

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Дослідження впливу подачі на осьове зусилля різання в процесі механічної обробки отворів (комплексна тема)

Виконав: студенти 6 курсу, групи МВм-61
напряму підготовки (спеціальності)
133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	Денис А.І.
	Севостьяніхін В.І.
	(прізвище та ініціали)
Керівник	Кобельник В.Р.
	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Кобельник В.Р.
	(прізвище та ініціали)
Завід. кафедри	Крупа В.В.
	(прізвище та ініціали)
Рецензент	
	(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Денису Андрію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу подачі на осьове зусилля різання в процесі
механічної обробки отворів (комплексна тема)

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «08» 11 2024 року № 4/7-1066

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.12.2024

3. Вихідні дані до роботи

Способи (методи), засоби та обладнання для проведення досліджень силових параметрів
процесу свердління.

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

ВСТУП. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент отримані за різними нормативними даними. Огляд і аналіз методів дослідження впливу подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні. Методи дослідження впливу подачі на осьову силу. Прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Механічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Гідравлічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Пружинні – гідравлічні динамометри. Гальмівні динамометр. Трансмісійні динамометри. Електричні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Двокомпонентний свердильний динамометр із змінними діапазонами вимірювальних складових сил різання. Зразкові динамометри типу ДОР і ДОС. Пристрої для змінних подач. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при спадаючій подачі. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю кола. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю еліпса. ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Опис конструкції свердильного динамометра. Будова динамометра. Принцип роботи динамометра при зменшенні подачі. Принцип роботи динамометра при збільшенні подачі. Будова і принцип роботи дрютяного тензодатчика. Тарування свердильного динамометра. Навантаження динамометра. Проведення експерименту, обробка та аналіз експериментальних даних. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ВИСНОВОК. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ. ДОДАТКИ

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

Тема, мета роботи, завдання. Пристрої для контролю зусиль при різанні. Розрахункові дані по осьовій силі, крутному моменту та потужності при свердлінні отримані за різними джерелами. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при спадаючій (зростаючій) подачі. Переміщення копіра профіль якого «еліпс», «парабола». Кінематична схема. Конструкція пристрою для свердління із змінною подачею (свердильний динамометр). Графік спадання подачі при вимірюванні осьової сили. Обробка експериментальних даних. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доцент каф. ВІ Сеник А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викладач Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 18.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	25.11.2024	
2	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.	01.12.2023	
3	РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10.12.2024	
4	ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	18.12.2024	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	20.12.2024	
6	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	21.12.2024	
7	Графічна частина (Слайди)	21.12.2024	
8	Підготовка до захисту	до 25.12.2024	

Студент

(підпис)

Денис А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Севостьяніхіну Вітору Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу подачі на осьове зусилля різання в процесі
механічної обробки отворів (комплексна тема)

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «08» 11 2024 року № 4/7-1066

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.12.2024

3. Вихідні дані до роботи

Способи (методи), засоби та обладнання для проведення досліджень силових параметрів
процесу свердління.

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

ВСТУП. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент отримані за різними нормативними даними. Огляд і аналіз методів дослідження впливу подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні. Прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Пружинні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Гідравлічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Пружину – гідравлічні динамометри. Гальмівні динамометр. Трансмісійні динамометри. Електричні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання. Двокомпонентний свердильний динамометр із змінними діапазонами вимірювальних складових сил різання. Зразкові динамометри типу ДОР і ДОС. Пристрої для змінних подач. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при спадаючій подачі. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю еліпса. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю параболі. ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Опис конструкції свердильного динамометра. Принцип роботи динамометра при зменшенні подачі. Принцип роботи динамометра при збільшенні подачі. Будова і принцип роботи дротяного тензодатчика. Навантаження динамометра. Кінематичний та конструкторський розрахунок лінії приводу головного руху вертикально-свердильного верстату. Проведення експерименту, обробка та аналіз експериментальних даних. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ВИСНОВОК. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ. ДОДАТКИ

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

Тема, мета роботи, завдання. Пристрої для контролю зусиль при різанні. Розрахункові дані по крутному моменту та потужності при свердлінні отримані за різними джерелами. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі. Переміщення копіра профіль якого «коло». Кінематична схема, коробка швидкостей (розгортка, згортка). Конструкція пристрою для свердління із змінною подачею (свердильний динамометр). Графік спадання подачі при вимірюванні осьової сили. Обробка експериментальних даних. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доцент каф.ВІ Сеник А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викладач Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 18.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	25.11.2024	
2	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.	01.12.2023	
3	РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10.12.2024	
4	ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	18.12.2024	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	20.12.2024	
6	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	21.12.2024	
7	Графічна частина (Слайди)	21.12.2024	
8	Підготовка до захисту	до 25.12.2024	

Студент

(підпис)

Севостьяніхін В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Денис А.І., Севостьяніхін В.І. Дослідження впливу подачі на осьове зусилля різання в процесі механічної обробки отворів (комплексна тема) : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю «133 – галузеве машинобудування» / А.І. Денис, В.І. Севостьяніхін. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 152 с.

На машинобудівних підприємствах свердлильні роботи займають близько 25 – 30% від загальної трудомісткості механічної обробки, а саме обробки різанням.

Питання вивчення впливу елементів режимів різання, зокрема подачі, на силові характеристики процесу свердління є предметом численних наукових досліджень як українських, так і закордонних учених.

Процес різання при свердлінні має низку специфічних особливостей, які ускладнюють його дослідження. Серед них — насамперед це доступ в зону різання, зміна геометричних параметрів зуба свердла вздовж головної різальної кромки, варіативність швидкості різання по довжині різального леза, різна ширина перемички, складність подачі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ у зону різання тощо.

Аналіз значень осьової сили при свердлінні, отриманих з різних інформаційних і нормативних джерел, виявляє суттєві розбіжності, які можуть досягати 30 – 40%.

Отже, дослідження впливу елементів режиму різання на силові характеристики процесу свердління безперечно є важливою та актуальною задачею.

Denys A.I., Sevostyanichin V.I. Research on the impact of feed rate on axial cutting force during hole machining (comprehensive topic). Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical

University; Ternopil, 2024. 152 p.

At machine-building enterprises, drilling operations occupy about 25-30% of the total labor intensity of mechanical processing, namely cutting processing.

The issue of studying the influence of elements of cutting modes, in particular feed, on the power characteristics of the drilling process is the subject of numerous scientific studies by both Ukrainian and foreign scientists.

The cutting process during drilling has a number of specific features that complicate its study. Among them, first of all, is access to the cutting zone, changing the geometric parameters of the drill tooth along the main cutting edge, variability of cutting speed along the length of the cutting blade, different width of the bridge, difficulty in supplying lubricating and cooling technological media to the cutting zone, etc.

Analysis of the values of axial force during drilling obtained from various information and regulatory sources reveals significant discrepancies, which can reach 30-40%.

Therefore, the study of the influence of cutting mode elements on the power characteristics of the drilling process is undoubtedly an important and relevant task.

The following tasks were solved:

- the values of cutting modes obtained by the calculation method based on various information sources were analyzed;
- existing devices for changing the feed and taking the values of power characteristics during the drilling process were analyzed;
- kinematic calculations of the main movement line of the vertical drilling machine were performed and the design of the gearbox was proposed;
- the design of a device for changing the feed during the drilling process and fixing the axial force and torque was proposed.
- a study was conducted to determine the coefficients used to determine the axial force and torque by the calculation method during drilling.

Мета і завдання.

Метою роботи є розробка пристроїв та дослідження впливу подачі на осьове зусилля різання в процесі механічної обробки отворів.

Для досягнення мети у кваліфікаційній роботі поставлено та вирішено наступні задачі:

- проаналізовано значення режимів різання отриманих розрахунковим методом на основі різних інформаційних джерел;
- проаналізовано існуючі пристрої для зміни подачі та зняття значень силових характеристик в процесі свердління;
- здійснено кінематичні розрахунки лінії головного руху вертикально-свердлильного верстату та запропоновано конструкцію коробки швидкостей;
- запропоновано конструкцію пристосування для зміни подачі в процесі свердління та фіксації осьового зусилля та крутного моменту.
- проведено дослідження для визначення коефіцієнтів, які використовуються для визначення осьового зусилля та крутного моменту розрахунковим методом при свердлінні.

Об'єкт, методи та джерела дослідження.

Об'єкт дослідження: силові характеристики процесу різання при свердлінні.

Предмет дослідження: вплив подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні.

Методи дослідження: проведені в кваліфікаційній роботі дослідження ґрунтуються на положеннях теорії різання, матеріалознавства, математичного моделювання, математичної статистики та теорії імовірності, геометрії, комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

Зроблено спробу запропонувати метод дослідження впливу подачі на осьове зусилля при свердлінні.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано гамму варіантів пристроїв для проведення досліджень впливу подачі на осьову силу та крутний момент при свердлінні.

Результати отримані в кваліфікаційній роботі можна використати при дослідженні впливу подачі, глибини різання, на силові характеристики процесу різання при свердлінні.

Апробація.

Результати досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи доповідались на XIII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11 – 12 листопада 2024 р і опубліковані тези в збірнику

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (44 найменування) та додатків.

Загальний обсяг тестової частини – 152 сторінки, 29 таблиць, 78 рисунків.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	13
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	15
1.1. Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент отримані за різними нормативними даними	15
1.2. Огляд і аналіз методів дослідження впливу подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні.	39
1.2.1 Методи дослідження впливу подачі на осьову силу.	39
1.2.2 Прилади для дослідження силових характеристик процесу різання	40
1.2.2.1. Механічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання	43
1.2.2.2. Пружинні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання	48
1.2.2.3. Гідравлічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання	49
1.2.2.4. Пружино – гідравлічні динамометри	51
1.2.2.5. Гальмівні динамометр	52
1.2.2.6. Трансмісійні динамометри	55
1.2.2.7. Електричні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання	55
1.2.2.8. Двокомпонентний свердлильний динамометр із змінними діапазонами вимірювальних складових сил різання	56
1.2.2.9. Зразкові динамометри типу ДОР і ДОС	58
1.2.3 Пристрої для змінних подач	61
2. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	64
2.1. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при спадаючій подачі	64

2.2. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі.	70
2.3. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю кола.	76
2.4. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю еліпса.	85
2.5. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю параболи.	93
3. ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	102
3.1. Опис конструкції свердлильного динамометра	101
3.2. Будова динамометра	102
3.2.1 Принцип роботи динамометра при зменшенні подачі	104
3.2.2 Принцип роботи динамометра при збільшенні подачі	104
3.3. Будова і принцип роботи дротяного тензодатчика	105
3.4. Тарування свердлильного динамометра	106
3.4.1 Навантаження динамометра	106
3.5. Кінематичний та конструкторський розрахунок лінії приводу головного руху вертикально-свердлильного верстату	107
3.6 Проведення експерименту, обробка та аналіз експериментальних даних	121
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	130
4.1 Вимоги і правила роботи за свердлильним верстатом	130
4.2 Організація робочого місця	134
4.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу вражаючих факторів ядерної зброї	138
4.3.1 Методика оцінки стійкості промислових об'єктів	138

4.3.2 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі	140
4.3.3 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження	141
4.3.4 Оцінка стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів	141
4.3.5 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу хімічного і бактеріологічного ураження	142
ВИСНОВОК	146
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	147
ДОДАТКИ	152

ВСТУП

В сучасний час в машинобудівній галузі широко використовується велика кількість різнорідних різальних інструментів. Металорізальний інструмент є одним з найважливіших інструментів виробництва. Він використовується при обробці різанням будь яких деталей на металорізальних верстатах. При цьому зрізається частина матеріалу заготовки у вигляді стружки до одержання необхідної поверхні деталі.

Технічний прогрес в машинобудівній галузі характеризується не тільки створенням нових і покращенням існуючих машин, але і безперервним вдосконаленням процесів їх виробництва, на базі розвитку відповідних галузей технологічних наук, в тому числі на основі розвитку і накопичення знань в області проектування ріжучих інструментів. Збільшення виробничого досвіду і наукових випробувань в області конструювання інструментів йшло паралельно з розвитком машинобудування як наслідок праці багатьох тисяч вчених. Всі вони намагалися знайти рішення нових проблем, що виникали з розвитком машинобудування, намагаючись підвищити продуктивність праці, досягнути необхідної точності обробки і високої якості виготовлених деталей.

Значення геометричних параметрів любого різального інструмента визначаються одними і тими самими законами різання.

Принцип встановлення оптимальних режимів різання є загальним для всіх видів обробки. Цей принцип полягає в тім, що для забезпечення найбільшої продуктивності по машинному часу необхідно в першу чергу назначити як можна більшу в залежності від припуску глибину різання, максимально можливу по технологічним умовам подачу, і задавшись періодом стійкості інструмента, по відомим глибини різання і подачі визначити швидкість різання.

Збільшення швидкості за рахунок зменшення глибини різання і подачі

приводить до зниження інтенсивності процесу різання. Тому збільшення швидкості різання йти по шляху покращення геометрії різального інструменту і підвищення якості його виготовлення, а також підвищення різальних властивостей інструментального матеріалу.

Процес різання металів супроводжується рядом фізичних явищ, які створюють великий вплив на продуктивність, якість обробленої поверхні, знос і стійкість різального інструменту. Тому слід працювати в напрямку уточнення і з'ясування закономірностей, управляючих цими явищами. На вивід емпіричних залежностей витрачається багато часу, праці і коштів, тому необхідна подальша розробка теоретичних формул для визначення силових, стійкісних, температурних та інших залежностей. Не в повній мірі досліджено вплив режимів різання, геометрії різального інструменту і методів обробки на якість поверхневого шару деталі, що обробляється; міцність на втому, залишкові напруження, що визначають довговічну і надійну роботу деталей машин. Тому такі дослідження є дуже необхідними.

Слід також враховувати нестабільність властивостей інструментального матеріалу по твердості та структурі, кількісній оцінці фактора жорсткості системи – верстат – пристосування – інструмент – деталь, що створюють суттєвий вплив на швидкість різання, потребує використання для багато інструментальної обробки додаткового понижуючого коефіцієнта на швидкість різання.

Однією з першочергових задач є створення нормативів по режимах різання, які б враховували сучасний стан розвитку інструментального оснащення, обладнання і номенклатури оброблюваних конструкційних матеріалів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент отримані за різними нормативними даними

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент передбачає розрахунок режимів різання згідно різних джерел для розрахунку режимів різання, визначення розбіжностей в розрахованих режимах різання та побудові графіків розбіжностей.

Для цього ми проведемо розрахунок режимів різання з різних джерел довідникової літератури для деталі виготовленої зі сталі Сталь 40, в якій просвердлюється отвір діаметром $d = 12$ мм, на глибину $l = 30$ мм, при подачі $S = 0,2$ мм/об і періоду стійкості $T = 20$ хв.

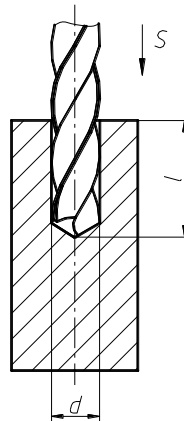


Рисунок 1.1 Схема обробки деталі.

Матеріал Сталь 40 ГОСТ 4543 – 71 має наступні складники та властивості:

Таблиця 1.1. Хімічний склад і твердість після прокату і поковки

Сталь	Складники, %			Твердість НВ без термообробки не більше
	C	S _i	M _n	
40	0,37	0,17–0,37	0,50–0,80	217

Таблиця 1.2. Характеристики механічних властивостей сталі 2-ї категорії, що визначаються при розтягу і ударі

Сталь	Термічна обробка заготовок	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	a_H , кгс·м/см ²
40	нормалізація	34	58	19	45	6

Таблиця 1.3. Характеристики технологічних властивостей сталі [29]с.91. табл.13

Сталь	Зварюваність	Спосіб зварювання	Оброблюваність різанням	
			Стан металу	Коефіцієнт оброблюваності K_v
40	обмежена	під флюсом і газовим захистом	Гарячекатаний НВ170, $\sigma_B = 53$ кгс/мм ²	1,2

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно [Абрамов]

Визначаємо глибину різання за формулою [31] с. 150

$$t = \frac{D}{2}, \text{ мм} \quad (1.1)$$

де,

D – діаметр свердла, мм

$$t = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм.}$$

Подача вибирається в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу, діаметра обробки та інших технологічних параметрів в залежності від технологічних факторів.

В нашому випадку подача при свердлінні становить: $S_0 = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання визначається по формулі:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{Z_v} \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}}, \text{ м/хв} \quad (1.2)$$

Для свердління конструкційної вуглецевої сталі при подачі $S_0 = 0,2$ мм/об. і матеріалом свердла із швидкорізальної сталі визначаємо коефіцієнти і показники степені.

Значення коефіцієнтів C_v і показників степені визначаємо

$$C_v = 7,0, \quad Z_v = 0,4, \quad x_v = 0, \quad y_v = 0,7, \quad m = 0,2$$

Період стійкості свердла T визначаємо

$$T = 20 \text{ хв}$$

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт K_v на швидкість різання

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \cdot K_{\phi v}; \quad (1.3)$$

де,

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує оброблювальний матеріал;

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу інструмента;

K_{lv} – коефіцієнт, що враховує відношення глибини різання до діаметру;

$K_{\phi v}$ – коефіцієнт, що враховує заточку інструменту.

$$K_{mv} = 1,0; \quad K_{uv} = 1,0$$

$$K_{lv} = 1,0, \quad K_{\phi v} = 1,0$$

$$K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0$$

$$V = \frac{7,0 \cdot 12^{0,4} \cdot 1,0}{20^{0,2} \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,7}} = 32,4 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}; \quad (1.4)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 32,4}{3,14 \cdot 12} = 859,9 \text{ об/хв}$$

Крутний момент і осьову силу при свердлінні визначаємо за формулою:

$$M_{кр.} = 10 \cdot C_M \cdot D^{Z_M} \cdot t^{x_M} \cdot S^{y_M} \cdot K_M, \quad H \cdot m \quad (1.5)$$

$$P_0 = 10 \cdot C_P \cdot D^{Z_P} \cdot t^{x_P} \cdot S^{y_P} \cdot K_P, \quad H \quad (1.6)$$

Визначаємо коефіцієнти і показники степенів для цих формул

Для свердління конструкційної сталі свердлом, виготовленим із швидкорізальної сталі визначаємо:

- коефіцієнти для розрахунку крутного моменту:

$$C_M = 0,0345, \quad Z_M = 2,0, \quad x_M = 0, \quad y_M = 0,8$$

- коефіцієнти для розрахунку осьової сили:

$$C_P = 68, \quad Z_P = 1,0, \quad x_P = 0, \quad y_P = 0,7$$

Поправочний коефіцієнт K_M , K_P визначаються як добуток частотних поправочних коефіцієнтів:

$$K_M = K_{MM} \cdot K_{3M}; \quad (1.7)$$

де,

K_{MM}, K_{3M} – коефіцієнти, що враховують стан різальних кромek свердла

$$K_{MM} = - , \quad K_{3M} = 0,87$$

$$K_M = 0,87$$

$$K_P = K_{MM} \cdot K_{3P} \cdot K_{\Phi P};$$

$$K_{MM} = - , \quad K_{3P} = 0,84, \quad K_{\Phi P} = 1,33$$

$$K_P = 0,84 \cdot 1,33 = 1,1$$

$$M_{кр.} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12^{2,0} \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,87 = 1392,7 \quad H \cdot m$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 12^{1,0} \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,1 = 2692,1 \quad H$$

Визначаємо потужність, що витрачається на різання:

$$N = \frac{2 \cdot M_{кр.} \cdot V}{D}; \quad (1.8)$$

$$N = \frac{2 \cdot 1392,7 \cdot 32,4}{12} = 1,25 \quad \kappa Bm$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.4. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$ Н·м	Потужність різання N , кВт
0,2	32,4	20	859,9	2692,1	1392,7	1,3

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Ачеркан]

Визначаємо глибину різання за формулою (1.1):

$$t = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу:

Подача при свердлінні рівна переміщенню свердла або деталі в напрямку осі обертання за один оберт.

Подача на одну різальну кромку свердла рівна:

$$S_Z = \frac{S_o}{2}, \text{ мм/об.} \quad (1.9)$$

Величина подачі при свердлінні визначається за формулою:

$$S_o = C_s \cdot D^{0,6}, \text{ мм/об} \quad (1.10)$$

де,

C_s – поправочний коефіцієнт [28] табл. 38 с.501

D – діаметр свердла, мм

Для нашого випадку $S_0 = 0,2$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання по формулі (1.11):

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot HB^{\pm n_v}}{T^m \cdot t^x S_0^y} \cdot k_u \cdot k_l, \text{ м/хв.} \quad (1.11)$$

де,

k_u – коефіцієнт, що враховує вплив металу, з якого виготовлена різальна кромка свердла для свердла із сталі P18 $k_u = 1,0$ [28] с.501 ;

k_l – коефіцієнт, що враховує відношення довжини свердління до діаметру отвору, $\frac{l}{d} = \frac{30}{12} = 2,5 \approx 3$, $k_l = 0,9$ [28] с.502

Значення періоду стійкості свердла представлені в [28] с. 502 табл.40

Таблиця 1.5. Значення періоду стійкості свердла T в хв.

Матеріал		Діаметр свердла								
Різальна частина свердла	Оброблюваний матеріал	5	10	до 15	до 20	до 25	до 30	до 40	до 60	до 80
Швидкорізальна сталь	Сталь	7	12	14–20	18–22	20–25	25–30	40–50	60–90	120–130
	Жароміцні матеріали	6	8	12	15	–	–	–	–	–
Твердий сплав	Чавун	12	21	25–30	32–40	40–50	50–55	75–85	105–160	210–400
	Кольорові матеріал і сплави	–	6	7	7–8	10–12	12–17	–	–	–

При обробці матеріалу зі сталі діаметром $d=12$ мм, виготовленим із швидкорізальної сталі період стійкості T становить 14 – 20 хв, приймаємо стійкість свердла $T = 20$ хв.

В формулі при розрахунку швидкості різання знак „+” показника степені n_v беруть для свердління маловуглицевих сталей з HB<155 „–” для сталей з HB>155 і інших матеріалів.

Коефіцієнт C_v для свердління сталі становить $C_v=0,10$, $C_1=1,50$, $C_3=0,8$, $n_v=1,0$ [28] табл.43 с. 504; $q=0,40$, $m=0,2$, $x=0$, $y=0,5$, $np=$ – [28] табл. 42 с. 503 .

$$V = \frac{0,10 \cdot 12^{0,4} \cdot 170^{1,0}}{20^{0,2} \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,5}} \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 27,8 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя становить за формулою (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 27,8}{3,14 \cdot 12} = 737,8 \text{ об / хв.}$$

Осьову подачу визначаємо за наступною формулою:

$$P_x = C_1 \cdot D^q \cdot S_0^y \cdot HB^{np}; \quad (1.12)$$

$$P_x = 1,50 \cdot 12^{0,40} \cdot 0,2^{0,5} \cdot 170 = 3098,5 \text{ Н}$$

Момент різання при свердлінні визначаємо по формулі:

$$M_{кр} = C_3 \cdot D^q \cdot S_0^y \cdot HB^{np}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.13)$$

$$M_{кр} = 0,8 \cdot 12^{0,4} \cdot 0,2^{0,5} \cdot 170 = 1652,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо ефективну потужність різання при свердлінні:

$$N_{різ.} = \frac{M_{кр.} \cdot n}{1,36 \cdot 716200}, \text{ кВт} \quad (1.14)$$

$$N_{різ.} = \frac{1652,0 \cdot 737,8}{1,36 \cdot 716200} = 1,25 \text{ кВт}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.6. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$ Н · м	Потужність різання N , кВт
0,2	27,8	20	737,8	3098,5	1652,0	1,3

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Барановський]

Таблиця 1.7. Значення подачі S_0

Операція		Група подач	S_0 в мм/об при оброблюваному діаметрі в мм													
			2,5	4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	60	80	100
Св-ня при $\frac{L_{різ.}}{d}$	≤ 3	I	0,04	0,08	0,12	0,16	0,22	0,28	0,32	0,4	0,45	0,5				
	4–8		0,03	0,06	0,1	0,14	0,18	0,22	0,28	0,3	0,36	0,4				
	≤ 8	II	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,23	0,3	0,32	0,35				
Зенкерування		III	0,02	0,4	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,22	0,25				
		I				0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,75	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6
		II				0,3	0,32	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	1,1
Розвертання		III				0,25	0,27	0,30	0,35	0,40	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	0,95
		I				0,5	0,6	0,75	0,9	1,0	1,1	1,35	1,5	2,0	2,4	2,7
Цекування при $d_n - d_v$		II				0,35	0,45	0,5	0,6	0,75	0,8	1,0	1,1	1,5	1,8	2,1
	5															
	10						0,23	0,25	0,28	0,3	0,33	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
	20									0,25	0,27	0,3	0,32	0,38	0,42	0,46
	30											0,2	0,25	0,3	0,32	0,36
Зенкування													0,12	0,18	0,2	0,22
							0,06	0,08	0,1	0,13	0,15	0,18	0,25	0,3	0,35	0,4

Подача в нашому випадку подача становить $S_0 = 0,2$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання

Швидкість різання визначаємо по формулі:

$$V = V_{табл.} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad [23] \text{ с.115 ;} \quad (1.15)$$

де,

$V_{табл.}$ – швидкість вибрана з таблиць;

K_1 – коефіцієнт, що залежить від оброблюємого матеріалу;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту;

K_3 – коефіцієнт, що залежить від відношення довжини різання до діаметру отвору.

$K_1=1,0$ для швидкорізальної сталі при НВ що входить в межі НВ 156 – 207 [23] с.116 .

Для визначення коефіцієнту K_2 слід визначити стійкість інструменту [23] с.114

Таблиця 1.8. Значення стійкості T_M в хвилинах машинної роботи

Найбільший діаметр, що обробляється d , в мм	T_M при кількості інструментів в наладці					
	1	3	5	8	10	15 і більше
10	20	50	80	100	120	140
15	30	80	110	140	150	170
20	40	100	130	170	180	200
30	50	120	160	200	220	250
50	60	150	200	240	260	300

Для нашого випадку період стійкості $T_M = 20$ хв.

Визначаємо K_2 для свердла [23] с.116 Карта С – 4

Таблиця 1.9. Коефіцієнт K_2 для свердла, зенкера, цековки, зенківки.

Матеріал інструмента	K_2 при стійкості T_M в хвилинах різання								
	до 15	30	60	100	150	200	300	400	600
Швидкорізальна сталь	1,5	1,25	1,15	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55
Твердий сплав .	1,6	1,4	1,2	1,0	0,85	0,75	0,65	0,55	–

Згідно табличних рекомендацій для свердла з швидкорізальної сталі при

стійкості інструменту $T_M = 20$ хв, приймаємо $K_2 = 1,25$.

Визначаємо коефіцієнт K_3 [23] с.117 Карта С – 4

Таблиця 1.10. Коефіцієнт K_3

Відношення довжини різання до діаметру	до 5	8	10
K_3	1,0	0,8	0,7

Відношення довжини різання $L_{різ.}$ до діаметра отвору d становить:

$$\frac{L_{різ.}}{d} = \frac{30}{12} = 2,5, \text{ що входить в межі до 5.}$$

Приймаємо $K_3 = 1,0$

Визначаємо $V_{табл.}$ згідно [23]с.115 Карта С – 4

Таблиця 1.11. Значення швидкості різання V

V _{табл.}															
S ₀ , мм/об	свердління											зенкерування			цекування і зенкування
	оброблюваний діаметр														
	2,5	4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	до20	20-40	>40	
до	22	26	32	36	40	44									22
0,06		20	24	27	30	32	36	40	44	50	55	46	54	60	22
0,1			21	23	25	27	30	33	36	40	44	38	42	50	20
0,15			18	19	22	23	26	29	32	34	38	33	38	43	18
0,2				16	18	19	22	24	26	29	31	26	30	35	17
0,3						17	19	21	23	24	26	23	26	30	16
0,4								17	18	20	22	20	22	24	14
0,6											18	16	19	21	—
0,8													17	19	—
1,0															

Для подачі $S_0 = 0,2$ мм/об при обробці отвору діаметром $d = 12$ мм

приймаємо $V_{табл.} = 23$ мм/хв.

Швидкість різання становить:

$$V = 23 \cdot 1,2 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 34,5 \text{ мм/хв.}$$

Частота обертання шпинделя становить за формуло (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 34,5}{3,14 \cdot 12} = 915,6 \text{ об/хв.}$$

Осьову силу визначаємо по формулі:

$$P_0 = P_T \cdot K_p \quad [23] \text{ с.124 Карта С – 5} \quad (1.16)$$

де,

P_T – табличне значення осьової сили;

K_p – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу.

Визначаємо по таблиці осьову силу P_0

Таблиця 1.12. Значення осьової сили різання для сталі P_0

Оброблюваний діаметр, d мм	P_0 , кГ мм									
	для сталі									
	Подача S_0 , мм/об									
	0,06	0,1	0,14	0,16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
2,5	30									
3	40									
4	50	70								
6	75	110	135	150						
8	100	145	180	200	235					
10	125	180	225	250	290	390				
12	150	215	270	300	350	465				
16	200	280	365	400	470	620	750			
20	250	360	450	500	580	770	950	1100		
25	314	450	560	620	730	970	1180	1370	1570	
32	400	570	725	800	920	1240	1510	1770	2000	2450

Згідно табличних рекомендацій $P_0 = 3500 \text{ Н}$

Поправочний коефіцієнт K_p для сталі з твердістю, що входить в межі

$$\text{HB } 143 - 207 \quad K_p = 0,9$$

$$P_0 = 3500 \cdot 0,9 = 3150,0 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання при свердлінні за формулою [23] с. 124
Карта С – 5 :

$$N_{\text{різ.}} = N_{\text{табл.}} \cdot K_N \cdot \frac{n}{1000}; \quad (1.17)$$

де,

$N_{\text{табл.}}$ – табличне значення потужності різання [23] с.127

K_N – коефіцієнт, що залежить від матеріалу, що обробляється;

$K_N = 0,9$ [23] с.128

n – частота обертання шпинделя, об/хв.

Таблиця 1.13. Значення потужності $N_{\text{табл.}}$ при свердлінні

Оброблюваний діаметр, d мм	$N_{\text{табл.}}$, кВт для сталі									
	Подача S_0 , мм/об									
	0,06	0,1	0,14	0,16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
3	0,03									
4	0,06	0,09								
6	0,13	0,2	0,25	0,29						
8	0,22	0,35	0,45	0,52	0,60					
10	0,35	0,55	0,7	0,8	0,94					
12	0,5	0,8	1	1,2	1,4	1,9				
16	0,9	1,4	1,8	2,1	2,4	3,4	4,3			
20	1,4	2,2	2,8	3,2	3,8	5,3	6,7	8		
25	2,2	3,5	4,4	5,0	5,9	8,3	10,5	12,4	14,4	
32	3,6	5,7	7,4	8,2	9,9	13,5	17,2	20,4	24	30

Для діаметра $d = 12$ мм при подачі $S_0 = 0,2$ мм/об приймаємо

$$N_{\text{табл.}} = 1,4 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{різ.}} = 1,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{915,6}{1000} = 1,2 \text{ кВт}$$

Визначаємо крутний момент згідно [23] с. 128

$$M_{\text{кр.}} = N_{\text{табл.}} \cdot K_N; \quad (1.18)$$

$$M_{\text{кр.}} = 1,4 \cdot 0,9 \approx 1260,0 \text{ Н}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.14. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{\text{кр}}$ Н · м	Потужність різання N , кВт
0,2	34,5	20	915,6	3150,0	1260,0	1,2

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Бобров]

Визначаємо глибину різання за формуло (1.1):

$$t = \frac{12}{6} = 6 \text{ мм}$$

Подача в нашому випадку згідно встановлених експериментальних вимог становить $S_0 = 0,2$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D_v^{x_v}}{T^m \cdot S_0^{y_v}} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (1.19)$$

де,

$$C_v = 8,9; m = 0,2; x_v = 0,4; y_v = 0,7 \text{ [5] табл. 28 с.303}$$

$$K_v = K_o \cdot K_m \cdot K_u \cdot K_\varphi \cdot K_\delta \cdot K_c \quad (1.20)$$

$$K_o = 1,0; \quad K_m = 1,0; \quad K_u = 1,0; \quad K_\varphi = 1,0; \quad K_\delta = 1,0; \quad K_c = 1,0 \quad [5] \text{ табл. 28}$$

с.303

$$K_v = 1,0$$

Виходячи з рекомендацій [5] с. 264 приймаємо період стійкості свердла
 $T = 20 \text{ хв.}$

$$V = \frac{8,9 \cdot 12^{0,4}}{20^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}} \cdot 1,0 = 41,2 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя становить за формулою (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 41,2}{3,14 \cdot 12} = 1093,4 \text{ об/хв.}$$

Крутний момент і осьову силу при свердлінні визначаємо за формулою:

$$P_0 = C_p \cdot D^{X_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_p, \quad H \quad (1.21)$$

$$M_{кр.} = C_m \cdot D^{X_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_p, \quad H \cdot m \quad (1.22)$$

Визначаємо коефіцієнти і показники степенів для цих формул [5] табл. 19

с.225

- коефіцієнти для розрахунку осьової сили:

$$C_p = 98,8; \quad X_p = 1,0; \quad y_p = 0,7$$

- коефіцієнти для розрахунку крутного моменту:

$$C_m = 939; \quad X_m = 2,0; \quad y_m = 0,8$$

$$K_p = K_m$$

$$K_m = \frac{C_3 \cdot \sigma_\sigma^{0,75}}{C_4 \cdot \sigma_\sigma^{0,75}}; \quad (1.23)$$

$$K_m = 0,9$$

$$P_0 = 98,8 \cdot 12^{1,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,9 = 3459,7 \quad H$$

$$M_{кр.} = 39 \cdot 12^{2,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,9 = 1394,7 \quad H \cdot m$$

Визначаємо потужність, що витрачається на різання:

$$N = \frac{M_{кр.} \cdot n}{1,36 \cdot 716200}; \quad (1.24)$$

$$N = \frac{1394,7 \cdot 1011,2}{1,36 \cdot 716200} = 1,5 \text{ кВт}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.15. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$ Н·м	Потужність різання N , кВт
0,2	41,2	20	1093,4	3459,7	1394,7	1,5

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Косілов]

Визначаємо глибину різання.

