

Міністерство освіти та науки України  
Державний університет «Житомирська політехніка»

Кирилович В.А.  
Крижанівська І.В.  
Дімітров Л.В.

**ОБЛАДНАННЯ,  
ТЕХНОЛОГІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ДИСКРЕТНОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

Лабораторний практикум.  
Частина І.

Автоматизоване виробниче обладнання

Навчальний посібник  
для виконання лабораторних робіт з курсу  
«Обладнання,  
технологія та автоматизація дискретного виробництва»  
Частина І  
для студентів всіх форм навчання  
підготовки бакалаврів за спеціальністю  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Житомир 2021

*Друкується за рішенням Вченої Ради  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
протокол №3від 25.06.2021р.*

*Рецензенти:*

**Пасічник В.А.** доктор технічних наук, професор, проктор з наукової роботи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Полонський Л.Г.** доктор технічних наук, професор, професор кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка»

**Грабар І.Г.** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри процесів, машини і обладнання Поліського національного університету .

**0 XX** Кирилович В.А., Крижанівська І.В., Дімітров Л.В., за редакцією В.А. Кириловича. Обладнання, технологія та автоматизація дискретного виробництва. Лабораторний практикум. Частина I. Автоматизоване виробниче обладнання: навчально-методичний посібник для виконання лабораторних робіт з курсу “Обладнання, технологія та автоматизація дискретного виробництва” для студентів всіх форм навчання підготовки бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» – Житомир: Електронне видання, 2021. – 85 с.

ISBN XXXXXXXXX

В даному навчальному посібнику викладено методичні вказівки щодо виконання комплексу лабораторних робіт, в основу яких на прикладі металорізальних верстатів з ЧПУ та напівавтоматів покладено основні положення щодо побудови та аналізу кінематичних ланцюгів різної складності та структури, представлено один із найпростіших підходів щодо конструктивного та структурного їх аналізу, а також математичного моделювання (формалізованого опису) маніпуляційних систем одноруких односхватих стаціонарних промислових роботів. Вказані види технологічного обладнання є типовими складовими сучасних виробничих технологічних структур гнучких виробництв, наприклад, гнучких виробничих комірок машино-та приладобудування. Технологічне обладнання, що вивчається при виконанні даних лабораторних робіт, використовується в наступному лабораторному комплексі даної навчальної дисципліни при його (обладнанні) програмуванні.

Використання розроблених матеріалів є необхідною складовою підготовки бакалаврів, написання та захисту дипломної роботи бакалавра.

УДК 621.9

ISBN XXXXXXXXX

©В.А. Кирилович, 2021

©І.В. Крижанівська, 2021

©Л.В. Дімітров, 2021

## Зміст

Перелік прийнятих скорочень .....	6
Вступ .....	7

### Лабораторна робота №1

<b>Складання з натури кінематичної схеми коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата мод. 16К20ФЗРМ132 з ОС ЧПУ 2Р22 .....</b>	<b>9</b>
1.1. Теоретичні відомості .....	9
1.1.1. Експериментальне визначення модулів зубчастих коліс та частот їх обертання .....	9
1.1.2. Елементи кінематичного аналізу коробки швидкостей .....	11
1.1.2.1. Побудова структурної сітки .....	12
1.1.2.2. Побудова графіка частот обертання шпинделя .....	16
1.2. Обладнання та інструменти .....	17
1.3. Порядок виконання роботи .....	18
1.4. Зміст звіту .....	20
1.5. Контрольні запитання .....	21

### Лабораторна робота №2

<b>Основні вузли, принцип роботи та кінематичний аналіз приводу головного руху токарно-револьверного верстата мод. 1В340ФЗО з ОС ЧПУ “Електроніка НЦ-31” .....</b>	<b>2</b>
2.1. Теоретичні відомості .....	2
2.1.1. Побудова, призначення та характеристика верстата .....	2
2.1.2. Кінематична схема приводу головного руху верстата мод. 1В340ФЗО .....	2
2.1.3. Кінематичний аналіз приводу головного руху .....	2
2.3. Зміст звіту .....	2
2.4. Контрольні запитання .....	2

### Лабораторна робота №3

<b>Налагодження зубофрезерного напівавтомата моделі 5К32А для нарізання циліндричних зубчастих коліс .....</b>	<b>3</b>
3.1. Теоретичні відомості .....	3
3.1.1. Загальні відомості .....	3
3.1.2. Основні технічні характеристики зубофрезерного напівавтомата мод. 5К32А .....	3
3.1.3. Основні вузли та органи управління верстата мод. 5К32А .....	3
3.1.4. Включення верстата в роботу .....	3

3.1.5. Налаштування зубофрезерного напівавтомата мод.5К32А	3
3.1.5.1. Зміст налаштування	3
3.1.5.2. Налаштування гітари швидкостей (обертання фрези)	3
3.1.5.3. Налаштування гітари поділу	3
3.1.5.4. Налаштування гітари вертикальної подачі	3
3.1.6. Способи підбору чисел зубів змінних зубчастих коліс	3
3.1.6.1. Спосіб комбінування множників	3
3.1.6.2. Наближений підбір змінних коліс	3
3.1.6.3. Спосіб зміни чисел, що часто зустрічаються, наближеними дробами	3
3.2.Порядок виконання роботи	3
3.3. Індивідуальні завдання	3
3.4.Зміст звіту	3
3.5.Контрольні запитання	3

#### Лабораторна робота №4

<b>Визначення компоновальних схем модулів ступенів рухості маніпуляторів промислових роботів та формалізація їх технологічних можливостей</b>	4
4.1.Теоретичні відомості	4
4.1.1. Модулі з основною та допоміжною циліндричними напрямними	4
4.1.2. Модулі з декількома однаковими циліндричними напрямними	4
4.1.3. Модулі з основною циліндричною напрямною, рухомою відносно допоміжної	4
4.1.4. Модулі з основною циліндричною та допоміжною призматичною напрямними	4
4.1.5. Модулі з призматичними напрямними	4
4.1.6. Модулі з шарнірно-важільними механізмами поступального переміщення	4
4.1.7. Модулі обертальних ступенів рухості	4
4.1.8.Формалізація маніпуляційних систем ПР	4
4.2. Порядок виконання роботи	4
4.3. Зміст звіту	4
4.4. Контрольні запитання	4
<b>Використані інформаційні джерела</b>	4
<b>Додаток А. Титульний аркуш</b>	4

## Перелік прийнятих скорочень

- АКШ – автоматична коробка швидкостей
- ГВК – гнучка виробнича комірка
- ЗП – затискний пристрій
- МС – маніпуляційна системи
- ОКН – оператор координатного напрямку
- ОМ – об'єкт маніпулювання
- ПКС – просторово-кінематична структура
- ПР – промисловий робот
- РТК – робототехнічний комплекс
- СК – система координат
- Сх – схват
- УК – узагальнена координата
- УП – управляюча програма
- ЧПУ – числове програмне управління

## ВСТУП

Широке впровадження автоматичних та автоматизованих машин та обладнання із вбудованими засобами мікропроцесорної техніки, оброблювальних центрів та багатоопераційних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), промислових роботів (ПР), робототехнічних комплексів (РТК) з їх периферійними пристроями та засобами є основною рисою сучасного виробництва. Знання вказаних видів високоавтоматизованого обладнання є необхідним фактором підготовки бакалаврів та спеціалістів, що навчаються за спеціальністю “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Даний навчально-методичний посібник призначений сприяти вивченню дисципліни “Обладнання, технології та автоматизація дискретного виробництва”, зміст якої базується на промислових особливостях Житомирського регіону, характерною рисою якого, зокрема, є розвиток приладо- та машинобудування. Тому змістовно запропонований комплекс лабораторних робіт (у зв’язку з неможливістю охопити всі різновиди існуючого в регіоні автоматизованого обладнання) охоплює вивчення тих чи інших аспектів тільки металорізального автоматизованого обладнання – верстатів з ЧПУ (лабораторні роботи №1, 2), верстатів напівавтоматів (робота №3) та промислових роботів – ПР (робота №4).

