хв.}$$

У підсумку $T_{\text{шт}} = 2,20 + 0,61 + 0,13 = 2,94$ хв.

Результати виконаних розрахунків представлені нижче у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Розраховані параметри нормування часу спроектованого ТП

Номер та зміст операції	t_o	Час						
		допоміжний		опера- тивний	обслуговування		на відпо- чинок	T_{um}
		$t_{\text{вз}}$	$t_{\text{с}}$	t_{on}	$t_{m.o}$	t_{op}		
005 Токарне оброблення з ЧПК	3,20	0,20	0,150	3,20	0,42	0,4	0,15	7,57
010 Токарне оброблення з ЧПК	3,0	0,10	0,050	2,10	0,30	0,3	0,15	6,0
015 Оброблення на агрегатному верстаті з ЧПК Aggregate 212	2,20	0,10	0,050	2,20	0,31	0,3	0,13	2,94

3.9 Розрахунок конструктивних параметрів елементів конструкції багатошпindelної свердлильної головки

Свердлильна головка призначена для використання на агрегатному верстаті Aggregate 212 (номінальна потужність силової бабки 1,2 кВт) для закріплення свердл з робочим діаметром 13 мм і отримання восьми отворів діаметром також 13 мм. Параметри, які характеризують процес механічного оброблення є такими:

$$S = 0,1 \text{ мм / хв.}; V = 8,2 \text{ м / хв.}; n = 200 \text{ об / хв.};$$

$$S_m = 20 \text{ мм / хв.}; T_m = 2,0 \text{ хв.}; N_{8отв.} = 0,64 \text{ кВт}; P_z = 4780 \text{ Н.}$$

Згаданий верстат забезпечує кількість обертів вихідного валу яка становить 465 об/хв.

Для реалізації процесу різання у конструкції головки (рис. 3.5)

необхідно передбачити паразитні шестерні для правого обертання шпинделів, з одноярусним розміщенням усіх зубчастих коліс.

При проектуванні свердлильної головки передбачаємо можливість її використання для отримання отворів ширших типорозмірів діаметрів.

Основним елементом такої головки є центральний ведучий вал 1, спеціальний корпус 10, шпиндельні вали головки, шестерні, які розміщені на відповідних шпиндельних валах та на центральному ведучому валі, паразитні шестерні 9. Крутний момент від приводу верстата передається головці за допомогою колеса 19. За допомогою шестерні 20, розміщеної на центральному ведучому валі та паразитних шестерень 9 здійснюється передача крутного моменту шпиндельним валам головки.

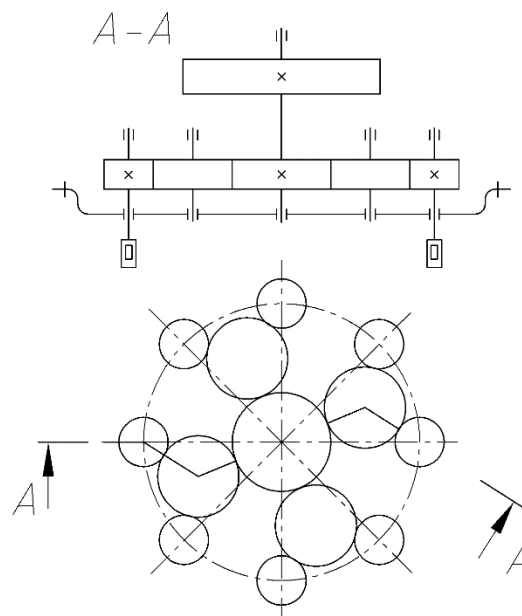


Рисунок 3.5 – Кінематична схема свердлильної головки для отримання 8-ми отворів діаметром 13 мм

Найвідповідальнішим елементом конструкції свердлильної головки є ведучий вал. Умова стійкості до навантаження, яке припадає на зуб шестерні, розміщеної на такому валі, визначає показник модуля зачеплення усіх зубчастих коліс згаданої головки [10].

У цьому зв'язку спочатку визначаємо діаметр d_1 ведучого центрального

валу на основі значення величини крутного моменту $M_{кр}$ від процесу свердління, передаточного числа i між двигуном та центральним валом та допустимого напруження кручення $[\tau]$ (для сталі 45 це 15 кН/см^2)

$$d_1 = \sqrt{\frac{16M_{кр}}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 70}{\pi \cdot 1500}} = 4,8 \text{ мм},$$

так як крутний момент $M_{кр} = \frac{7160N}{n} \cdot i = \frac{7160 \cdot \frac{1100}{735,5}}{465} \cdot \frac{3}{10} = 7000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

Отримане значення необхідного діаметра є малим через невелике значення крутного моменту. Тому величину діаметра валу ми приймаємо рівною 30 мм із конструктивних міркувань виходячи із необхідності розміщення на ньому шпонки.

Відповідно, у залежності від діаметра свердла d , визначаємо діаметр D направляючої хвостової частини робочих шпинделів. Так як необхідним є дотримання умови $D/d = 1,3$, то $D = 16,9$ мм, а з урахування заокруглення відповідно до значень рядів переважних чисел, то необхідне значення $D = 20$ мм. При цьому, модуль m веденої шестерні робочого шпинделя для $d = 13$ мм повинен становити 3 од. Глина e шпонкового пазу повинна становити 13 мм.

На основі цього визначаємо величину діаметра D_o ділильного кола зубчастого колеса робочого шпинделя:

$$D_o = D + 2e + 6,8 \times m = 20 + 26 + 6,8 \times 3 = 52,4 \text{ мм}$$

З урахуванням запасу міцності для обробки отворів іншого діаметру приймаємо $D_o = 63$ мм.

Ширина кожного із зубчастих коліс головки повинна дорівнювати щонайменше $10m$, тобто 30 мм.

Так як паразитна шестерня повинна приводити в рух два робочих шпинделя, то діаметр проміжного валу приймаємо рівним 30 мм, так як його мінімальне значення становить $D_n = 1,3 \cdot D = 26$ мм.