При свердлінні глибина різання t становить за формулою (1.1):

$$t = \frac{12}{6}, \text{ мм}$$

Подача при свердлінні отворів без обмежуючих факторів приймається максимально допустимою по міцності свердла [32] табл. 25 с. 277 .

В нашому випадку подача при свердлінні становить: $S_0 = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання при свердлінні визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_0^y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (1.25)$$

де,

C_v, q, y, m – коефіцієнт та ступеневі показники в формулі швидкості різання;

T – період стійкості інструменту, хв.

K_v – поправочний коефіцієнт

$C_v = 7,0$, $q = 0,40$, $y = 0,70$, $m = 0,20$ [32] табл. 28 с. 278 ;

$T = 20$ хв [32] табл. 30 с. 279 ;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (1.26)$$

де,

K_{mv} – поправочний коефіцієнт на оброблювальний матеріал, $K_{mv} = 1,0$ [32] табл.1 с. 261 ;

K_{nv} – поправочний коефіцієнт на матеріал інструменту, $K_{nv} = 1,0$ [32] табл.6 с. 263 ;

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{uv} = 1,0$ [32] табл. 31 с. 263

$$K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0$$

$$V = \frac{7,0 \cdot 12^{0,40}}{20^{0,20} \cdot 0,2^{0,70}} \cdot 1,0 = 32,4 \text{ м / хв ;}$$

За формулою (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 32,4}{3,14 \cdot 12} = 859,9 \text{ об / хв.}$$

Визначаємо крутний момент при свердлінні:

$$M_{кр.} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, H \cdot м \quad (1.27)$$

де,

C_m , q , y – коефіцієнт та ступеневі показники в формулі крутного моменту;

$C_m = 0,0345$, $q = 2,0$, $y = 0,8$ [32] табл. 32 с. 281

$$K_p = K_{mp}$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^n \quad (1.28)$$

де,

n – показник степені крутного моменту;

$n = 0,75$ [32] табл.9 с. 264

$$K_{mp} = \left(\frac{58}{750} \right)^{0,75} = 0,15$$

$$K_p = K_{mp} = 0,15$$

$$M_{кр.} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12^{2,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,15 \approx 2056,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо осьове зусилля:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, H \quad (1.29)$$

де,

C_p, q, y – коефіцієнт та ступеневі показники в формулі осьового зусилля;

$C_p = 68, q = 1,0, y = 0,8$ [32] табл. 32 с. 281

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 12^{1,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,15 = 3672,0 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N = \frac{M_{кр.} \cdot n}{9750}, \text{ кВт} \quad (1.30)$$

$$N = \frac{2056,4 \cdot 859,9}{9750} \approx 1,8 \text{ кВт}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.16. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$ Н·м	Потужність різання N , кВт
0,2	32,4	20	859,9	3672,0	2056,4	1,8

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Малов]

Подача при свердлінні визначається табличним методом згідно [30] т. 21 с. 254

Таблиця 1.17. Подача при свердлінні

Діаметр свердла d , мм	Вуглецева і легована негартована сталь, $\sigma_B = 55 \div 85$ кгс/мм ²	Оброблюваний матеріал при роботі					
		З охолодженням емульсією				Без охолодження	
		Гартована сталь HRC				Чавун	
		до 40	40	55	64	до 170	більше 170
10	0,12-0,16	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,25-0,45	0,20-0,35
12	0,14-0,20	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,3-0,5	0,20-0,35
16	0,16-0,22	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,35-0,6	0,25-0,40
20	0,20-0,26	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,4-0,7	0,25-0,40
23	0,22-0,26	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,45-0,8	0,30-0,45
26	0,24-0,32	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,5-0,85	0,35-0,50
29	0,28-0,35	0,04-0,05	0,03	0,025	0,02	0,5-0,90	0,40-0,6

В нашому випадку подача при свердлінні становить: $S_0 = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V \cdot d^{z_v}}{T^m \cdot S^{y_v}} \cdot K_{mv} , \quad \text{м/хв} \quad (1.31)$$

де,

$$C_v = 8,9; y_v = 0,7; z_v = 0,4; m = 0,2 \text{ [30] т.24 с. 256}$$

$$K_{mv} = \frac{48,7}{\sigma_6^{0,9}}; \quad (1.32)$$

$$K_{mv} = \frac{48,7}{58^{0,9}} = 1,26$$

$$V = \frac{8,9 \cdot 12^{0,4}}{20^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}} \cdot 1,26 = 49,7 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 49,7}{3,14 \cdot 12} = 1319,0 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо осьову силу:

$$P_0 = C_p \cdot d^{z_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_{mp}, \quad H \quad (1.33)$$

де,

$$C_p = 98; z_p = 1,0; y_p = 0,7 \text{ [30] табл. 30 с. 259}$$

$$K_{mp} = K_{mm} = \left(\frac{\sigma_6}{75} \right)^{0,75}; \quad (1.34)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{58}{75} \right)^{0,75} = 0,83$$

$$P_0 = 98 \cdot 12^{1,0} \cdot 0,2^{0,7} \cdot 0,83 = 3164,3 \quad H$$

$$M_K = C_M \cdot d^2 \cdot S^{y_M} \cdot K_{mm}, \quad H \cdot m \quad (1.35)$$

де,

$$C_p = 39; y_M = 0,8 \text{ [30] т.30 с.259}$$

$$M_K = 39 \cdot 12^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,83 = 1305,0 \quad H \cdot m$$

Визначаємо потужність:

$$N = \frac{M_{кр.} \cdot n}{975 \cdot 1000}, \text{ кВт} \quad (1.36)$$

$$N = \frac{1305,0 \cdot 1319,0}{975 \cdot 1000} = 1,76 \text{ кВт}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.18. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$ Н·м	Потужність різання N , кВт
0,2	49,7	20	1319,0	3164,3	1305,0	1,76

Аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент згідно: [Філіпов]

Глибина свердління становить за формулою (1.1):

$$t = \frac{12}{6} = 6 \text{ мм}$$

Подача S_0 визначається по нормативам режимів різання і визначається по формулі:

$$S_0 = C_s \cdot d^{0,6}, \text{ мм/об} \quad (1.37)$$

Для сталі Сталь 40 з твердістю, що входить в межі НВ 160 – 240
 $C_s = 0,063$ [33] с. 233

$$S_0 = 0,063 \cdot 12^{0,6} \approx 0,2 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання визначаємо по формулі:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot HB^{\pm n_v}}{T^m \cdot t^x S_0^y} \cdot k_u \cdot k_l, \text{ м/хв.} \quad (1.38)$$

де,

$$C_v = 874; C_1 = 1,50; C_3 = 0,80 \text{ [33] табл. 6.9 с. 235}$$

$$m = 0,2; x = 0; y = 0,50; q = 0,40 \text{ [33] табл. 6.8 с. 235}$$

$$T = 20 \text{ хв [33] табл. 6.10 с. 236}$$

$$k_u = 1,0 \text{ [33] с. 236}$$

$$k_l = 0,9 \text{ [33] с. 237}$$

$$V = \frac{874 \cdot 12^{0,50} \cdot 170^{-0,9}}{20^{0,2} \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,50}} \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 32,7 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формуло (1.4):

$$n = \frac{1000 \cdot 32,7}{3,14 \cdot 12} = 867,8 \text{ об/хв.}$$

Осьову силу різання визначаємо по формулі:

$$P_x = C_1 \cdot d^q \cdot S_0^y \cdot HB^{np}, \text{ Н} \quad (1.39)$$

$$P_x = 1,5 \cdot 12^{0,40} \cdot 0,2^{0,50} \cdot 170 = 3081,2 \text{ Н}$$

Крутний момент визначається по формулі:

$$M_{кр.} = C_3 \cdot d^q \cdot S_0^y \cdot HB^{np}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.40)$$

$$M_{кр.} = 0,80 \cdot 12^{0,40} \cdot 0,2^{0,50} \cdot 170 = 1643,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N = \frac{M \cdot n}{975000}, \text{ кВт} \quad (1.41)$$

$$N = \frac{1643,3 \cdot 867,8}{975000} = 1,5 \text{ кВт}$$

Одержанні розрахункові данні зводимо в таблицю

Таблиця 1.19. Результати розрахунку режимів різання

Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$, Н·м	Потужність різання N , кВт
0,2	32,7	20	867,8	3081,2	1643,3	1,5

Проведемо аналіз розрахованих режимів різання згідно попередньо обраних джерел довідникової літератури.

Для цього всі одержанні розрахункові данні зведемо в одну таблицю.

Таблиця 1.20. Результати розрахунку режимів різання

№ п/п	Подача S_0 , мм/об	Швидкість V , м/хв	Стійкість свердла T , хв	Частота обертання n , об/хв	Осьова сила P_0 , Н	Крутний момент $M_{кр}$, к Н·м	Потужність різання N , кВт
1	0,2	32,4	20	859,9	2692,1	1,4	1,3
2	0,2	27,8	20	737,8	3098,5	1,7	1,3
3	0,2	34,5	20	915,6	3150,0	1,3	1,2
4	0,2	41,2	20	1093,4	3459,7	1,4	1,5
5	0,2	32,4	20	859,9	3672,0	2,1	1,8
6	0,2	49,7	20	1319,0	3164,3	1,3	1,8
7	0,2	32,7	20	867,8	3081,2	1,7	1,5

Як видно з табличних даних, значення, що було одержано згідно різних авторів суттєво відрізняються. Так наприклад результати, одержанні при розрахунку режимів різання при одній і тій самій подачі $S = 0,2 \text{ мм/об}$, періоду стійкості свердла $T = 20 \text{ хв}$ і довжині свердління $L = 20 \text{ мм}$ діапазон

величини швидкості змінюється в межах від 27,8 до 49,7 м/хв.; діапазон величин частот обертів шпинделя змінюється від 737,8 до 1319,0 об/хв.; діапазон осьової сили змінюється в межах від 269,2 до 367,2; крутний момент змінюється від 1,3 до 2,1 кН·м; потужність, що витрачається на процес різання змінюється в межах від 1,2 до 1,8 кВт.

Для того, щоб наглядно це можна було виявити побудуємо графіки змін, одержаних розрахункових даних по осьовій силі P_o рис. 1.2, крутному моменту $M_{кр}$ рис. 1.3 та потужності різання N рис. 1.4.

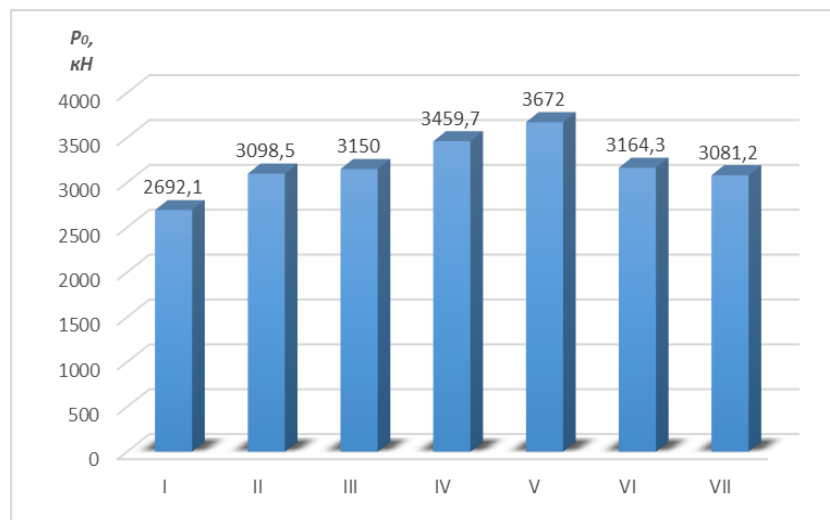


Рисунок 1.2 Графік змін одержаних розрахункових даних по осьовій силі.

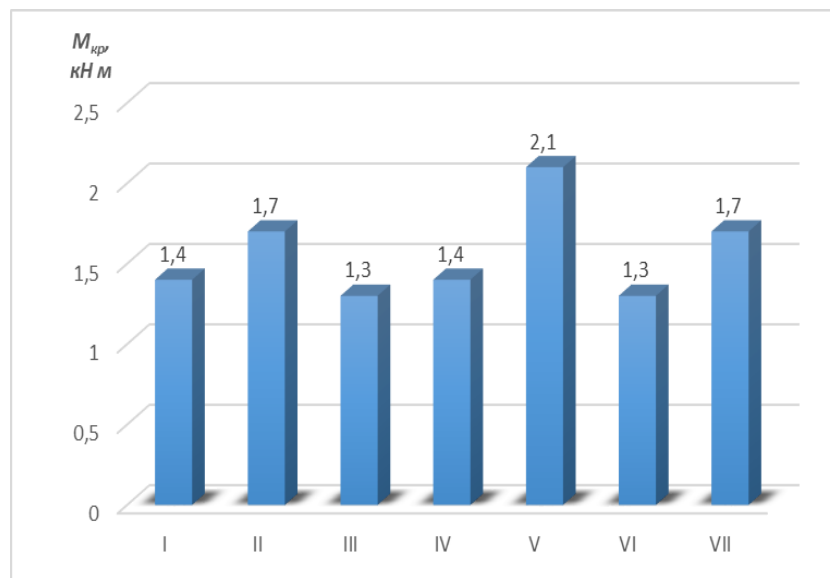


Рисунок 1.3 Графік змін одержаних розрахункових даних по крутному моменту.

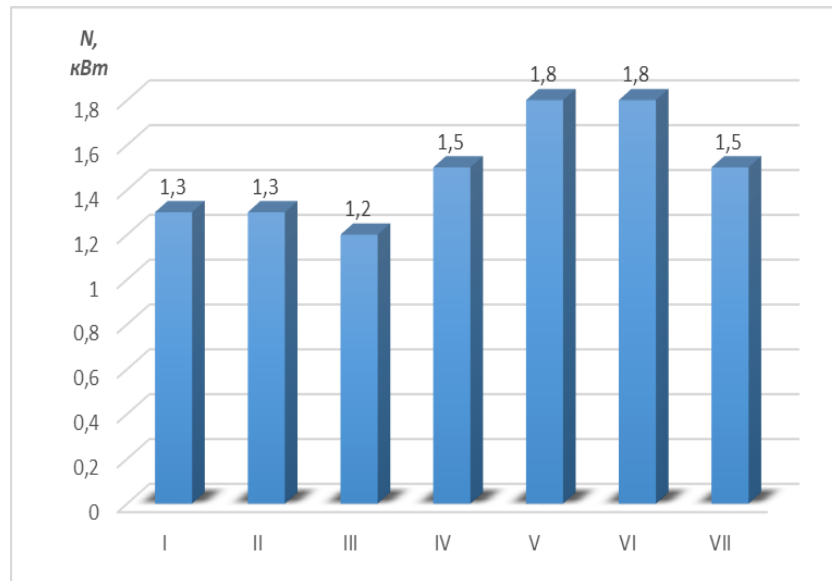


Рисунок 1.4 Графік змін одержаних розрахункових даних по потужності.

Для того, щоб показати різницю між тим, як суттєво відрізняються розрахункові данні величин, проведемо наступні розрахунки:

- для осьової сили:

$$\Delta P_o = \frac{P_{o(MAX)} - P_{o(MIN)}}{P_{o(MAX)}} \cdot 100\%; \quad (1.42)$$

$$\Delta P_o = \frac{367,2 - 269,2}{367,2} \cdot 100\% = 26,7\%$$

- для крутного моменту:

$$\Delta M_{KP.} = \frac{M_{KP.(MAX)} - M_{KP.(MIN)}}{M_{KP.(MAX)}} \cdot 100\%; \quad (1.43)$$

$$\Delta M_{KP.} = \frac{2,1 - 1,3}{2,1} \cdot 100\% = 38,1\%$$

- для потужності:

$$\Delta N = \frac{N_{(MAX)} - N_{(MIN)}}{N_{(MAX)}} \cdot 100\%; \quad (1.44)$$

$$\Delta N = \frac{1,8-1,2}{1,8} \cdot 100\% = 33,3\%$$

Отже, як видно різниця між показами при розрахованих осьової сили становить $\Delta P_o = 26,7\%$, крутному моменту становить $\Delta M_{кр.} = 38,1\%$, потужності становить $\Delta N = 33,3\%$.

1.2. Огляд і аналіз методів дослідження впливу подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні.

1.2.1 Методи дослідження впливу подачі на осьову силу.

Сили різання, які діють на ріжучих лезах свердла, виникають внаслідок роботи, що витрачається на пластичні та пружні деформації металу, а також на подолання сил тертя стружки і свердла об стінки отвору.

Якщо умовно уявити собі, що сили сконцентровані в деякій точці на головній ріжучій кромці свердла, то при розкладанні цих сил по трьом взаємоперпендикулярним осям координат X, Y, Z аналогічно точінню одержимо складові сили P_x, P_y, P_z прикладені до кожного ріжучого леза.

Складова P_z діє вздовж осі Z по дотичній по напрямку обертowego руху свердла, P_x – вздовж осі X осі свердла в напрямку подачі свердла, P_y – вздовж осі Y перпендикулярно осі свердла.

Експерименти, що проведені з використанням двухкомпонентних динамометрів при свердлінні різних матеріалів свердлами різних діаметрів і з різною подачею, дозволили одержати емпіричні формули, які добре можна поєднати з теоретичними і використовуються для розрахунку P_0 .

Результати динамометричних вимірювань осьової сили P_0 для практично зустрічаючого діапазону глибини різання t , подач S_0 і діаметрів D свердл, апроксимуються рівнянням:

$$P_0 = C_p \cdot D^{n_p} \cdot t^{x_p} \cdot S_0^{y_p} \cdot HB^{z_p}, H \quad (1.45)$$

Сил опору вимірюють спеціальними динамометрами. Їх конструкція, а також розташування датчиків і схема їх з'єднання дозволяє розділяти діючу силу на складові по координатним осям, прийнятим в теорії різання металів. При використанні осьових різальних інструментів вимірюють діючі на різальну частинку осьові сили і момент обертання.

1.2.2 Прилади для дослідження силових характеристик процесу різання

Динамометр – прилад для вимірювання сили тяги або моменту машини, верстата або двигуна. Динамометр від (динамо... і метр) , пристрій для вимірювання сили або моменту, складається з силового частини пружного елемента і зчитувального пристрою. Силова частина динамометра вимірює зусилля, яке перетворюється в деформацію, яка безпосередньо або через передачу передається зчитувальному пристрою.

По призначенню динамометри розрізняють на зразкові і робочі загального призначення і спеціальні .

По ступеню точності розрізняють зразкові динамометри 1–го, 2–го і 3–го розрядів: динамометри 1–го розряду рис. 1.5 призначаються для перевірки зразкових динамометрів 2–го розряду рис. 1.6 , які, у свою чергу, застосовуються для перевірки і градуювання динамометрів 3–го розряду і перевірки динамометрів загального призначення. Динамометри 3–го розряду служать для перевірки і градуювання випробувальних машин і приладів, виготовляються з пружними елементами у вигляді замкнутих скоб, що працюють в основному на вигин, і замкнутих скоб або стержнів, що випробовують деформацію стиснення або розтягу.



Рисунок 1.5 Переносний зразковий динамометр 1-го розряду

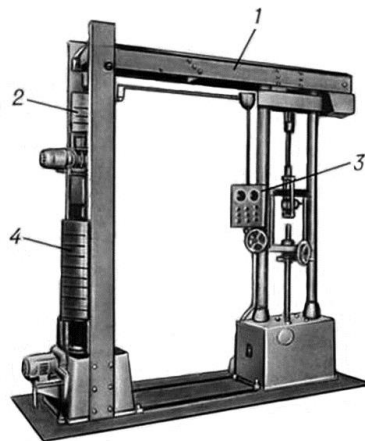


Рисунок 1.6 Зразковий динамометр 2-го розряду

Робочі динамометри спеціального призначення служать для визначення крутних моментів, сили повітряних і гідравлічних гвинтів, гальмуючих зусиль, зусиль різання і подачі, що тягне, що крутять.

Робочі динамометри по ступеню точності поділяються на два класи: 1-й – з погрешністю $\pm 1\%$, і 2-й – з погрешністю $\pm 2\%$ від граничного значення навантаження. Динамометри з пишучим пристроєм називається динамографом рис. 1.7 , а зі зчитуючим або показуючим пристроєм – роботоміром рис. 1.8 .

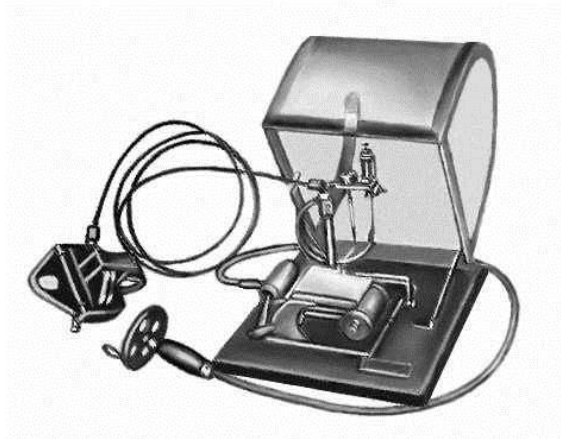


Рисунок 1.7 Тяговий гідравлічний динамограф



Рисунок 1.8 Робочий пружинний динамометр розтягу – роботомір

Робота всіх відомих динамометрів для вимірювання сил різання основана на пружній деформації їх основних робочих елементів: круглих стержнів, витих і плоских пружин в механічних пристроях; пружинних трубок в гідравлічних пристроях; металевих мембран, металевих або пресованих кутових стержнів в різного роду електричних пристроях.

1.2.2.1. Механічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання

Динамометри розтягу типу ДПУ

Характеристики динамометра розтягу типу ДПУ



НПВ: 5000

ДПУ–50–1 (динамометр механічний)

Характеристика : загальне призначення вимірювання статично розтягувальних зусиль, Ц.Д.50 кг, НмПВ 500 кг, d 250мм, довжина з сергами 700, ш.280,выс.170 мм, t= –10..+45С,m=18 кг.

Виробник: Краснодар



НПВ: 2000

ДПУ–20–1 (динамометр механічний)

Характеристика : загальне призначення вимірювання статично розтягувальних зусиль, Ц.Д. 20 кг, НмПВ 200 кг, d 250 мм, довжина з сергами 580,ш.280,выс.150 мм, t= –10..+45С,m=10,5кг.

Виробник: Краснодар



НПВ: 1000

ДПУ–10–2 (динамометр механічний)

Характеристика : ЦД 10кг НмПВ 100кг загальне призначення вимірювання статично розтягувальних зусиль.

Виробник: Иваново



НПВ: 500

ДПУ–5–2 (динамометр механічний)

Характеристика : ЦД5кг НмПВ50кг загальне призначення вимірювання статично розтягувальних зусиль, d=195ммL=260мм.

Виробник: Иваново



НПВ: 200

ДПУ–2–2 (динамометр механічний)

Характеристика : ЦД 2кг Нм ПВ 10кг загальне призначення вимірювання статично розтягувальних зусиль.

Виробник: Иваново



НПВ: 100

ДПУ–1–2 (динамометр механічний)

Характеристика : ЦД. 1кг НмПВ 5кг загальне призначення
вимірювання статично розтягувальних зусиль, ДхШхВ: 345х200х60
мм, m=1,8 кг

Виробник: Іваново



НПВ: 20

ДПУ–0,2–2 (динамометр механічний)

Характеристика : ЦД 200гр НмПВ 1кг загальне призначення
вимірювання статично розтягувальних зусиль.

Виробник: Іваново

Динамометри розтягу типу ДПУ призначені для вимірювання статичних розтягуючих зусиль, від градуйованих в кілоньютонах, в приміщеннях лабораторного типу при температурі зовнішнього середовища від 10 до 35°C і відносної вологості не більше 80%.

Опис та принцип роботи:

Під дією розтягуючи зусиль деформація пружного елемента перетворюється в обертовий рух стрілки відносно відміток шкали, що визначають покази динамометра.



Рисунок 1.9 Динамометр розтягу ДПУ–100–1 100кН/10т

Динамометр розтягу ДПУ–100–1 100кН/10т має наступні технічні

характеристики: границя вимірювань – 10..100кН, ціна поділок – 1кН, межа допустимої основної приведеної похибки – $\pm 2\%$, допустиме перенавантаження від найбільшої границі – 50, вага: 20, розмір: 200x280x780 мм.



Рисунок 1.10 Динамометр розтягу ДПУ–500–2 500кН/50т

Динамометр розтягу ДПУ–500–2 500кН/50т має наступні технічні характеристики: границя вимірювань – 50...500 кН, ціна поділок – 5 кН, межа допустимої основної приведеної похибки – $\pm 2\%$, допустиме перенавантаження від найбільшої границі – 25%, НТД ГОСТ : ГОСТ 13837–79 , вага: 55, розмір: 825x354x163.

Динамометри розтягу типу ДОР

Динамометр розтягу типу ДОР служить в якості зразкового засобу вимірювання для перевірки робочих засобів вимірювання сили дослідних машин, пресів, робочих динамометрів .

Опис та принцип роботи:

під дією навантаження деформація пружної скоби спеціальної форми передається індикатору часового типу, закріпленому в основі динамометра. Відлік навантаження здійснюється за показами індикатора, вказаним в паспорті динамометра.

Розмах показів динамометра на основі 3 вимірювань для зростаючих и

убиваючих навантаженнях від вимірювальної величини в діапазонах:

- 10...20% найбільшої границі вимірювання – 0,5%;
- 20...100% найбільшої границі вимірювання – 0,3%

Допустимі значення різниці середніх показів при навантаженні і розвантаженні при загрузці на 50% – не більше 0,8% вимірювального значення. Поріг чутливості динамометра – не більше 0,02% від найбільшої границі вимірювання. Середній строк служби – не менше 12 років. Динамометр відноситься до виробів, що не ремонтуються.

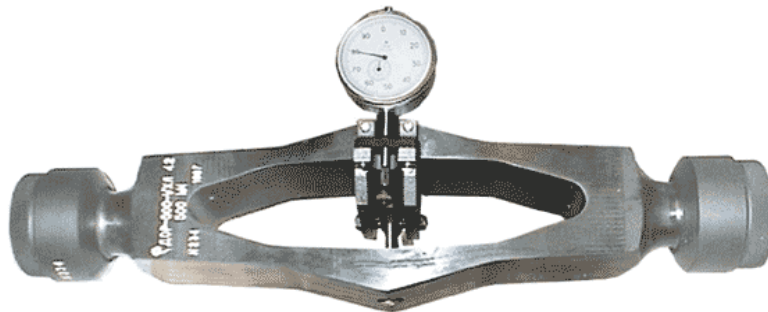


Рисунок 1.11 Динамометр розтягу ДОР–200 200кН/20т зразковий

Динамометр розтягу ДОР–20 200кН/20т має наступні технічні характеристики: найбільшу границю вимірювання – 200 кН, найменша границя вимірювання – 20 кН, ціна поділки шкали індикатора – 0,01 мм.

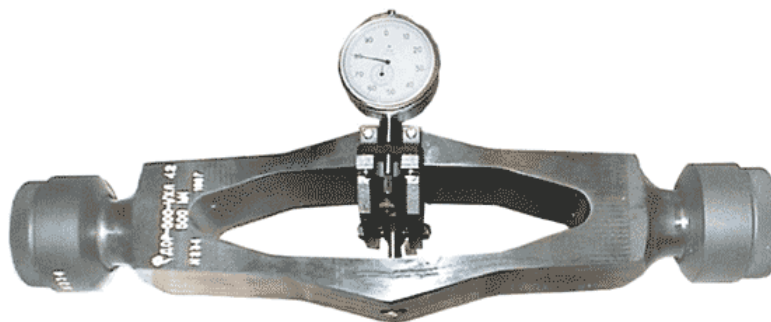


Рисунок 1.12 Динамометр розтягу ДОР–500 на 500кН/50т зразковий

Динамометр розтягу ДОР–500 500кН/50т має наступні технічні характеристики: найбільшу границю вимірювання – 500 кН, найменша границя вимірювання – 50 кН, ціна поділки шкали індикатора – 0,01 мм.

Динамометри стиску типу ДОСМ

Зразковий механічний динамометр стиску типу ДОСМ служить в якості зразкового засобу вимірювання для перевірки дослідних робочих засобів вимірювання сили дослідних машин, пресів, робочих динамометрів при статичних навантаженнях.

Опис та принцип роботи:

Під дією навантаження деформація пружної скоби спеціальної форми передається індикатору годинникового типу, закріпленому в основі динамометра. Відлік навантаження здійснюється за показами індикатора.

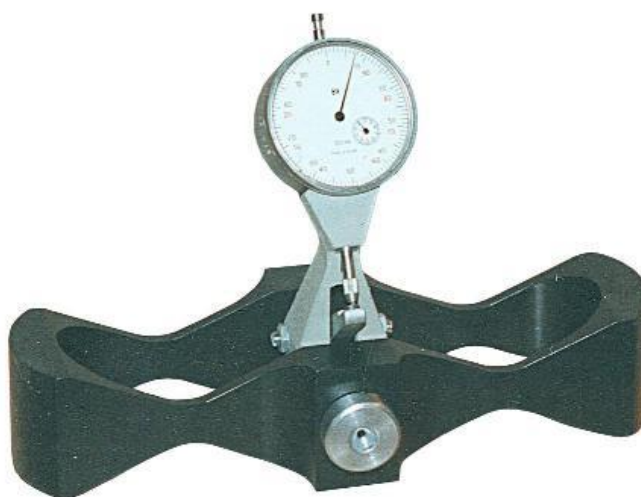


Рисунок 1.13 Динамометр стиску ДОСМ–3–1

Динамометр стиску ДОСМ–3–1 10кН/1т зразковий має наступні технічні

характеристики: границя вимірювань – 0,1 ... 1 тс ціна найменшого ділення шкали – не більше 0,2% від найбільшої границі вимірювання, допустимі варіації показів – 0,3 ... 1% від вимірювальної величини, поріг чутливості динамометра – не більше 0,02% від найбільшої границі вимірювань.

Вага – 3,5 кг з футляром , розміри: 190x165x105 мм.

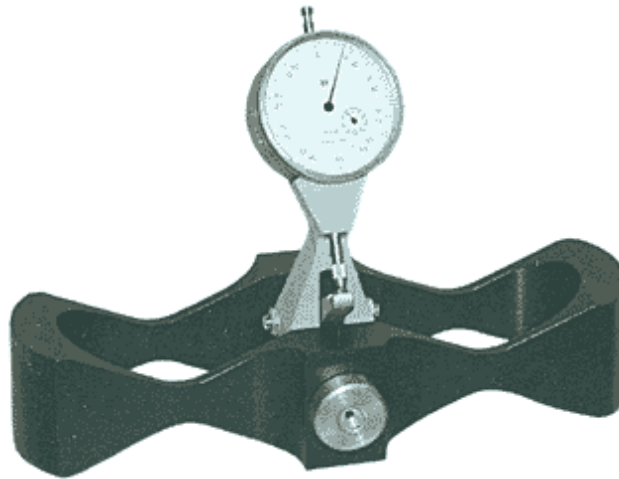


Рисунок 1.14 Динамометр стиску ДОСМ–50 500кН/50т зразковий

Динамометр стиску ДОСМ–50 500кН/50т зразковий має наступні технічні характеристики: границя вимірювань – 0,5 ... 5 тс ціна найменшого ділення шкали – 0,2% від найбільшої границі вимірювання, допустимі варіації показів – 0,3 ... 1% від вимірювальної величини, поріг чутливості динамометра – не більше 0,02% від найбільшої границі вимірювань.

1.2.2.2. Пружинні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання

З пружинних динамометрів поширений однокомпонентний прилад рис. 1.15 , що використовується для вимірювання крутних моментів. Зміна

чутливості прибору досягається зміною стержневих пружин. Границя вимірювання від 50 до 5000 кгсм. Динамометр має барабан для записування діаграм вимірювальних крутних моментів. Обертання барабана передається від шпинделя верстата за допомогою натягнутої нитки.

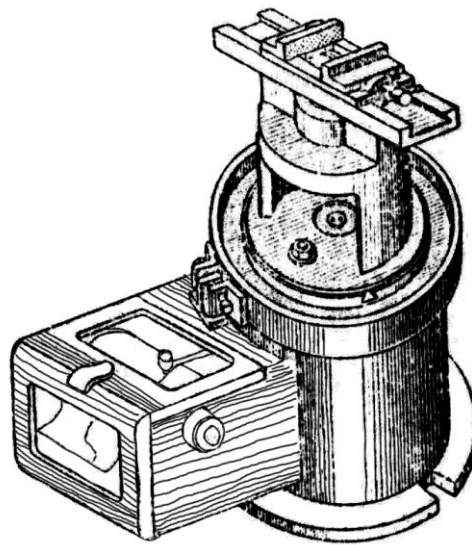


Рисунок 1.15 Пружинний однокомпонентний динамометр

1.2.2.3. Гідравлічні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання

Гідравлічні динамометри призначені для вимірювання з точністю ± 20 кг величини сили різання, що діє на інструменти при напів обдирочних режимах різання. Токарний трьохкомпонентний динамометр рис. 1.16. одночасно вимірює по трьох взаємно перпендикулярним напрямкам величину трьох складових P_x , P_y , P_z зусилля різання, що діє на різальні елементи токарного різця. Для вимірювання зусиль при напів обдирочних і чистових режимах різання використовують чутливі динамометри з $P = 500$ кг; при обдирочних режимах різання використовують менш чутливі

динамометри з $P = 3000$ та $P = 5000$ кг. Прилад має самопишучий механізм для запису діаграм вимірювальних зусиль P_x, P_y, P_z .