Мета виконання лабораторних робіт – поглибити теоретичні знання, вивчити конструктивні особливості автоматизованого технологічного обладнання, що визначають технологічні можливості останнього.

Так, зміст лабораторної роботи №1 передбачає складання кінематичної схеми приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата мод. 16K20ФЗРМ132. Це дає змогу засвоїти навички практичних замірів геометричних елементів зубчатих коліс коробки швидкостей безпосередньо з натури, аналізувати структурні елементи та сутність комбінованого регулювання частоти обертання шпинделя верстата, що визначає один із показників технологічних можливостей даного типу обладнання.

Аналізу приводу головного руху іншого представника автоматичного обладнання - токарно-револьверного верстата мод. 1В340Ф30 – присвячена лабораторна робота № 2. Зміст її виконання дає змогу на практиці проілюструвати сутність дискретного регулювання частоти обертання шпинделя та виконати відповідні розрахунки, що визначають технологічні можливості даного верстата.

Якщо автоматичне обладнання, що вивчається при виконанні лабораторних робіт № 1, 2, є характерними технологічними засобами гнучкої автоматизації і застосовується в умовах серійного типу виробництва, то зубофрезерний напівавтомат мод. 5K32A є типовим представником технологічних засобів жорсткої автоматизації і застосовується в умовах крупносерійного та масового типу виробництва.

Вивченню сутності налагодження на нарізання прямозубних циліндричних коліс зубофрезерного напівавтомата вказаної моделі присвячена лабораторна робота № 3. Її виконання дає змогу на основі аналізу конструкції та кінематичної схеми верстата в цілому аналізувати його окремі кінематичні ланцюги, розглядати відповідні гітари як органи настроювання і отримувати практичні навички їх налагодження.

На відміну від згаданих типів автоматизованого обладнання, цю виступають при виконанні на них технологічних процесів як основне технологічне обладнання, промислові роботи (ПР) можуть виконувати функції як основного, так і допоміжного технологічного обладнання і виступають універсальними засобами гнучкої автоматизації, що є характерною ознакою багатомоделного мікро-та середньосерійного типів виробництв. Вивченню компоновки окремих типових модулів різноманітних конструкцій маніпуляційних систем ПР та набуттю навичок формалізації їх технологічних можливостей присвячена лабораторна робота № 4.

Характерною особливістю пропонованого комплексу лабораторних робіт є можливість та необхідність використання даних одиниць та типів технологічного обладнання при вивченні наступної за навчальним планом дисципліни – “Технології автоматизованого виробництва”. Зокрема, виконання курсового проекту з цієї дисципліни передбачає можливе використання вказаного обладнання.

## Лабораторна робота № 1

### СКЛАДАННЯ З НАТУРИ КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ КОРОБКИ ШВИДКОСТЕЙ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 16K20ФЗРМ132

*Мета роботи*-отримати практичні навички у складанні кінематичних схем приводів окремих вузлів металорізальних верстатів та засвоїти графоаналітичний метод їх кінематичного розрахунку.

#### 1.1. Теоретичні відомості

##### 1.1.1. Експериментальне визначення модулів зубчатих коліс та частот їх обертання

Модулі зубчатих коліс  $m$  можна визначити за наступними формулами:

$$m = P/\pi; \quad (1.1)$$

$$m = h/2,25; \quad (1.2)$$

$$m = D_a/(z+2). \quad (1.3)$$

де:  $P$  – крок зубчастого зачіплення, мм;  
 $z$  – кількість зубів зубчатого колеса;  
 $h$  – висота зуба зубчатого колеса, мм.

Зовнішні діаметри зубчатих коліс  $D_a$  вимірюють штангенциркулем або кронциркулем.

Наприклад:

При  $z = 40$        $D_a = 125,5$  мм.  
Тоді  $m = 125,5/(40+2) = 2,98$  мм, закруглюємо до  $m = 3$  мм.

При  $z = 45$        $D_a = 141,4$  мм.  
Тоді  $m = 141,4/(45+2) = 3,009$  мм, закруглюємо до  $m = 3$  мм.



Частота обертання шпинделя визначається за рівнянням кінематичного балансу головного руху:

$$n_{\text{дв}} \cdot i_{\text{п.п.}} \cdot 0,985 i_{\text{к.ш.}} = n_{\text{шп}}, \quad (1.4)$$

де:  $n_{\text{дв}}$  – частота обертання ротору електродвигуна,  $\text{хв}^{-1}$ ;  
 $i_{\text{п.п.}}$  – передаточне відношення поліклінової пасової передачі;  
 $i_{\text{к.ш.}}$  – загальне передаточне відношення коробки швидкостей;  
 $n_{\text{дв}} \cdot i_{\text{п.п.}} \cdot 0,985 = C$  - частота обертання валу I коробкишвидкостей. Ця величина для кожного верстата, що має пасову передачу, стала.

Наприклад для зубофрезного верстата, зображеного на рис. 1.1:

$$C = 1440 \cdot \frac{140}{320} \cdot 0,985 = 620 (\text{хв}^{-1}).$$

$$n_{\text{шпmin}} = C \cdot i_{\text{к.ш.min}} = 620 \cdot \frac{37}{47} \cdot \frac{27}{68} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64} = 48,38 (\text{хв}^{-1}) [50]$$

$$n_{\text{шпmax}} = C \cdot i_{\text{к.ш.max}} = 620 \cdot \frac{47}{37} \cdot \frac{58}{37} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64} = 310 (\text{хв}^{-1}) [315]$$

Тут в квадратних дужках вказані стандартні значення частот обертання шпинделя.

### 1.1.2. Елементи кінематичного аналізу коробки швидкостей

Побудова графіка частот обертання всіх валів привола головного руху, включаючи вал шпинделя, базується на кінематичному розрахунку коробки швидкостей. Для цього використовують частіше за все графоаналітичний метод, що дозволяє швидко знаходити найкращі варіанти розв'язку задачі.

Графоаналітичний метод кінематичного розрахунку коробки швидкостей складається з двох етапів:

- побудова структурної сітки;
- побудова графіка частот обертання.