Так як дуже навантаженим елементом свердлильної головки є центральна шестерня, то міцність її зубів перевіримо шляхом оцінки

виконання умови стійкості до втоми поверхневого шару металу зуба та його міцності на згин біля основи такого зуба. Величина поточних контактних напружень у поверхневому шарі зуба і напруження згину у зоні його основи повинні бути меншими від відповідних значень допустимих напружень.

Вихідними даними для таких розрахунків є кількість зубів z колеса, передаточне відношення i зубчастого зачеплення, співвідношення ψ ширини колеса до модуля (приймають $\psi = 8 \div 12$), допустиме контактне напруження $[\sigma]_{zm}$ зминання в кгс/мм², коефіцієнти K і K_u довговічності відповідно за контактним напруженням та напруженням згину, коефіцієнт y форми зуба, допустиме напруження $[\sigma]_u$ згину в кгс/мм² [20].

Попередньо за формулою Барта ми визначаємо значення коефіцієнта швидкості

$$K_v = \frac{6}{v + 6} = 0,85, ,$$

де v – колова швидкість на зовнішній крайці шестерні, м/с.

Із умов міцності визначаємо граничне мінімальне значення величину модуля зубчастого колеса. Так як

$$i = 27 / 20, \psi = 12, z = 20, [\sigma]_{zm} = 85 \text{ кгс/мм}^2, [\sigma]_u = 18 \text{ кгс/мм}^2,$$

$$N = 0,22 \text{ к.с.}, n = 500 \text{ об / хв.}, K = 1, K_v = 0,85, y = 0,102,$$

тоді

$$m_{нов} = \sqrt[3]{\frac{i+1}{i\psi} \cdot \left(\frac{180000}{z \cdot [\sigma]_k} \right)^2 \cdot \frac{N}{n} \cdot \frac{K}{K_v}} = \sqrt[3]{\frac{1,35+1}{1,35 \cdot 12} \cdot \left(\frac{180000}{20 \cdot 85} \right)^2 \cdot \frac{0,22}{500} \cdot \frac{1}{0,85}} = 0,95$$

$$m_{32} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{455}{z \cdot \psi \cdot y \cdot [\sigma]_u} \cdot \frac{N}{n} \cdot \frac{K_u}{K_v}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{455}{20 \cdot 12 \cdot 0,102 \cdot 18} \cdot \frac{0,22}{500} \cdot \frac{1}{0,85}} = 0,82$$

Відповідні умови міцності за контактними напруженням і за напруженням згину забезпечені, так як отримані значення модуля зубчастого колеса є меншими за величину $m=3$.

3.10 Пристосування контрольне для перевірки торцевого биття

Структурні елементи пристрою для контролю торцевого биття та їх функції наведені у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Структурні елементи пристрою для контролю торцевого биття

Позиція	Елемент конструкції	Функція
1	2	3
4	Оправка	Встановлення деталі на робочу поверхню оправки
9 і 8	Гайки	Затиск деталі
7	Шайба	Затиск деталі
5	Клин	Переміщення клину з натисканням на кулачки
6	Кулачки, які вмонтовані в оправці	Затиск деталі
32	Підшипник	Забезпечення вільного обертання навколо своєї осі разом з оправкою
2	Втулка	Розміщення підшипників
3	Кожух	Захист підшипників від зовнішнього середовища
29	Гвинт	Закріплення кожуха до оправки
10	Палець	Контакт із контрольованою поверхнею деталі
31	Індикатор ИЧ-0; 0-2 ГОСТ 577-88, або Starrett 25 Series Dial Indicator (США) чи Mahr Dial Indicators (Німеччина)	Фіксація биття контрольованої деталі через відхилення стрілки
17	Направляюча	Встановлення деталі. Відвід вимірювальної головки від деталі
15	Вісь	Обертання деталі
14	Зубчасте колесо	Забезпечення контакту пальця з деталлю
12	Рейка	
19	Ручка	
21	Фіксатор	

Такий пристрій забезпечує контроль торцевого биття на поверхні C_1 відносно отвору $\varnothing 90H7(^{+0,035})$. Допустиме значення торцевого биття 0,12 мм.

3.11 Розрахунок технологічної собівартості виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

Методика розрахунку технологічної собівартості виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22 наведена у додатку Б [17, 18], а результати розрахунку у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Розрахунок технологічної собівартості виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22

№ з/п	Номер операції та вихідні дані	Результати розрахунків
1	Операції 005 і 010 $f = 9,08 м^2$; $R = 62$; $M_y = 21,7 кВт$; $T_{ум005} = 7,57$; $T_{ум010} = 6,0 хв$; $m_{np005} = m_{np010} = 1$; $M_{005/010} = 1$; $Ц = 81369$ грн. Розряд роботи – 2. Устаткування – токарний верстат з ЧПК моделі DMTG VT20	$\frac{C_z}{M} = 38,88$ грн./год. $R_M = 7,94$; $K_{с005/010} = 694$ грн./год.; $K_{з005/010} = 6,97$ грн./год.; $\sum C_{н.з.} = 996,49$ грн./год. сумарна вартість механічної обробки $C_o = 996,5$ грн.
2	Операція 015 $Ц = 38 \cdot 10^3 \cdot 1,1 = 41,8 \cdot 10^3$ грн., $f = 5,87 м^2$; $R = 45$; $M_y = 3,3 кВт$; $T_{ум} = 2,94 хв$; $m_{np} = 1$; $M = 1$; Розряд роботи – 2. Устаткування –	$\frac{C_z}{M} = 76,8$ коп./год. $R_M = 12,9$; $C_{ч.з.} = 488,5$ грн./год.; $K_c = 1734,1$ грн./год.; $C_{н.з.} = 943,85$ грн./год.; $C_o = 46,87$ грн. Загальна вартість механічної обробки по варіанту: $C_{оп} = 112,96$ грн.