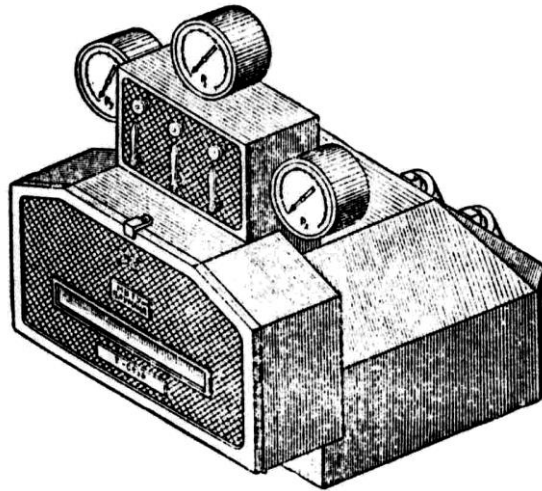


Рисунок 1.16 Токарний трьохкомпонентний динамометр.

Свердлильний двокомпонентний динамометр рис. 1.17 призначений для одного вимірювання крутних моментів $M = 3000$ кгсм і осьових зусиль $P = 3000$ кг, що діють на різальні елементи свердл. Прилад має самопишучий механізм для запису вимірювальних величин M і P .

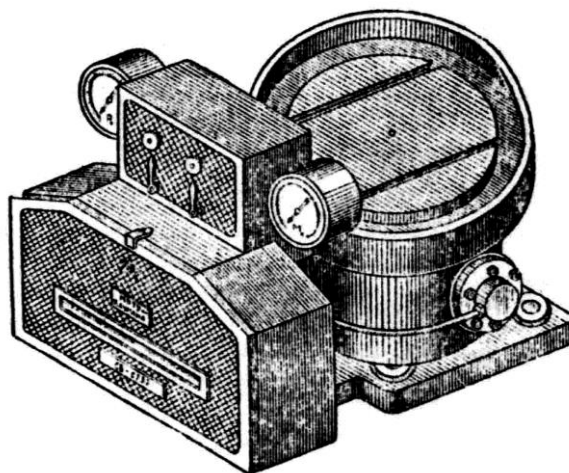


Рисунок 1.17 Свердлильний двокомпонентний динамометр

Фрезерний трьохкомпонентний динамометр рис. 1.18 призначений для одночасного вимірювання по трьох взаємно перпендикулярно направлених трьох складових P_o , P_s , P_v зусилля різання, що діють на різальні елементи фрези. Прилад має само пишучий механізм для запису діаграм вимірювальних зусиль в межах $P_o = 2000$ кг, $P_s = 1000$ кг, $P_v = 1400$ кг. Габаритні розміри динамометра 450×1100 мм; корисна площа стола динамометра 190×640 мм.

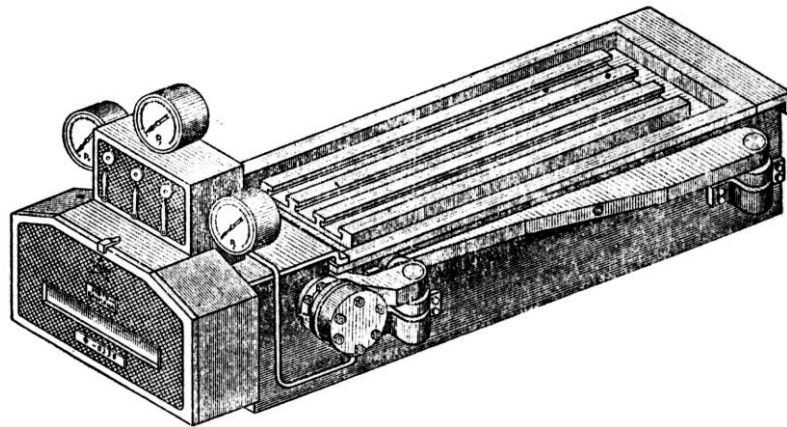


Рисунок 1.18 Фрезерний трьохкомпонентний динамометр

1.2.2.4. Пружинно – гідравлічні динамометри

Пружинно – гідравлічний двухкомпонентний динамометр рис. 1.19 одночасно вимірює крутні моменти $M \approx 1000$ кгсм і осьові зусилля $P \approx 500$ кг. Чутливість приладу при вимірюванні крутного моменту досягається зміною стержневих пружин. Прибор має само пишучий механізм для запису діаграм, вимірюємих M і P . Переміщення індикаторної стрічки здійснюється від електродвигуна. Прибор призначений для динамічних випробовувань

мітчиків, плашок, свердл, зенкерів та розверток.

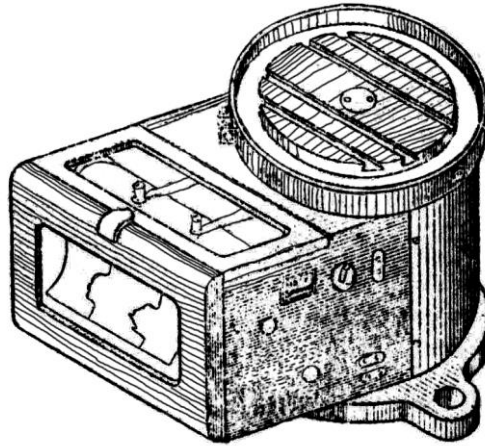


Рисунок 1.19 Пружинно – гідравлічний двокомпонентний динамометр

1.2.2.5. Гальмівні динамометри

Залежно від принципу дії динамометри поділяться на два типи: гальмівні і трансмісійні; при вимірюваннях перші поглинають потужність обстежуваного агрегату, а другі пропускають її, не заважаючи робочому циклу.

Гальмівні динамометри бувають самих різних конструкцій; до них відносяться, наприклад, гальмо Проні, гідравлічне і електромагнітне гальма. Звичайно двигун або механізм, потужність якого визначається, впливає на деякий вал, обертальне зусилля на якому передається через крутний момент, вимірюється безпосередньо динамометром. При цьому, як правило, тахометром вимірюється швидкість обертання валу. Порівнюючи результати таких вимірювань, знаходять вхідну або вихідну потужність машини. Показане на рис. 1.20 гальмо Проні має наступні елементи: барабан,

встановлений на тому валу, якому передається належна вимірюванню потужність, фрикційне гальмо, гальмівний важіль і ваги. При повороті барабана фрикційне гальмо і пов'язаний з ним гальмівний важіль теж прагнуть обернутися, але цьому перешкоджає вантаж, величина якого, вимірювана за ваговою шкалою, і визначає обертальне зусилля на валу. За наслідками такого вимірювання і свідченням тахометра знаходять шукану потужність. Гальмо Проні використовують при вимірюваннях характеристик низько обертових двигунів постійної потужності.

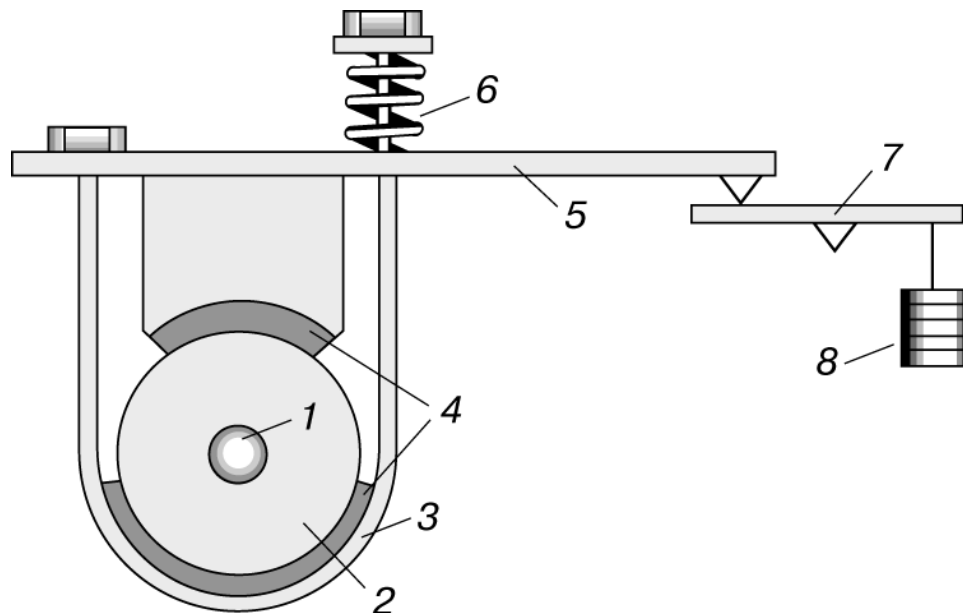


Рисунок 1.20 Гальмо Проні, один із видів гальмівних динамометрів

1 – вал; 2 – барабан; 3 – стрічка гальма; 4 – гальмівні колодки; 5 – гальмівний важіль; 6 – пружина; 7 – ваги; 8 – вантаж калібрований.

Гідравлічним гальмом можна вимірювати потужність високошвидкісних агрегатів, наприклад, крупногабаритних турбін. Особливий вид динамометра є т.з. біговий барабан, призначений для визначення тягових або гальмівних зусиль вантажних і легкових автомобілів; його принципова схема приведена на рис. 1.21.

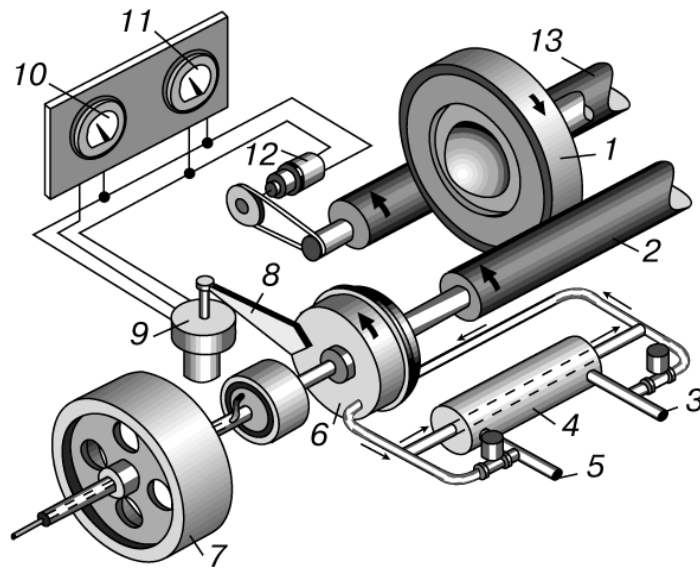


Рисунок 1.21 Принципова схема гальма Проні.

Біговий барабан, використовується для вимірювань потужності, що розвивається автомобілем в реальних дорожніх умовах. Зусилля з колеса передаються через привідний вал на гідравлічне гальмо, барабан якого прагне обернутися разом з гальмівним важелем, але тому перешкоджає пружина торсіометричного моста, що вимірює крутний момент. Обертання колеса передається також через допоміжний вал ротору електричного генератора, вихід якого сполучений з тахометром. Біговим барабаном імітуються навантаження на початку руху і зупинці автомобіля, а також на крутих підйомах і спусках. 1 – заднє колесо автомобіля; 2 – привідний вал; 3 – труба подачі води; 4 – теплообмінник; 5 – труба виходу води; 6 – гідравлічне гальмо; 7 – маховик; 8 – гальмівний важіль; 9 – торсіометричний міст; 10 – індикатор потужності; 11 – тахометр; 12 – генератор; 13 – допоміжний вал.

Часто в схему гальмівного динамометра входить електричний генератор. Працює він від випробовуваного двигуна, а його вихідний сигнал поступає в набір резисторів, які поглинають вимірювану потужність в електричній

формі. Вимірним значенням необхідного для цього поглинання резистивного навантаження і визначається шукана потужність.

1.2.2.6. Трансмісійні динамометри

В крутильному динамометрі за допомогою тензодатчика, пов'язаного з пружним привідним валом, вимірюються деформації кручення цього валу.

Деформації змінюють електричний опір тензодатчика, і на завчасно прокаліброваному індикаторі можна одержувати результати в бажаних одиницях потужності. Такі динамометри застосовують при визначенні характеристик суднових двигунів. Більшість електричних динамометрів є двигуном–генератором постійного струму на опорі, що обертається. При вимірюваннях потужності, споживаної випробовуваним агрегатом, такий динамометр працює як електродвигун; статор встановлюється на підшипниках і може повертатися, а ротор жорстко з'єднується з ротором механізму, що перевіряється. При дії динамометра на випробовуваний агрегат статор прагне обернутися вслід за своїм ротором, але утримується важелем, пов'язаним з вагами; швидкість обертання визначається тахометром. Якщо вимірюється вихідна потужність якогось двигуна, то електричний динамометр функціонує як електричний генератор.

1.2.2.7. Електричні прилади для дослідження силових характеристик процесу різання

Найбільш перспективні електричні динамометри, що складаються з датчика, що перетворює деформацію в електричний сигнал, і вторинного приладу, що посилює і записує сигнал. Застосовують датчики опору

тензорезисторні датчики, індуктивні, п'єзоелектричні, вібраційно–частотні. Найбільш широко застосовують датчики опору з пружним елементом і тензорезисторними решітками. При додатковому навантаженні пружний елемент і тензорезисторні решітки деформуються, внаслідок чого розбалансовуються струми моста опору, в який включені решітки. Цей сигнал підсилює і записує вторинний прилад з шкалою, градуйованою в одиницях сили.

Електричні динамометри застосовуються для вимірювання характеристик малопотужних машин; вони легко перебудовуються, точно змінюючи швидкість обертання або значення вихідного навантаження випробовуваного пристрою.

До електричних динамометрів відносять вугільні, електромагнітні, електроіндуктивні, конденсаторні, струмоопору, п'єзокварцеві динамометри.

1.2.2.8. Двохкомпонентний свердлильний динамометр із змінними діапазонами вимірювальних складових сил різання

Суттєвим недоліком свердлильних динамометрів є те, що їх конструкції практично виключають можливість зміни діапазону вимірювальних складових сил різання, а тим самим не дозволяє змінювати чутливість приладу.

Даний динамометр не має цього недоліку. Він призначений для одночасного вимірювання величини крутного моменту і зусилля подачі при свердлінні, розсвердлюванні, зенкуванні і розвертанні. Принципова електрична схема і загальний вигляд динамометра показана на рис. 1.22.

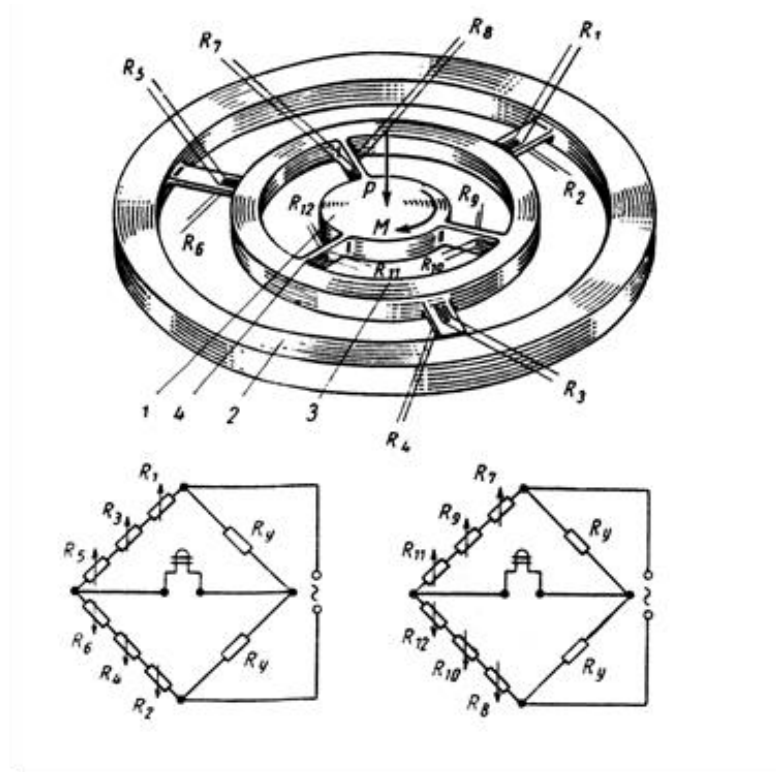


Рисунок 1.22 Двохкомпонентний свердильний динамометр із змінними діапазонами вимірювальних складових сил різання

Динамометр являє собою сталеву конструкцію, в котрій стіл 1 зв'язаний з основою 2 проміжковим кільцем 3 і шістью пружними елементами 4 і 5 з наклеєними на них проволковими датчиками омичного опору. Заготовка кріпиться на столі 1 динамометра, а основа 2 – на столі свердильного верстата. Сила різання, що виникає під час різання, сприймається пружними елементами. Обрані схеми розташування пружних елементів, наклеєних на них датчиків у вимірювальні мости забезпечують розклад сили різання на дві складові: зусилля подачі P і крутний момент M . З метою підвищення точності вимірювань і виключення взаємного впливу обох складових пружні елементи розташовані в динамометрі таким чином, що під дією вимірювальної складової сили різання вони огинаються в площині їх меншої жорсткості, а під дією другої складової – в площині більшої жорсткості. Стиск, розтяг і скручування на пружні елементи не діє.

Пружні елементи динамометра виконані у вигляді балок з жорстко защемленими кінцями. Форма і розміри січення балок вибираються з таким розрахунком, щоб їх жорсткість в двох взаємно перпендикулярних площинах значно розрізняються.

Проволочні датчики розміщуються вздовж нейтральної лінії пружних елементів при їх згині в площині більшої жорсткості. Величина складової сили різання визначається вимірюванням деформації згину пружних елементів площині їх меншої жорсткості.

1.2.2.9. Зразкові динамометри типу ДОР і ДОС

Використання тензометричних датчиків промислового серійного виробництва в сукупності з сучасними вимірювальними модулями на базі цифрових технологій обробки сигналів забезпечує електричним динамометрам високу надійність, широкі функціональні можливості і зручність в експлуатації.

Основними перевагами динамометрів ДОР і ДОС є :

- іменована шкала цифрова індикація абсолютних значень сили в кН ;
- наявність засобів самодіагностики і зручний користувацький інтерфейс;
- малі габаритні розміри і вага;
- можливість підключення до ЕОМ для дистанційного керування.

Таблиця 1.21. Технічні характеристики зразкового динамометра типу ДОР

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ										
Найменування параметра	Норма для типорозміру									
	ДОР-1	ДОР-2	ДОР-5	ДОР-10	ДОР-20	ДОР-50	ДОР-100	ДОР-200	ДОР-500	ДОР-1000
1. Границя вимірювань, кН										
– max	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
– min	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100
2. Допустима відносна похибка в діапазоні вимірювань 10...100% шкали, %, не більше	0,1*/0,5**									
3. Ціна одиниці найменшого розряду цифрового вимірювача	0,0001 від найбільшої границі вимірювань									
4. Розмах показів для зростаючих и згасаючих навантажень, % від вимірювального не більше	0,1*/0,5**									
5. Габаритні розміри – довжина, мм	180			220						300
6. Приєдн. розміри, мм	M12			M16			Tr28x2	Tr44x3	M90x3	
7. Вага, кг	1,3	2,0	2,1	2,9			5,0	5,2	6,2	10,0



Рисунок 1.23 Зразковий динамометр типу ДОР і ДОС

Таблиця 1.22. Технічні характеристики зразкового динамометра типу ДОС

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ											
Найменування параметру	Норма для типорозміра										
	ДОС-1	ДОС-2	ДОС-5	ДОС-10	ДОС-20	ДОС-50	ДОС-100	ДОС-200	ДОС-500	ДОС-1000	ДОС-2000
1.Границя вимірювань, кН											
–max	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000
– min	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
2. Допустима відносна похибка в діапазоні вимірювань 10...100% шкали, %, не більше	0,1*/0,5**										
3. Ціна одиниці найменшого розряду цифрового вимірювача	0,0001 від найбільшої границі вимірювань										
4. Розмах показів для зростаючих и спадаючих навантажень, % від вимірювальног	0,1*/0,5**										

о значення, не більше									
5. Габаритні розміри, мм									
– діам. опори	35			40			50		
– висота	110			120			135		
6. Вага, кг	1,3	1,4	1,5	2,1	2,4	3,0	4,5	8,5	13,5

1.2.3 Пристрої для змінних подач

Розглянемо деякі існуючі пристрої, які б могли дозволити змінювати передаточні відношення.

Безступенева гідростатична передача

Створенні безступеневі гідростатичні передачі забезпечують повну герметизацію рідини і не мають звичайних елементів – поршнів, золотників, клапанів, лопаток і т. п. Таке виконання дозволяє виконання передачі з малими габаритами, виконувати їх швидкохідними, що дозволяє поєднати передачу з амортизуючою муфтою.

Однак при роботі даного типу передач трубка, що контактує з конічним колесом, додатково навантажується її крутним моментом. Крім того, потужність, що передається в такій передачі обмежена внаслідок неможливості виконання декількох паралельно працюючих трубок. В передачі з конічним колесом неможливо встановити передаточне число, рівне +1, тобто перетворити передачу в пружну муфту.

На рис. 1.24 показана схема змінної передачі по авт. свід. № 179154.

Пристрій виконує функцію без ступеневої передачі, еластичної муфти і механізму зчеплення.

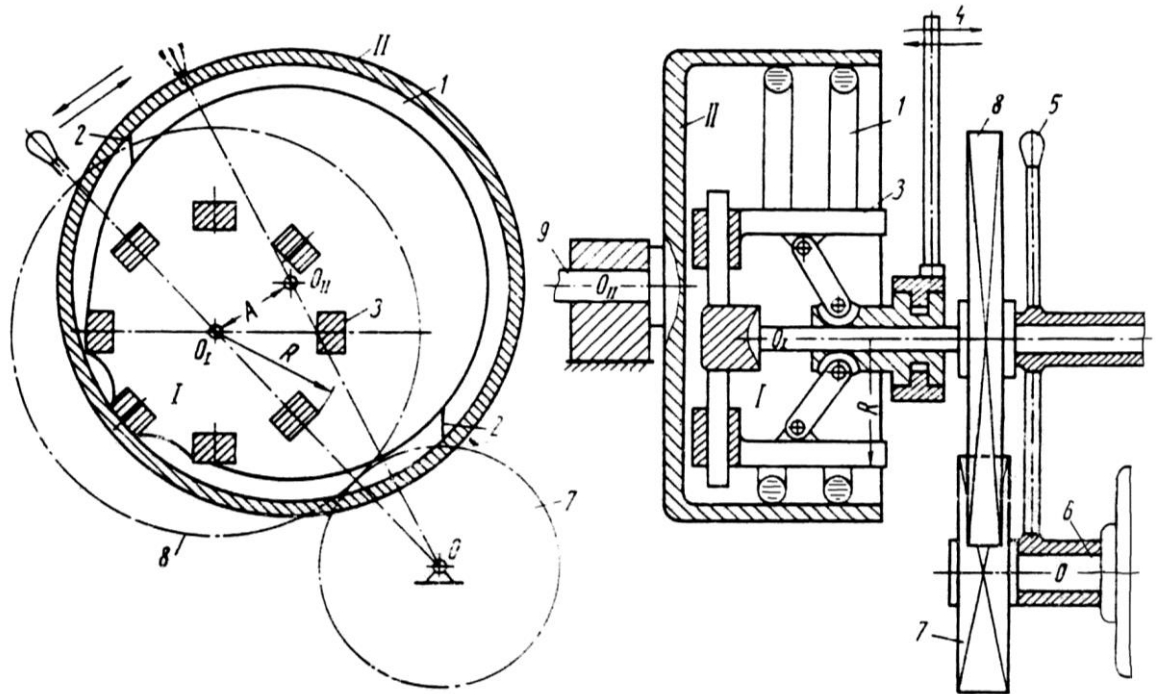


Рисунок 1.24 Безступенева гідростатична передача

Пристрій складається із зубчастого колеса I з постійним числом зубів, колеса II з еластичними трубками 1, заповненою рідиною і наявними перегородками 2. Колесо I складається із зубів 3, розташованих на відстані R від його осі. Радіус R у всіх зубів однаковий і може змінюватися примусово, за допомогою важеля 4, або автоматично, при зміні між центральної відстані A . Для зміни відстані A важелем 5 змінюють розташування осі колеса. Колесо з'єднане з ведучим валом 6 через шестерні 7 та 8. Вісь колеса II нерухома, а вал 9 є відомим.

Від ведучого вала 6 через шестерні 7, 8 обертовий рух передається колесу I. Зуби 3 колеса I стискають перегородки трубки 1 колеса II і замикають рідину між місцем стиску і перегородками трубок. Зусилля від зубів

передається через замкнені об'єми рідини. Величина допустимого колового зусилля визначається міцністю стінок трубок. Радіус R колеса визначає передаточне число пристроя: його збільшення зменшує передаточне число: $A=0$ колеса I і II мають однакову кутову швидкість і пристрій працює як пружня муфта. При цьому за рахунок пружності стінок трубок можливе згладжування зовнішніх поштовхів і ударів.

Для того щоб від'єднати відомий вал без зупинки ведучого валу можна зменшити радіус R , не змінюючи величини A , скориставшись при цьому важелем. Таким чином, передаточний пристрій виконувати функції зчеплення. При звільненні керуючого важеля і дії на зуби 3 радіальних навантажень наприклад, центр обіжних або сил пружності пружин, що намагаються збільшити радіус R , пристрій керується одним важелем 5. Змінюючи положення важеля 5, можна безступінчасто змінювати передаточне відношення. Механізм, обумовлюючий одночасне і рівне переміщення зубів 3, може бути таким як показано на рисунку, або іншим.

2. РОЗРАХУНКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі будуть запропоновані варіанти пристроїв для проведення досліджень впливу елементів режиму різання на зусилля різання при свердлінні.

Запропоновано конструктивні схеми, принцип роботи яких полягає в застосуванні механічних пристроїв, які за допомогою клино – важільного механізму дозволили б змінювати подачу.

Під час свердління деталі, що закріплена на осі за допомогою болтового з'єднання виникає осьова сила при певній подачі S . За допомогою нескладних механізмів можна досягти збільшення або зменшення подачі заготовки під час обробки її на верстаті.

2.1. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при спадаючій подачі

Розглянемо деякі конструкції механізму клино – важільного типу, які дозволяють зменшувати подачу заготовки.

Принцип роботи представлених схем полягає в переміщенні важеля клина одночасно з переміщенням пінолі свердлильного верстата з певною заданою подачею. Одночасно переміщуючись з різальним інструментом важіль за допомогою певних механізмів переміщує копір на який створюється осьове зусилля від заготовки, що виникає під час свердління.

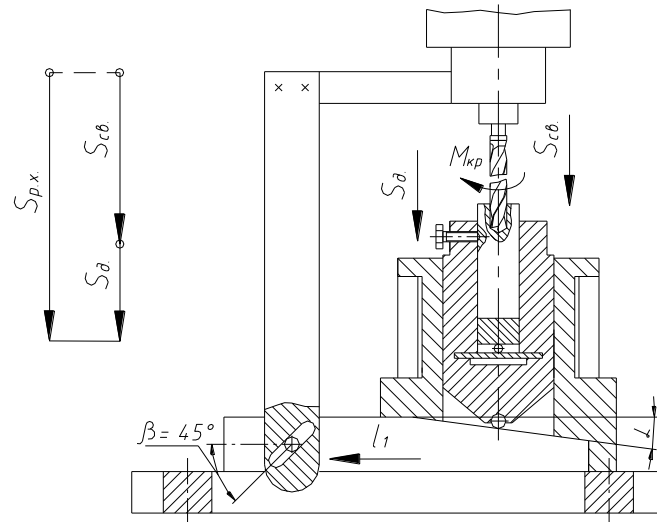


Рисунок 2.1 Схема важільного типу з вирізаним пазом в клині.

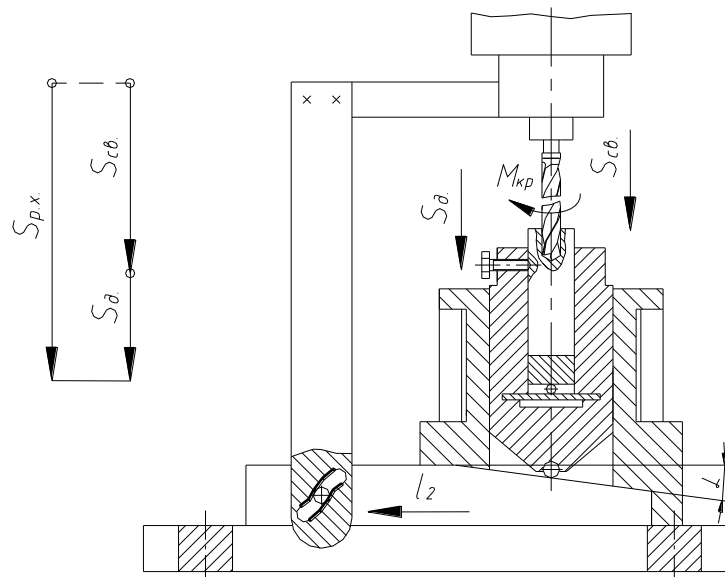


Рисунок 2.2 Схема важільного типу з вирізаним пазом криволінійного профілю.

Різниця між виконанням даних пазів дозволяє надавати не тільки звичайне переміщення копіру, а і переміщення з певним законом по якому виготовлений самий паз.

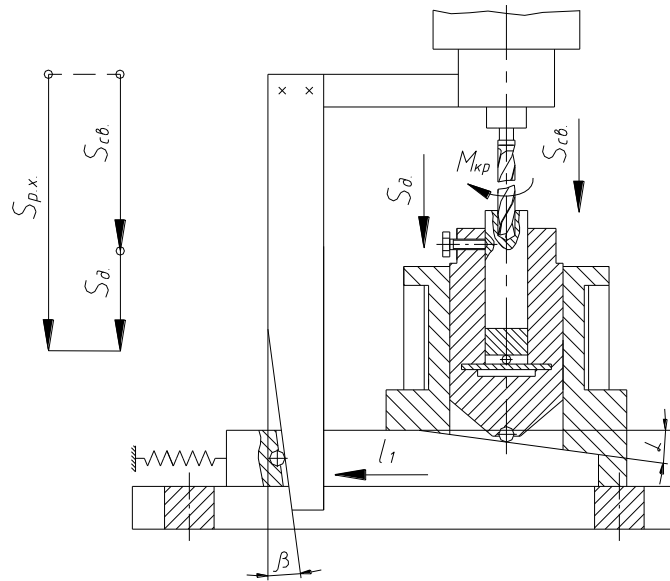


Рисунок 2.3 Схема важільного типу з клиновим переміщенням по копіру

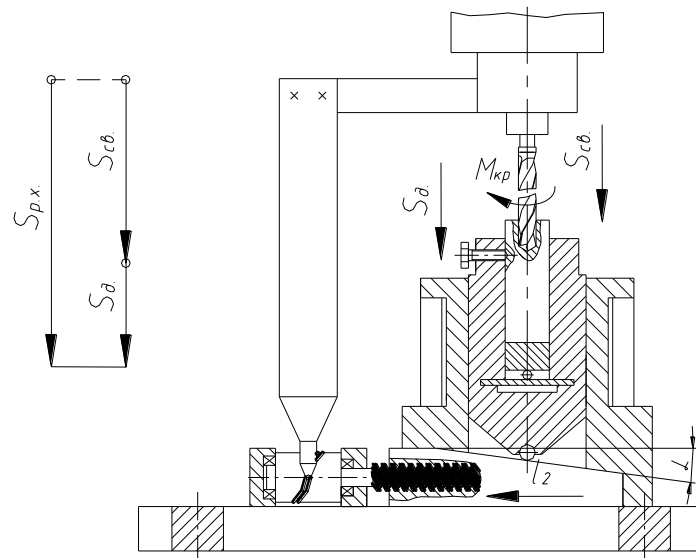


Рисунок 2.4 Схема важільного типу із барабанним кулачком та різьбою.

Схема, що представлена на рисунку 2.3 дозволяє завдавати належного переміщення копіру змінюючи при цьому кут нахилу клина. Основним недоліком даної схеми є умова при якій кут $\alpha \neq \beta$. У випадку, якщо ж $\alpha = \beta$, то процесу різання не буде. Це пояснюється тим, що деталь буде опускатися

на таку ж саму величину, на яку буде дозволяти опускатися сам копір.

На рисунку 2.4 клин переміщуючись по барабанному кулачку буде намагатися прокрутити його, а значить і прокручувати різьбове з'єднання за допомогою якого буде відбуватися переміщення копіра.

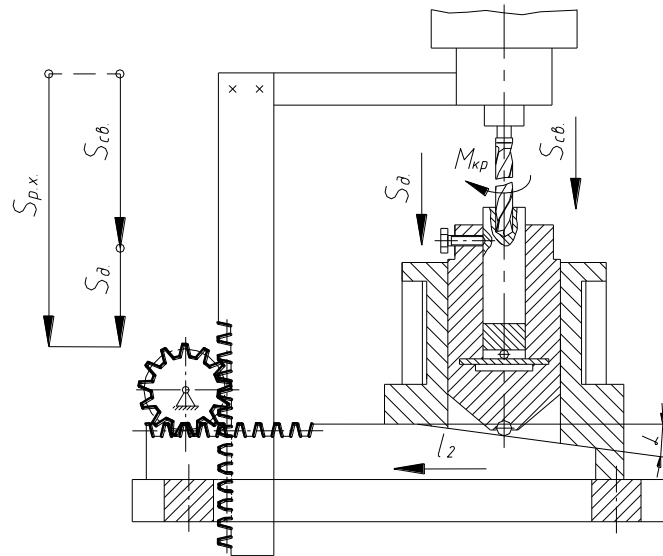


Рисунок 2.5 Схема важільного типу з шестернею та рейкою.