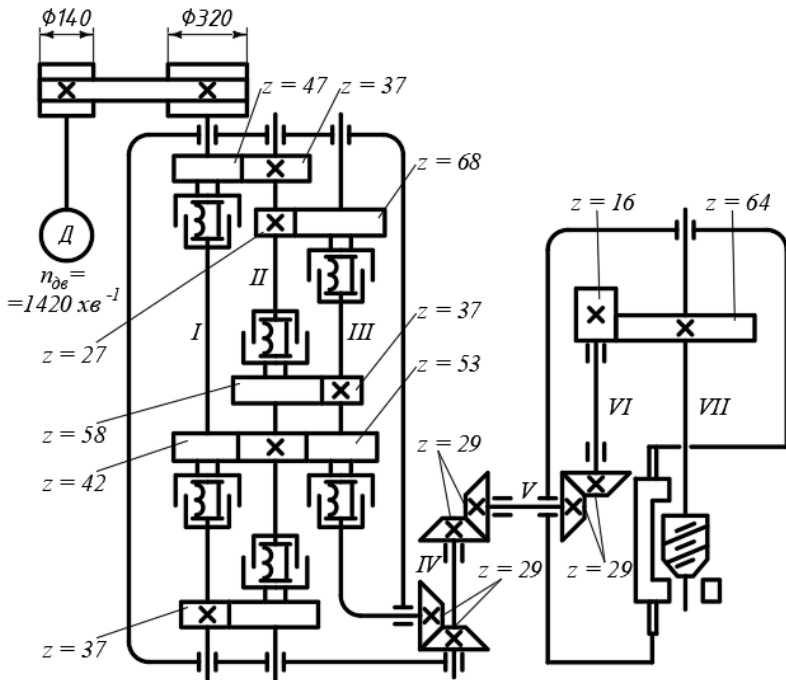


Рис. 1.1 Кінематична схема коробки швидкостей зубофрезерного верстата (приклад)

### 1.1.2.1. Побудова структурної сітки

Кількість ступенів частоти обертання шпинделя при налагодженні послідовно увімкненими груповими передачами дорівнює добутку кількості груп передач:

$$z = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_i \cdot \dots \cdot P_n,$$

Для коробки швидкостей, зображеної на рис. 1.2, а маємо

$$z = 4 \cdot 2 = 8;$$

$$z = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8.$$

Згідно рис. 1.2, а кінцева формула запишеться наступним чином (рис. 1.2, б):

$$z = P_1(x_0) \cdot P_2(x_1),$$

де:  $P_1$  та  $P_2$  – кількість груп передач відповідно між валами I та II, I та III;

$x_0$  та  $x_1$  – кількість передач в кожній групі;

$x_0=1$  – основна група передач;

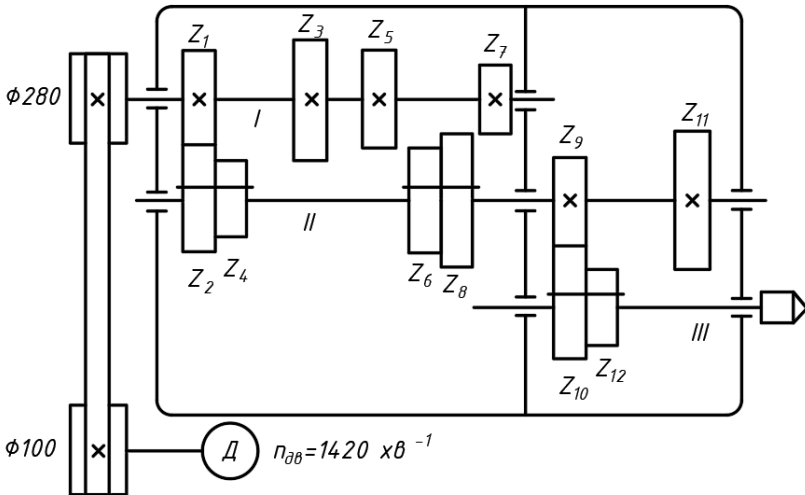
$x_1$  – перша переборна група передач.

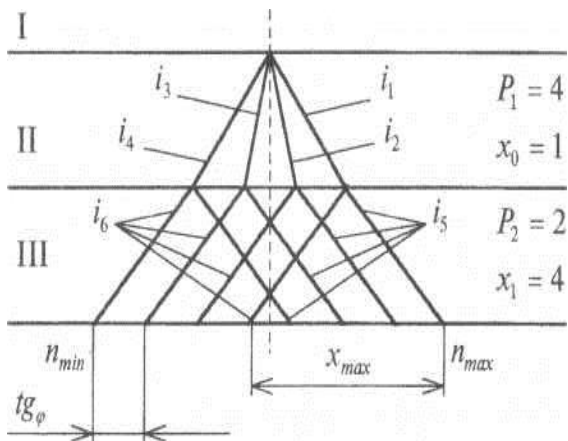
Якщо коробка швидкостей (структурна сітка) має дві та більше переборні групи, то

$$x_2 = P_1 \cdot P_2,$$

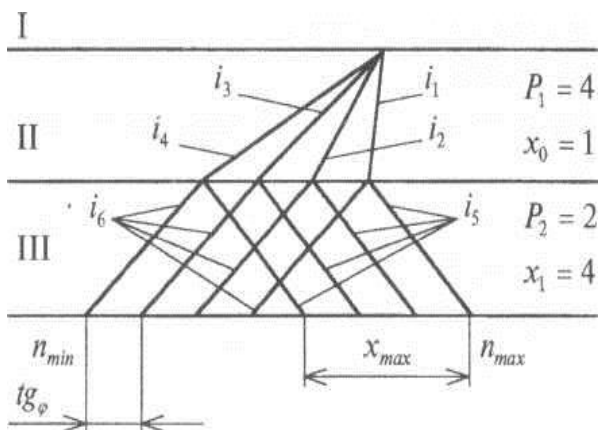
$$x_3 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

і т.д.

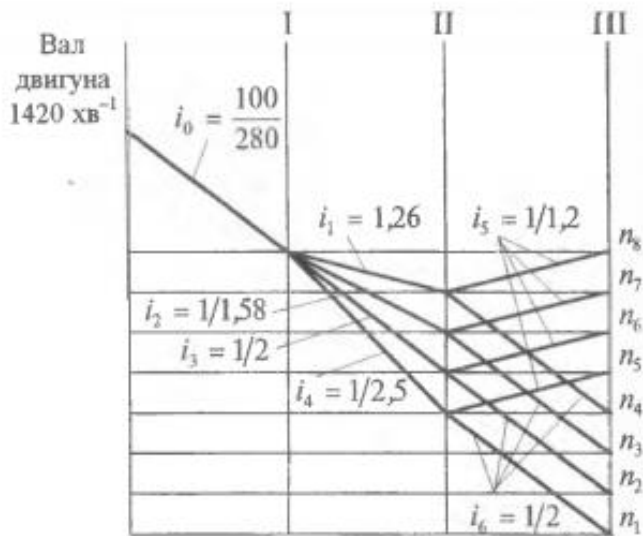




б)



е)



з)

Рис. 1.2 а – кінематична схема коробки швидкостей;  
 б, в – структурні сітки коробки;  
 г – графік частот обертання валів.