3.12 Висновки до розділу

2. Розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22. В рамках його розробки виконано вибір та обґрунтування технології отримання початкової заготовки корпусу способом лиття в піщані разові форми з машинною формовкою, спроектовано відповідну початкову заготовку, вибрано технологічні бази для її механічного оброблення, розроблено маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки корпусу, визначено режими різання, виконано розмірний аналіз механічної обробки деталі, встановлено припуски та міжопераційні розміри оброблюваної заготовки на основі використання розрахунково-аналітичного методу, вибрано металорізальні інструменти та засоби технічних вимірювань, розраховано параметри часу розробленого технологічного процесу, виконано розрахунок конструктивних параметрів елементів конструкції багатошпindelної свердлильної головки, описано контрольне пристосування для перевірки торцевого биття. У підсумку визначено технологічну собівартість виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22.

3. У такому технологічному процесі використовується сучасне автоматизоване устаткування, яке характеризується високою продуктивністю, яке виключає вплив суб'єктивних факторів, і забезпечує багатопозиційну обробку і покращення культури виробництва. Через застосування сучасного закордонного устаткування з ЧПК у виробництві використовуються сучасні стандартні інструменти, що сприяє реалізації викошвидкісного різання та реалізації режимів різання які мають відхилення від рекомендованих у вітчизняних методиках. Завдяки цьому покращені продуктивність праці, знижена трудомісткість виготовлення деталі.

4. На основі порівняння результатів розрахунків режимів різання, отриманих за методикою фірми Sandvik Coromant та за вітчизняною методикою на основі аналітичних залежностей, ми бачимо розходження. Перший варіант у порівнянні з другим характеризується у 1,5 рази більшою

швидкістю різання та відповідно і частотою обертання шпинделя, в 1,4 рази більшою подачею, та у 5 разів більшою необхідною потужністю. Таким чином закордонне устаткування дозволяє реалізувати високошвидкісну обробку матеріалів при малих затратах часу. Тому при розрахунках режимів різання для випадку використання вітчизняних верстатів доцільно використовувати класичний аналітичний метод обчислень, а для випадку обробки деталі на устаткуванні, яке створене за кордоном доцільно використовувати закордонні методики розрахунків режимів різання на зразок інтерактивної платформи CoroPlus Tool Guide.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз характеристика потенційних небезпек та шкідливих умов у дільниці механічної обробки корпусу ЖВМ 22.122.22

Реалізація ТП виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22 на дільниці цеху супроводжується виникненням ряду шкідливих факторів, які створюють несприятливі мови для організації виробничого процесу. До них слід перед усім віднести динамічні процеси функціонування систем, та їх деякі наслідки небезпечного характеру: забруднення навколишнього середовища продуктами обробки деталей, виникнення виробничих шумів та вібрацій, вплив світлових та теплових випромінювань і т.д.

Чавунний пил, забруднюючи повітря, шкідливо діє на дихальні шляхи і легені (проникає в лімфатичні шляхи і затримується в бронхіальних залозах), очі, зуби, ясна, органи травлення та слуху, викликаючи подразнення та гострі і хронічні запальні процеси; проникаючи в контактуючі частини механізмів пришвидшує їх зношення, а потрапляючи на обмотки електродвигунів може призвести до короткого замикання.

Основним методом оцінки запиленості повітря являється ваговий метод у поєднанні з визначенням розміру пилу (при диханні пилинки розміром 5-10 мкм затримуються в дихальних шляхах частково, а розміром менше 0,3 мкм не затримуються). Згідно ГОСТ 12.1.005-76 гранично допустима концентрація чавунного пилу у повітрі на дільниці повинна становити 6 мг/м^3 , що відповідає четвертому класу небезпеки [14, 15].

Роботи технологічного та допоміжного обладнання на дільниці супроводжується значними шумами та вібраціями, які шкідливо впливають на працездатність і здоров'я людей. Так, діючи на центральну нервову систему, вони впливають на весь організм людини: втрачається гострота зору, змінюється ритм дихання і серцевої діяльності, підвищується внутрішньочерепний та кров'яний тиск, уповільнюється процес травлення.

Шум та стрясання діють на кору головного мозку як подразники, прискорюючи процес втоми та уповільнюючи психічні реакції. Через шум робітники не можуть своєчасно реагувати на звукові запобіжні сигнали (мостового крану, транспортних засобів та інших), що збільшує ймовірність нещасних випадків.

По частотній характеристиці шум на даній ділянці можна віднести до II класу: найбільші рівні шумів в спектрі знаходяться нижче частоти 800 Гц. Згідно ГОСТ 12.1.012-78 значення величини вібрацій на робочому місці на протязі 8-и годинного робочого дня не повинно перевищувати $1 \div 2,4$ Гц.

Освітлення виробничих приміщень – важливий захід гігієни та охорони праці і підвищення її продуктивності. Відповідне освітлення підвищує продуктивність очей, зменшує стомлюваність робітників, знижує травматизм і випадки браку.

Величини нормованої освітленості встановлюється в залежності від того, які використовуються джерела світла і системи освітлення.

Згідно СНиП 11-4-79, виконувані на ділянці роботи по степені точності відносяться до III-го розряду, а при бічному освітленні коефіцієнт освітленості повинен становити 2,0.

Величина мінімальної освітленості встановлюється згідно умов зорової роботи, які визначаються мінімальними розмірами об'єкта розпізнавання, контрастністю та фоном і характером фону, які для даної ділянці мають наступні значення: мінімальний розмір об'єкта розпізнавання 0,3-0,5 мм; під розряд зорової роботи – 8; контраст відмінності з фоном – середній; штучна освітленість при загальному освітленні – 300 лк; природна освітленість при боковому освітленні $K = 2 \%$; суміщення освітленості при верхньому і боковому – 1,2 %; фон – світлий.

Однією з причин травматизму на ділянці є ураження електричним струмом, внаслідок несправності електроустановок, випадкові дотики (безпосередньо або через металеві і інші предмети) до струмоведучих частин,

несправність виконання заземлення (ГОСТ 12.1.030-81). Норми електробезпеки викладені у ГОСТ 12.1.009-87.