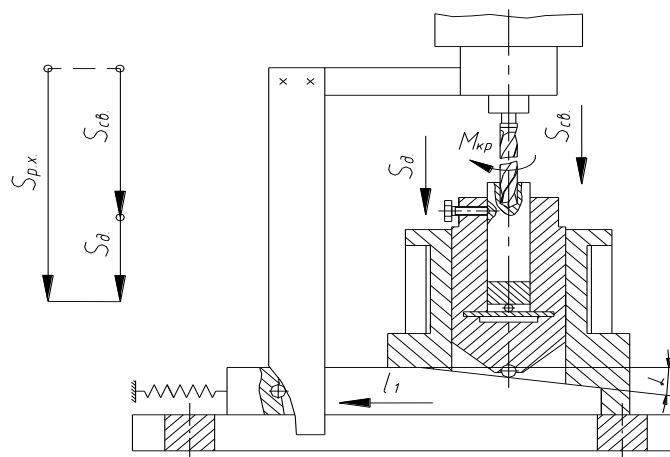


Рисунок 2.6 Схема важільного типу із клином, виготовленим по криволінійній залежності.

Під час переміщення клина, виготовленого по профілю рейки, що контактує із зубчастим колесом рисунок 2.5 , яке в свою чергу з'єднано з копіром, поверхня контакту якого виготовлена по профілю рейки, дозволяє створювати переміщення копіра.

Змінюючи профіль клина рисунок 2.6 можна міняти швидкість переміщення копіра поверхня клина має форму чверті кола .

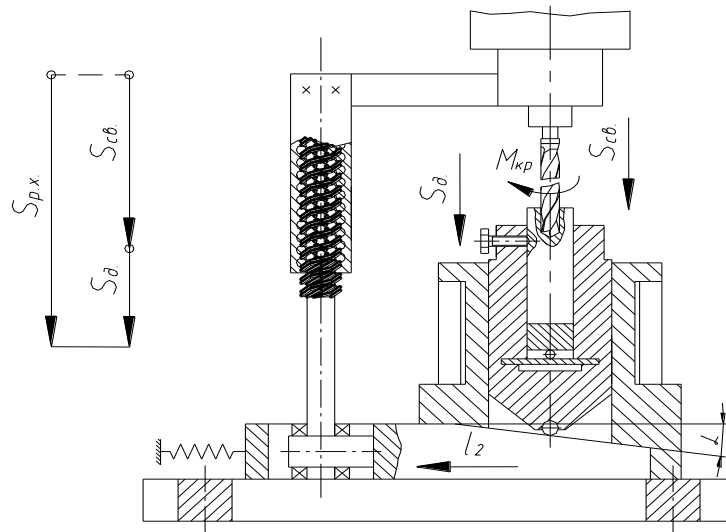


Рисунок 2.7 Схема важільного типу з різьбовим з'єднанням та кулачком.

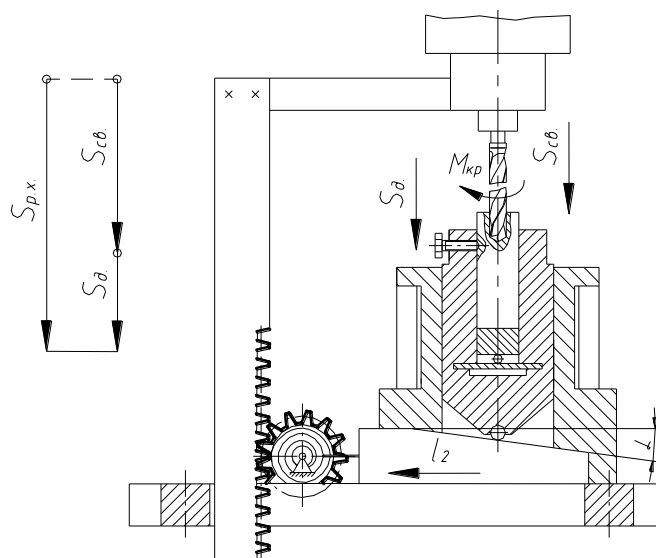


Рисунок 2.8 Схема важільного типу із рейковим зачепленням та евольвентою.

На рисунку 2.7 представлена схема, принцип роботи якої полягає в передачі крутного моменту на кулачок через різьбове з'єднання від клина, в середині якого знаходяться кульки для зменшення тертя. При опусканні клина одночасно із піною передається осьове переміщення на різьбу, яка провертаючись, передає оберт на кулачок, що контактує із копіром переміщає його.

Переміщуючи рейку рисунок 2.8 за допомогою зачеплення створюється обертання зубчастого колеса, яке за допомогою евольвентного контактування створює переміщення копіра.

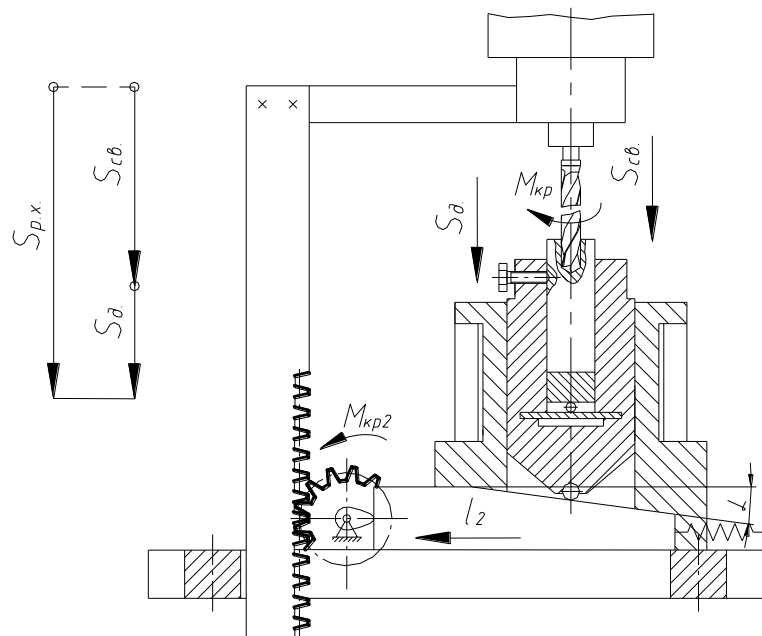


Рисунок 2.9 Схема важільного типу з кулачковим механізмом та рейкою.

Переміщення копіру передається від кулачкового механізму рис. 2.9 . Кулачок провертається в наслідок прокручування зубчастого колеса, обертальних рух колесо сприймає від клина, поверхня якого виготовлена у вигляді рейкового зачеплення. Переміщення копіра, представленого на рис. 2.10 відбувається від каменя, що створює зворотно поступове переміщення

від кулачкового барабану, який в свою чергу обертається від рейкового зачеплення. Довжину переміщення каменя можна регулювати змінюючи довжини l_3 і l_4 .

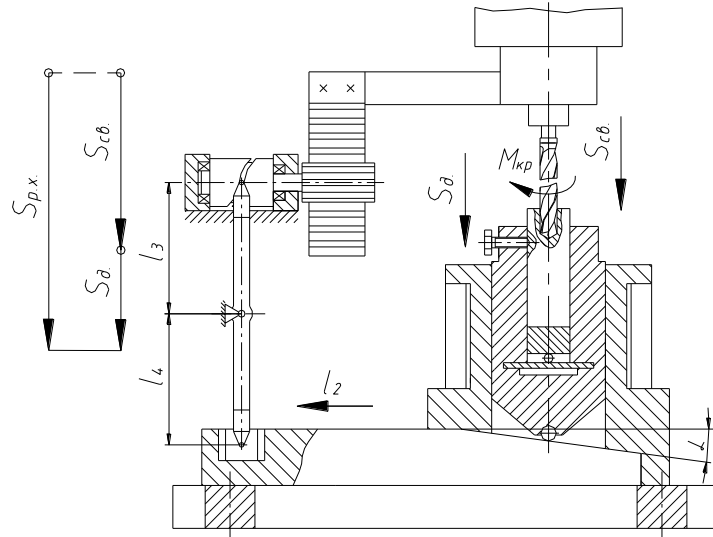


Рисунок 2.10 Схема важільного типу з важелем, кулачковим барабаном та рейковим зачепленням

2.2. Конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі.

В даному пункті представлені схеми пристроїв, для дослідження впливу подачі на осьову силу при зростаючій подачі.

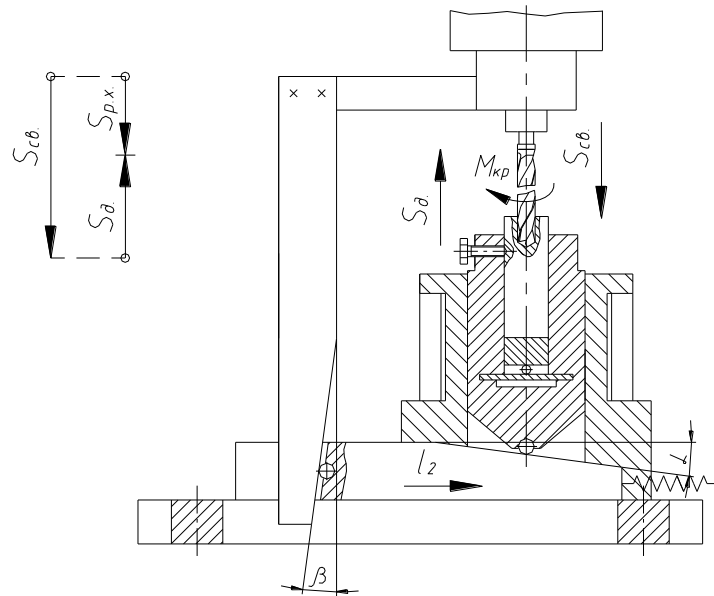


Рисунок 2.11 Схема важільного типу з клиновим переміщенням по копіру

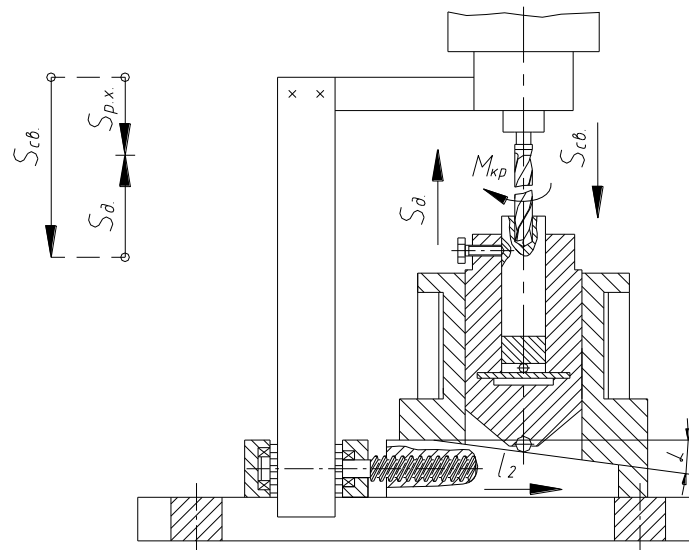


Рисунок 2.12 Схема важільного типу із застосуванням барабанного кулачка та різьби.

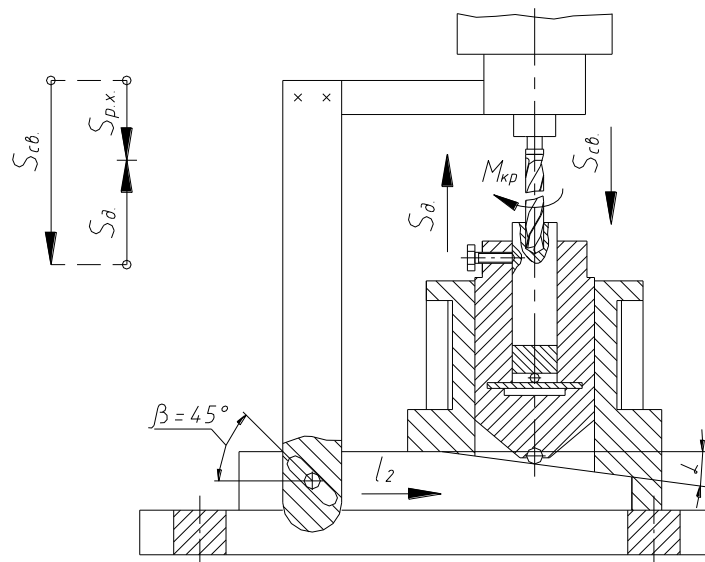


Рисунок 2.13 Схема важільного типу з вирізаним пазом в клині.

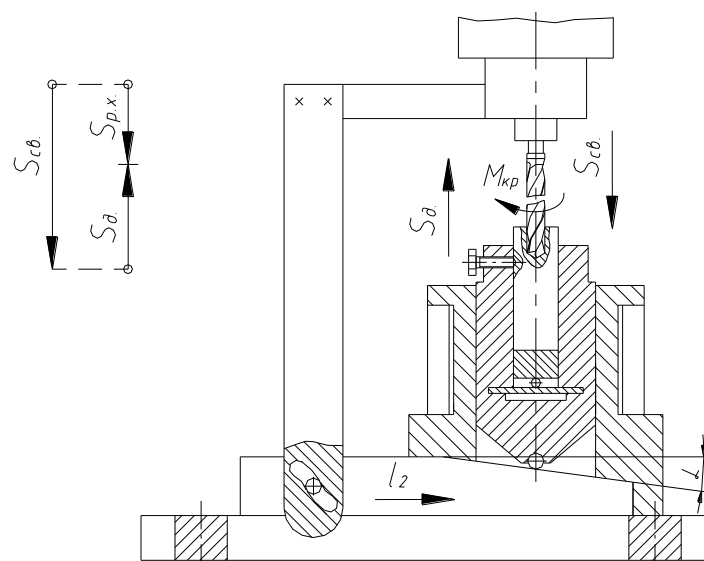


Рисунок 2.14 Схема важільного типу з вирізаним пазом криволінійного профілю.

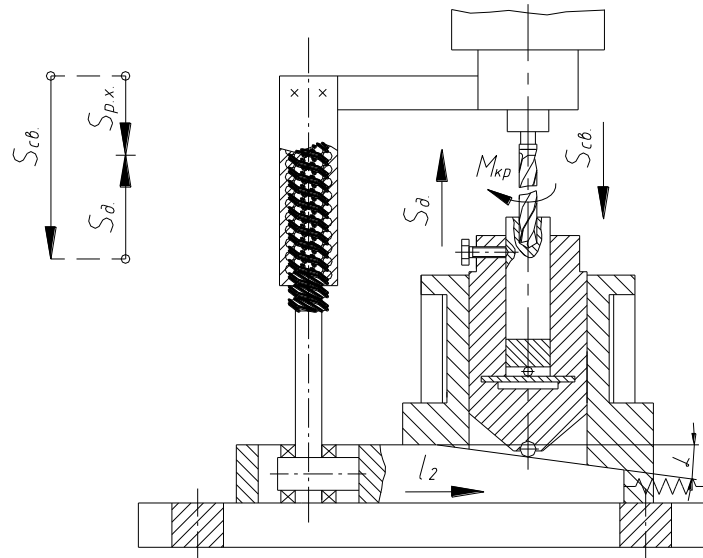


Рисунок 2.15 Схема важільного типу з різьбовим з'єднанням та кулачком

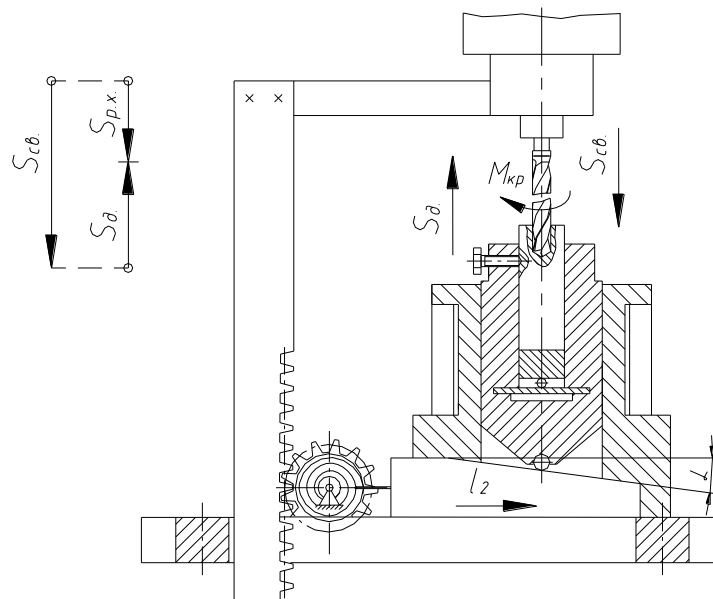


Рисунок 2.16 Схема важільного типу із рейковим зачепленням та евольвентою

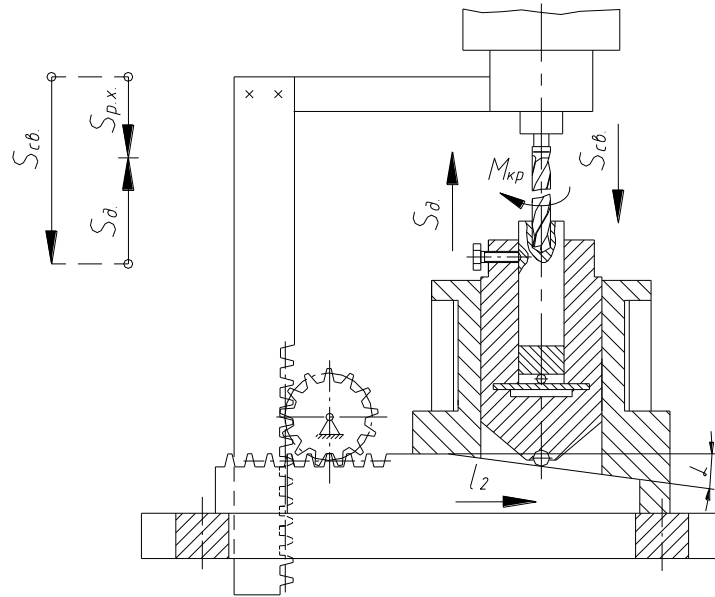


Рисунок 2.17 Схема важільного типу з шестернею та рейкою.

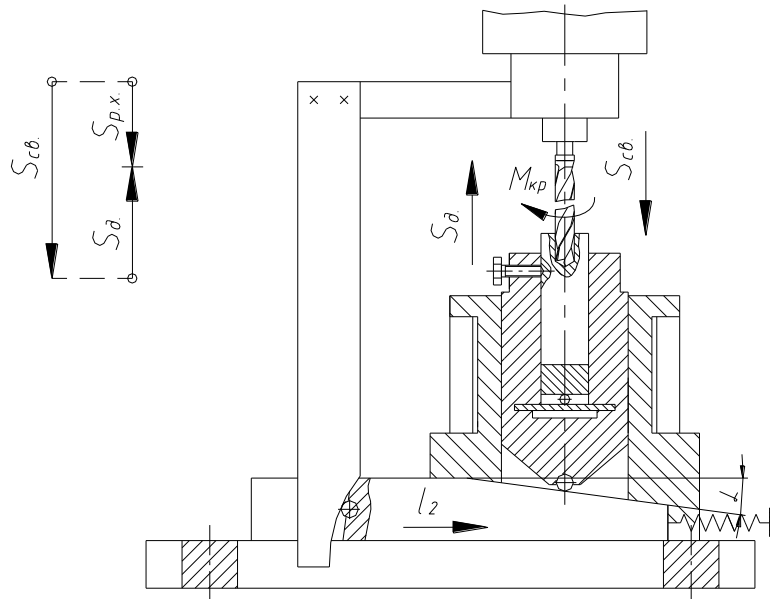


Рисунок 2.18 Схема важільного типу із клином, виготовленим по криволінійній залежності.

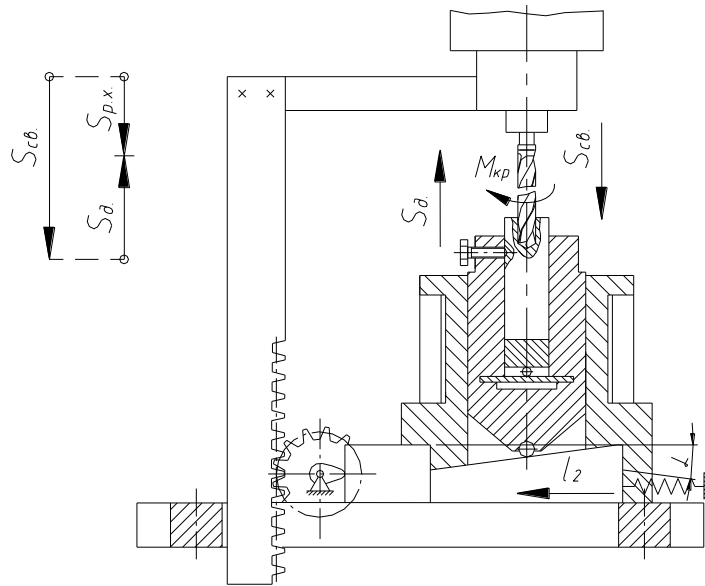


Рисунок 2.19 Схема важільного типу з кулачковим механізмом та рейкою.

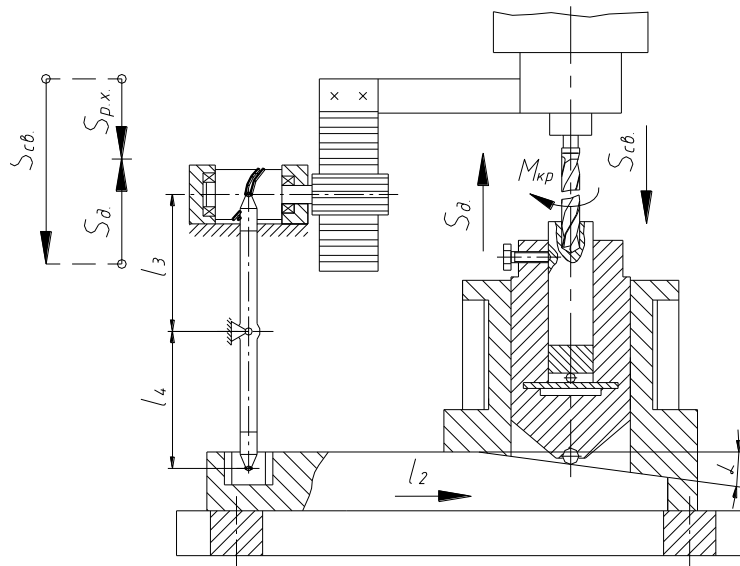


Рисунок 2.20 Схема важільного типу з важелем, кулачковим барабаном та рейковим зачепленням.

Схеми, що представлені вище, за принципом роботи схожі схемам, представленим схемам в пункті 2.1. Різниця між ними полягає в зміні

напрямку переміщення копіра, а саме: при переміщенні різального інструмента – свердла під час свердління в осьовому напрямку через конструктивні механізми. Копір буде здійснювати горизонтальне переміщення, переміщуючи при цьому деталь вздовж осі в напрямку, протилежному напрямку подачі інструменту. Результуюча подача при цьому буде збільшуватися від мінімального значення до значення максимального.

2.3. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю кола.

Розглянемо переміщення ролика, який контактує по поверхні копіра, що має профіль у вигляді кола.

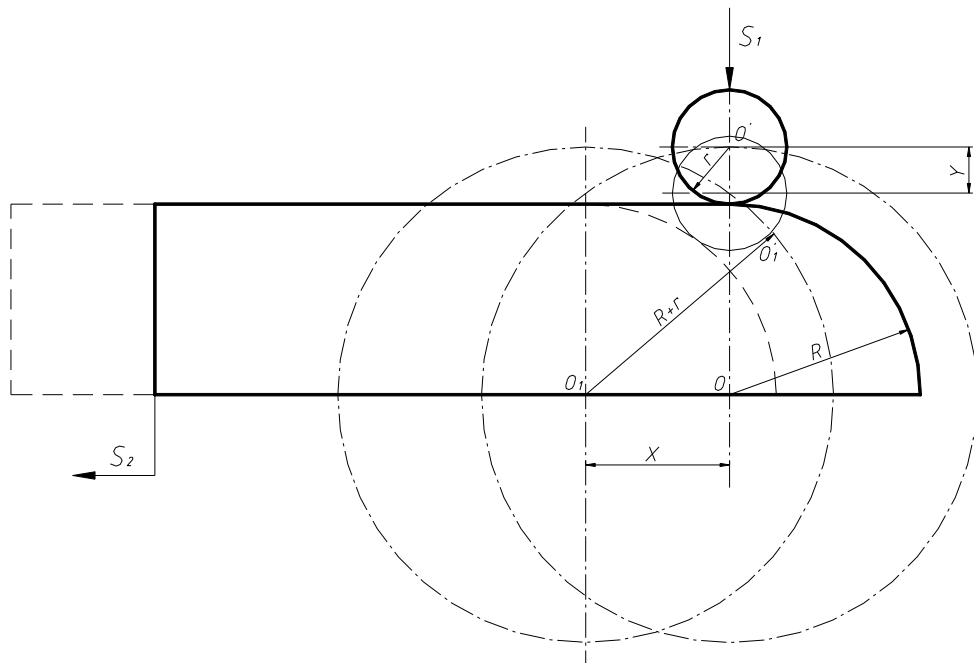


Рисунок 2.21 Переміщення ролика по поверхні копіра, профіль якого має вигляд кола.

Задамося діапазоном вимірювальної величини:

$$i := 5 \quad x := 0,5..90$$

Прийmemo для розрахунку радіус копіра постійним $R_1 = 60$ мм радіус ролика r буде змінюватися.

$$\begin{aligned} R_1 &:= 60 & R_2 &:= 60 & R_3 &:= 60 & R_4 &:= 60 & R_5 &:= 60 \\ r_1 &:= 1 & r_2 &:= 18 & r_3 &:= 40 & r_4 &:= 60 & r_5 &:= 90 \end{aligned}$$

Рівняння поверхні копіра, що має профіль кола має наступний вигляд:
 $y(x) := \sqrt{(R + r)^2 - x^2}$ рівняння прямої, що проходить через початок координат точки центра ролика має наступний вираз: $y(x) := (R + r)$, загальна розрахункова формула буде мати вигляд:

$$y(x) := (R + r) - \sqrt{(R + r)^2 - x^2} \quad (2.1)$$

$$y_1(x) := (R_1 + r_1) - \sqrt{(R_1 + r_1)^2 - x^2}$$

$$y_2(x) := (R_2 + r_2) - \sqrt{(R_2 + r_2)^2 - x^2}$$

$$y_3(x) := (R_3 + r_3) - \sqrt{(R_3 + r_3)^2 - x^2}$$

$$y_4(x) := (R_4 + r_4) - \sqrt{(R_4 + r_4)^2 - x^2}$$

$$y_5(x) := (R_5 + r_5) - \sqrt{(R_5 + r_5)^2 - x^2}$$

Данні, одержанні в результаті проведення розрахунку із різними

розмірами ролика:

$y_1(x)$ – при $r = 1\text{мм}$; $y_2(x)$ – при $r = 18\text{мм}$; $y_3(x)$ – при $r = 40\text{мм}$; $y_4(x)$ – при $r = 60\text{мм}$; $y_5(x)$ – при $r = 90\text{мм}$.

$x =$	$y_1(x) =$	$y_2(x) =$	$y_3(x) =$	$y_4(x) =$	$y_5(x) =$
0	0	0	0	0	0
5	0.21	0.16	0.13	0.1	0.08
10	0.83	0.64	0.5	0.42	0.33
15	1.87	1.46	1.13	0.94	0.75
20	3.37	2.61	2.02	1.68	1.34
25	5.36	4.11	3.18	2.63	2.1
30	7.89	6	4.61	3.81	3.03
35	11.04	8.29	6.33	5.22	4.14
40	14.95	11.04	8.35	6.86	5.43
45	19.82	14.29	10.7	8.76	6.91
50	26.06	18.13	13.4	10.91	8.58
55	34.62	22.69	16.48	13.35	10.45
60	50	28.16	20	16.08	12.52
65	61-22.45i	34.88	24.01	19.13	14.81
70	61-34.34i	43.59	28.59	22.53	17.34
75	61-43.63i	56.58	33.86	26.33	20.1
80	61-51.76i	78-17.78i	40	30.56	23.11
85	61-59.19i	78-33.78i	47.32	35.29	26.41
90	61-66.17i	78-44.9i	56.41	40.63	30

Побудуємо графік вертикального переміщення ролика в залежності від горизонтального переміщення копіра

Графік буде мати наступний вигляд:

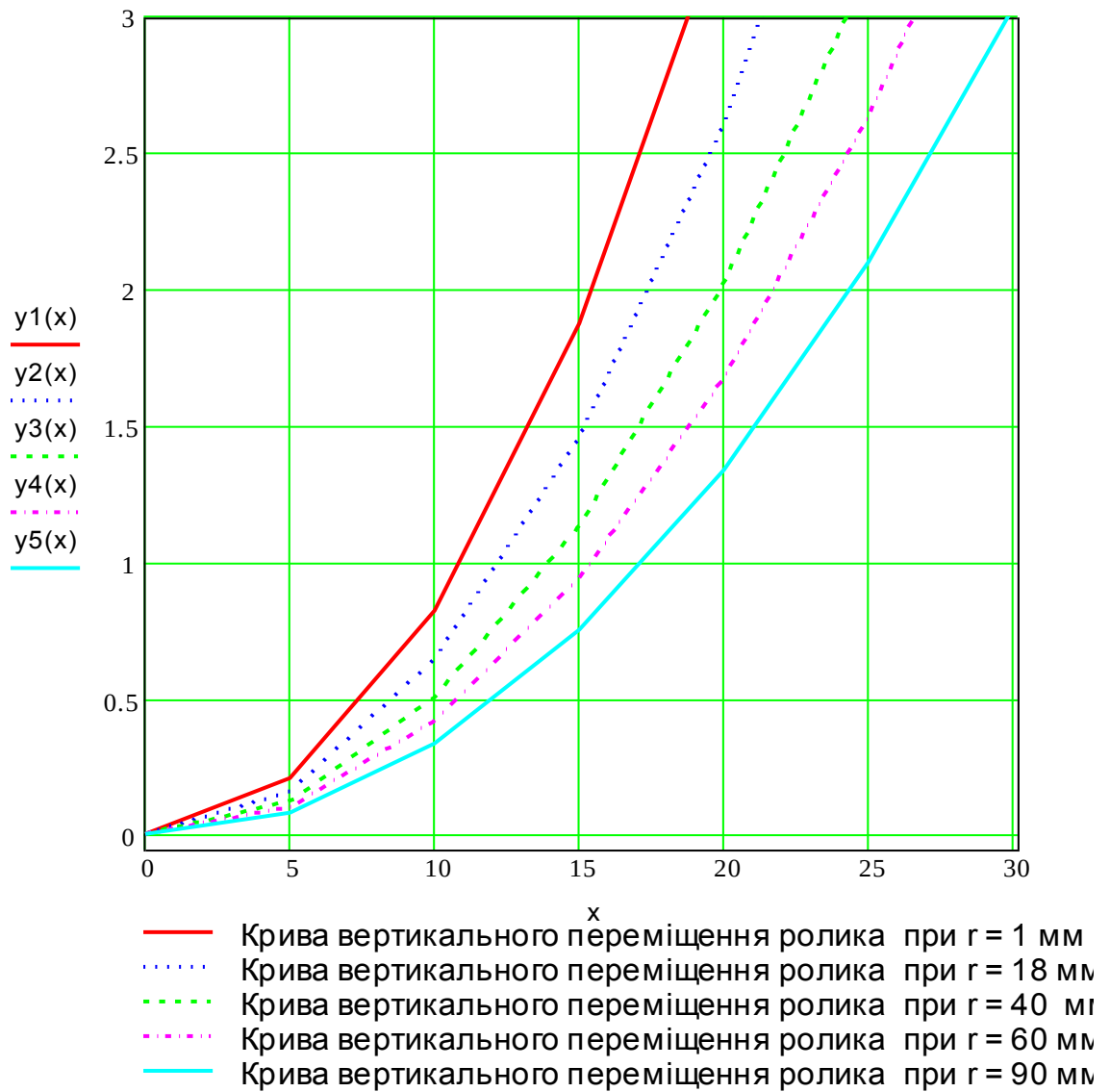


Рисунок 2.22 Графік вертикального переміщення ролика в залежності від горизонтального переміщення копіра.