При конструюванні коробок швидкостей, що мають два вали і більше, із зміною ступенів  $n$  за законом геометричної прогресії відношення передаточних відношень замінюють відношеннями  $\varphi$  з різними ступенями  $x$ , тобто

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots : i_p = i : \varphi^x : \varphi^{2x} : \dots : \varphi^{(p-1)x},$$

де:  $x$  - ціле чнсло, що називається характеристикою групи передач.

Для запобігання надзвичайно великих діаметрів зубчатих коліс тагабаритних розмірів коробки швидкостей встановлені наступні передаточні відношення між двома послідовно з'єднаними валами:

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2.$$

Звідси знаходиться найбільший діапазон регулювання передачного групової передачі:

$$(D_{i_{\max}})_{\text{гран}} = \left( \frac{i_{\max}}{i_{\min}} \right)_{\text{гран}} = \frac{2}{\frac{1}{4}} \leq 8.$$

Тепер розглянемо діапазон регулювання передаточних відношень групових передач між валами (рис. 1.2, б):

$$\text{I - II: } D_{i_{\max}} = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{i_1}{i_2} = \varphi^{(P_1-1) \times n} = \varphi^{(4-1)1} = \varphi^3.$$

Для коробки швидкостей універсального верстата  $\varphi = 1,26$ , тому

$$D_{i_{\max}} = \varphi^3 = (1,26)^3 = 2.$$

Якщо прийняти, що

$$i_{\max} = i_1 = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,26}.$$

тоді

$$i_{\min} = i_4 = \frac{i_{\max}}{D_{i_{\max}}} = \frac{\frac{1}{\varphi}}{\varphi^3} = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{1}{256}.$$

Проміжні значення передаточних відношень (див. Рис.1.2.б, в):

$$i_2 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{1,58}; \quad i_3 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{2}.$$

$$\text{II - III: } D_{i_{\max}} = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{i_5}{i_6} = \varphi^{(P_2-1) \times n_0} \varphi^{(2-1)4} = \varphi^4 = (1,26)^4 = 2,5.$$

Приймемо, наприклад,  $i_{\max} = i_5 = \varphi = 1,26$ , тоді

$$i_{\min} = i_6 = \frac{i_{\max}}{D_{i_{\min}}} = \frac{\varphi}{\varphi^4} = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{2}.$$

Значення показників ступеня для  $\varphi$  залежить від заданої мінімальної та максимальної частоти обертання шпинделя, частоти обертання якоря електродвигуна та кількості ступенів частот обертання шпинделя.

Маючи значення передаточних відношень, структурна сітка коробки коробки швидкостей буде мати вигляд, що зображений на рис. 1.2, в.

### 1.1.2.2. Побудова графіка частот обертання шпинделя

Графік частот обертання вихідного вала будь-якої кінематичної структури (наприклад, шпинделя) будують за наступною послідовністю дій:

1. На однаковій відстані одна від одної проводять вертикальні лінії, кількість яких дорівнює кількості валів коробки швидкостей, додаючи вал електродвигуна (якщо має місце проміжна передача між двигуном та коробкою).

2. На відстані, яка дорівнює  $1g \varphi$ , проводять горизонтальні лінії (по кількості частот обертання), яким надають (знизу вгору) порядкові номери частот обертання від  $n_{min}$  до  $n_{max}$  (для даного прикладу від  $n_1$ , до  $n_8$ ). Промені, що проведені між вертикальними лініями, позначають передачу між двома валами з відповідними передаточними відношеннями, які визначені раніше.

3. За знайденими передаточними відношеннями визначають кількість зубів зубчатих коліс.

В верстатобудуванні міжосьові відстані, суми кількостей зубів спряжених коліс, кількість зубів зубчатих коліс та їх модулі нормалізовані.

Наприклад:

$$M=(\dots;2,0;2,25;3,0;3,5;4,0;4,5;5,0;5,5;6,0;7,0;8;0;\dots) \text{ мм.}$$

При постійній відстані між осями ведучого та веденого валів та однаковому модулі коліс групи передач сума зубців кожної пари зубчатих коліс є величиною сталою, тобто:

$$\begin{aligned} \sum z &= z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = z_5 + z_6 = z_7 + z_8 = \\ &= z_9 + z_{10} = z_{11} + z_{12} = \text{const.} \end{aligned}$$

Передаточні відношення пар зубчатих коліс, які можуть знаходитись в зачіпленні при переключенні блоків зубчатих коліс в коробці швидкостей (див.рис. 1.2, а), визначаються:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{1,26}; \quad i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{1,58}; \quad i_3 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{1}{2};$$

$$i_4 = \frac{z_7}{z_8} = \frac{1}{2,5}; \quad i_5 = \frac{z_9}{z_{10}} = 1,26; \quad i_6 = \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{1}{2}.$$

4. Якщо прийняти  $\sum z = 72$ , то можна визначити всі кількості зубів зубчастих коліс.

5. Аналогічним чином будується графік частот обертання шпинделя при безступеневому регулюванні частоти його обертання. При цьому враховуються найменша  $n_{дв\min}$  та найбільша  $n_{дв\max}$  частоти обертання ротора електродвигуна.

## 1.2. Обладнання та інструменти

1. Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20ФЗРМ132.
2. Штангенциркуль з межами вимірювання 0 – 250 мм.
3. Штангенциркуль з межами вимірювання 0 -125 мм з глибиноміром.

## 1.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з правилами техніки безпеки.
2. Вимкнути живлення верстата. Зняти огороження, кожухи, відкрити кришку для доступу до приводу головного руху.
3. Ознайомитись з будовою коробки швидкостей, визначити призначення та принцип дії кожного механізму.
4. Прослідкувати шляхи руху передачі руху від електродвигуна до шпинделя коробки швидкостей.
5. Визначити механізми, за допомогою яких змінюються частоти обертання шпинделя.
6. Уважно роздивитись та визначити тип, будову та розташування опор всіх валів.
7. Користуючись умовними зображеннями елементів кінематичних ланцюгів (табл. 1.1), послідовно (на шляху передачі руху від двигуна до шпинделя) скласти ескізну кінематичну схему коробки швидкостей, витримуючи співвідношення розмірів деталей в приблизному масштабі, тобто зберігаючи пропорції деталей. Вказати характер посадок на вали шківів, зубчатих коліс, муфт, гальм та інших деталей. Взаємно розташувати вали на схемі так, щоб існуючі на верстаті варіанти зачіплення зубчастих коліс були зображені ясно та чітко.



8. Зобразити на схемі опори валів, показати відповідними умовними позначеннями типи підшипників, що підтримують кожний з кінців валів.

9. Послідовно, починаючи від джерела руху, визначити параметри ланцюгів кожної кінематичної пари: діаметри шківів, кількість зубів та діаметри зубчатих коліс.

10. Визначити модулі зубчатих коліс із занесенням результатів розрахунків до табл. 1.2.

11. Визначити всі частоти обертання шпинделя при граничних значеннях частот обертання двигуна головного руху. Результати занести до табл. 1.3.