На даній ділянці механічної обробки деталі при здійсненні технологічних операцій виникає багато небезпечних зон. Небезпечною зоною називається певний простір, у якому організм людини або окремі органи можуть потрапити під дію факторів, що здатні викликати порушення цілісності організму або його фізіологічних функцій.

На даній ділянці можна виділити такі небезпечні зони:

- а) простір вражаючої дії стружки при обробці деталі;
- б) простір під вантажем при переміщенні його краном;
- в) простір навколо рухомих деталей на конвеєрі та рухомих елементів системи потокової лінії.

Щоб повністю усунути можливість потрапляння людей у небезпечні зони слід застосовувати інженерно-технічні заходи (огорожі, блокування та інше) та організаційно-технічні (спеціальне навчання, інструктаж попередній та біля небезпечної зони, попереджуючі, нагадуючі, забороняючі та інші надписи біля небезпечних зон, правильне розміщення устаткування та інші).

4.2 Дія вібрації на організм людини і розробка заходів для зниження вібрації технологічного обладнання на ділянці

При сучасному розвитку автоматизації та механізації, застосуванні потужних механічних установок, неодмінною умовою роботи цехів машинобудівних заводів є наявність сильних коливальних рухів – вібрацій, які позначаються на стані здоров'я працюючих.

Вібрація впливає на клітинну будову органів тіла, викликаючи зміни у тканинах, м'язах, зокрема в серцевих, а також на нервову систему, порушуючи регуляцію діяльності внутрішніх органів і обмін речовин. В результаті вібрації може послабитись реакція організму на подразнення зовнішнього середовища.

Дія вібрації на організм людини залежить від її частоти та амплітуди. Чим більша амплітуда чим більша амплітуда, тим більша енергія коливального руху і тим сильніший вплив на людський організм. При інтенсивних та частих вібраціях у робітників може виникнути невроз рук, захворювання суглобів. Значна вібрація є професійною шкідливістю.

Отже, вібрація є шкідливою для здоров'я, вона може призвести до виробничого травматизму і професійних захворювань, а тому треба усувати їх як у виробничих приміщеннях, так і на території заводу, і вживати проти них захисних заходів.

У цьому плані існує безліч різноманітних засобів. Один з них – заміна вібраційного процесу без вібраційним, ударні дії – безударними. Наприклад, ретельне складання всіх рухомих частин агрегату, при якому зводяться до мінімуму помилки у зчленуванні деталей (перекоси, неправильна відстань між центрами та інші), сприяє зменшенню співударяння, виникнення шуму та вібрацій.

Якщо не можна зменшити їх у самому джерелі утворення до допустимого рівня, в конструкцію агрегату слід включити пристрої, що перешкоджають поширенню назовні, тобто ізолюють чи вбирають вібрацію. Наприклад, добрим засобом ізоляції фундаментів будівлі від коливань є акустичні розриви, розташовані по периметру фундаменту. Акустичним розривом називається щілина між вібруючою масою і тією масою, яку необхідно захистити від струсів. Щілина йде по всьому периметру фундаменту і є його повітряним ізолятором. Заповнюють її матеріалами, які слабо проводять звук і коливання (повстю, пергаміном, пакетами з толлі чи руберойду, тирсою, шлаком); при цьому утворюється так званий акустичний шов.

Крім цього, щоб запобігти руйнуванню будівельних конструкцій від даного впливу, виробниче устаткування проектованої ділянки встановлюємо на спеціальні віброізолюючі фундаменти (див. рис. 4.1).

Проведемо розрахунок амортизатора верстата мод. Aggregate 212, використовуючи методологію підручника [13], враховуючи що $n_{\max} = 800$ об/хв.; $P = 120$ кН.

Приймаємо загальну масу фундаменту 500 кН (маса фундаменту повинна бути не менша ніж у три рази більша маси установки).

Вибираємо амортизатори із гуми марки ІРП-1346, у якої: $\sigma = 3 \cdot 10^5$ Па; $E_0 = 3,9 \cdot 10^6$ Па.

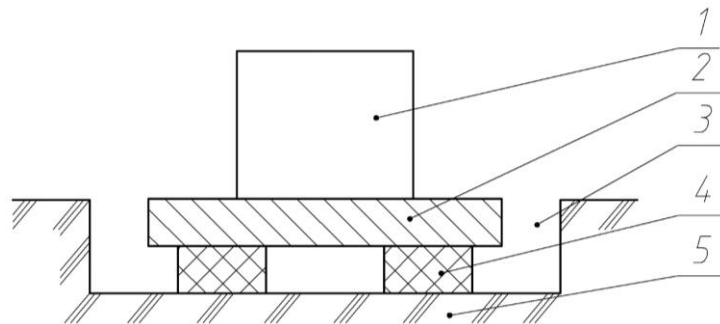


Рисунок 4.1 – Схема встановлення верстата: 1 – верстат; 2 – перекриття; 3 – акустичний шов; 4 – амортизатор; 5 – фундамент.

Визначаємо частоту власних коливань установки на амортизаторах:

$$f_0 = \frac{n}{3 \cdot 60},$$

де n – кількість обертів на установці, $n_{\max} = 800$ об/хв.

$$f_0 = \frac{800}{3 \cdot 60} = 4,44 \text{ об/с}$$

Колова частота коливань установки рівна:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 2\pi f_0 \\ \omega_0 &= 2 \cdot 4,44 \cdot \pi = 28 \text{ Гц} \end{aligned}$$

Загальна жорсткість усіх амортизаторів у вертикальному напрямку визначається за формулою:

$$K_z = m \cdot \omega_0^2,$$

де m – маса ізолюючої установки, $m = 500 \cdot 10^3 / (10 \cdot 9,81) = 5096,84 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}$;

$$K_z = 5096,84 \cdot 28^2 = 3995922 \text{ Па/м}$$

Площа поперечного перерізу усіх амортизаторів визначається за формулою:

$$F_p = \frac{P}{\sigma}$$

$$F_p = \frac{50000}{3 \cdot 10^5} = 0,1666 \text{ м}^2,$$

Робоча висота амортизатора рівна:

$$H = \frac{E_d \cdot F_p}{K_z}$$

$$H = \frac{3,9 \cdot 10^6 \cdot 0,1666}{3995922} = 0,1627 \text{ м}$$

При шести амортизаторах площа одного рівна $0,1666/6 = 0,028 \text{ м}^2$.