Для того, щоб визначити зміну величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина визначимо похідну від формули (2.1):

$$y(x) := (R + r) - \sqrt{(R + r)^2 - x^2}$$

похідна буде мати вигляд:

$$dy(x) := \frac{x}{\sqrt{(R+r)^2 - x^2}} \quad (2.2)$$

Проведемо розрахунок для кожного з прийнятих радіусів:

$$dy1(x) := \frac{x}{\sqrt{(R_1 + r_1)^2 - x^2}}$$

$$dy2(x) := \frac{x}{\sqrt{(R_2 + r_2)^2 - x^2}}$$

$$dy3(x) := \frac{x}{\sqrt{(R_3 + r_3)^2 - x^2}}$$

$$dy4(x) := \frac{x}{\sqrt{(R_4 + r_4)^2 - x^2}}$$

$$dy5(x) := \frac{x}{\sqrt{(R_5 + r_5)^2 - x^2}}$$

Данні, одержанні в результаті проведення розрахунку із різними розмірами ролика:

$dy1(x)$ – при $r = 1\text{мм}$;

$dy2(x)$ – при $r = 18\text{мм}$;

$dy3(x)$ – при $r = 40\text{мм}$;

$dy4(x)$ – при $r = 60\text{мм}$;

$dy5(x)$ – при $r = 90\text{мм}$.

x =	dy1(x) =	dy2(x) =	dy3(x) =	dy4(x) =	dy5(x) =
0	0	0	0	0	0
5	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
10	0.17	0.13	0.1	0.08	0.07
15	0.25	0.2	0.15	0.13	0.1
20	0.35	0.27	0.2	0.17	0.13
25	0.45	0.34	0.26	0.21	0.17
30	0.56	0.42	0.31	0.26	0.2
35	0.7	0.5	0.37	0.3	0.24
40	0.87	0.6	0.44	0.35	0.28
45	1.09	0.71	0.5	0.4	0.31
50	1.43	0.84	0.58	0.46	0.35
55	2.08	0.99	0.66	0.52	0.39
60	5.45	1.2	0.75	0.58	0.44
65	-2.9i	1.51	0.86	0.64	0.48
70	-2.04i	2.03	0.98	0.72	0.53
75	-1.72i	3.5	1.13	0.8	0.58
80	-1.55i	-4.5i	1.33	0.89	0.63
85	-1.44i	-2.52i	1.61	1	0.69
90	-1.36i	-2i	2.06	1.13	0.75

Якщо задатися налагоджувальною подачею $S = 0,5$ мм/об($y(x) := 0.5$), то згідно одержаних результатів розрахунків можна побудувати графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина та графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина

$$y(x) := 0.5$$

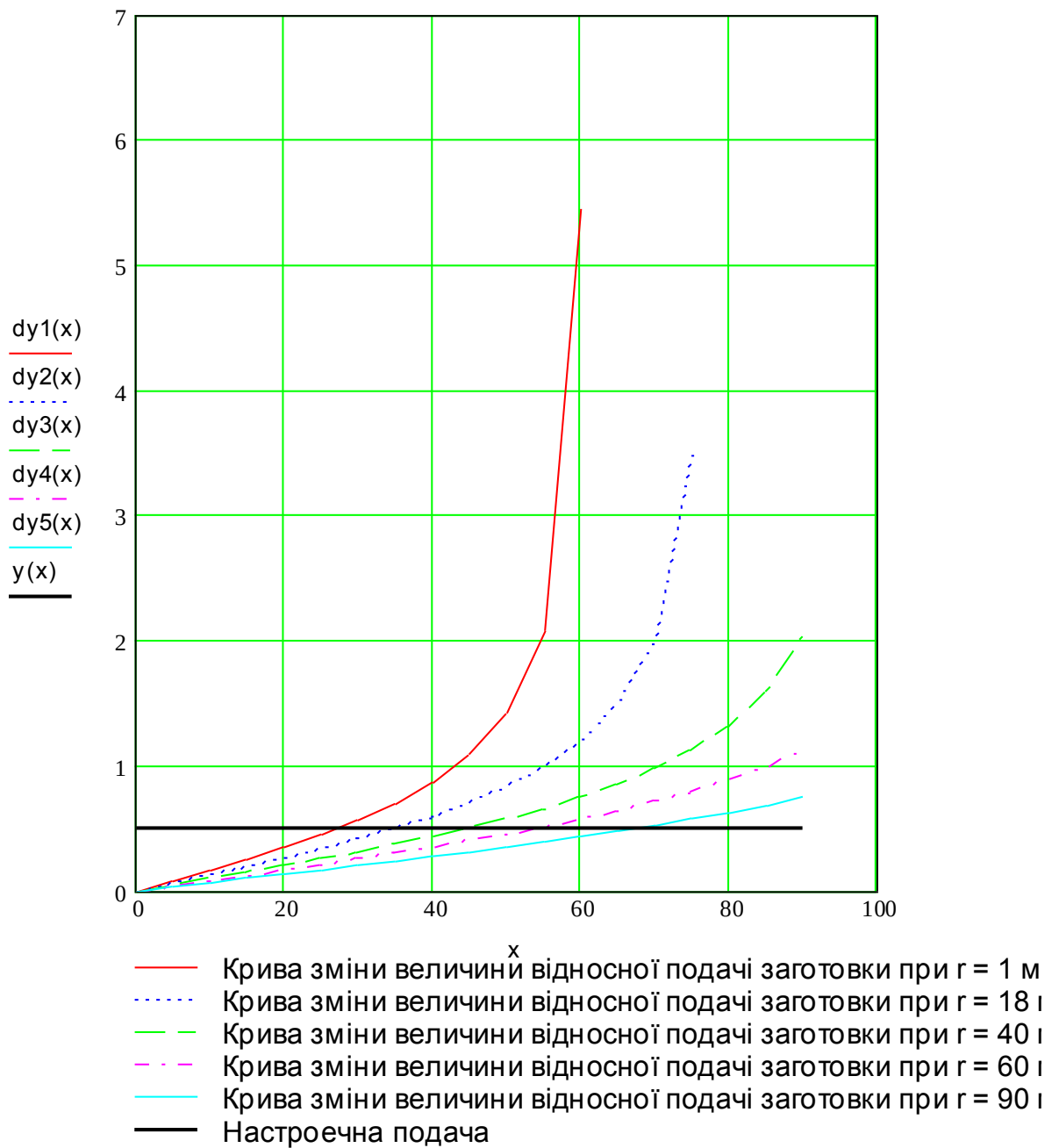


Рисунок 2.23 Графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

Для визначення дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина необхідно виміряти графічно відстань від початку координат до перетину її з графіком і відкласти це значення від налагоджувальної подачі S .

Математичний вираз графіку дійсної змінної подачі буде мати вигляд:

$$dy(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R+r)^2 - x^2}} + 0.5 \quad (2.3)$$

$$dy6(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R_1+r_1)^2 - x^2}} + 0.5$$

$$dy7(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R_2+r_2)^2 - x^2}} + 0.5$$

$$dy8(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R_3+r_3)^2 - x^2}} + 0.5$$

$$dy9(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R_4+r_4)^2 - x^2}} + 0.5$$

$$dy10(x) := \frac{-x}{\sqrt{(R_5+r_5)^2 - x^2}} + 0.5$$

Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина буде мати вигляд:

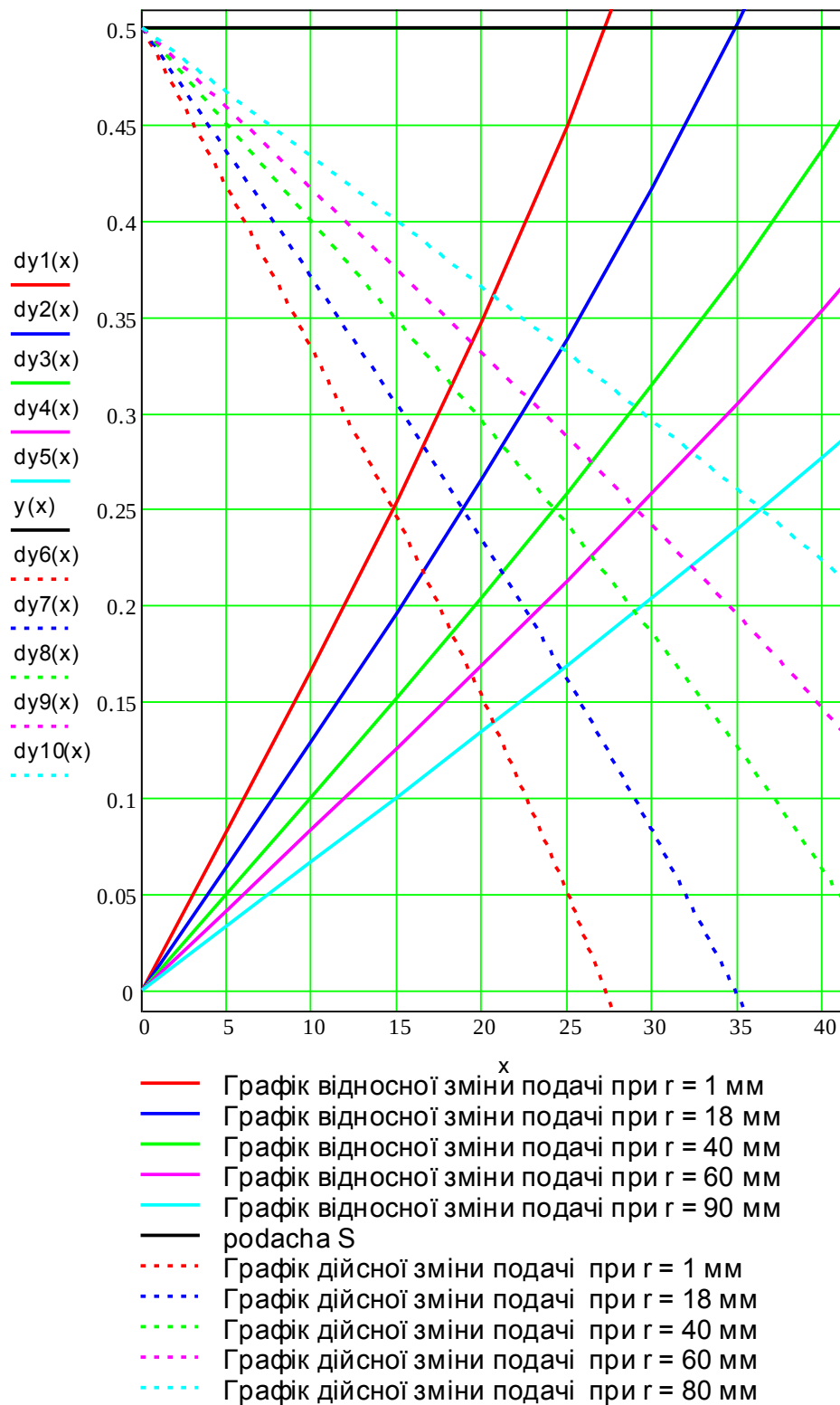


Рисунок 2.24 Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

2.4. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю еліпса.

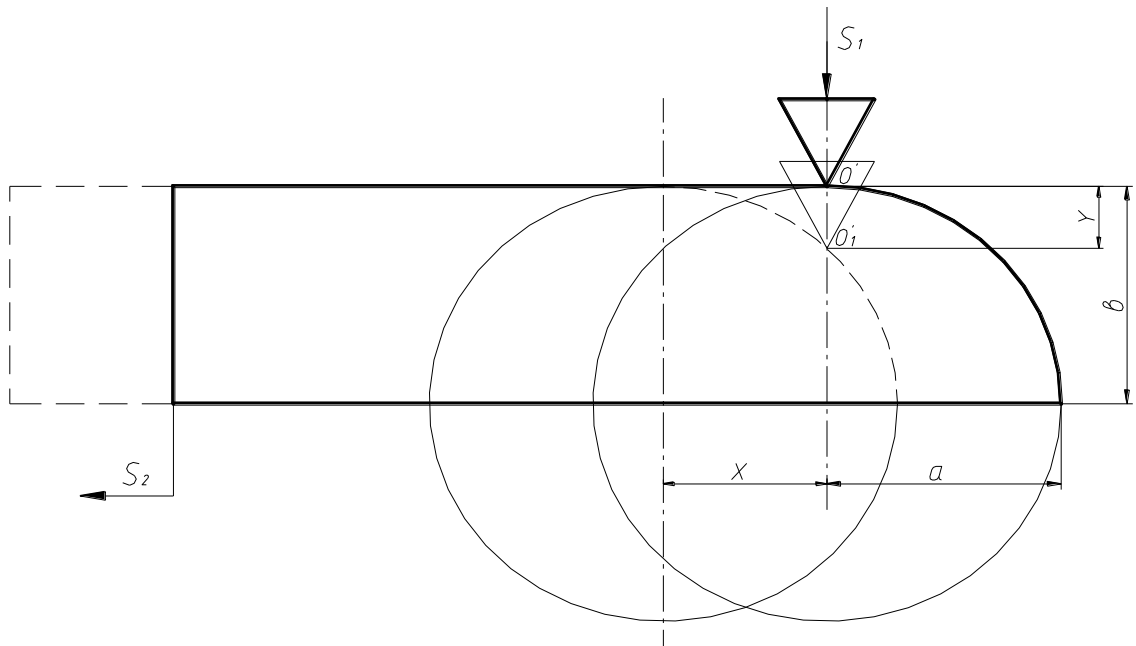


Рисунок 2.25 Переміщення щупа по поверхні копіра, профіль якого має вигляд еліпса.

Задамося діапазоном вимірювальної величини:

$$i := 5 \quad x := 0,2..28$$

Прийmemo для розрахунку довжину копіра постійною $a = 30$ мм висота копіра b буде змінюватися.

$$a := 30$$

$$b_1 := 20 \quad b_2 := 30 \quad b_3 := 40 \quad b_4 := 60 \quad b_5 := 90$$

Рівняння поверхні копіра, що має профіль еліпса має наступний вигляд:

$$y(x) := \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_1)^2 - x^2 \cdot (b_1)^2}{a^2}} \quad (2.4)$$

Рівняння прямої, що проходить через початок координат точки контактування щупа із копіром буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 y(x) &:= b - \sqrt{\frac{a^2 \cdot b^2 - x^2 \cdot b^2}{a^2}} \\
 y_1(x) &:= b_1 - \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_1)^2 - x^2 \cdot (b_1)^2}{a^2}} \\
 y_2(x) &:= b_2 - \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_2)^2 - x^2 \cdot (b_2)^2}{a^2}} \\
 y_3(x) &:= b_3 - \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_3)^2 - x^2 \cdot (b_3)^2}{a^2}} \\
 y_4(x) &:= b_4 - \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_4)^2 - x^2 \cdot (b_4)^2}{a^2}} \\
 y_5(x) &:= b_5 - \sqrt{\frac{a^2 \cdot (b_5)^2 - x^2 \cdot (b_5)^2}{a^2}}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Данні, одержанні в результаті проведення розрахунку із різними розмірами копіра:

$y_1(x)$ – при $b = 20\text{мм}$; $y_2(x)$ – при $b = 30\text{мм}$; $y(x)$ – при $b = 40\text{мм}$; $y(x)$ – при $b = 60\text{мм}$; $y(x)$ – при $r = 90\text{мм}$.

Побудуємо графік вертикального переміщення щупа в залежності від горизонтального переміщення копіра

Графік буде мати наступний вигляд:

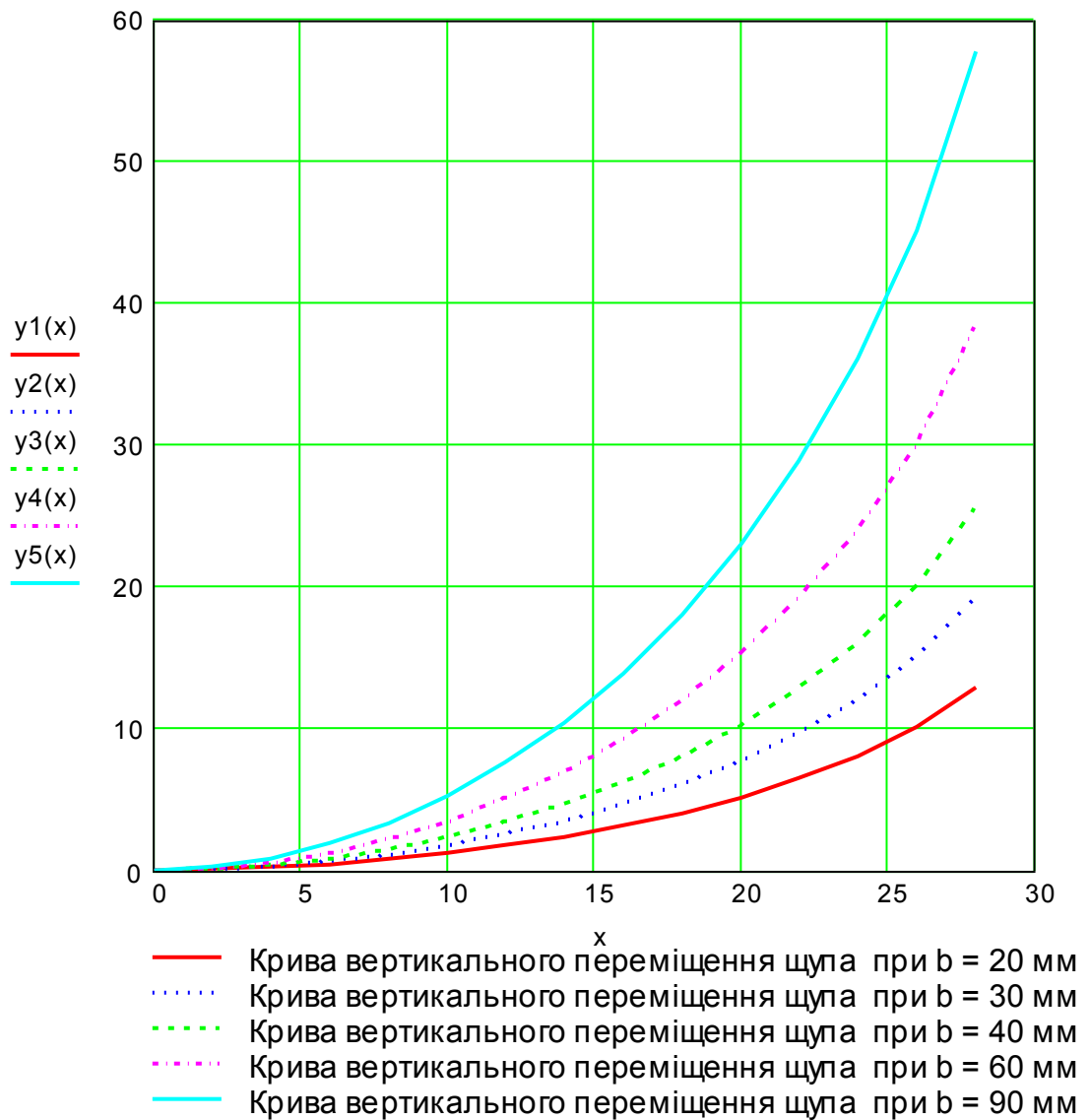


Рисунок 2.26 Графік вертикального переміщення щупа в залежності від горизонтального переміщення копіра.

Для того, щоб визначити зміну величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина визначимо похідну від формули (2.5)

$$y(x) := \sqrt{\frac{a^2 \cdot b^2 - x^2 \cdot b^2}{a^2}}$$

похідна буде мати вигляд:

$$dy(x) := \frac{b^2 \cdot x}{b^2 \cdot \sqrt{b^2 - \frac{x^2 \cdot b^2}{a^2}}} \quad (2.6)$$

Проведемо розрахунок для кожної з прийнятої висоти клина:

$$dy1(x) := \frac{(b_1)^2 \cdot x}{(b_1)^2 \cdot \sqrt{(b_1)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_1)^2}{a^2}}}$$

$$dy2(x) := \frac{(b_2)^2 \cdot x}{(b_2)^2 \cdot \sqrt{(b_2)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_2)^2}{a^2}}}$$

$$dy3(x) := \frac{(b_3)^2 \cdot x}{(b_3)^2 \cdot \sqrt{(b_3)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_3)^2}{a^2}}}$$

$$dy4(x) := \frac{(b_4)^2 \cdot x}{(b_4)^2 \cdot \sqrt{(b_4)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_4)^2}{a^2}}}$$

$$dy5(x) := \frac{(b_5)^2 \cdot x}{(b_5)^2 \cdot \sqrt{(b_5)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_5)^2}{a^2}}}$$

Дані, одержанні в результаті проведення розрахунку із різними розмірами

висоти копіра:

$dy_1(x)$ – при $b_1 = 20\text{мм}$; $dy_2(x)$ – при $b_2 = 30\text{мм}$; $dy_3(x)$ – при $b_3 = 40\text{мм}$;

$dy_4(x)$ – при $b_4 = 60\text{мм}$; $dy_5(x)$ – при $b_5 = 90\text{мм}$.

$x =$	$dy_1(x) =$	$dy_2(x) =$	$dy_3(x) =$	$dy_4(x) =$	$dy_5(x) =$
0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.07	0.05	0.03	0.02
4	0.2	0.13	0.1	0.07	0.04
6	0.31	0.2	0.15	0.1	0.07
8	0.42	0.28	0.21	0.14	0.09
10	0.53	0.35	0.27	0.18	0.12
12	0.65	0.44	0.33	0.22	0.15
14	0.79	0.53	0.4	0.26	0.18
16	0.95	0.63	0.47	0.32	0.21
18	1.13	0.75	0.56	0.38	0.25
20	1.34	0.89	0.67	0.45	0.3
22	1.62	1.08	0.81	0.54	0.36
24	2	1.33	1	0.67	0.44
26	2.61	1.74	1.3	0.87	0.58
28	3.9	2.6	1.95	1.3	0.87

Якщо задатися, що настроювана подача $S = 0,5 \text{ мм/об}(y(x) := 0.5)$, то згідно одержаних результатів розрахунків можна побудувати графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення копіра та графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення копіра.

$$y(x) := 0.5$$

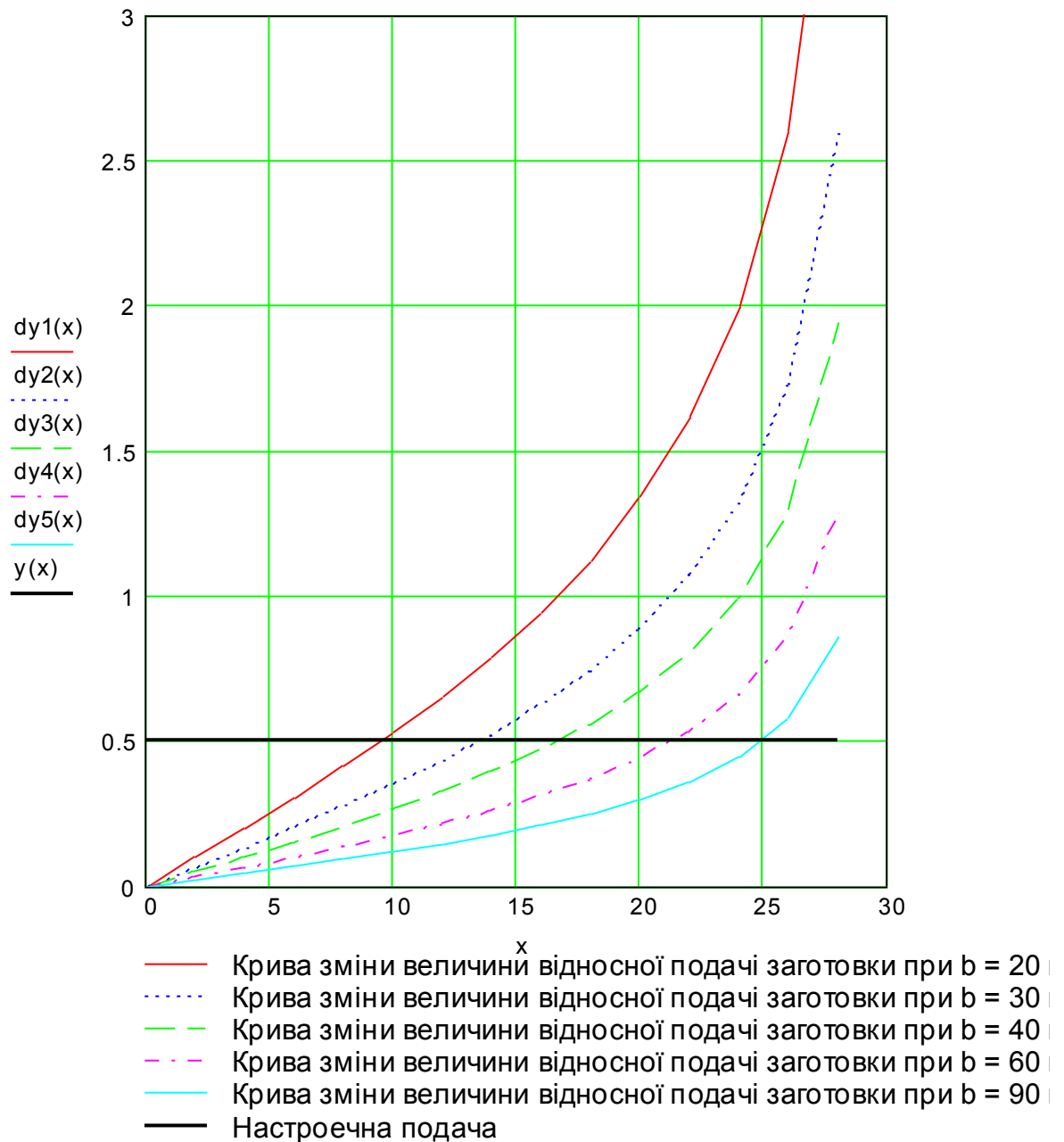


Рисунок 2.27 Графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

Для визначення дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина необхідно виміряти графічно відстань від початку координат до перетину її з графіком і відкласти це значення від настроєної подачі S

Математичний вираз графіку дійсної змінної подачі буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 dy(x) &:= \frac{-b^2 \cdot x}{b^2 \cdot \sqrt{b^2 - \frac{x^2 \cdot b^2}{a^2}}} + 0.5 \\
 dy6(x) &:= \frac{-(b_1)^2 \cdot x}{(b_1)^2 \cdot \sqrt{(b_1)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_1)^2}{a^2}}} + 0.5 \\
 dy7(x) &:= \frac{-(b_2)^2 \cdot x}{(b_2)^2 \cdot \sqrt{(b_2)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_2)^2}{a^2}}} + 0.5 \\
 dy8(x) &:= \frac{-(b_3)^2 \cdot x}{(b_3)^2 \cdot \sqrt{(b_3)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_3)^2}{a^2}}} + 0.5 \\
 dy9(x) &:= \frac{-(b_4)^2 \cdot x}{(b_4)^2 \cdot \sqrt{(b_4)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_4)^2}{a^2}}} + 0.5 \\
 dy10(x) &:= \frac{-(b_5)^2 \cdot x}{(b_5)^2 \cdot \sqrt{(b_5)^2 - \frac{x^2 \cdot (b_5)^2}{a^2}}} + 0.5
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина буде мати вигляд:

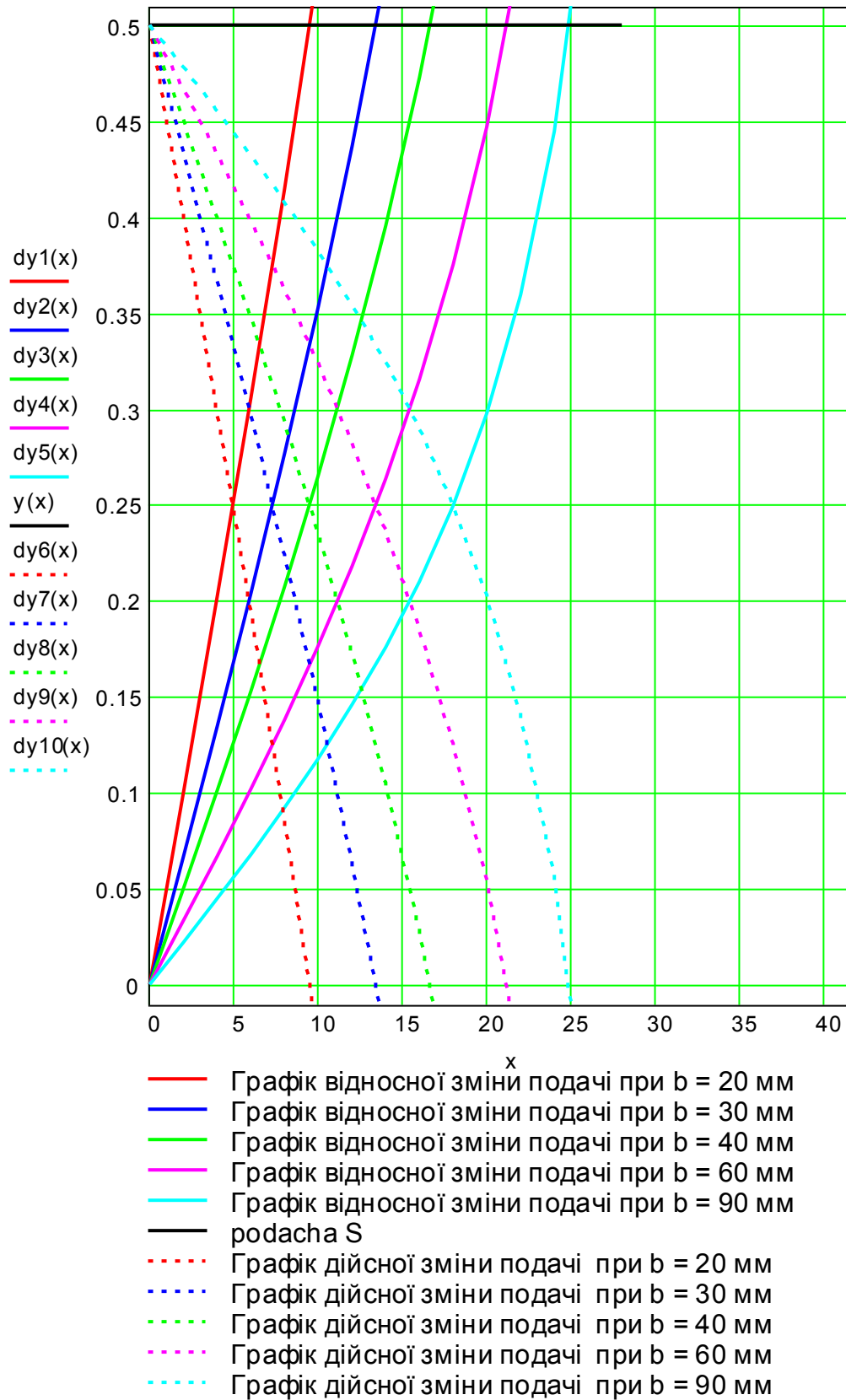


Рисунок 2.28 Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

2.5. Розрахунок переміщення копіра, профіль якого виготовлено по профілю параболи.

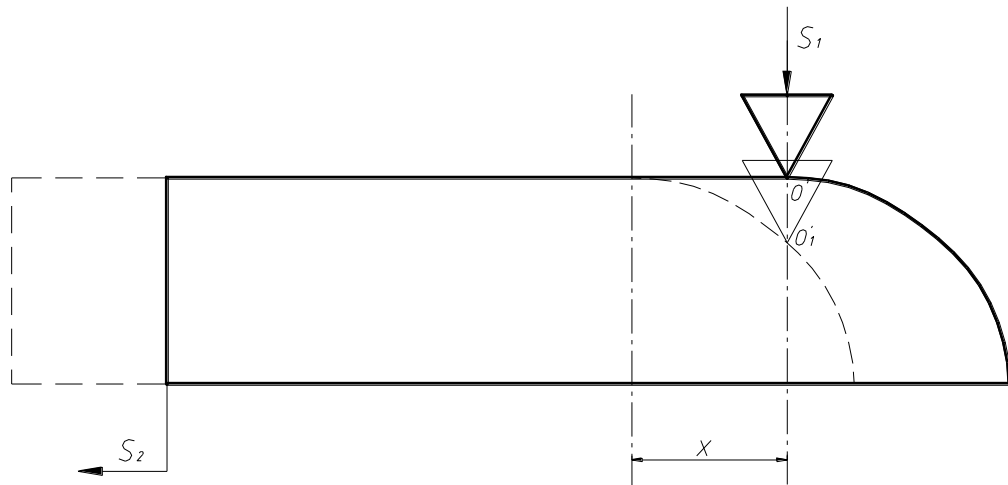


Рисунок 2.29 Переміщення щупа по поверхні копіра, профіль якого має вигляд параболи.