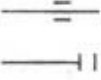
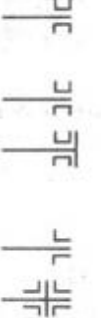
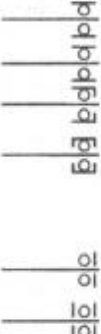
12. Побудувати структурну сітку.

13. Побудувати графік частот обертання шпинделя.

14. Оформити звіт по роботі.

Таблиця 1.1

## Умовні зображення елементів кінематичних ланцюгів

№	Найменування	Умовне позначення
1.	Вал, вісь, стержень, шатуни тощо.	
2.	Нерухома ланка (стійка). Для зазначення нерухомості будь-якої ланки частина його контуру покривається штрихуванням	
3.	Нерухоме з'єднання деталі з валом, стержнем	
4.	Підшипники ковзання та кочення на валу (без уточнення типу): – радіальні – упорні	
5.	Підшипники ковзання: – радіальні – радіально-упорні: • односторонні • двосторонні – упорні: • односторонні • двосторонні	
6.	Підшипники кочення: – радіальні – радіально-упорні: • односторонні • двосторонні – упорні: • односторонні • двосторонні	

Продовження табл.1.1


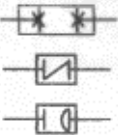

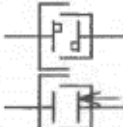


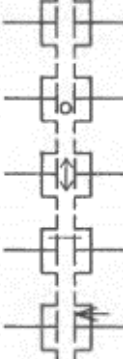

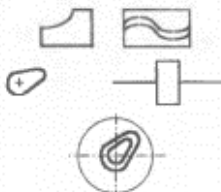
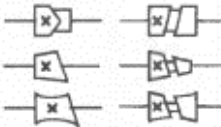
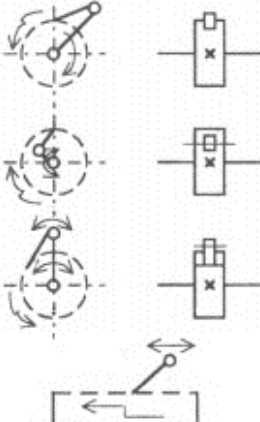
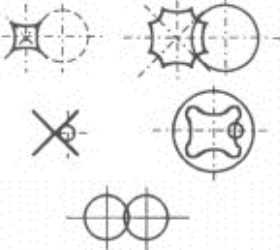


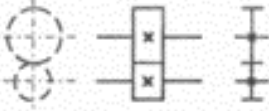


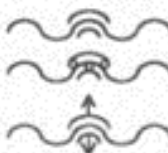

7.	Муфта. Загальне позначення без уточнення типу	
8.	Муфта незчіпна (некерована): - глуха - пружна - компенсуюча	
9.	Муфта зчіпна (керована): - загальне позначення - одностороння - двостороння	
10.	Муфта зчіпна механічна: - синхронно-зубчата - асинхронна, фрикційна	
11.	Муфта зчіпна електрична	
12.	Муфта зчіпна гідравлічна або пневматична	
13.	Муфта автоматична (самодіюча): - загальне позначення - обгінна (вільного ходу) - центробіжна фрикційна запобіжна - з елементом, що руйнується - з елементом, що не руйнується	

табл.1.1

14.	Гальмо. Загальне позначення без уточнення типу	
15.	Кулачки плоскі: – повздовжнього переміщення – що обертаються – пазові, що обертаються	
16.	Кулачки барабанні: – циліндричні – конічні – криволінійні	
17.	Храпові зубчаті механізми: – із зовнішнім зачіпленням односторонні – із внутрішнім зачіпленням односторонні – із зовнішнім зачіпленням двосторонні – з рейковим зачіпленням	
18.	Мальтійські механізми з радіальним розташуванням пазів в мальтійському хресті: – із зовнішнім зачіпленням – із внутрішнім зачіпленням – загальне позначення	

19.	Шків струпінчастий, закріплений на валу	
20.	Передача ременем (пасом): – без уточнення типу ремня  – плоским  – клиновидним  – круглим  – зубчатим	
21.	Передача ланцюгом. Загальне позначення без уточнення типу ланцюга	
22.	Передача зубчата (циліндрична). Зовнішнє зачіплення (загальне позначення без врахування типу зубів)	
23.	Передача зубчата з валами, що перетинаються, та конічна. Загальне позначення без врахування типу зубів	
24.	Передача черв'ячна з циліндричним черв'яком	
25.	Гвинт, що передає рух	
26.	Гайка на гвинті, що передає рух: – нероз'ємна  – нероз'ємна з шариками  – роз'ємна	

Закінчення табл. 1.1

27. Передача зубчата рейкова. Загальне позначення без уточнення типу зубів.	
---	---

Таблиця 1.2

Розрахунок модулів зубчатих коліс

Позначення	Кількість зубів, $z$ , шт.	Зовнішній діаметр, $D_a$ , мм.	Модуль зачіплення $m$ (мм), вирахований за формулами				Остаточний прийнятий модуль $m$ , мм.
			1.2	Прийнятий	1.3	Прийнятий	

Таблиця 1.3

Розрахунок частот обертання шпинделя

Частота обертання двигуна, $n_{дв\min}$ , $хв^{-1}$	Частота обертання шпинделя, $n_{шп}$ , $хв^{-1}$	Частота обертання двигуна $n_{дв\max}$ , $хв^{-1}$	Частота обертання шпинделя $n_{шп}$ , $хв^{-1}$

Таблиця 1.4

Порівняння розрахункових та фактичних (дійсних) інтервалів та діапазонів частот обертання шпинделя

№ з/п	Інтервали частот обертання		Діапазони частот обертання	
	Розрахункові	Фактичні	Розрахункові	Фактичні

## 1.4. Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Перелік матеріального забезпечення та основні характеристики його складових.
3. Короткі теоретичні відомості про методи визначення модулів зубчатих коліс, ряду частот обертання шпинделя, послідовність побудови структурної сітки та графіку частот обертання шпинделя.
4. Результати замірів та підрахунків у вигляді табл. 1.2 та табл. 1.3.
5. Структурна сітка швидкостей обертання шпинделя.
6. Графік частот обертання валів коробки швидкостей.
7. Розрахункові та фактичні інтервали та діапазони обертання шпинделя та порівняння їх з фактичними. Результати завести у табл. 1.4.
8. Короткі висновки.

## 1.5. Контрольні запитання

1. Формули для експериментального визначення основних геометричних характеристик зубчатих коліс.
2. Послідовність побудови структурної сітки.
3. Послідовність побудови графіки частот обертання вихідного валу коробки швидкостей.
4. Формули визначення передаточних відношень на графіку частот обертання.
5. Особливості побудови графіка частот обертання вихідного валу коробки при плавному (безступеневому) регулюванні обертання валу електродвигуна.

## Лабораторна робота №2

### ОСНОВНІ УЗЛИ, ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА КІНЕМАТИЧНИ АНЛІЗ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНО-РЕВОРВЕРНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 1В340Ф30 З ОС ЧПУ “ЕЛЕКТРОНІКА НЦ-31”

*Мета роботи* - ознайомитись з побудовою токарно-револьверного верстата моделі 1В340Ф30 та навчитись аналізувати структуру приводу головного руху з використанням графоаналітичного методу.