Якщо амортизатор квадратний, то розмір його сторони рівний $\varepsilon = \sqrt{0,028} = 0,1673 \text{ м}$.

Таким чином, розрахований верстата амортизатор повинен забезпечити необхідну віброізоляцію.

Слід відзначити, що на ділянці механічного оброблення джерелом коливань є також і транспортна обладнання. У зв'язку з цим для послаблення так званих корпусних вібрацій крізь перекриття останні слід робити у вигляді плаваючих конструкцій, шляхом вкладання підлог на пружну основу (див. рис. 4.2).

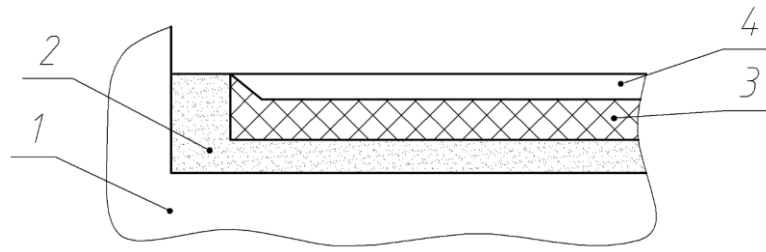


Рисунок 4.2 – Схема плаваючої підлоги на монолітній бетонній несучій основі: 1 – несуча конструкція перекриття; 2 – пружний матеріал; 3 – плаваюча підлога; 4 – верхнє покриття.

Необхідною умовою для зниження дії вібрації на організм людини, є дотримання індивідуальних засобів захисту: одягати м'які рукавиці з подвійною прокладкою на долонній поверхні; для зменшення відчуття вібрації і стрясань органів черевної порожнини слід щільно оперізувати живіт та користуватись спеціальним взуттям на товстій зубчастій гумовій підшві.

В цілому, здійснюючи захисні заходи від виробничих вібрацій та шкідливого впливу їх на організм людини у даній проектованій ділянці слід керуватися існуючим ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 “Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги”.

4.3 Пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії

Захисно-вимикаючим пристроєм називається пристрій, який швидко (не більше як за 0,2 с) автоматично вимикає ділянку електричного кола при виникненні небезпеки ураження людини струмом [13-15].

Основними частинами пристрою захисного вимкнення є прилад захисного вимикання і автоматичний вимикач.

Прилад захисного вимикання – це сукупність окремих елементів, які реагують на зміну певних параметрів електричного кола і дають сигнал на вимикання електричного кола. До основних елементів відносяться: датчик, підсилювач, коло контролю і автоматичний вимикач.

Датчик – це пристрій, що сприймає зміну параметра і перетворює його в відповідний сигнал. У якості датчиків, як правило, служать реле відповідних типів.

Підсилювач призначений для підсилення сигналу датчика, якщо він є недостатньо потужним.

Коло контролю служить для періодичної перевірки справності схеми захисного вимикаючого пристрою.

Автоматичний вимикач – пристрій, що служить для ввімкнення і вимкнення кіл, що знаходяться під захистом. Він повинен вимикати коло автоматично при надходженні сигналу від приладу захисного вимикання.

До допоміжних елементів відносяться сигнальні лампи, вимірювальні прилади (наприклад, омметр), що характеризують стан електропристрою тощо.

Кожен захисно-вимикаючий пристрій в залежності від параметру, на який він реагує, може бути віднесений до того чи іншого типу, в тому числі до типу пристроїв, що реагують на напругу корпусу відносно землі, струм замикання на землю, напругу фази відносно землі, напругу нульової послідовності, струм нульової послідовності, оперативний струм тощо.

Захисно-вимикаючі пристрої, що реагують на напругу корпусу відносно землі, повинні знешкодити небезпеку ураження струмом при його виникненні на заземленому або зануленому корпусі. Ці пристрої є засобами захисту, що використовуються додатково до заземлення чи занулення. Принцип дії – швидке від'єднання від кола установки, якщо напруга її корпусу відносно землі виявиться вище певного гранично допустимого значення, при якому дотикання до корпусу стає небезпечним.

4.4 Заходи пожежної безпеки на дільницях механоскладального цеху

Холодна обробка металу в механічних та інших цехах потенційно не призводить до пожежі. Але в цих цехах зберігаються гас та мастильні матеріали, запас яких слід обмежувати до добової потреби і тримати у

металевих шафах або ящиках. У тих цехах, де вогнебезпечна робота проводиться постійно, для цих матеріалів відводяться постійні спеціальні місця, оснащені необхідними засобами для гасіння пожеж.

Особливу увагу треба звертати на зварювальні роботи. При проведенні їх забороняється: користуватися несправною апаратурою, зварювати вироби, апарати і прилади, що перебувають під тиском рідини, пари й повітря, а також під електричною напругою; працювати в приміщеннях, де застосовуються або зберігаються легкозаймисті матеріали й рідини прокладати струмоведучі зварювальні проводи разом із газозварювальними шлангами та трубопроводами; зберігати у зварювальних кабінах одяг і рукавиці з слідами мастил, бензину і гасу.

Досить небезпечними в пожежному відношенні є малярні дільниці, в яких застосовуються фарби, лаки, емалі, та летючі розчинники. Під час роботи з пульверизаторами частина барвників розпилюється в повітрі і при певній концентрації утворює вибухонебезпечну суміш.