Задамося діапазоном вимірювальної величини:

$$i := 5 \quad x := 0,2..28$$

Прийmemo для розрахунку вітку розгалуження параболи p -змінною

$$p_1 := \sqrt{\frac{1}{20}} \quad p_2 := \sqrt{\frac{1}{30}} \quad p_3 := \sqrt{\frac{1}{40}} \quad p_4 := \sqrt{\frac{1}{50}} \quad p_5 := \sqrt{\frac{1}{60}}$$

Величина a – відповідає значенню відповідно для кожного графіку графіку при якому значення $x = 0$

$$a_1 := \sqrt{\frac{30 - 0}{4 \cdot (p_1)^2}} \quad a_2 := \sqrt{\frac{30 - 0}{4 \cdot (p_2)^2}} \quad a_3 := \sqrt{\frac{30 - 0}{4 \cdot (p_3)^2}} \quad a_4 := \sqrt{\frac{30 - 0}{4 \cdot (p_4)^2}} \quad a_5 := \sqrt{\frac{30 - 0}{4 \cdot (p_5)^2}}$$

Рівняння поверхні копіра, що має профіль параболи має наступний вигляд: $y(x) := a - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot p^2}}$ рівняння прямої, що проходить через початок координат точки центра ролика має наступний вираз:

$$a := \sqrt{\frac{30-0}{4 \cdot p^2}} \quad (2.8)$$

загальна розрахункова формула буде мати вигляд:

$$y(x) := a - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot p^2}} \quad (2.9)$$

$$y1(x) := a_1 - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_1)^2}}$$

$$y2(x) := a_2 - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_2)^2}}$$

$$y3(x) := a_3 - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_3)^2}}$$

$$y4(x) := a_4 - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_4)^2}}$$

$$y5(x) := a_5 - \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_5)^2}}$$

Данні, одержанні в результаті проведення розрахунку із різнимю формою

розгалуження параболи:

$$y_1(x) - \text{при } p_1 := \sqrt{\frac{1}{20}}; \quad y_2(x) - \text{при } p_2 := \sqrt{\frac{1}{30}}; \quad y_3(x) - \text{при } p_3 := \sqrt{\frac{1}{40}}; \quad y_4(x) - \\ \text{при } p_4 := \sqrt{\frac{1}{50}}; \quad y_5(x) - \text{при } p_5 := \sqrt{\frac{1}{60}}$$

x =	y ₁ (x) =	y ₂ (x) =	y ₃ (x) =	y ₄ (x) =	y ₅ (x) =
0	0	0	0	0	0
2	0.42	0.51	0.59	0.66	0.72
4	0.85	1.04	1.2	1.34	1.46
6	1.29	1.58	1.83	2.04	2.24
8	1.76	2.15	2.49	2.78	3.05
10	2.25	2.75	3.18	3.55	3.89
12	2.76	3.38	3.9	4.36	4.78
14	3.3	4.05	4.67	5.22	5.72
16	3.88	4.75	5.49	6.14	6.72
18	4.5	5.51	6.37	7.12	7.8
20	5.18	6.34	7.32	8.18	8.97
22	5.92	7.25	8.38	9.36	10.26
24	6.77	8.29	9.57	10.7	11.73
26	7.78	9.52	11	12.29	13.47
28	9.09	11.13	12.85	14.36	15.74

Побудуємо графік вертикального переміщення шупа в залежності від горизонтального переміщення копіра

Графік буде мати наступний вигляд:

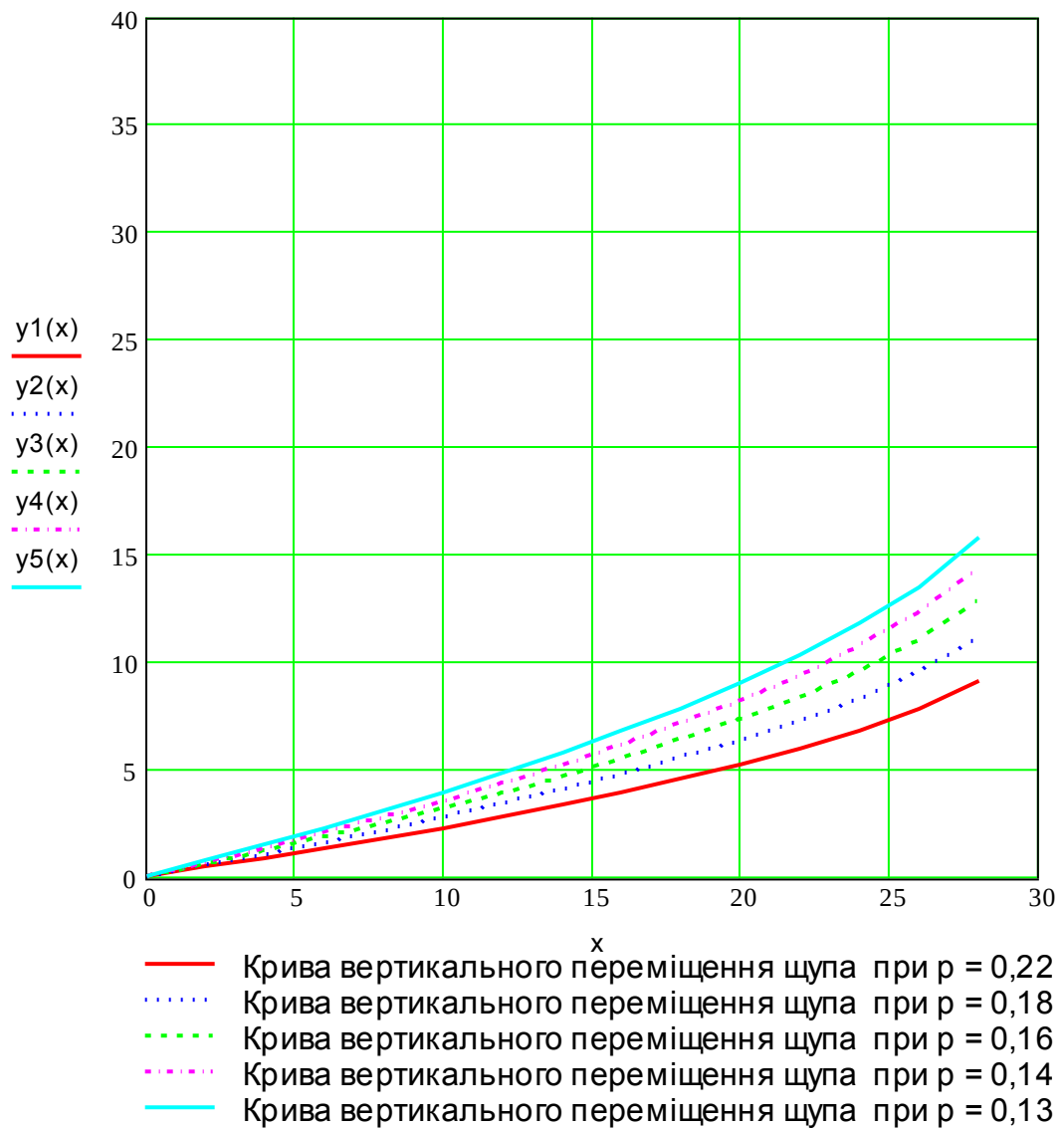


Рисунок 2.30 Графік вертикального переміщення щупа в залежності від горизонтального переміщення копіра

Для того, щоб визначити зміну величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина визначимо похідну від формули (2.9)

$$y(x) := a - \sqrt{\frac{30 - x}{4 \cdot p^2}},$$

похідна буде мати вигляд:

$$dy(x) := \frac{1}{8 \cdot p^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot p^2}}} \quad (2.10)$$

Проведемо розрахунок для кожної з прийнятих віток параболи:

$$dy1(x) := \frac{1}{8 \cdot (p_1)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_1)^2}}}$$

$$dy2(x) := \frac{1}{8 \cdot (p_2)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_2)^2}}}$$

$$dy3(x) := \frac{1}{8 \cdot (p_3)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_3)^2}}}$$

$$dy4(x) := \frac{1}{8 \cdot (p_4)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_4)^2}}}$$

$$dy5(x) := \frac{1}{8 \cdot (p_5)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_5)^2}}}$$

Данні, одержанні в результаті проведення розрахунку за різними розгалуженнями віток:

$$\begin{aligned} & dy_1(x) - \text{при } p_1 := \sqrt{\frac{1}{20}}; \quad dy_2(x) - \text{при } p_2 := \sqrt{\frac{1}{30}}; \quad dy_3(x) - \text{при } p_3 := \sqrt{\frac{1}{40}}; \quad dy_4(x) - \\ & \text{при } p_4 := \sqrt{\frac{1}{50}}; \quad dy_5(x) - \text{при } p_5 := \sqrt{\frac{1}{60}}. \end{aligned}$$

x =	dy1(x) =	dy2(x) =	dy3(x) =	dy4(x) =	dy5(x) =
0	0.2	0.25	0.29	0.32	0.35
2	0.21	0.26	0.3	0.33	0.37
4	0.22	0.27	0.31	0.35	0.38
6	0.23	0.28	0.32	0.36	0.4
8	0.24	0.29	0.34	0.38	0.41
10	0.25	0.31	0.35	0.4	0.43
12	0.26	0.32	0.37	0.42	0.46
14	0.28	0.34	0.4	0.44	0.48
16	0.3	0.37	0.42	0.47	0.52
18	0.32	0.4	0.46	0.51	0.56
20	0.35	0.43	0.5	0.56	0.61
22	0.4	0.48	0.56	0.63	0.68
24	0.46	0.56	0.65	0.72	0.79
26	0.56	0.68	0.79	0.88	0.97
28	0.79	0.97	1.12	1.25	1.37

Якщо задатися, що налагоджувальна подача $S = 0,5$ мм/об ($y(x) := 0.5$), то згідно одержаних результатів розрахунків можна побудувати графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина та графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

$$y(x) := 0.5$$

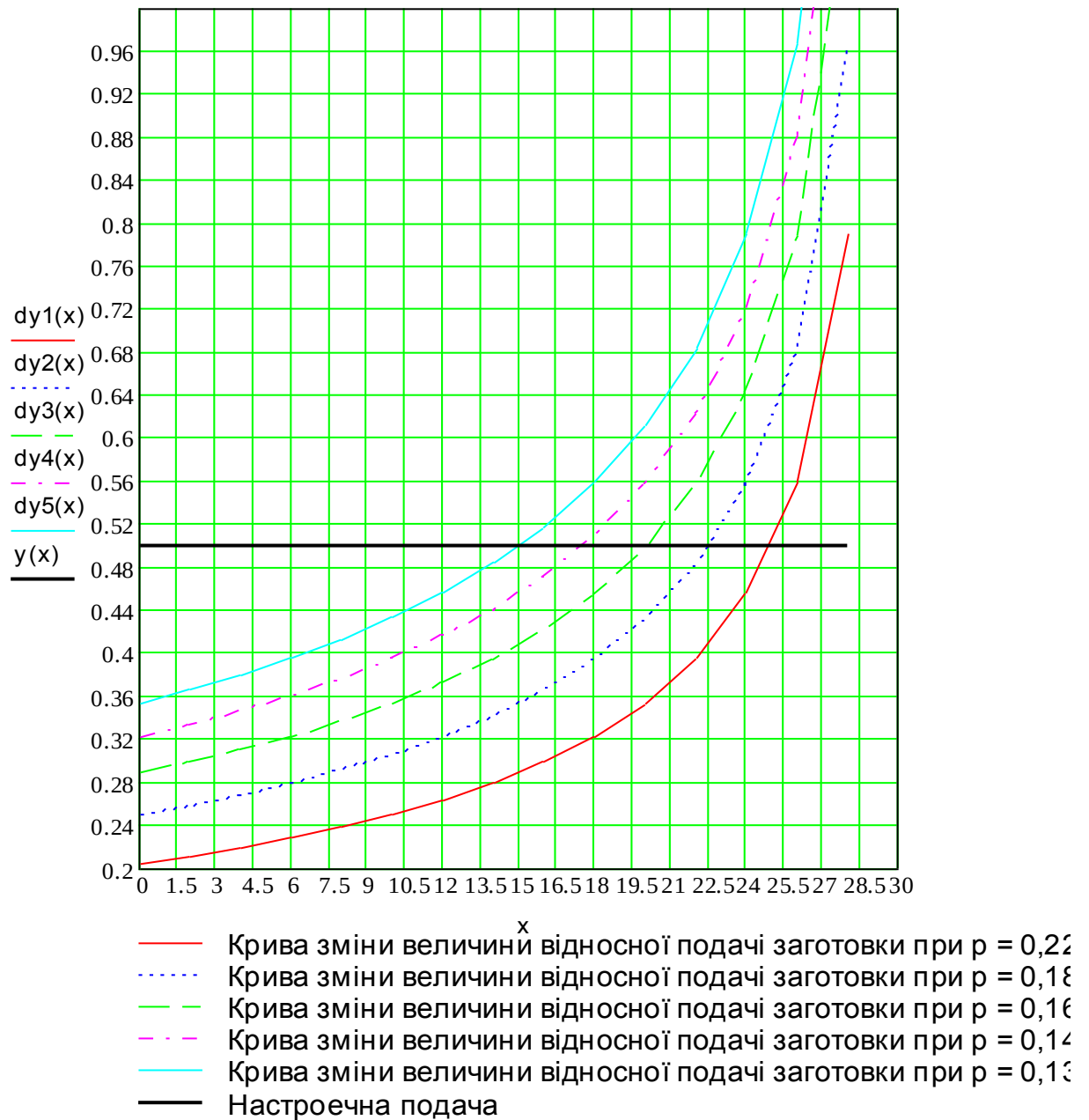


Рисунок 2.31 Графік змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

Для визначення дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина необхідно виміряти графічно відстань від початку координат до перетину її з графіком і відкласти це значення від налагоджувальної подачі S .

Математичний вираз графіку дійсної змінної подачі буде мати вигляд:

$$dy(x) := \frac{-1}{8 \cdot p^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot p^2}}} + 0.5 \quad (2.11)$$

$$dy6(x) := \frac{-1}{8 \cdot (p_1)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_1)^2}}} + 0.5$$

$$dy7(x) := \frac{-1}{8 \cdot (p_2)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_2)^2}}} + 0.5$$

$$dy8(x) := \frac{-1}{8 \cdot (p_3)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_3)^2}}} + 0.5$$

$$dy9(x) := \frac{-1}{8 \cdot (p_4)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_4)^2}}} + 0.5$$

$$dy10(x) := \frac{-1}{8 \cdot (p_5)^2 \cdot \sqrt{\frac{30-x}{4 \cdot (p_5)^2}}} + 0.5$$

Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина буде мати вигляд:

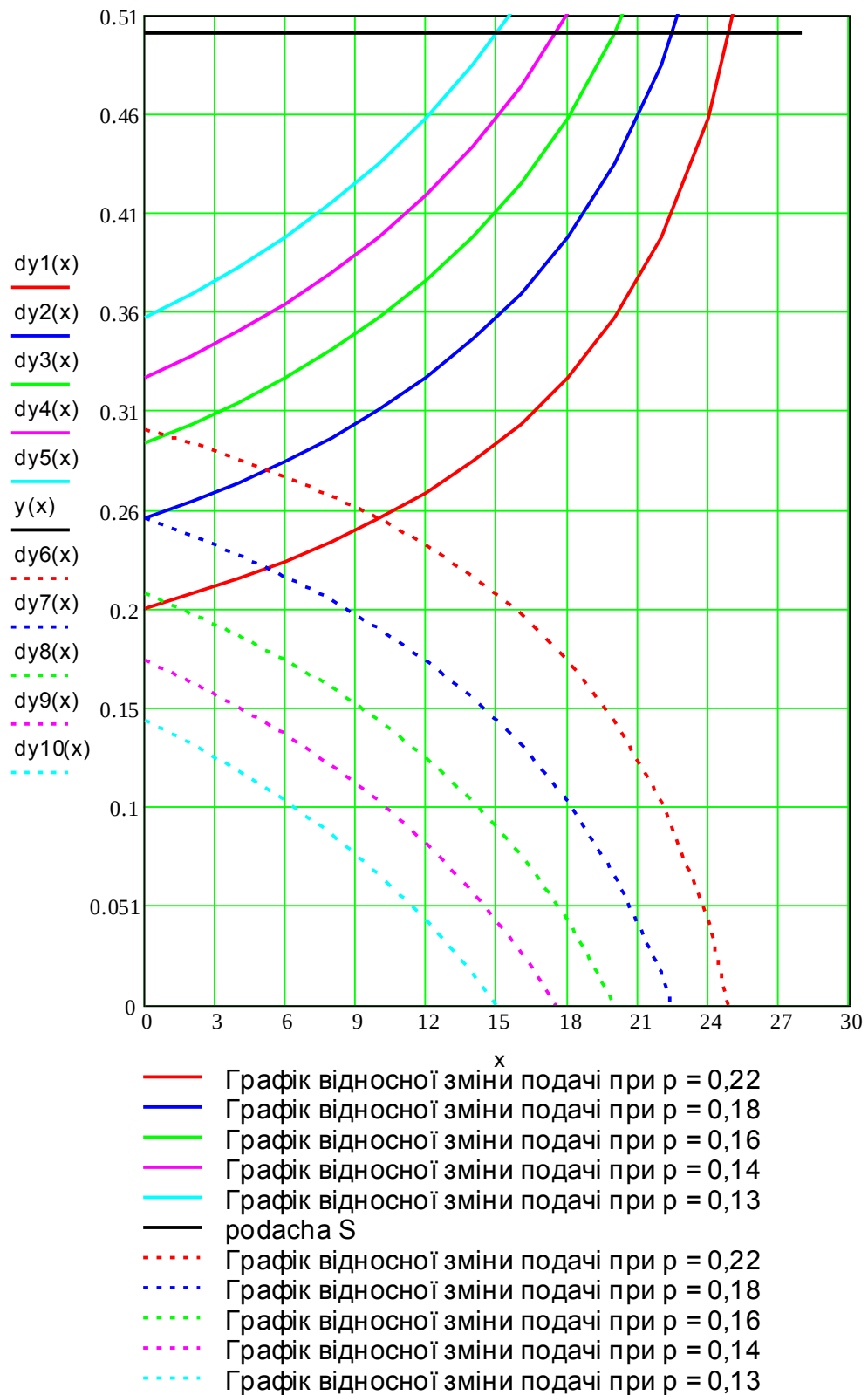


Рисунок 2.32 Графік дійсної змін величини відносної подачі заготовки в залежності від горизонтального переміщення клина.

3. ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі запропоновано конструкцію спеціального пристрою для дослідження впливу подачі, глибини різання на осьову та крутний момент при свердлінні. Даний пристрій забезпечує зміну подачі в процесі різання.

Проведено кінематичний розрахунок та зконструйовано коробку швидкостей лінії приводу головного руху вертикального-свердлильного верстата.

Здійснено обробку та аналіз експериментальних даних.

3.1. Опис конструкції свердлильного динамометра

Свердлильний динамометр призначений для вимірювання осьової сили P_o та визначення крутного моменту $M_{кр}$. при свердлінні отвору $d=12$ мм при довжині свердління $l=30$ мм на свердлильному верстаті моделі 2Н118, 2Н125, 2Н135 при змінній подачі S .

3.2. Будова динамометра

Свердлильний динамометр рисунок 3.1 складається з клина 4 що кріпиться до пінолі 6 свердлильного верстата хомутиком 11, клин переміщається вздовж осі на довжину 30 мм з подачею $S=0,2$ мм; копіра 5, який підпружинюючись пружиною 9, має можливість переміщуватися у поперечному напрямку само ж місце контактування клина із копіром виконане під певним кутом, це спроектовано з тією метою, щоб надати можливість керувати копіром; втулки, в яку за допомогою болта фіксується заготовка, свою чергу в нижній частині втулки прикріплена кулька, яка дозволяє створювати навантаження на пластину 8, до якої під'єднаний

тензодатчик, визначаючий осьове навантаження. Прокручуванню втулки запобігає стакан, з'єднання з яким відбувається за допомогою шпонки, це дає можливість надати деталі переміщення вздовж осі і запобігти її прокручуванню в наслідок дії крутного моменту, за допомогою болтового з'єднання з пластиною 7, що має можливість вільно переміщуватися у вертикальному напрямку має тензодатчик, який забезпечує вимірювання крутного моменту. Сам же стакан має запобіжне кільце 3, яке не дозволяє зсунутися пластині з тензодатчиком, крім того стакан має видовження у вигляді вилки в якій за допомогою осі 2 може вільно обертатися циліндричний ролик 10. В даному випадку ролик служить перехідною ланкою між пристроєм фіксації деталі та механізмом зміни подачі.

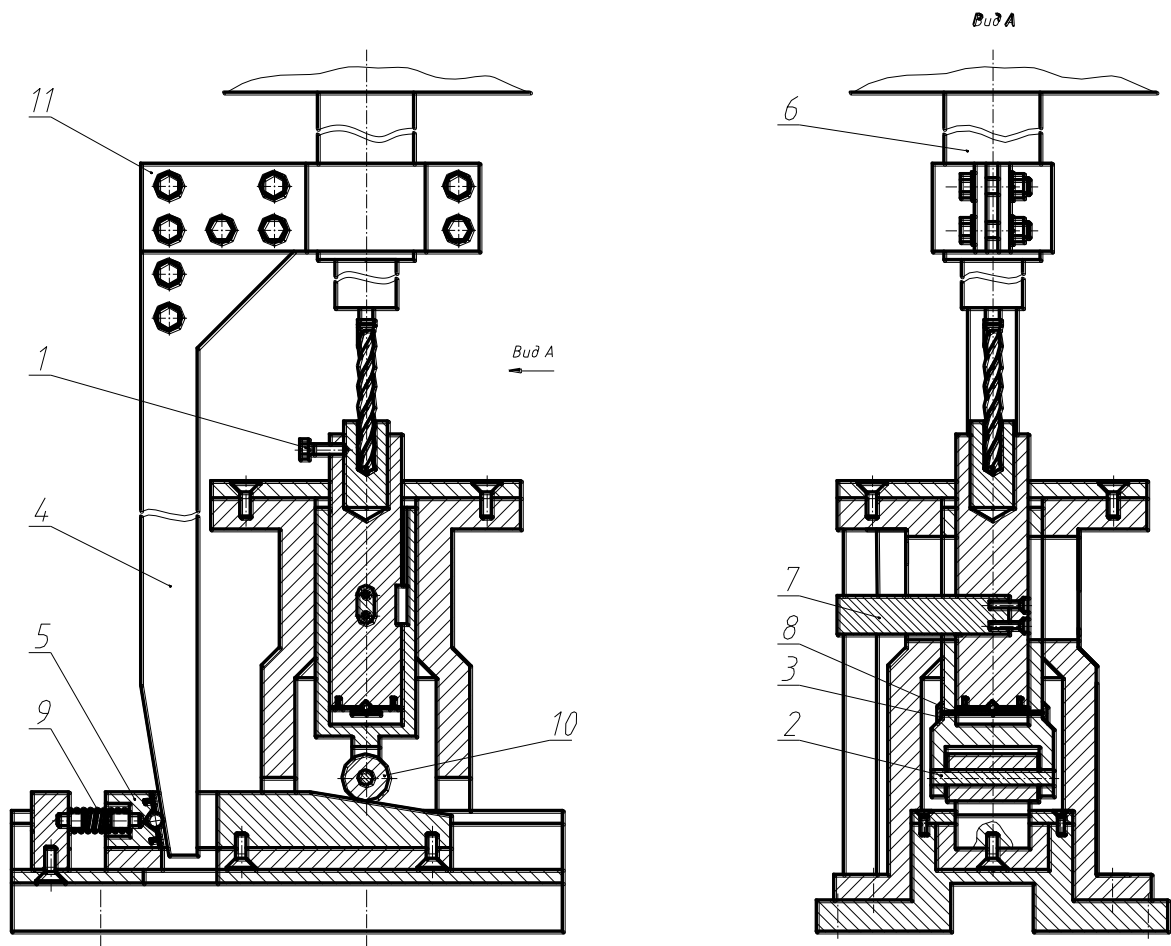


Рисунок 3.1 Будова свердлильного динамометра.

3.2.1 Принцип роботи динамометра при зменшенні подачі

Під час свердління отвору в деталі при подачі S відбувається переміщення пінолі із ріжучим інструментом – свердлом. Водночас із переміщенням пінолі відбувається і переміщення клина, жорстко з'єднаного з піноллю верстата за допомогою болтових з'єднань. За рахунок того, що клин підпружинюється пружиною, клин має можливість контактувати з копіром через кульку. Переміщаючись в осьовому напрямку клин тисне на копір і відсуває його, надаючи при цьому ролику переміщення вздовж осі у напрямку зверху вниз. В цей же час на ролик діє осьова сила, яка передається під час свердління на деталь від інструменту. Зменшення подачі відбувається за рахунок того, що під час свердління за допомогою клина відбувається відсування копіра на який тисне осьова сила з подачею S . В наслідок відсування копіру результуюча подача буде зменшуватися по закону згідно якого виконана поверхня контакту ролика з копіром або законом по якому створено поверхню контакту клина з копіром.

3.2.2 Принцип роботи динамометра при збільшенні подачі

При збільшенні подачі, під час свердління отвору в деталі при подачі S відбувається переміщення пінолі із ріжучим інструментом – свердлом аналогічно, як і при зменшенні подачі. Але різниця полягає в тому, що переміщаючись в осьовому напрямку клин тисне на копір і підсуває його до ролика, надаючи при цьому ролику переміщення вздовж осі у напрямку знизу вверх. В цей же час на ролик діє осьова сила, яка передається під час свердління на деталь від інструменту. Збільшення подачі відбувається за рахунок того, що під час свердління за допомогою клина відбувається підсування копіра на який тисне осьова сила з подачею S . В наслідок того, що копір підсувається до ролика подача буде збільшуватися по закону згідно

якого виконана поверхня контакту ролика з копіром або законом по якому створено поверхню контакту клина з копіром.

Принцип вимірювання осьової сили P_o і крутного моменту $M_{кр}$ відбувається однаково як при збільшенні подачі так і при її зменшенні. Вимірювання осьової сили P_o відбувається тензодатчиком, розташованим в нижній частині пластини 8, на яку передається саме зусилля в наслідок дії її на кульку. Вимірювання крутного моменту $M_{кр}$ відбувається також за рахунок тензодатчика, який приєднано до пластини 7, яка в свою чергу кріпиться до втулки різьбовим з'єднанням.

3.3. Будова і принцип роботи дротяного тензодатчика

Відомо, що точність вимірювання сил деформацій за допомогою дротяних датчиків омичного опору, на використанні яких і основана схема даного динамометра, тим вища, чим більше напруження деформація в пружному елементі, на який наклеєно датчик. Таким чином вибір оптимальної жорсткості пружних елементів залежить від потрібної чутливості і точності вимірювань в заданому діапазоні величин P_o і $M_{кр}$. Відповідно, для вимірювання діапазону вимірювальних зусиль необхідно мати можливість кожен раз встановлювати в динамометрі пружні елементи оптимальної жорсткості.

В нашому динамометрі така задача вирішена таким чином:

- пружну пластину до якої приклеєний датчик визначаючий осьову силу можна міняти так як вона знаходиться вільно і тільки фіксується запобіжним кільцем;
- пружну пластину до якої приклеєний датчик визначаючий крутний момент можна міняти оскільки вона прикручується за допомогою двох гвинтів.

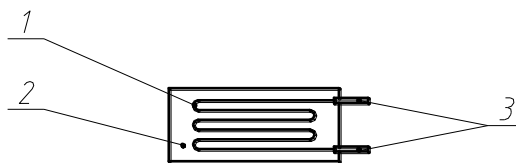


Рисунок 3.2 Дротяний тензодатчик

На рис. 3.2 зображено будову дротяного тензодатчика, який складається з дротяної решітки 1, паперу 2 і виводів 3. При деформації тензодатчика деформується дротяна решітка, яка при цьому змінює свій опір, а також і силу струму, який проходить через решітку.

Величина зміни струму тензодатчика залежить від сили, прикладеної до тензобалки і фіксується через підсилювач міліамперметрами.

3.4. Тарування свердлильного динамометра

Свердлильний динамометр встановлюється на столі свердлильного верстата і закріплюється чотирма болтами по пазам стола верстата таким чином, щоб свердло мало змогу точно попасти в деталь, попередньо зацентровану. До пінолі за допомогою маховичка кріпиться клин.

3.4.1 Навантаження динамометра

- створюють попередній натяг шляхом відсунення копіра саме в таку позицію, яка б дозволила під час проведення досліду забезпечити переміщення копіра, та забезпечити переміщення клина на довжину 30 мм;
- за допомогою плаваючих болтів закріплюється клин, створюючи попереднє навантаження;
- осьове навантаження, що створюється під час різання передається на чутливий тензодатчик, що сприймає зміни деформації тензобалки, яка

прогинається в наслідок дії осьового зусилля;

– крутний момент, що створюється під час різання передається на тензодатчик, приклеєний до змінної пружної пластини, впираючись в упор, пластини, що має виліт не має можливості прокручуватися, що призводить до прогину пластини, величина прогину фіксується тензодатчиком;

– в наслідок деформації пружних пластин як пластини призначеної для визначення осьової сили, так і крутного моменту, кожен з тензодатчиків змінює свій опір. Це викликає зміну струму в електричному колі тензостанції підсилювача. Цю зміну після її підсилення можна буде побачити на мікроамперметрі.

3.5. Кінематичний та конструкторський розрахунок лінії приводу головного руху вертикально-свердильного верстату

Розрахунок граничних режимів різання

Згідно заданого типорозміру верстату обираю найбільший діаметр свердління – 32 мм в якості оброблюваного матеріалу обираю сталь конструкційна. Механічні характеристики подано в розділі 1. Визначаємо швидкість різання при свердлінні:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v,$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{ev},$$

Де K_{mv} – коефіцієнт що враховує оброблюваний матеріал;

K_{uv} – коефіцієнт що враховує інструментальний матеріал,

$$K_{uv} = 1,15;$$

K_{lv} – коефіцієнт глибини свердління $K_{lv} = 0,6$.

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v},$$

$$K_r = 1, n_v = 0,9$$

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{730} \right)^{0,9} = 1$$

$$K_v = 1 \cdot 1,15 \cdot 0,6 = 0,7.$$

$$C_v = 9,8; q = 0,4; y = 0,5; m = 0,2; T = 35 \text{ хв}; s = 0,58 \text{ об/хв}.$$

$$V_p = \frac{9,8 \cdot 35^{0,4}}{35^{0,2} \cdot 0,58^{0,5}} \cdot 0,7 \approx 18,3 \text{ м/хв}.$$

Визначаємо крутний момент:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n,$$

$$n = 0,75;$$

$$K_p = \left(\frac{730}{750} \right)^{0,75} = 0,98.$$

$$C_m = 0,0345; q = 2,0; y = 0,8.$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 35^2 \cdot 0,58^{0,8} \cdot 0,98 = 267,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Визначаємо ефективну потужність:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750},$$

Де n – частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 18,3}{3,14 \cdot 35} \approx 166,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Приймаємо $n_{ст} = 160 \text{ мин}^{-1}$, тоді

$$N_e = \frac{267,9 \cdot 160}{9750} = 4,4 \text{ кВт}.$$

Потужність електродвигуна N_3 , кВт:

$$N_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{\eta},$$

Де η – ККД Верстату;

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^4 \cdot \eta_3^3.$$

Де η_1 – ККД пружної муфти, $\eta_1=0,98$;

η_2 – ККД пари підшипників кочення, $\eta_2=0,995$;

η_3 – ККД прямозубих зубчатих коліс, $\eta_3=0,96$;

$$\eta = 0,98 \cdot 0,995^4 \cdot 0,96^3 = 0,84.$$

$$N_{\phi} = \frac{4,4}{0,84} = 5,2 \text{ кВт.}$$

Приймаємо асинхронний електро двигун АИР112М4.

$$N_{\text{дв}} = 5,6 \text{ кВт};$$

$$n_{\text{дв}} = 1430 \text{ хв}^{-1}.$$

Кінематичний розрахунок коробки швидкостей

Вихідні дані для розрахунків:

Кількість ступенів $Z=17$; Мінімальна частота обертання шпинделя

$$n_{\min} = 160 \text{ хв}^{-1};$$

Знаменник геометричного ряду $\phi=1,26$.

Будуємо структурну формулу в розгорнутому виді:

$$z = P_a(x_1) \cdot P_b(x_2) \cdot \dots \cdot P_m(x_m),$$

де $P_a \dots P_m$ – кількість передач частот обертання в груповій передачі;

$x_1 \dots x_n$ – Характеристика відповідних групових передач.

формула

$$Z = 3_1 \cdot 3_3 \cdot 2_8.$$

Будуємо структурну сітку.

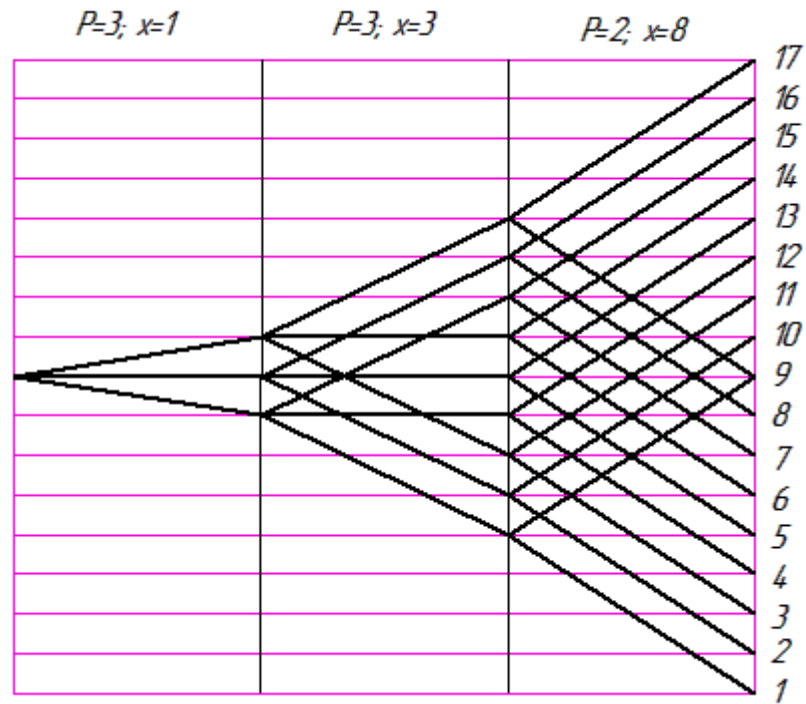


Рисунок 3.3. Структурна сітка

Виходячи з $n_{\min}=160 \text{ хв}^{-1}$ і знаменника геометричного ряду $\varphi=1,26$, визначаємо частоти обертання шпинделя для кожної ступені регулювання по формулі:

$$n_z = n_{z-1} \cdot \varphi$$

$$n_1 = 160 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_2 = 160 \cdot 1,26 = 202 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_3 = 201,6 \cdot 1,26 = 254 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_4 = 254 \cdot 1,26 = 320 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_5 = 320 \cdot 1,26 = 403 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_6 = 403 \cdot 1,26 = 508 \text{ хв}^{-1},$$

$$n_7 = 508 \cdot 1,26 = 640 \text{хв}^{-1},$$

$$n_8 = 640 \cdot 1,26 = 806 \text{хв}^{-1},$$

$$n_9 = 806 \cdot 1,26 = 1016 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{10} = 1016 \cdot 1,26 = 1280 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{11} = 1280 \cdot 1,26 = 1613 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{12} = 1613 \cdot 1,26 = 2032 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{13} = 2032 \cdot 1,26 = 2560 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{14} = 2560 \cdot 1,26 = 3226 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{15} = 3226 \cdot 1,26 = 4065 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{16} = 4065 \cdot 1,26 = 5122 \text{хв}^{-1},$$

$$n_{17} = 5122 \cdot 1,26 = 6454 \text{хв}^{-1}.$$

Отримані значення частот обертання округляємо до стандартних величин та зводимо в таблицю:

Таблиця 3.1 – Частоти обертання

n_i	Значення
$n_1=160 \text{хв}^{-1}$	
$n_2=200 \text{хв}^{-1}$	
$n_3=250 \text{хв}^{-1}$	
$n_4=315 \text{хв}^{-1}$	
$n_5=400 \text{хв}^{-1}$	

$n_6=500 \times \text{хв}^{-1}$
$n_7=630 \times \text{хв}^{-1}$
$n_8=800 \times \text{хв}^{-1}$
$n_9=1000 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{10}=1250 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{11}=1600 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{12}=2000 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{13}=2500 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{14}=3150 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{15}=4000 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{16}=5000 \times \text{хв}^{-1}$
$n_{17}=6300 \times \text{хв}^{-1}$

Будуємо графік частот обертання, вибираючи i – те передавальне відношення дотримуючись умови: $1/4 \leq i \leq 2$.