#### 2.1. Теоретичні відомості

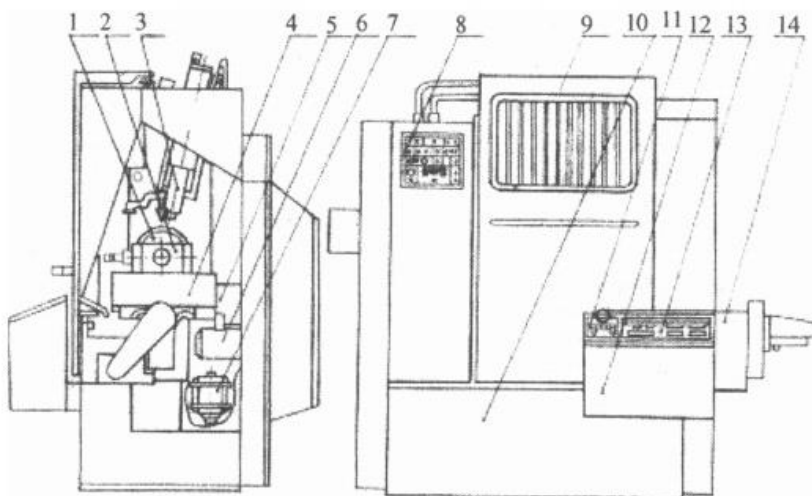
##### 2.1.1. Побудова, призначення та характеристика верстата

Токарно-револьверний верстат моделі 1В340Ф30 із хрестовим супортом та розміщеною на ньому револьверною головкою з вертикальною віссю використовується для виконання різноманітних токарних робіт при обробці з дротика деталей зі східчастим та криволінійним профілем. Крім того, на верстаті можливе нарізання різьб мітчиками, плашками та різцями. Випускаються....

Верстат складається з наступних вузлів (рис. 2.1):

1. шпindelна бабка;
2. револьверна головка;
3. супорт відрізний;
4. супорт револьверний;
5. привод поперечної подачі;
6. насос системи охолодження;
7. гідростанція;
8. пульт управління верстата (основний);
9. щит огорожі;
10. станина;
11. пульт управління (додатковий) ;
12. оперативна система управління (ОСУ) “Електроніка НЦ-31”;
13. пульт оператора;
14. привод поздовжньої подачі супорта.





*Рис. 2.1. Основні вузли верстата моделі 1B340Φ30*

ОСУ дозволяє в ході обробки першої деталі за допомогою засобів ручного управління та елементів автоматичного управління формувати управляючу програму (УП) для виготовлення наступних за першою деталлю партії запуску.

Це значно скорочує час на складання та налагодження УП, а також спрощує підготовку УП порівняно з наявними на верстатах іншими системами ЧПУ. На верстаті передбачене нарізання різьб в широкому діапазоні, включаючи багатозахідні. Затискання та подача прутка (затискання штучних заготовок) здійснюється гідравлічним механізмом.

*Таблиця 2.1  
Технічні характеристики верстата мод. 1B340Φ30*

№ з/п	Параметр	Од. виміру	Значення
1	Найбільший діаметр дротика, що обробляється	мм	40
2	Найбільша довжина виробу, що обробляється	мм	200
3	Кількість позицій револьверної головки	мм	8

4	Відстань від переднього торцю до револьверної головки:		
	- найбільша	мм	530
5	Найбільше поперечне переміщення револьверної головки	мм	110
6	Кількість швидкостей і частот		12

	- найменша	мм	226
--	------------	----	-----

	обертання шпинделя		
7	Частота обертання шпинделя	$\text{хв}^{-1}$	45, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1000, 1400, 2000
8	Частоти зворотного обертання шпинделя	$\text{хв}^{-1}$	45, 63, 90, 125, 180, 250
9	Межі подач револьверного супорта:		
	- поздовжній	мм/хв	1-2500
	- поперечних	мм/хв	1-2500
10	Дискретність переміщення револьверного супорта:		
	- поздовжнього	мм	0,010
	- поперечного	мм	0,005
11	Швидкість прискореного ходу револьверного супорта:		
	- поздовжнього	мм/хв	10000
	- поперечного	мм/хв	5000
12	Межі подачі відрізного супорта	мм/хв	5-60
13	Найбільш крутий момент на шпинделі	Н·м	400
14	Найбільше зусилля подач:		
	- поздовжньої	Н	6000
	- поперечної	Н	3000
15	Електродвигун головного руху:		
	- тип		4A132M6/4У3
	- потужність	кВт	7,1/8,5
	- частота обертання ротора	$\text{хв}^{-1}$	980/1440
16	Двигун подач:		
	- тип		PF4FK7712
	- номінальна частота обертання ротора	$\text{хв}^{-1}$	600

*Продовження табл.2.1*

Закінчення табл.2.1

	- максимальна частота обертання	$\text{хв}^{-1}$	1500
17	ПЧПУ:		
	- тип		“Електроніка НЦ-31”
	- число координат, що управляються, всього		2
	- число координат, що управляються, водночас		2
	- програмоносій		Електронна пам'ять
18	Маса верстата	кг	2500

Управління верстатом здійснюється за допомогою основного та додаткового пультів управління або пульта оператора ПЧПУ.

Перелік органів управління на пультах управління (рис. 2.2, 2.3):

1. кнопка “поворот револьверної головки”;
2. перемикач “вибір позиції револьверної головки”;
3. тумблер “розвантажувальний пристрій”;
4. лічильник деталей;
5. кнопка “пуск гідропривода”;
6. кнопка “пуск привода подач”;
7. кнопка “зупинка привода подач”;
8. сигнальна лампа “відсутність тиску у системі мастила”;
9. сигнальна лампа “відсутність тиску у гідросистемі”;
10. тумблер “освітлення”;
11. кнопка “вихідне положення відрізного супорта”;
12. кнопка “робота відрізного супорта”;
13. сигнальна лампа “відсутність живлення у приводах”;
14. сигнальна лампа “верстат ввімкнений”;
15. кнопка “зупинка шпинделя”;
16. кнопка “гальмо шпинделя”;
17. кнопка “пуск шпинделя”;
18. тумблер “вибір напрямку обертання шпинделя”;
19. тумблер “закріплення-розкріплення деталі”;
20. перемикач “вибір пульта управління”;
21. перемикач “вибір швидкості обертання”;
22. кнопка “переривання обертання шпинделя”;
23. кнопка “аварійний стоп”;

- 24. сигнальна лампа “теплове перегрівання привода”;
- 25. сигнальна лампа “збій верстата”;
- 26. сигнальна лампа “збій приводів”;
- 27. механічний штурвал (маховичок);
- 28. сигнальна лампа “обмеження переміщення супорта по осях”;
- 29. сигнальна лампа “вихідне положення супорта по осях”;
- 30. перемикач “закріплення осей”;
- 31. перемикач “охолодження”;
- 32. тумблер “перевищення робочої подачі”;
- 33. тумблер “підтвердження зупинки”.