Малярні цехи, де робота проводиться з нітрофарбами, споряджують спеціальними витяжними вогнетривкими кабінами.

Вентиляція малярної дільниці, камер, кабін розраховується на повне видалення парів розпилювачів. Щоб запобігти іскроутворенню, кожух вентилятора обкладають зсередини листами кольорового металу. Електродвигуни вентиляторів, насоси, світильники та ін. повинні бути тільки вибухозахищені (у вибухонепроникному або спеціальному виконанні).

4.5 Оцінка стійкості роботи виробничого об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій

Стійкість роботи об'єкта – це його здатність випускати продукцію в надзвичайних ситуаціях у запланованому обсязі, необхідної номенклатури і відповідної якості, а у випадку впливу на об'єкт вражаючих факторів,

стихійних лих та виробничих аварій – в мінімально короткі строки відновити своє виробництво.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, на яких будуть враховані усі небезпечні фактори, їх несприятливий вплив на виробництво і розроблять відповідні заходи. Завчасне проведення організаційних, агрохімічних, агротехнічних, інженерно-технічних, ветеринарно-санітарних, лісотехнічних, лісгосподарських, меліоративних та інших заходів максимально знизить результати впливу вражаючих факторів мирного і воєнного часу на людей, сільськогосподарських тварин і створить сприятливі умови для швидкої ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Для розробки заходів підвищення і забезпечення стійкості роботи об'єктів у надзвичайних ситуаціях необхідно оцінити стійкість об'єкту проти впливу вражаючих факторів.

Вихідними даними для проведення розрахунків стійкості об'єкта до ураження є: максимальні значення параметрів можливих вражаючих факторів і характеристики елементів об'єкта [25]:

- відстань від цеху до сховища вуглеводних продуктів – 0,7 км;
- цех розташований до сховища по азимуту 270°;
- тип вуглеводного продукту – пропан;
- маса продукту – 300 т.;
- характеристика механічного цеху: будівля – залізобетон; верстати – середні; трубопроводи – на металевих естакадах, наземні;
- кабельні мережі – наземні.

Зони осередку ураження при вибуху газоповітряної суміші показано на рисунку 4.3.

Визначаємо максимально ймовірний надмірний тиск, що очікується при вибуху у районі розташування об'єкту

Зона I – зона детонаційної хвилі

$$R_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q},$$

де $Q = 300$ т. – маса вуглеводного продукту.

$$R_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q} = 117,151 \text{ м};$$

$$\Delta P_1 = 1700 \text{ кПа};$$

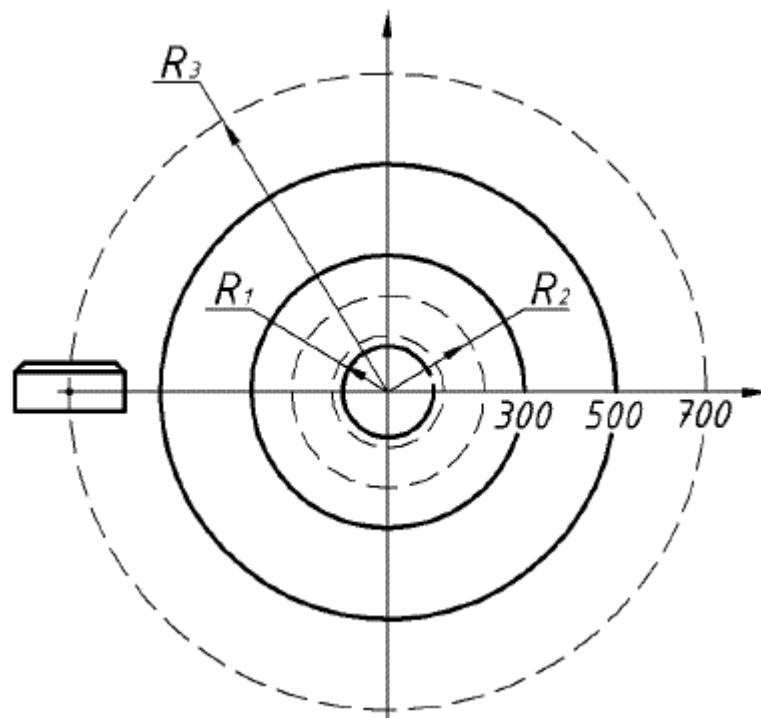


Рисунок 4.3 – Зони осередку ураження при вибуху газоповітряної суміші

Зона II – зона дії продуктів вибуху:

$$R_2 = 1,7 \cdot r_1 = 199,156 \text{ м};$$

$$\Delta P_2 = 1300 \cdot \left(\frac{r_1}{r} \right)^3 + 50 = 56,094 \text{ кПа}.$$

Зона III – зона дії повітряної ударної хвилі:

Визначимо відносну величину Ψ :

$$\Psi = 0,24 \cdot \frac{r}{r_1} = 1,434.$$

При $\Psi \leq 2$:

$$\Delta P_3 = \frac{700}{3 \cdot (\sqrt{1 + 29,8 \cdot \Psi^3} - 1)} = 27,686 \text{ кПа}.$$

Визначимо фактичний надмірний тиск:

$$\Delta P_{\phi} = \left(1,05 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{r} + 4,3 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{r^2} + 14 \cdot \frac{Q}{r^5} \right) \cdot 100 = 1,043 \text{ кПа.}$$

Виділимо основні елементи об'єкту і визначимо їх ступені руйнування в залежності від $P_{\phi \text{ lim}}$ ударної хвилі:

- механічний цех: 20... 30 кПа (середній);
- верстатний парк: 25... 35 кПа (середній);
- трубопроводи: 20... 30 кПа (слабкий);
- кабельні мережі: 10... 30 кПа (слабкий).