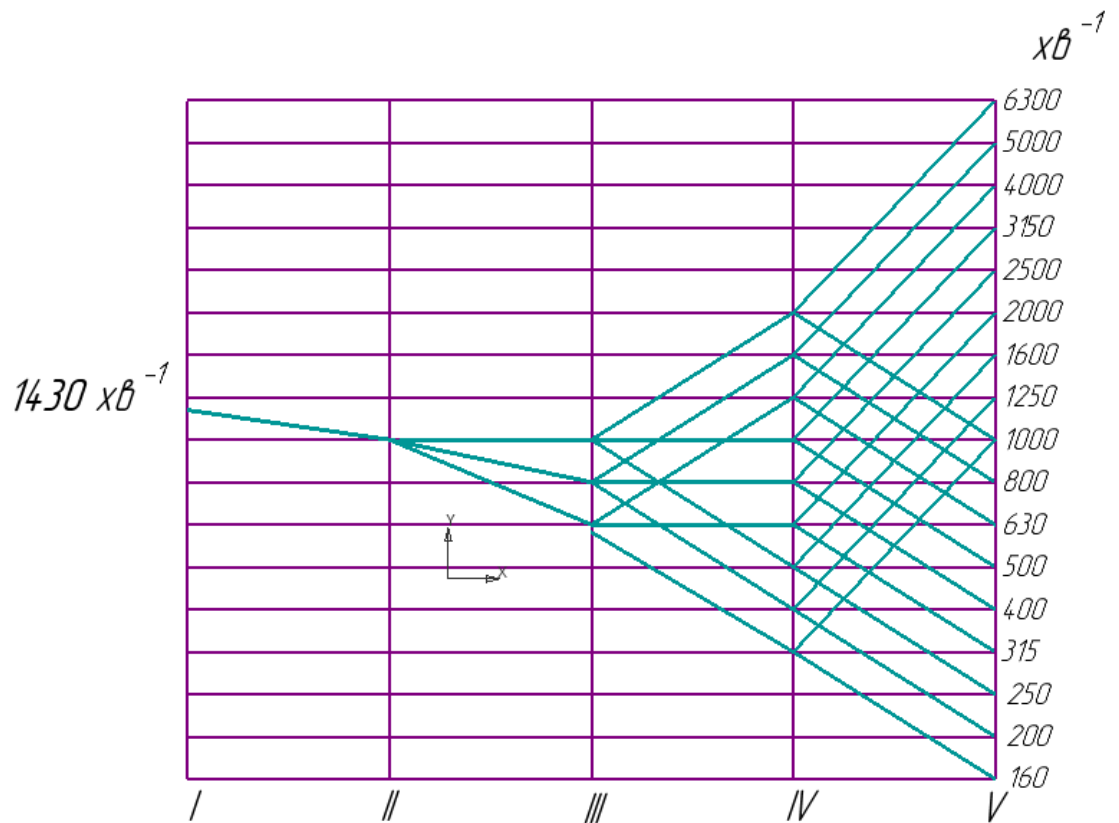


Рисунок 3.4 – Графік частот обертання

По графіку частот обертання знаходимо передаточне відношення всіх передач :

$$i = \varphi^{+m},$$

де m – число інтервалів, на які піднімається (+) або опускається (-) передача:

$$i_0 = \frac{6300}{1430} = 4,4$$

Для зубчастих передач:

$$i_1 = \varphi^0 = 1,$$

$$i_2 = \frac{1}{\varphi^1} = 0,794,$$

$$i_3 = \frac{1}{\varphi^2} = 0,63,$$

$$i_4 = \varphi^3 = 2,$$

$$i_5 = \varphi^0 = 1,$$

$$i_6 = \frac{1}{\varphi^3} = 0,5,$$

$$i_7 = \varphi^4 = 2,52,$$

$$i_8 = \frac{1}{\varphi^4} = 0,397.$$

На основі графіка частот обертання складаємо спрощену кінематичну схему коробки швидкості:

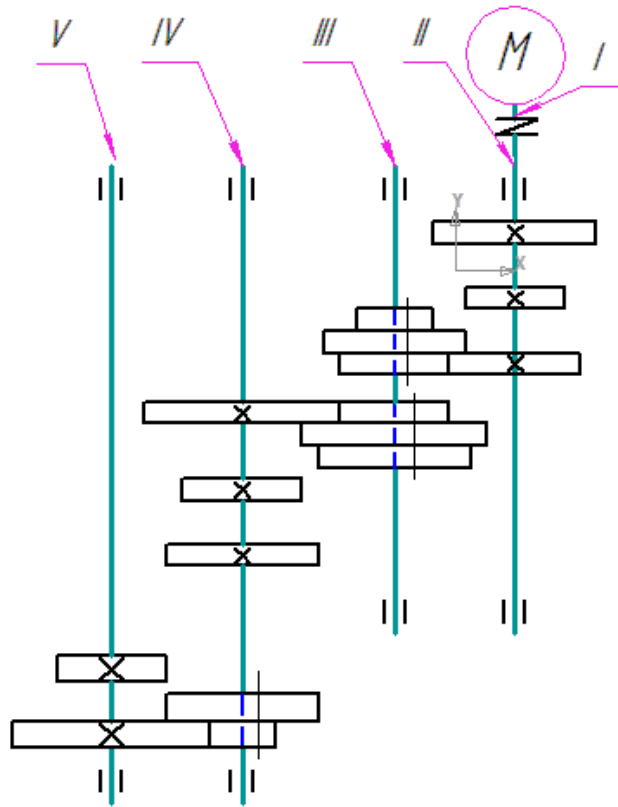


Рисунок 3.5 – Спрощена кінематична схема коробки швидкості

За визначеними передаточними відношеннями визначаємо число зубів коліс. Результати показуємо у вигляді таблиці.

Таблиця 3.2 – Результати підбору числа зубів коліс

Позначення колеса	Передаточне число	Число зубів колеса	Сума зубів в передачі
z_1	1	53	106
z_2		53	
z_3	0,794	47	
z_4		59	
z_5	0,63	41	

z_6		65	
z_7	2	76	114
z_8		38	
z_9	1	57	
z_{10}		57	
z_{11}	0,5	38	
z_{12}		76	
z_{13}	2,52	96	134
z_{14}		38	
z_{17}	0,397	38	
z_{18}		96	

Отримані значення числа зубів не є остаточними і можуть редагуватися в процесі виконання подальших розрахунків та побудови креслень.

Розробка конструкції приводу та розрахунок

Кінематичний розрахунок приводу

Розрахунок проводимо за методом запропонованим в [3].

Розрахункову частоту обертання шпинделя $n_{\text{расч}}, \text{хв}^{-1}$ визначається за формулою:

$$n_{\text{розр}} = n_{\text{min}} \sqrt[4]{\frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}},$$

де n_{min} – мінімальна частота обертання шпинделя;

n_{max} – максимальна частота обертання шпинделя;

$$n_{\text{розрах}} = 160 \sqrt[4]{\frac{6300}{160}} = 400,8 \text{ мин}^{-1}$$

Приймаємо в якості розрахункової частоти стандартну найближчу частоту обертання шпинделя $n_{\text{розр}}=400\text{хв}^{-1}$.

За графіком обертань визначаємо частоти кожного вала n_i , хв^{-1}

$$n_I = n_{\text{дв}} = 1430\text{хв}^{-1},$$

$$n_{II} = 1250\text{хв}^{-1},$$

$$n_{III} = 1000\text{хв}^{-1},$$

$$n_{IV} = 1000\text{хв}^{-1}.$$

$$n_V = 400\text{хв}^{-1}.$$

Визначаємо потужність на валах N_i , кВт за формулою:

$$N_i = N_{i-1} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3,$$

де N_{i-1} – потужність на попередньому валі, кВт;

η_1 – ККД пари кочення підшипників, $\eta_1=0,995$;

η_2 – ККД прямозубих циліндричних коліс, $\eta_2=0,96$;

η_3 – ККД муфти, $\eta_3=0,98$;

$$N_{II} = N_I \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 5,6 \cdot 0,995 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 5,2\text{кВт},$$

$$N_{III} = N_{II} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 5,2 \cdot 0,995 \cdot 0,96 = 5\text{кВт},$$

$$N_{IV} = N_{III} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 5 \cdot 0,995 \cdot 0,96 = 4,8\text{кВт},$$

$$N_V = N_{IV} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 4,8 \cdot 0,995 \cdot 0,96 = 4,6\text{кВт}.$$

Знаходимо обертаючі моменти на валах T_i , $\text{Н} \cdot \text{м}$ за формулою:

$$T_i = 9550 \frac{N_i}{n_i},$$

де N_i – потужність на i -ом валу, кВт;

n_i – частота обертання i -го вала, хв^{-1} .

$$T_2 = 9550 \frac{5,2}{1250} = 39,7\text{Н} \cdot \text{м},$$

$$T_3 = 9550 \frac{5}{1000} = 47,8 H \cdot m,$$

$$T_4 = 9550 \frac{4,8}{1000} = 45,8 H \cdot m,$$

$$T_5 = 9550 \frac{4,6}{400} = 109,8 H \cdot m.$$

Розрахунок зубчастих передач

Вибір матеріалів и термообробки

Як матеріал для виготовлення усіх зубчастих коліс приймаємо сталь 40X за ДСТУ 7806, з термообробкою - загартування та високий відпуск (35...40 HRC). Обробка зубчастого вінця включає низький відпуск (50...52 HRC). Механічні властивості матеріалу:

- для колеса: $\sigma_B = 1600$ МПа, $\sigma_T = 1400$ МПа, 480HB (50HRC)
- для шестерні: $\sigma_B = 1600$ МПа, $\sigma_T = 1400$ МПа, 600HB (62HRC)

Визначення допустимого напруження

Допустиме контактне напруження для шестерні і колеса визначаємо за формулою:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} \cdot K_{HL},$$

де $\sigma_{H \lim b}$, МПа – базовий ліміт контактої стійкості зубів, визначений для шестерні і колеса:

$$\sigma_{H \lim bu} = 17 \cdot HRC + 200 = 17 \cdot 62 + 200 = 1254 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{H \lim b\kappa} = 17 \cdot HRC + 200 = 17 \cdot 50 + 200 = 1050 \text{ МПа},$$

$S_H = 1,2$ – коефіцієнт безпеки для зубчастих коліс з поверхневим зміцненням зубів;

K_{HL} – коефіцієнт довговічності,

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}},$$

де $N_{HO} = 30 \cdot HB^{2.4} = 30 \cdot 480^{2.4} = 8 \cdot 10^7$ – базове число циклів навантаження;

$N_{HE} = 60 \cdot n_T \cdot t_h$ – еквівалентна кількість циклів зміни напружень, при:

$n_T = 160 \text{ мин}^{-1}$ – частота обертання тихохідного валу,

$t_h = L \cdot 365 \cdot K_{\text{год}} \cdot 24 \cdot K_{\text{сут}} = 5 \cdot 365 \cdot 0,6 \cdot 24 \cdot 0,3 = 7884 \text{ год}$ – кількість годин роботи

передачі розрахункового терміну служби,

где $K_{\text{год}}$, $K_{\text{сут}}$ – коефіцієнт використання передачі за рік і за добу,

L , год – термін служби;

$N_{HE} = 60 \cdot n_T \cdot t_h = 60 \cdot 160 \cdot 7884 = 7,6 \cdot 10^7$;

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{8 \cdot 10^7}{7,6 \cdot 10^7}} = 1.$$

Допустиме контактне напруження для колеса буде:

$$\sigma_{H\text{PK}} = \frac{\sigma_{H\text{limb}}}{S_H} \cdot K_{HL} = \frac{1050}{1,2} \cdot 1 = 875 \text{ МПа}.$$

Оскільки передача є прямозубою, подальший розрахунок ми будемо проводити з використанням $\sigma_{H\text{PK}} = \sigma_{HP} = 875 \text{ МПа}$.

Допустиме напруження вигину колеса и шестерні визначаємо за формулою:

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F\text{limb}}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL},$$

де $\sigma_{F\limb}$ – базова межа витривалості зубів при згині, визначений для шестерні і колеса;

$K_{FL} = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує вплив двостороннього застосування навантаження (для $HV > 350$ і реверсивної передачі);

$S_F = 2$ – коефіцієнт безпеки;

K_{FL} – коефіцієнт довговічності, враховуючи вплив терміну служби і режиму навантаження (аналогічно K_{HL} приймається $K_{FL} = 1$), при базовому числі циклів зміни напружень ($N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ – для сталі).

Тоді допустимі напруження вигину колеса складуть:

$$\sigma_{FPu} = \frac{\sigma_{F\limb}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} = \frac{1254}{2} \cdot 0,8 \cdot 1 = 501,6 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{FPK} = \frac{\sigma_{F\limb}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} = \frac{1050}{2} \cdot 0,8 \cdot 1 = 420 \text{ МПа}.$$

Визначення розмірів передач і зубчастих коліс

Орієнтоване значення міжосьової відстані для більш навантаженої пари передач z_{17} - z_{18} визначаємо за формулою:

$$a_1 = K_a (U_8 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_5 \cdot K_{H\beta}}{U_8^2 \cdot \varphi_{ba} \sigma_{HP}^2}};$$

де $K_a = 490$,

$K_{H\beta} = 1,1$ – вибираємо по графіку в залежності від φ_{bd}

$$\varphi_{ba} = \frac{2 \cdot \varphi_{bd}}{(u + 1)} = \frac{2 \cdot 0,2}{(0,397 + 1)} = 0,3.$$

$T_5 = 109,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$

$$a = 490 \cdot (0,397 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{109,8 \cdot 1,1}{0,397^2 \cdot 0,3 \cdot 875^2}} = 102,3 \text{ мм.}$$

Визначаємо модуль, припускаючи, що він однаковий для обох пар коліс:

$$m = 2a / z_{\Sigma},$$

де z_{Σ} – сума зубів коліс,

a – міжосьова відстань,

$$m = \frac{2 \cdot 102,3}{134} = 1,5.$$

За [10] приймаємо модуль $m = 1,5$.

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$a = \frac{m \cdot z_{\Sigma}}{2} = \frac{1,5 \cdot 134}{2} = 100,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо розміри вінців коліс.

Ділильні діаметри:

$$d = m \cdot z;$$

$$d_{z13} = m \cdot z_1 = 1,5 \cdot 96 = 144 \text{ мм};$$

$$d_{z14} = m \cdot z_2 = 1,5 \cdot 38 = 57 \text{ мм};$$

$$d_{z15} = m \cdot z_3 = 1,5 \cdot 38 = 57 \text{ мм};$$

$$d_{z16} = m \cdot z_4 = 1,5 \cdot 96 = 144 \text{ мм.}$$

Діаметри вершин:

$$\begin{aligned}
 d_a &= d_z + 2 \cdot m; \\
 d_{a13} &= d_{z13} + 2 \cdot m = 144 + 2 \cdot 1,5 = 147 \text{ мм}; \\
 d_{a14} &= d_{z14} + 2 \cdot m = 57 + 2 \cdot 1,5 = 60 \text{ мм}; \\
 d_{a15} &= d_{z17} + 2 \cdot m = 57 + 2 \cdot 1,5 = 60 \text{ мм}; \\
 d_{a16} &= d_{z18} + 2 \cdot m = 144 + 2 \cdot 1,5 = 147 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Діаметри западин:

$$\begin{aligned}
 d_f &= d_z - 2,5 \cdot m; \\
 d_{f13} &= d_{z13} - 2,5 \cdot m = 144 - 2,5 \cdot 1,5 = 140,25 \text{ мм}; \\
 d_{f14} &= d_{z14} - 2,5 \cdot m = 57 - 2,5 \cdot 1,5 = 53,25 \text{ мм}; \\
 d_{f15} &= d_{z17} - 2,5 \cdot m = 57 - 2,5 \cdot 1,5 = 53,25 \text{ мм}; \\
 d_{f16} &= d_{z18} - 2,5 \cdot m = 144 - 2,5 \cdot 1,5 = 140,25 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Ширина вінців коліс:

$$\begin{aligned}
 b_\omega &= \phi_{ba} \cdot a; \\
 b_\omega &= 0,3 \cdot 100,5 = 30 \text{ мм}.
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

приймаємо ширину колеса $b_k = 30 \text{ мм}$;

ширину шестерні $b_{ш} = 33 \text{ мм}$.

Аналогічно визначаємо геометричні параметри решти зубчастих передач цієї та наступних груп.

3.6 Проведення експерименту, обробка та аналіз експериментальних даних

Для цього поставимо обернену задачу а саме:

1. Проводимо експеримент на свердлильному верстаті. Проводиться

свердління отвору на глибину 30 мм двадцятьма різними свердлами при одних і тих самих режимах різання і фіксуються покази самописця динамометру.

Задамо закон по якому буде відбуватися падіння подачі – пряма рис. 3.6 , що має координати А 0;0,5 та В 30;0,05 .

В наслідок проведення експерименту на самописці було побудовано двадцять графіків представлено тільки 16 графіків . Графіки представлені на рис. 3.6

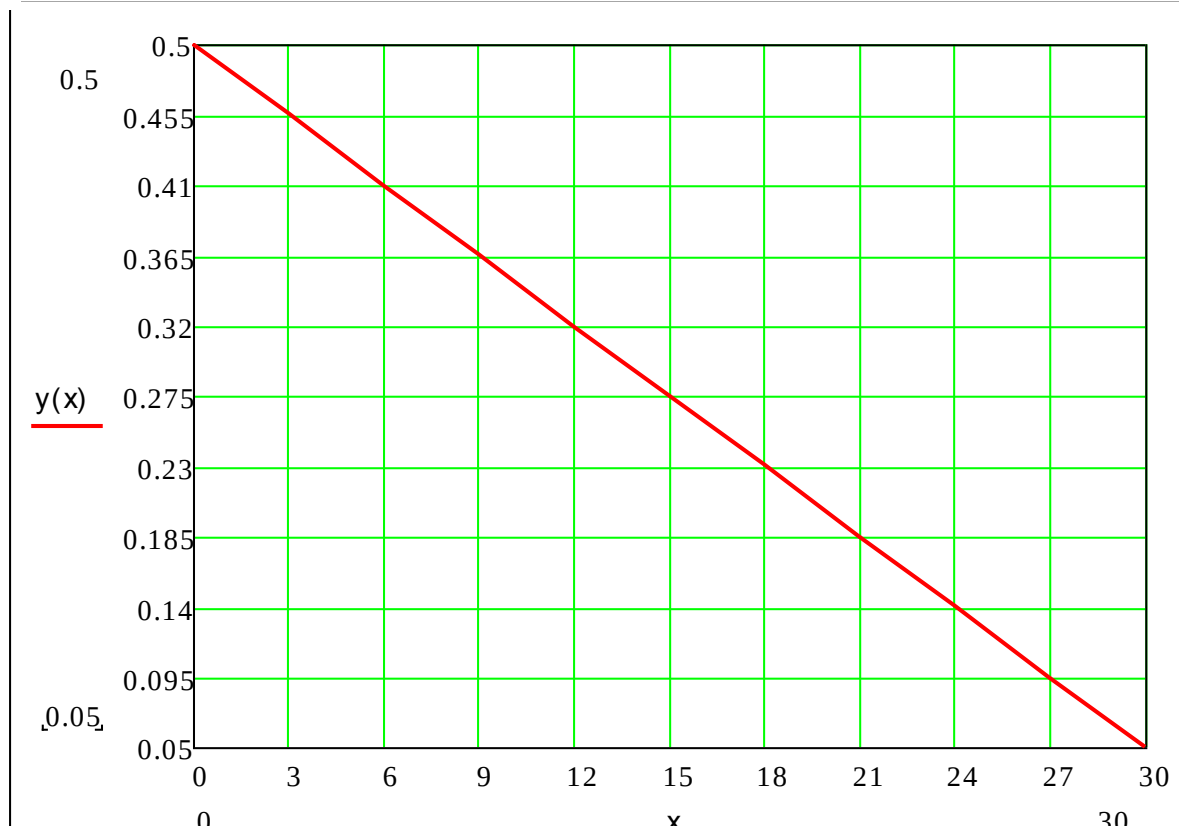


Рисунок 3.6 Графік спадання подачі при вимірюванні осьової сили.

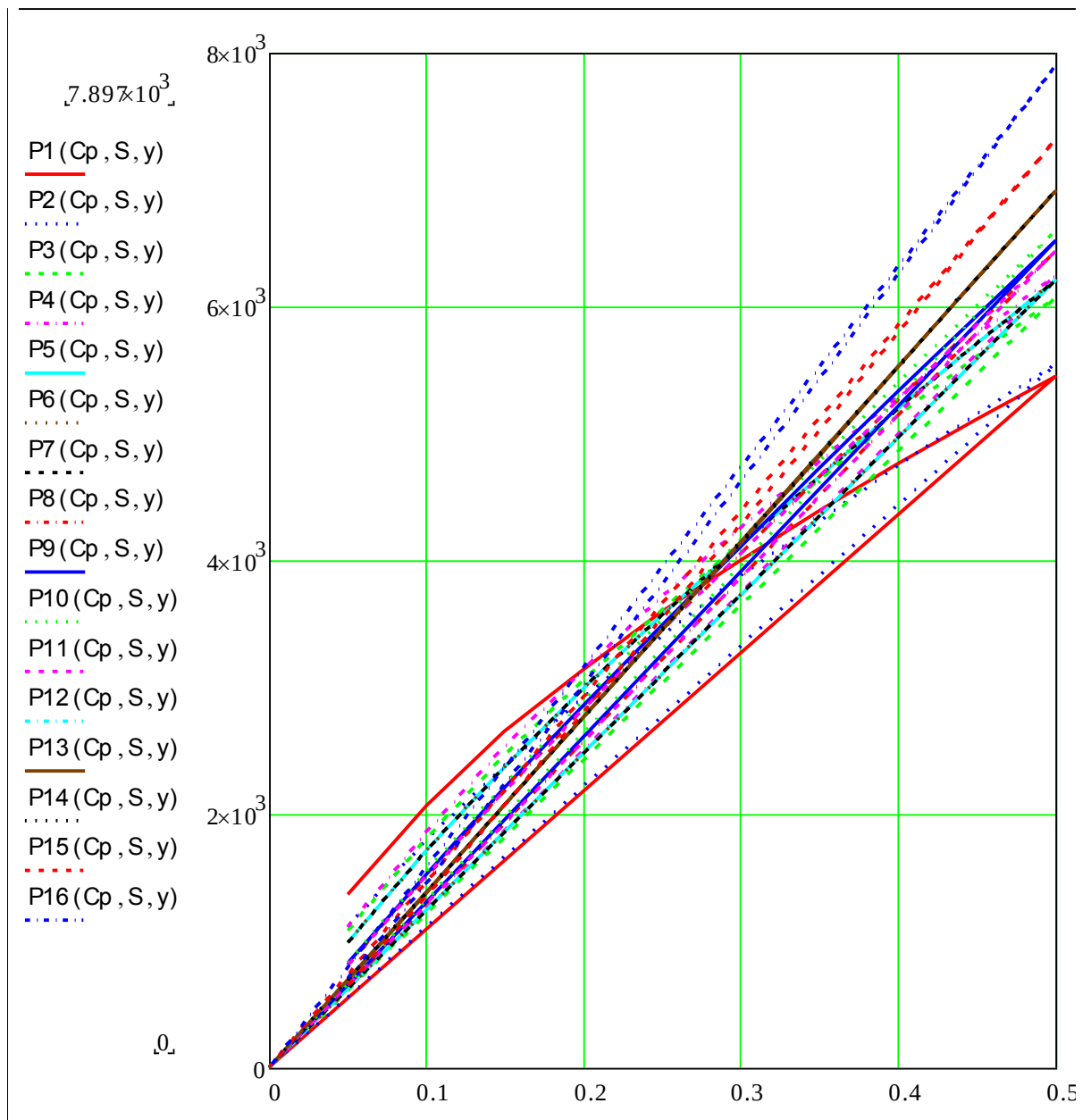


Рисунок 3.7 Покази самописця, одержані в наслідок проведення експерименту.

В кожному січенні 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 подачі проведемо розрахунок осьової сили для кожного з графіків:

$$P1(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_1 \cdot D^q \cdot (S)^{y_1}$$

$$P11(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{11} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{11}}$$

$$P2(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_2 \cdot D^q \cdot (S)^{y_2}$$

$$P12(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{12} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{12}}$$

$$P3(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_3 \cdot D^q \cdot (S)^{y_3}$$

$$P13(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{13} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{13}}$$

$$P4(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_4 \cdot D^q \cdot (S)^{y_4}$$

$$P14(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{14} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{14}}$$

$$P5(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_5 \cdot D^q \cdot (S)^{y_5}$$

$$P15(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{15} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{15}}$$

$$P6(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_6 \cdot D^q \cdot (S)^{y_6}$$

$$P16(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{16} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{16}}$$

$$P7(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_7 \cdot D^q \cdot (S)^{y_7}$$

$$P17(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{17} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{17}}$$

$$P8(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_8 \cdot D^q \cdot (S)^{y_8}$$

$$P18(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{18} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{18}}$$

$$P9(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_9 \cdot D^q \cdot (S)^{y_9}$$

$$P19(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{19} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{19}}$$

$$P10(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{10} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{10}}$$

$$P20(Cp, S, y) := 10 \cdot Cp_{20} \cdot D^q \cdot (S)^{y_{20}}$$

Одержимо наступні розрахункові значення осьової сили в кожному із січень:

	1
1	$1.367 \cdot 10^3$
2	$2.072 \cdot 10^3$
3	$2.643 \cdot 10^3$
4	$3.141 \cdot 10^3$
5	$3.591 \cdot 10^3$
6	$4.006 \cdot 10^3$
7	$4.394 \cdot 10^3$
8	$4.761 \cdot 10^3$
9	$5.11 \cdot 10^3$
10	$5.443 \cdot 10^3$

	1
1	$1.105 \cdot 10^3$
2	$1.796 \cdot 10^3$
3	$2.385 \cdot 10^3$
4	$2.917 \cdot 10^3$
5	$3.41 \cdot 10^3$
6	$3.875 \cdot 10^3$
7	$4.316 \cdot 10^3$
8	$4.739 \cdot 10^3$
9	$5.146 \cdot 10^3$
10	$5.54 \cdot 10^3$

P3(Cp,S,y) =

	1
1	$1.079 \cdot 10^3$
2	$1.814 \cdot 10^3$
3	$2.458 \cdot 10^3$
4	$3.051 \cdot 10^3$
5	$3.606 \cdot 10^3$
6	$4.135 \cdot 10^3$
7	$4.641 \cdot 10^3$
8	$5.13 \cdot 10^3$
9	$5.604 \cdot 10^3$
10	$6.065 \cdot 10^3$

P4(Cp,S,y) =

	1
1	$1.11 \cdot 10^3$
2	$1.867 \cdot 10^3$
3	$2.531 \cdot 10^3$
4	$3.14 \cdot 10^3$
5	$3.712 \cdot 10^3$
6	$4.256 \cdot 10^3$
7	$4.778 \cdot 10^3$
8	$5.281 \cdot 10^3$
9	$5.769 \cdot 10^3$
10	$6.243 \cdot 10^3$

P5(Cp,S,y) =

	1
1	983.105
2	$1.712 \cdot 10^3$
3	$2.368 \cdot 10^3$
4	$2.98 \cdot 10^3$
5	$3.563 \cdot 10^3$
6	$4.122 \cdot 10^3$
7	$4.663 \cdot 10^3$
8	$5.189 \cdot 10^3$
9	$5.702 \cdot 10^3$
10	$6.203 \cdot 10^3$

P6(Cp,S,y) =

	1
1	983.105
2	$1.712 \cdot 10^3$
3	$2.368 \cdot 10^3$
4	$2.98 \cdot 10^3$
5	$3.563 \cdot 10^3$
6	$4.122 \cdot 10^3$
7	$4.663 \cdot 10^3$
8	$5.189 \cdot 10^3$
9	$5.702 \cdot 10^3$
10	$6.203 \cdot 10^3$

P7(Cp,S,y) =

	1
1	983.105
2	$1.712 \cdot 10^3$
3	$2.368 \cdot 10^3$
4	$2.98 \cdot 10^3$
5	$3.563 \cdot 10^3$
6	$4.122 \cdot 10^3$
7	$4.663 \cdot 10^3$
8	$5.189 \cdot 10^3$
9	$5.702 \cdot 10^3$
10	$6.203 \cdot 10^3$

P8(Cp,S,y) =

	1
1	809.57
2	$1.511 \cdot 10^3$
3	$2.176 \cdot 10^3$
4	$2.819 \cdot 10^3$
5	$3.446 \cdot 10^3$
6	$4.061 \cdot 10^3$
7	$4.665 \cdot 10^3$
8	$5.261 \cdot 10^3$
9	$5.849 \cdot 10^3$
10	$6.431 \cdot 10^3$

P9(Cp,S,y) =

	1
1	819.689
2	$1.53 \cdot 10^3$
3	$2.203 \cdot 10^3$
4	$2.854 \cdot 10^3$
5	$3.489 \cdot 10^3$
6	$4.111 \cdot 10^3$
7	$4.723 \cdot 10^3$
8	$5.326 \cdot 10^3$
9	$5.922 \cdot 10^3$
10	$6.511 \cdot 10^3$

P10(Cp,S,y) =

	1
1	829.809
2	$1.548 \cdot 10^3$
3	$2.23 \cdot 10^3$
4	$2.89 \cdot 10^3$
5	$3.532 \cdot 10^3$
6	$4.162 \cdot 10^3$
7	$4.782 \cdot 10^3$
8	$5.392 \cdot 10^3$
9	$5.995 \cdot 10^3$
10	$6.591 \cdot 10^3$

P11(Cp,S,y) =

	1
1	809.57
2	$1.511 \cdot 10^3$
3	$2.176 \cdot 10^3$
4	$2.819 \cdot 10^3$
5	$3.446 \cdot 10^3$
6	$4.061 \cdot 10^3$
7	$4.665 \cdot 10^3$
8	$5.261 \cdot 10^3$
9	$5.849 \cdot 10^3$
10	$6.431 \cdot 10^3$

P12(Cp,S,y) =

	1
1	690
2	$1.38 \cdot 10^3$
3	$2.07 \cdot 10^3$
4	$2.76 \cdot 10^3$
5	$3.45 \cdot 10^3$
6	$4.14 \cdot 10^3$
7	$4.83 \cdot 10^3$
8	$5.52 \cdot 10^3$
9	$6.21 \cdot 10^3$
10	$6.9 \cdot 10^3$

P13(Cp,S,y) =

	1
1	690
2	$1.38 \cdot 10^3$
3	$2.07 \cdot 10^3$
4	$2.76 \cdot 10^3$
5	$3.45 \cdot 10^3$
6	$4.14 \cdot 10^3$
7	$4.83 \cdot 10^3$
8	$5.52 \cdot 10^3$
9	$6.21 \cdot 10^3$
10	$6.9 \cdot 10^3$

P14(Cp,S,y) =

	1
1	690
2	$1.38 \cdot 10^3$
3	$2.07 \cdot 10^3$
4	$2.76 \cdot 10^3$
5	$3.45 \cdot 10^3$
6	$4.14 \cdot 10^3$
7	$4.83 \cdot 10^3$
8	$5.52 \cdot 10^3$
9	$6.21 \cdot 10^3$
10	$6.9 \cdot 10^3$

P15(Cp,S,y) =

	1
1	652.125
2	$1.35 \cdot 10^3$
3	$2.067 \cdot 10^3$
4	$2.796 \cdot 10^3$
5	$3.534 \cdot 10^3$
6	$4.279 \cdot 10^3$
7	$5.031 \cdot 10^3$
8	$5.789 \cdot 10^3$
9	$6.551 \cdot 10^3$
10	$7.317 \cdot 10^3$

P16(Cp,S,y) =

	1
1	703.779
2	$1.457 \cdot 10^3$
3	$2.231 \cdot 10^3$
4	$3.017 \cdot 10^3$
5	$3.814 \cdot 10^3$
6	$4.618 \cdot 10^3$
7	$5.43 \cdot 10^3$
8	$6.247 \cdot 10^3$
9	$7.07 \cdot 10^3$
10	$7.897 \cdot 10^3$

P17(Cp,S,y) =

	1
1	710.236
2	$1.471 \cdot 10^3$
3	$2.251 \cdot 10^3$
4	$3.045 \cdot 10^3$
5	$3.849 \cdot 10^3$
6	$4.661 \cdot 10^3$
7	$5.48 \cdot 10^3$
8	$6.304 \cdot 10^3$
9	$7.134 \cdot 10^3$
10	$7.969 \cdot 10^3$

P18(Cp,S,y) =

	1
1	535.951
2	$1.189 \cdot 10^3$
3	$1.896 \cdot 10^3$
4	$2.639 \cdot 10^3$
5	$3.411 \cdot 10^3$
6	$4.207 \cdot 10^3$
7	$5.023 \cdot 10^3$
8	$5.857 \cdot 10^3$
9	$6.707 \cdot 10^3$
10	$7.571 \cdot 10^3$

P19(Cp,S,y) =

	1
1	540.736
2	$1.2 \cdot 10^3$
3	$1.913 \cdot 10^3$
4	$2.663 \cdot 10^3$
5	$3.442 \cdot 10^3$
6	$4.245 \cdot 10^3$
7	$5.068 \cdot 10^3$
8	$5.909 \cdot 10^3$
9	$6.767 \cdot 10^3$
10	$7.638 \cdot 10^3$

P20(Cp,S,y) =

	1
1	494.352
2	$1.136 \cdot 10^3$
3	$1.847 \cdot 10^3$
4	$2.609 \cdot 10^3$
5	$3.41 \cdot 10^3$
6	$4.244 \cdot 10^3$
7	$5.107 \cdot 10^3$
8	$5.994 \cdot 10^3$
9	$6.904 \cdot 10^3$
10	$7.835 \cdot 10^3$

2. Склавши систему рівнянь із січенням 0,05 і 0,1 відносно осьової сили

наприклад $\begin{cases} P_{11} = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^{y_{11}} \\ P_{10} = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^{y_{10}} \end{cases}$ і розв'язавши її відносно показника степені

у отримаємо наступне рівняння:

3.

$$y_{0.05} := \frac{\log(P_{11}) - \log(P_{10})}{\log(S_{11}) - \log(S_{10})}$$

Аналогічним чином розв'язується рівняння відносно C_p .

В наслідок проведення розрахунків було одержано двадцять значень y та C_p для кожної кривої:

$y_j :=$	$C_{pj} :=$
0.6	55
0.7	60
0.75	68
0.75	70
0.8	72
0.8	72
0.8	72
0.9	80
0.9	81
0.9	82
0.9	80
1.0	92
1.0	92
1.0	92
1.05	101
1.05	109
1.05	110
1.15	112
1.15	113
1.2	120

4. Розрахувавши середні значення, дисперсію одержимо:

$$n := 20$$

$$y_s := \frac{\sum_j y_j}{n}$$

$$C_{ps} := \frac{\sum_j C_{pj}}{n}$$

$$Y_j := (y_j - y_s)^2$$

$$(C_{p0j}) := (C_{pj} - C_{ps})^2$$

$$Y_j =$$

0.104
0.05
0.03
0.03
0.015
0.015
0.015
$5.062 \cdot 10^{-4}$
$5.062 \cdot 10^{-4}$
$5.062 \cdot 10^{-4}$
$5.062 \cdot 10^{-4}$
$6.006 \cdot 10^{-3}$
$6.006 \cdot 10^{-3}$
$6.006 \cdot 10^{-3}$
0.016
0.016
0.016
0.052
0.052
0.077

$$(C_{p0j}) =$$

$1.002 \cdot 10^3$
710.223
347.823
277.223
214.623
214.623
214.623
44.223
31.923
21.623
44.223
28.622
28.622
28.622
205.922
499.522
545.222
642.622
694.322
$1.112 \cdot 10^3$

$$y_s = 0.922$$

$$C_{ps} = 86.65$$

Отже, як видно одержанні значення $y=0.922$ і $C_p=86.65$ значно відрізняються від нормативних значень, де $y=0.7$ і $C_p=68$, а це свідчить про те, що задній кут заточки свердла α при випробовуваннях мав різні значення.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги і правила роботи за свердлильним верстатом

Загальні положення

Свердляр інструктується перед початком роботи на підприємстві (первинний інструктаж), а потім через кожні 3 місяці (повторний інструктаж).

До роботи на свердлильних верстатах допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли відповідне навчання, медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці та інструктаж на робочому місці.

Свердляр, який користується при роботі вантажопідіймальними механізмами, повинен пройти спеціальне навчання і мати відповідне посвідчення.

Свердляр повинен:

- Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.
- Утримувати своє робоче місце в чистоті і порядку.
- Не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце.
- Користуватися спецодягом і засобами індивідуального захисту.
- Вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних випадках.
- Вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння.

Свердляр забезпечується спецодягом і засобами індивідуального захисту:

- костюм віскозно-лавсановий;
- черевики шкіряні;
- окуляри захисні;
- під час установки і зняття великогабаритних деталей додатково: рукавиці комбіновані.

На кожному робочому місці біля верстата на підлозі повинні бути

дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і шириною не менше 0,6 м від частин верстата, що виступають.

Ремонт верстатів повинен виконуватись спеціально призначеними особами.

Біля кожного верстата повинна бути вивішена табличка із зазначенням особи, яка відповідає за експлуатацію.

Для зняття, установлення деталей або заготовок масою більше 20 кг необхідно використовувати підйомно-транспортні механізми, обладнані спеціальними пристроями (захватами).

Мастильно-охолоджувальні рідини повинні мати відповідний дозвіл Міністерства охорони здоров'я.

Гачки для видалення стружки повинні мати гладкі рукоятки та щиток, що запобігає порізам рук стружкою.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- Упорядкувати робочий одяг, взуття, засоби індивідуального захисту. Рукава необхідно застібнути, волосся прибрати під головний убір.
- Прийняти верстат від змінника.
- Приготувати гачок для видалення стружки.
- Перевірити наявність і справність:
 - Огородження зубчатих коліс, привідних ременів, приводів, а також струмоведучих частин електричної апаратури.
 - Захисного заземлення.
 - Пристрою для кріплення інструменту, деталей.
 - Ріжучого, вимірювального інструменту, пристосувань.
- Перевірити верстат на холостому ході:
 - Справність органів керування (механізмів головного руху, подачі, пуску, зупинки руху та інше).
 - Справність фіксації важелів включення і переключення.
 - Відсутність заїдань та надмірної слабини в рухомих

частинах верстата - шпинделя, подовжніх і поперечних полозків.

- Перевірити правильність заточування інструменту.
- Розкласти інструмент, пристосування в зручному для користування порядку.

- Шланги, які підводять охолоджувальну рідину, розмістити так, щоб вони не торкались ріжучого інструменту і рухомих частин верстата.

- Відрегулювати місцеве освітлення.

Вимоги безпеки під час виконання роботи

- Під час встановлення свердел та інших різальних інструментів та пристроїв у шпиндель верстата необхідно звертати особливу увагу на міцність їх закріплення і точність центрування.

- Стружку з просвердлених отворів необхідно видаляти гідравлічним способом, магнітами, металевими гачками тощо – тільки після зупинення верстата та відведення інструмента.

- Усі оброблювані на верстаті деталі, крім особливо важких, необхідно установлювати у відповідні пристосування (лещата, кондуктори тощо), які закріплюються на столі (плиті) свердлильного верстата, і кріпити в цих пристосуваннях.

- Шпиндель з патроном повинен самостійно повертатися у верхнє положення при відпусканні штурвала подачі свердла.

Забороняється:

- Використовувати на верстатах інструмент із забитими або спрацьованими конусами та хвостовиками.

- Утримувати виріб руками під час роботи.

- Перевіряти рукою гостроту різальних кромek інструмента, глибину отвору та вихід свердла із отвору в деталі, а також охолоджувати свердла мокрою ганчіркою під час роботи верстата.

- Під час роботи не можна близько нахилитися до шпинделя і ріжучого інструменту.

- Лещата повинні бути справними, а насічка губок неспрацьована.
- Установку деталей на верстаті і їх знімання з верстата необхідно виконувати тільки тоді, коли шпіндель з ріжучим інструментом знаходяться у вихідному положенні.
- Звільняти деталь від строповки дозволяється після надійної установки і закріплення.
- Не дозволяється свердління тонких пластинок, смуг чи інших подібних деталей без кріплення в спеціальних пристосуваннях.
- Якщо виріб обертається на столі разом з свердлом, необхідно зупинити верстат і зробити необхідні поправки.
- Під час свердління глибоких отворів необхідно виводити свердло з отвору для видалення стружки.
- Свердлити отвори у в'язких металах необхідно спіральними свердлами зі стружкодробильними каналами.
- Ріжучий інструмент необхідно підводити до оброблювальної деталі поступово і плавно, без ударів.
- Під час ручної подачі свердла і при свердлінні дрібними свердлами не можна дуже сильно натискувати на важіль.
- Не дозволяється направляти стружку на себе; стружку, яка намотується на оброблювану деталь і ріжучий інструмент, необхідно видаляти спеціальним інструментом при непрацюючому верстаті.
- Змінні шестерні повинні бути закриті кожухами.
- Не дозволяється обдувати стиснутим повітрям верстат і деталь, яка обробляється.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Вимкнути верстат, відключити його від електромережі.
- Упорядкувати робоче місце, прибрати з верстата стружку,

пристосування, очистити верстат від бруду, витерти і змастити частини, що труться; скласти готові деталі і заготовки.

- Прибрати інструмент у відведене для нього місце.
- Зняти спецодяг, помити обличчя, руки з милом; при можливості, прийняти душ.
- При здачі зміни доповісти зміннику і керівнику робіт про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

- У разі появи під час роботи верстата стороннього нехарактерного шуму і стуку у вузлах, зупинити верстат і повідомити безпосереднього керівника робіт про передбачувані несправності.
- Якщо при зіткненні з металевими частинами пускової апаратури відчувається дія електричного струму, негайно зупинити верстат і повідомити безпосереднього керівника робіт.
- При виникненні аварійної ситуації або нещасного випадку негайно знеструмити верстат шляхом вимкнення рубильника на щиті підключення.
- При потраплянні людини під напругу негайно звільнити потерпілого від дії струму, відтягнути від струмопровідних деталей, діючи при цьому однією правою рукою, ізольованою гумовою рукавицею (сухим одягом, кепкою, шматком матерії). Надаючи допомогу потерпілому, необхідно братися лише за одяг або взуття потерпілого.
- У разі виникнення загоряння або пожежі, попередити оточуючих про небезпеку, що виникла, повідомити адміністрацію і пожежну частину, знеструмити устаткування в зоні пожежі або загоряння, вимкнути вентиляцію.
- В разі потреби надати першу (долікарську) допомогу потерпілому при аварії, викликати швидку медичну допомогу.

4.2 Організація робочого місця

Робоче місце – це зона, оснащена необхідними технологічними засобами, в якій постійно або частково здійснюється діяльність робочого або групи робочих, які виконують разом певну роботу.

Організація робочого місця – це система заходів по оснащенню робочого місця засобами і предметами праці і їх розміщенню в певному порядку.

Організація робочого місця також включає засоби для забезпечення комфорту на робочому місці (освітленість, обмеження рівня шуму, вібрації і естетичні заходи) та засоби що забезпечують безпечну діяльність. При проектуванні робочого місця враховуємо робоче положення верстатника, характер і величину робочих зусиль, об'єм і темп виконання рухів, ступінь точності операцій, розміри робочої зони.

Нижче показана схема планування робочого місця (рис 4.1).

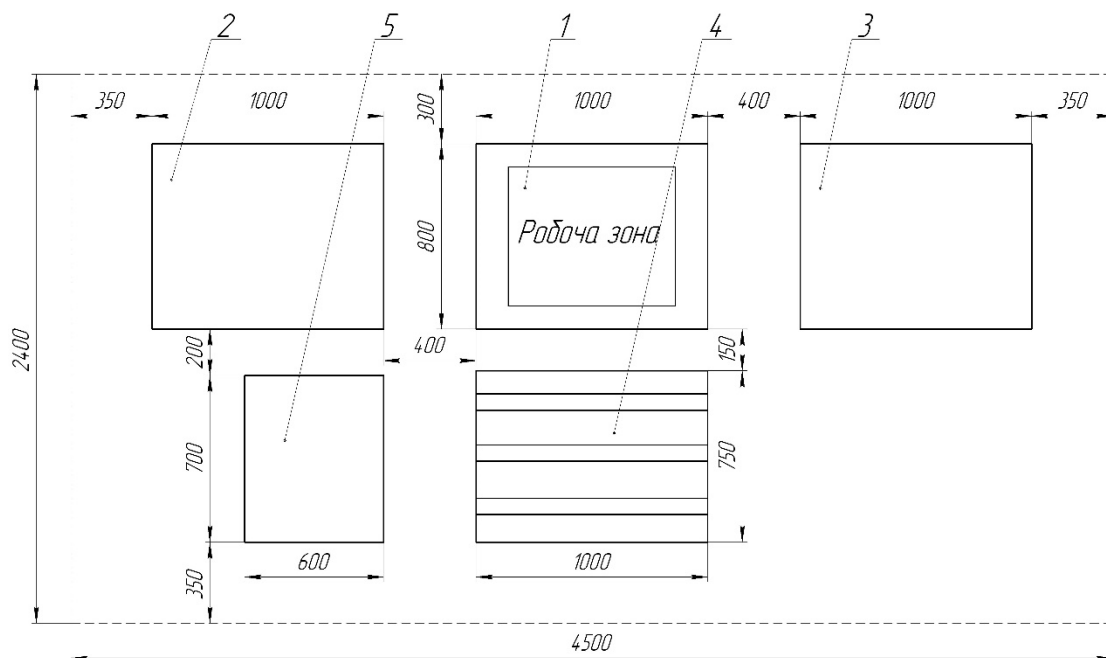


Рисунок 4.1 Схема робочого місця на верстаті:

1 – верстат; 2– тара для заготовок; 3– тара для деталей; 4– решітка під ноги; 5 – інструментальна тумба.

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення оптимальної і допустимої величини показників мікроклімату в промислових приміщеннях.

При виконанні робіт на робочому місці потрібно дотримуватись оптимальної величини температури повітря 20–24°C, його відносної вологості 60–40% і швидкості руху (не більше 0,2 м/с). в теплий період року температура підвищується на 20°C і на 0,1 м/с збільшується швидкість руху повітря.

Температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання або огорожуючих його пристроїв не повинні виходити більше ніж на 20°C за межі оптимальних величин температури повітря. При температурі поверхонь огорожуючих конструкцій нижче або вище оптимальних величин температури повітря робочого місця повинно бути віддалене від них на відстань не менше 1 м.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних приладів не повинна перевищувати 35 Вт/м² при опроміненні 50% поверхні тіла і більше 70 Вт/м² – при величині опроміненої поверхні від 25 до 50%.

Склад шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимої концентрації (ГРК).

Запилене повітря, що відсасується від верстата перед викидом в атмосферу або поверненням в цех повинно бути попередньо очищений від пилу і та інших шкідливих речовин що є в ньому.

Світильники місцевого освітлення, що використовують у верстатах, повинні відповідати вимогам. В механічних цехах потрібно використовувати систему комбінованого освітлення (загальне і місцеве, в якому загальне освітлення повинно складати не менше 300 лк. Освітленість робочої поверхні повинна складати 1500–2000 лк.

Шум і вібрація є основними шкідливими виробничими факторами в механічних цехах. Верстат є джерелом шуму, ультразвуку вібрацій і повинен бути виконаний так, щоб шум, ультразвук і вібрація не перевищували

допустимого рівня встановленого діючими санітарними нормами.

Допустимий рівень звуку – 85 дБА. Одним із самих потужних джерел шуму є вільно витікаючий потік зжатого повітря при викиді його в атмосферу із пневматичних систем. Тому для зниження рівня шуму потік її використовують активні глушники (які містять пористі матеріали), а також звукопоглинаюче облицювання стелі і стін і об'ємні (штучні)поглиначі, які підвищують поряд з найбільш шумним верстатом.

При роботі верстата на робочих діє також інфра - і ультразвук. Основним джерелом інфразвуку є механізм верстата, що здійснюють рух з числом робочих циклів не більше 20 в секунду. У відповідності з СН 22–74–80 рівні звуку в активних полосах з середньгеометричними частотами 2, 4, 6 і 16 Гц повинні бути не більше 105 дБ. Найбільш ефективним методом зменшення інтенсивності УЗК є використання сталених звукоізолюючих кожухів з товщиною стіни джерела ультразвуку поглинаючим матеріалом.

Вібрація є шкідливим фактором, дія якого визначається передачею людині механічної енергії та джерела коливань. Причиною збудження вібрації при роботі верстатів є невірноважена силова дія. Вони виникають при обертанні валів, шківів і маховиків, особливо при поганому балансуванні, а також при використанні механізмів із зворотно–поступальним рухом. Для зменшення вібрації використовують наступні методи її зменшення: зниження вібрації в джерелі виникнення, віброізоляція окремих верстатів, виключення режиму резонансу (наприклад, за рахунок зміни параметрів різання), а також використання засобів індивідуального захисту і лікувально–профілактичних заходів.

Всі металічні частини верстата (електродвигунів, станини, корпус, каркаси, пульти управління), які можуть бути під напругою вищою 42 В повинні бути забезпечені пристроями заземлення. У відповідності з нормами захисне заземлення повинно використовуватись у сукупності з контролем опору ізоляції. Над заземлюючим затиском повинен бути знак заземлення. В трьохфазних чотирьохпровідникових сітках напругою до 1000

В з глухозаземленою нейтраллю використовують занулення. Це електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металічних не струмопровідних частин верстата, які можуть бути під напругою. Нульовим захисним провідником рахують провідник, що з'єднує занулені металічні частини верстата з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму (генератора і трансформатора). У відповідності з нормами в якості нулевих захисних провідників повинні використовуватись нулеві робочі провідники.

4.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу вражаючих факторів ядерної зброї.

4.3.1 Методика оцінки стійкості промислових об'єктів.

Стійкість роботи об'єкта являє собою спроможність в умовах військового часу виготовляти продукцію в запланованому об'ємі і номенклатурі, а при одержанні слабких і частково середніх руйнувань відновлювати своє виробництво в мінімальні терміни. Ціль оцінки стійкості об'єкта полягає у виявленні слабких його елементів, щоб у подальшому провести інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості об'єкта в цілому.

Оцінка стійкості роботи об'єкта - це всебічне вивчення підприємства з погляду спроможності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, продовжувати роботу і відновлювати виробництво при одержанні слабких руйнувань.

Промислові підприємства відрізняються одне від одного як по конструктивному рішенню, так і по технологічному процесі. Розходження об'єктів полягає в будинках і спорудженнях, устаткуванні і технології виробництва, комунально-енергетичних мережах і території, на якій розташований об'єкт. Тому в усіх випадках оцінка стійкості кожного об'єкта

має свої особливості і вимагає конкретного підходу до рішення цього питання. У даному випадку можливо розглянути тільки загальні для всіх об'єктів питання оцінки їхньої стійкості до впливу вражаючих факторів зброї масового знищення.

Оцінка стійкості роботи об'єкта починається з вивчення району розташування. Об'єкт може знаходитися в місті, за межею його проектної забудови і на деякій віддалі від міста. Досліджується територія району, його структура, щільність і тип забудови, сусідні об'єкти і можливість виникнення на них вторинних чинників поразки. На об'єкті визначаються щільність забудови, розміщення основних будинків і споруджень, що впливають на характер руйнування, можливе утворення завалів і виникнення пожеж. Особлива увага приділяється ділянкам, де можливе виникнення небезпечних вторинних чинників ушкоджень. Беруться на облік усі будинки і спорудження, робиться оцінка їхньої статичної стійкості. Вивчаються кожний цех і його окремі елементи як по конструктивному рішенню, так і за матеріалами, що були використані в будівництві. Розглядаються умови розміщення внутрішнього технологічного устаткування і визначаються види руйнувань і ушкоджень, що можуть мати місце при ядерному вибуху і заваленні огорожуваних конструкцій цехів. Особливо важливо визначити захист цінного й унікального устаткування, насиченість виробництва автоматикою і можливість продовження виробництва у випадку виходу з ладу контрольно-вимірювальної апаратури. Обстежуються комунально-енергетичні системи об'єкта і робиться оцінка стійкості споруджень і ліній, тобто визначаються параметри вражаючих факторів, при яких комунально-енергетичні мережі одержать ті або інші руйнування. Визначається забезпеченість працюючих захисними спорудженнями: встановлюється кількість сховищ, укриттів і оцінюються їхні захисні властивості. Вивчається система керування, зв'язку й оповіщення на основі вивчення стану захищених пунктів керування, вузлів і ліній зв'язку. Аналізується система матеріально-технічного постачання і виробничих зв'язків. Встановлюється об'єм запасів і

можливих термінів продовження роботи без постачань; визначається відповідність їхньої кількості і номенклатури вимогам, запропонованим до виробництва у військовий час. Оцінюється стійкість складів сировини, комплектуючих виробів, готової продукції й інших матеріалів, а також сховища паливних матеріалів. Досліджується підготовка об'єкту до відновлення виробництва у випадку одержання слабких або середніх руйнувань. Аналіз виробничої діяльності об'єкта дозволяє виявити слабкі елементи, ділянки і підготувати план підвищення стійкості їхньої роботи і план відновлювальних робіт, а також забезпечити їх будівельно-монтажною і проектною документацією.

Оцінка стійкості роботи об'єкта організовується начальником ЦО (директором підприємства), його штабом і головними фахівцями: головним інженером, головним механіком, головним технологом, головним енергетиком. До оцінки стійкості залучаються начальники служб і інші фахівці.

4.3.2 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі

Критерієм для визначення стійкості промислового підприємства до впливу ударної хвилі ядерного вибуху є розмір надлишкового тиску, при якому будинки і спорудження об'єкта зберуться або одержать слабкі і середні руйнування.

При оцінці стійкості об'єкта необхідно виявити найбільш уразливі елементи і ділянки, від яких залежить робота всього підприємства. Після оцінки окремих споруджень оцінюється об'єкт у цілому. При цьому стійкість об'єкта визначається по тій будівлі або спорудженню, що руйнується при найменшому надлишковому тиску. Після оцінки стійкості об'єкта намічаються заходи, що необхідно провести для підвищення стійкості об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного вибуху. Для цього визначають доцільні межі підвищення стійкості кожного спорудження.

4.3.3 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження.

Робота об'єкта в першу чергу залежить від стану людей, і при ураженні радіацією робітників та службовців підприємство працювати не може.

Критерієм оцінки стійкості роботи об'єкта є доза радіації, що можуть одержати робітники та службовці, що опинилися в зоні зараження.

Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації включає визначення коефіцієнтів захисту (коефіцієнтів послаблення радіації) для будівель, споруджень, сховищ і укриттів. При оцінці стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначається також можливість герметизації виробничих приміщень з метою зменшення проникнення в них радіоактивної пилі. Крім того, при оцінці стійкості до впливу радіації визначається наявність матеріалів, приборів і апаратури, чутливих до дії радіації.

На підставі оцінки стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначаються режими роботи об'єкта в різних умовах радіоактивного зараження.

4.3.4 Оцінка стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів

До вторинних вражаючих факторів відносяться аварії, пожежі, вибухи, затоплення, зараження атмосфери і місцевості, а також завалення ушкоджених конструкцій. Масштаби вражаючої дії від вторинних вражаючих факторів в окремих випадках можуть перевершувати безпосередню вражаючу дію ядерного вибуху. Причинами виникнення вторинних вражаючих факторів є руйнування, викликані ядерним вибухом на об'єкті або на сусідніх із ним об'єктах, що виявилися в зоні безпосередньої дії ядерного вибуху, тобто внутрішні і зовнішні джерела.

При оцінці стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів ядерного вибуху визначаються різні джерела їхнього виникнення. У першу чергу виявляються внутрішні джерела, наявні на самому підприємстві. Це можуть бути резервуари і ємкості з легкозаймистою рідиною і газами, склади вибухових речовин, вибухонебезпечні технологічні установки і комунікації, руйнування яких викликає пожежі, вибухи або загазованість, легкозаймисті будівлі і спорудження. Зовнішніми джерелами вторинних вражаючих факторів можуть бути близько розташовані хімічні і нафтопереробні заводи, нафтові і газові промисли, холодильники, гідровузли, склади нафтопродуктів і інших паливних рідин й інші об'єкти. Одночасно з врахуванням усіх можливих джерел вторинних вражаючих факторів визначається характер їхнього впливу на даний об'єкт і встановлюється, який вид ушкоджень і руйнувань очікується, а також час і тривалість їхньої дії.

4.3.5 Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу хімічного і бактеріологічного ураження

Хімічна і бактеріологічна зброя, викликаючи зараження об'єкта і ураження людей, створює складні обставини для роботи підприємства. При цьому робота об'єкта залежить від характеру зараження, забезпеченості працівників індивідуальними засобами захисту і характеру виробництва.

У ході оцінки стійкості роботи об'єкта визначаються: засоби захисту, тобто забезпеченість робітників та службовців протигазами (не найпростішими засобами), забезпеченість сховищ фільтровентиляційним устаткуванням промислового типу. Аналізуються умови роботи підприємства з погляду впливу отруйних речовин і бактеріальних засобів на процес виробництва, на матеріали і сировину. Встановлюється можливість герметизації будівель, цехів і інших приміщень, де працюють люди, а також можливість роботи в індивідуальних засобах захисту. Визначаються можливості проведення знезаражування території об'єкта, будівель,

споруджень і проведення санітарної обробки людей у разі потреби.

Таким чином, при оцінці стійкості роботи об'єкта до впливу хімічної і бактеріологічної зброї аналізуються обставини, у яких може виявитися об'єкт, і визначаються можливості для продовження роботи.

Оцінка стійкості цеху до впливу ударної хвилі ядерного вибуху

Вихідні дані: завод розташований на відстані $R_2 = 4,5 \text{ км}$ і по азимуту 45 град від ймовірної точки прицілювання; очікувана потужність ядерного боєприпасу $q = 500 \text{ кт}$; ймовірне максимальне відхилення ядерного боєприпасу від точки прицілювання $r_{\text{відх}} = 0,5 \text{ км}$; вибух повітряний; характеристика механічного цеху – будинок бетонний, залізобетонний; технологічне обладнання включає верстати середні та важкі; в комунально-енергетичні мережі входять наземні трубопроводи на металевих естакадах і електромережі кабельні наземні.

Рішення.

1. Визначаємо максимальне значення надлишкового тиску, очікуваного на території машинобудівного заводу. Для цього знаходимо мінімальну відстань до можливого центру вибуху:

$$R_x = R_2 - r_{\text{відх}}; \text{ км.}$$

$$R_x = 4,5 - 0,5 = 4,0$$

Знаходимо надлишковий тиск ΔP_ϕ на відстані $4,2 \text{ км}$ для боєприпасу потужністю $q = 500 \text{ кт}$ при повітряному вибуху. Цей тиск є максимальним очікуваним на об'єкті $\Delta P_{\phi \text{ max}} = 30 \text{ кПа}$.

2. Виділяємо основні елементи складального цеху і визначаємо їхні характеристики. Основними елементами цеху є: будівля; технологічне обладнання – середні та важкі верстати; комунально-енергетичні системи – трубопроводи й електромережа.

3. Знаходимо для кожного елемента цеху надлишкові тиски, що викликають слабкі, середні, сильні і повні руйнування. Так, будинок цеху з зазначеними характеристиками (бетон, залізобетон) одержить слабкі руйнування при надлишкових тисках $25 \dots 35 \text{ кПа}$, середні – при $80 \dots 120 \text{ кПа}$, сильні – при $150 \dots 200 \text{ кПа}$, повні – при 200 кПа .

4. Визначаємо межу стійкості кожного елемента цеху – надлишковий тиск, що викликає слабкі руйнування. Будинок цеху має межу стійкості до ударної хвилі, рівну 35 кПа , середні верстати – 25 кПа , важкі верстати – 40 кПа , трубопроводи – 30 кПа , електромережа – 30 кПа .

5. Визначаємо межу стійкості цеху в цілому по мінімальній межі стійкості елементів, які входять в його склад. Порівнюючи межі стійкості всіх елементів цеху, знаходимо, що межа стійкості механічного цеху $\Delta P_{\phi \text{lim}} = 25 \text{ кПа}$.

6. Визначаємо по окремій методиці степені руйнування елементів цеху при очікуваному максимальному надлишковому тиску і можливий збиток (відсоток виходу з ладу виробничих площ і обладнання). При $\Delta P_{\phi \text{max}} = 30 \text{ кПа}$ в механічному цеху середні руйнування одержать середні верстати, трубопроводи та електромережа, легкі - будинок цеху, важкі верстати. При цьому виходить із ладу 10% виробничих площ, 30% технологічного устаткування і 20 % енергопостачання.

7. Аналізуємо результати оцінки і робимо висновки і пропозиції по підвищенню стійкості цеху до ударної хвилі ядерного вибуху:

- механічний цех може виявитися в межі зон середніх і сильних руйнувань вогнища ядерного ураження з ймовірним максимальним надлишковим тиском ударної хвилі 30 кПа , а межа стійкості механічного цеху до ударної хвилі 25 кПа , що менше $\Delta P_{\phi \text{max}}$, і, отже, цех не стійкий до ударної хвилі; найбільше слабкий елемент – середні верстати;

- можливий збиток при максимальному надлишковому тиску ударної

хвилі, очікуваному на об'єкті, приведе до скорочення виробництва на 10...30 %;

- так як очікуваний на об'єкті максимальний надлишковий тиск ударної хвилі 30 *кПа*, а межа стійкості більшості елементів цеху більша 30 *кПа*, то доцільно підвищити межу стійкості механічного цеху до 30 *кПа*, підвищивши стійкість середніх верстатів.

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз результатів впливу подачі на осьову силу, потужність та крутний момент розраховані за різними інформаційними джерелами, отримано графіки (діаграми), що вказують на розбіжності осьової сили, потужності та крутного моменту. Встановлено, що отриманні розрахункові значення можуть відрізнятися: для осьової сили – понад 26 % , для крутного моменту – понад 38 % та для потужності – понад 33 %.

Проведено огляд і аналіз методів дослідження впливу подачі на силові характеристики процесу різання при свердлінні. Наведено методику дослідження впливу подачі на осьову силу, прилади для дослідження процесу різання; різні типи динамометрів та їх технічна характеристика; пристрої для зміни подач, а саме безступенева гідростатична передача, нелінійна зубчаста передача.

Зроблено синтез і аналіз пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу різання. Представлено конструктивні схеми пристроїв для дослідження впливу подачі на осьову силу та крутний момент при спадаючій та зростаючій подачах.

Проведено модернізацію конструкції пристрою для вимірювання осьової сили і крутного моменту, проведено опис конструкції свердлильного динамометра; представлено будову динамометра та принцип роботи при зростаючій і спадаючій подачах; представлено будову і принцип роботи дротяного тензодатчика; зроблено тарування динамометра.

Запропоновано методику проведення експерименту та обробки експериментальних даних, за якими представлено висновок щодо отриманих результатів $y=0,931$, $C_p=87,55$ і даних відповідно інформаційним джерелам $y=0,71$, $C_p=67$ що підтверджує їх неузгодження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. . Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.
2. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design/Y. Altintas: Cambridge University Press, 2012. 380p.
3. Beddoes J. Principles of metal manufacturing processes /Beddoes, Jonathan.: Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. 326 p.
4. Creese, R. Introduction to manufacturing processes and materials /Creese, Robert C: New York : Marcel Dekker, 1999. 395 p.
5. Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbautechnik hrsg. von Alfred Böge, 2019.
6. Klocke F. Manufacturing Processes, Cutting/ Fritz Klocke.: New York : Springer, 2011. 504 p
7. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).
8. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
9. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
10. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.

11. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
12. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
13. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б, Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин».:Тернопіль: ТНТУ, 2016. 75 с
14. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
15. Кальченко В. І., Кологойда А. В, О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.
16. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* : Житомир : ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34–40.
17. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць.* : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.
18. Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво:* тези допов. : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
19. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність*

інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

20. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Т., 2013. 21 с.

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

22. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

23. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

24. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов.* : К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

25. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

26. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І., Яковлев В.Г. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла. *Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал.*: Херсон : ХДМА, 2012. № 2 (7). С. 145–155.

27. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апіорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної*

науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.: ТНТУ, 2020. С. 132–133.

28. Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляр Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ.: Кіровоград, 2004. 449 с.

29. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

30. Кухарський О. М., Кушак І.В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

31. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

32. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

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

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

35. Пат. 16398 Україна, МПК (2006) G 01 B 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Шарик М. В.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u200600061; заявл. 03.01.2006; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

36. Пат. 33445 Україна, МПК В 23 В 47/00. Механізм подачі свердлильного верстату / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявник та патентовласник Терн. нац. техн. універ. ім. І. Пулюя. – № 200801364; заявл. 04.02.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 8.

37. Пат. 51906 UA, МПК В23В 49/00. Переналагоджувальний свердлильний кондуктор [Текст] / Гупка Андрій Богданович, Гупка Богдан Васильович, Брошак Іван Іванович, Гевко Ігор Богданович, Ляшук Олег Леонтійович, Дячун Андрій Євгенович, Гагалюк Андрій Валерійович (Україна) - опубл. 10.08.2010.

38. Пат. 67685 Україна, МПК (2006.01) G 01 В 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Продан В. І.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u201109411; заявл. 27.07.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. №4.

39. Пат. 76433 Україна, МПК (2006.01) В 23 В 51/02. Спіральне свердло / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Продан В. І., Топольницький В. І.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u201205420; заявл. 03.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

40. Пат. 77698 Україна, МПК (2013.01) В 23 В 47/00. Пристрій для свердління наскрізних отворів / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявники і патентовласники Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І. № u201209347; заявл. 30.07.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.

41. Равська Н. С. та ін. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник.: Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.

42. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій. Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.

43. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

44. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001.

ДОДАТКИ