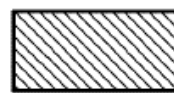
Таблиця 4.1 – Результати оцінки стійкості об'єкту до ударної хвилі

Елементи цеху та їх характеристики	Ступінь руйнування при ΔP_{ϕ} , кПа	Межа стійкості елементу $\Delta P_{\phi \text{ lim}}$, кПа	Збитки при $\Delta P_{\phi \text{ max}}$, %	Примітка
	10 20 30 40 50 60 70			
Будівля: залізобетон		20	45	Межа стійкості об'єкту $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 20 \text{ кПа}$
Технологічне обладнання: верстати середні		25	37	
Трубопроводи: на металевих естакадах		30	27	
Електромережа: кабельна наземна		30	27	

$\Delta P_{\phi \text{ max}}$ →



- слабкі руйнування



- сильні руйнування



- середні руйнування



- повні руйнування

Порівнюючи $P_{\phi \text{ lim}}$ (по найменшому показнику: механічний цех) з величиною 30 кПа визначимо, що об'єкт є досить стійким до ударної хвилі.

Результати розрахунків наведено у таблиці 4.1.

Висновок: межа стійкості об'єкту $P_{\phi \text{ lim}} = 20$ кПа, що відповідає межі стійкості найуразливішого елементу об'єкту, тобто будівлі механічного цеху. На об'єкті від ударної хвилі очікується середній ступінь руйнування будівлі механічного цеху та устаткування і легкий ступінь руйнування для трубопроводів та кабельних мереж. Можливий збиток складе: для будівлі механічного цеху – 45 %, для технологічного устаткування – 37 %, для трубопроводів – 27 %, для кабельних мереж – 27 %.

4.6 Висновки до розділу

У розділі наведено результати аналізу потенційних небезпек та шкідливих умов у дільниці механічної обробки корпусу ЖВМ 22.122.22, описано дію вібрації на організм людини і розроблено заходи для зниження вібрації технологічного устаткування на дільниці, описано пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії. Систематизовано основні заходи щодо пожежної безпеки на дільниці механоскладального цеху. Виконано оцінку стійкості роботи виробничого об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22. В рамках його розробки виконано вибір та обґрунтування технології отримання початкової заготовки корпусу способом лиття в піщані разові форми з машинною формовкою, спроектовано відповідну початкову заготовку, вибрано технологічні бази для її механічного оброблення, розроблено маршрут та операційний технологічний процес механічної обробки корпусу, визначено режими різання, виконано розмірний аналіз механічної обробки деталі, встановлено припуски та міжопераційні розміри оброблюваної заготовки на основі використання розрахунково-аналітичного методу, вибрано металорізальні інструменти та засоби технічних вимірювань, розраховано параметри часу розробленого технологічного процесу, виконано розрахунок конструктивних параметрів елементів конструкції багатошпindelної свердлильної головки, описано контрольне пристосування для перевірки торцевого биття. У підсумку визначено технологічну собівартість виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22.

2. У такому технологічному процесі використовується сучасне автоматизоване устаткування, яке характеризується високою продуктивністю, яке виключає вплив суб'єктивних факторів, і забезпечує багатопозиційну обробку і покращення культури виробництва. Через застосування сучасного закордонного устаткування з ЧПК у виробництві використовуються сучасні стандартні інструменти, що сприяє реалізації вищошвидкісного різання та реалізації режимів різання які мають відхилення від рекомендованих у вітчизняних методиках. Завдяки цьому покращені продуктивність праці, знижена трудомісткість виготовлення деталі. Розроблений ТП сприяє підвищенню рівня технологічної культури виробництва, характеризується мінімальною кількістю технологічних переходів, забезпечує необхідну якість оброблюваної деталі.

3. На основі порівняння результатів розрахунків режимів різання, отриманих за методикою фірми Sandvik Coromant та за вітчизняною методикою на основі аналітичних залежностей, ми бачимо розходження. Перший варіант у порівнянні з другим характеризується у 1,5 рази більшою швидкістю різання та відповідно і частотою обертання шпинделя, в 1,4 рази більшою подачею, та у 5 разів більшою необхідною потужністю. Таким чином закордонне устаткування дозволяє реалізувати високошвидкісну обробку матеріалів при малих затратах часу. Тому при розрахунках режимів різання для випадку використання вітчизняних верстатів доцільно використовувати класичний аналітичний метод обчислень, а для випадку обробки деталі на устаткуванні, яке створене за кордоном доцільно використовувати закордонні методики розрахунків режимів різання на зразок інтерактивної платформи CoroPlus Tool Guide.

4. У роботі показано, що метод аналізу ієрархій забезпечує комплексний підхід до вибору металорізального устаткування, дозволяючи оптимізувати процес прийняття рішень з урахуванням багатьох факторів і обмежень.

5. Розроблено методику програмної реалізації такого методу для вибору металорізального устаткування. Вона базується на використанні діаграм, висота яких виконана відповідною до шкали відносної важливості. При цьому, висота однієї діаграми відображає величину переваги першого об'єкту над іншим, а суміжна – перевагу другого об'єкту над першим. Такий підхід зумовлений психологічними особливостями людини у плані роботи з цифровими та візуальними даними.

6. Розроблена комп'ютерна програма використана для вибору технологічного устаткування для реалізації технологічного процесу виготовлення корпусу ЖВМ 22.122.22. В результаті дослідження варіантів технологічного устаткування за критеріями продуктивність, надійність, енергоефективність, габарити та компактність, точність, ціна устаткування, обслуговування та ремонтпридатність, визначено оптимальними варіантами

технологічного устаткування є токарний верстат з ЧПК моделі DMTG VT20 (операції 005, 010) корпорації DMTG (Китай), а також модифікований агрегатний вертикальний чотирьох позиційний верстат Aggregate 212.

7. У роботі наведено результати аналізу потенційних небезпек та шкідливих умов у дільниці механічної обробки корпусу ЖВМ 22.122.22, описано дію вібрації на організм людини і розроблено заходи для зниження вібрації технологічного устаткування на дільниці, описано пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії. Систематизовано основні заходи щодо пожежної безпеки на дільниці механоскладального цеху. Виконано оцінку стійкості роботи виробничого об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильків В.В. Методика вибору ефективних технологічних процесів виготовлення гвинтових і шнекових заготовок // Обработка материалов давлением. - 2014. № 1. С. 97-102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/omd_2014_1_18
2. Creating a 3D model. Study guides for lab classes № 4 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production” course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 40 p.
3. Creating a parametric drawing in the automatic parameterization mode. Study guides for lab classes № 3 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production” course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.
4. Creating Parametric Drawing. Study guides for lab classes № 2 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production” course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 38 p.
5. Sketching by Non-parametric Drawing. Study guides for lab classes № 1 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production” course. Editors: Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.
6. Vasylykiv V., Danylchenko L., Radyk D. Technological methods of workpieces manufacturing. Metal Casting: Manual / V. Vasylykiv, L. Danylchenko, D. Radyk. Edited by L. Dzhydzhora. – Ternopil: Vector, 2021. – 203 p.
7. Vasylykiv V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. (2021) Use of computer-integrated technologies in training of engineering specialists. In: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Proceedings of the International Conference Advanced Applied Energy and Information Technologies, Ternopil, December 15-17, 2021, pp. 74-80.
8. Vasylykiv V.V. Technologies of workpieces manufacturing by casting: manual / V.V. Vasylykiv, L.M. Danylchenko, D.L. Radyk. – Ternopil : Published TNTU named after Ivan Puluj, 2023. – 492 p.

9. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
10. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль: ТДТУ, 2001. 277 с.
11. Експериментальні дослідження в технології машинобудування. Навчальний посібник з дисципліни "Наукові дослідження і теорія експерименту". / Уклад. Васильків В.В., Радик Д.Л. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012. – 386 с.
12. Івашків А.В. Розроблення проекту дільниці механічного цеху для виготовлення ступиці ЖВМ 20.309 з аналізом програмних продуктів для автоматизованого розрахунку режимів різання при точінні: дипломна робота магістра за спеціальністю "131 - прикладна механіка" / А.В. Івашків– Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 138 с.
13. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
14. Жидецький В.Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
15. Запорожець О. І. Основи охорони праці: Підручник / О. І. Запорожець, О. С. Протоєрейський, Г. М. Франчук, І. М. Боровик. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с
16. Методичний практикум на тему: "Інженерний аналіз в Ansys Workbench" з дисципліни: "Комп'ютерне моделювання процесів обробки матеріалів" для практичних занять і самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 "Прикладна механіка" та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей / Укладачі : Васильків В. В., Данильченко Л. М., Радик Д. Л., Дивдик О. В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 58 с.
17. Методичні вказівки для практичного заняття №1 на тему: Методи визначення ефективності інженерних рішень з дисципліни "Ефективність інженерних рішень" / Укладачі: Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик, Ігор Ярема. — Тернопіль : Тернопільський національний

технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. — 25 с.

18. Методичні вказівки для практичного заняття №2 на тему: Оцінка ефективності та обґрунтування методу отримання заготовок з дисципліни “Ефективність інженерних рішень” / Укладачі: Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик, Ліліана Джиджора. — Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. — 29 с.

19. Обробка результатів експериментальних досліджень математичними методами. Методичний посібник / Уклад. Васильків В.В., Радик Д.Л., Романовський Р.М. — Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. — 74 с.

20. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: Підручник. — К.: Вища шк., 1993. — 556 с.

21. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.

22. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

23. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів: навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

24. Терміни та визначення в технічній творчості та наукових дослідженнях. Методичний посібник / Уклад. Пилипець М.І, Васильків В.В., Радик Д.Л. — Тернопіль: Вид.-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. — 256 с.

25. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.

26. Vasylykiv V., Ryskalchuk S., Makovynskyi N., Punchuk V. The use of the analytic hierarchy process method for selecting software products to implement generative design technologies for products in mechanical engineering. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. — Одеса: 2023. С. 45-47.

27. Vasylykiv V., Kornev O., Punchuk V., Ryskalchuk S., Paraschuk V., Hrytsyna A. Analysis of the dynamics of patent flows concerning the advancement of generative design technologies. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса: 2023. С. 41-43.

28. Vasylykiv V., Makovynskyi N., Punchuk P., Ryskalchuk S., Kornev O. Monitoring the use of software products for generative design. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса: 2023. С. 43-45.

29. Vasylykiv Vasyl, Makovynskyi Nazarii, Parastiuk Bohdan, Korniev Oleksandr Application of the analytic hierarchy process for selecting the required metal-cutting equipment. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: матеріали тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (м. Одеса, 11–12 грудня 2024 р.) / Одеський національний морський університет та ін. – Одеса: Одеський національний морський університет, 2024. С. 33-35.

30. Ефективність інвестиційних проєктів у механічній інженерії : навчально- методичний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 - Прикладна механіка галузі знань, 13 - Механічна інженерія / Укладачі : Василь Васильків, Ігор Ткаченко, Лариса Данильченко, Марія Сіправська, Ігор Ярема. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 208 с.

31. Ефективність інженерних рішень : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131-Прикладна механіка галузі знань 13-Механічна інженерія / Укладачі Л.М. Данильченко, В.В. Васильків, І.Г. Ткаченко, М.Д. Сіправська. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ, 2024.–248 с.

32. Методичні вказівки для практичного заняття №4 на тему: Аналіз ефективності інженерних рішень за собівартістю виготовленої продукції з дисципліни „Ефективність інженерних рішень“ / Укладачі: Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик, Ігор Ярема. — Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. — 27 с.

33. Методичні вказівки для практичного заняття №6 на тему: Оцінка ефективності витрат електроенергії на технологічне устаткування й спорядження з дисципліни „Ефективність інженерних рішень“ / Укладачі: Василь Васильків, Лариса Данильченко, Дмитро Радик, Ігор Ярема. — Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. — 24 с.

34. Danylchenko L. Comparative analysis of computer systems for casting processes simulation / Larysa Danylchenko // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern. : TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 105–113.