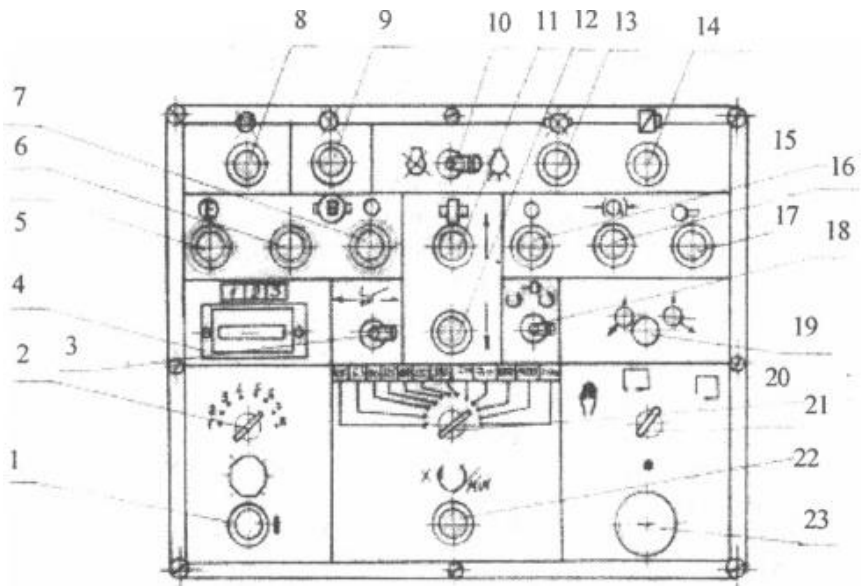


Рис. 2.2. Пульт управління основний

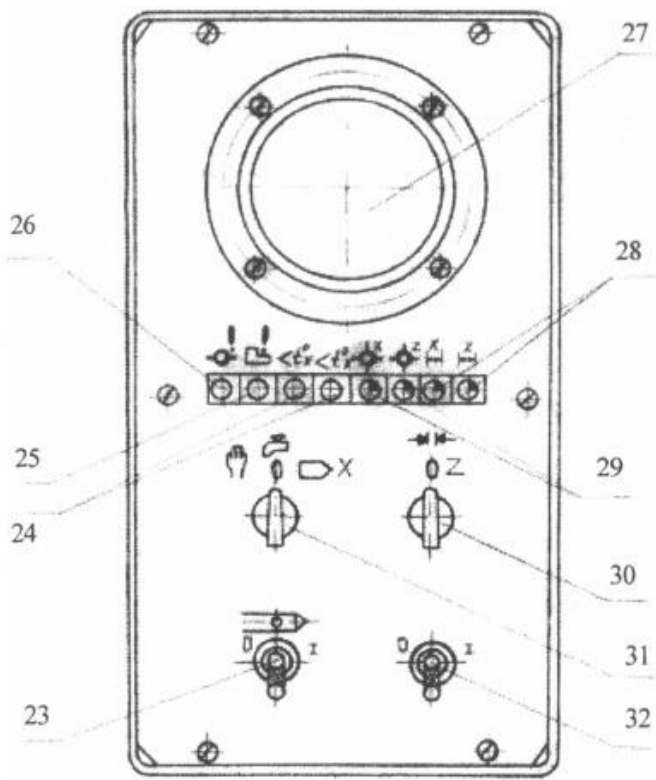


Рис. 2.3. Пульт управління додатковий

### 2.1.2. Кінематична схема привода головного руху верстата мод. 1В340Ф30

Обертання шпинделя здійснюється від двошвидкісного електродвигуна потужністю 7,1/8,5 кВт із частотою обертання ротора 980/1470 хв<sup>-1</sup> через автоматичну коробку швидкостей (АКШ) та дві пасові (клинову та зубчасту) передачі. Коробка швидкостей забезпечує одержання 6-ти швидкостей обертання шпинделя, що отримуються автоматично. З урахуванням двох швидкостей обертання ротора електродвигуна шпиндель верстата має 12 швидкостей (див табл. 2.1).

На верстаті застосована уніфікована автоматична коробка швидкостей типу АКС 206-32-31. Ступені регулювання перемикаються за допомогою електромагнітних муфт М1, М2, М3, М4, М6 (муфта М5 вмикається при реверсивному напрямку обертання шпинделя), що вмикаються тільки попарно. Гальмування вихідного валу коробки швидкостей здійснюється одночасним вмиканням трьох муфт на вихідному валу при вимкнених всіх інших муфтах. Реверсування шпинделя здійснюється електродвигуном.

Подача відрізного супорта (робоча 5...60 мм/хв та швидкий хід - 8 м/хв) здійснюється за допомогою гідравліки (на схемі не показано).

Подача револьверного супорта в поздовжньому напрямку (по осі Z - вздовж осі обертання шпинделя) та в поперечному напрямку (по осі X) здійснюється електродвигунами постійного струму з регульованою частотою обертання (від 0 до 1500 хв<sup>-1</sup>). Переміщення супорта в обох напрямках забезпечуються парою гвинт-гайка з кроком гвинтів в поздовжньому напрямку 10 мм, а в поперечному - 5 мм.

### 2.1.3. Кінематичний аналіз привода головного руху

Результат аналізу кінематичної схеми верстата (рис. 2.4) показує, що в даній моделі верстата застосоване дискретне (ступінчасте) регулювання частот обертання шпинделя. Дійсні значення останніх знаходять із рівняння кінематичного балансу привода головного руху:

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{дв}} \cdot i_{\text{кшп}} \cdot \eta \cdot i_{\text{кш}} \cdot i_{\text{взп}}, \quad (2.1)$$

де:  $n_{\text{шп}}$  – частота обертання шпинделя, хв<sup>-1</sup>;

$n_{\text{дв}}$  – частота обертання ротора електродвигуна головного руху, хв<sup>-1</sup>;

Згідно кінематичної схеми:

$$n_{дв1} = 980 \text{ хв}^{-1}; \quad n_{дв2} = 980 \text{ хв}^{-1};$$

$i_{кпп}$  ( $i_{пзп}$ ) - передатне відношення клинопасової (пасовозубчастої) передачі

в кінематичному ланцюгу електродвигун (джерело руху) - шпindel (кінцевий елемент ланцюга, споживач, кінцева ланка руху);

за кінематичною схемою:

$$i_{кпп} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \eta,$$

де:  $D_1$  – діаметр ведучого шківа, що жорстко закріплений на валі електродвигуна, клинопасової передачі, мм;

$D_2$  – діаметр веденого шківа, що жорстко закріплений на I валу коробки швидкостей, клинопасової передачі, мм;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії клинопасової передачі,  $\eta = 0,95 - 0,99$ ;

$$i_{пзп} = \frac{D_3}{D_4},$$

де:  $D_3$  – діаметр ведучого шківа, що жорстко закріплений на вихідному валу коробки швидкостей, пасовозубчастої передачі, мм;

$D_4$  – діаметр веденого шківа, що жорстко закріплений на валу шпindel, пасовозубчастої передачі, мм;

$i_{кш}$  – передатне відношення коробки швидкостей. Що залежить від схеми передачі рухів між валами АКШ I -II, II - III, III - IV, I - III, I – V та IV – V коробки та визначення відповідним кінематичним ланцюгом зубчатих зачіплень:



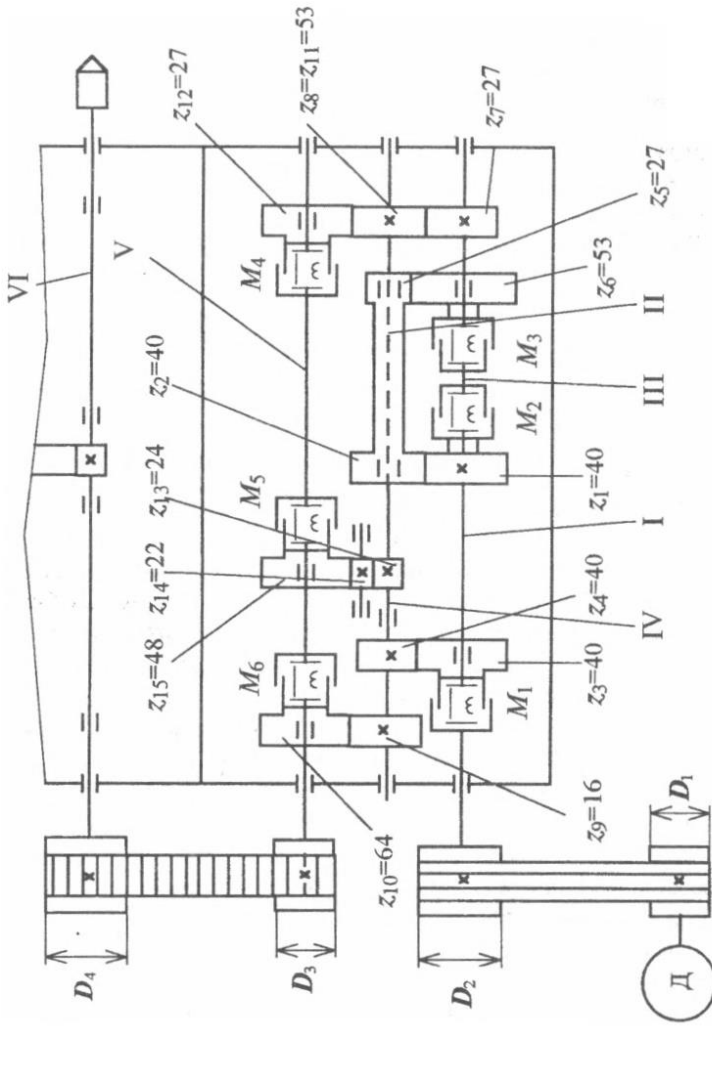


Рис. 2.4. Кінематична схема привода головного руху вер-  
стата мод. ІВ340Ф30

$$i_{\text{кш}} = \prod_{j=1}^k i_j = i_{1(I-II)} \cdot i_{2(II-III)} \cdot \dots \cdot i_{j(I-m)} \cdot \dots,$$

де:  $\Pi$  – знак добутку;

$i_{1(I-II)}$  – передатне відношення першої групи передач, наприклад, з вала I на вал II;

$i_{1(II-III)}$  – передатне відношення другої групи передач, наприклад, з вала II на вал III;

$i_{j(I-m)}$  – передатне відношення  $j$ -ої групи передач, наприклад з вала I на вал  $m$ ;

$k$  – кількість груп передач.

Для даного верстата з врахуванням увімкнених електромагнітних муфт:

$$i_{1(I-II)} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{40}{40};$$

$$i_{1(II-III)} = \frac{z_5}{z_6} (M3) = \frac{27}{53} (M3);$$

і т.д.;

$k=6$  : I – II, II – III(M3), III – IV, I – III(M2), I – IV(M1),

IV – V(M4 або M6).

Це означає, що передача руху в АКШ передається в наступній послідовності:

- або через валі I – II – III – IV, тобто без пропусків порядкових номерів валів АКШ;

- або через валі I – III – IV, тобто з пропуском вала II АКШ;

- через валі I – IV. Тобто з пропусками валів II та III АКШ.

Для дискретної зміни частоти обертання вихідної ланки будь-якого механізму технологічного обладнання (в нашому випадку шпинделя токарного верстата з ЧПУ) характерною є наявність знаменника  $\varphi$  рду частот обертання валів.  $\ln \varphi$  визначається за формулою:

$$\ln \varphi = \frac{\ln \frac{n_{\max}}{n_{\min}}}{z-1}, \quad (2.2)$$

де:  $z$  – кількість частот обертання шпинделя, в нашому випадку  $z = 12$ .

Отримане значення знаменника  $\phi$  уточнюють за нормалізованими його значеннями, що наведені в табл. 2.1.

Після цього з табл. 2.1 знаходять стандартне значення  $n_{станд}$  частоти обертання шпинделя, що відповідає розрахунковому  $n_{роз}$ , та визначають відносне відхилення частот за формулою:

$$\pm \Delta n\% = \frac{n_{роз} - n_{станд}}{n_{станд}} \cdot 100. \quad (2.3)$$

Таблиця 2.2

Числа та ряди чисел переважного використання

Позначення ряду $E_1 = 20$											
Значення знаменника $\phi = 1,12$											
г	п	г	п	г	п	г	п	г	п	г	п
1	1,12	11	3,55	21	11,2	31	35,5	41	112	51	355
2	1,25	12	4,00	22	12,5	32	40,0	42	125	52	400
3	1,40	13	4,50	23	14,0	33	45,0	43	140	53	450
4	1,60	14	5,00	24	16,0	34	50,0	44	160	54	500
5	1,80	15	5,60	25	18,0	35	56,0	45	180	55	560
6	2,0	16	6,30	26	20,0	36	63,0	46	200	56	630
7	2,24	17	7,10	27	22,4	37	71,0	47	224	57	710
8	2,50	18	8,00	28	25,0	38	80,0	48	250	58	800
9	2,80	19	9,00	29	28,0	39	90,0	49	280	59	900
10	3,15	20	10,0	30	31,5	40	100	50	315	60	1000
Позначення ряду $E_1 = 10$											
Значення знаменника $\phi = 1,26$											
1	1,25	6	4,00	11	12,5	16	40,0	21	125	26	400
2	1,60	7	5,00	12	16,0	17	50,0	22	160	27	500
3	2,00	8	6,30	13	20,0	18	63,0	23	200	28	630
4	2,50	9	8,00	14	25,0	19	80,0	24	250	29	800
5	3,15	10	10,0	15	31,5	20	100	25	315	30	1000
Позначення ряду $E_1 = 20/3$											
Значення знаменника $\phi = 1,41$											
1	1,40	5	5,60	9	22,4	13	90,0	17	355		
2	2,00	6	8,00	10	31,5	14	125	18	500		
3	2,80	7	11,2	11	45,0	15	180	19	710		
4	4,00	8	16,0	12	63,0	16	250	20	1000		

Позначення ряду $E_1 = 5$
Значення знаменника $\varphi = 1,58$

*Продовження табл.2.2*

1	1,60	4	6,30	7	25,0	10	100	13	400		
2	2,50	5	10,0	8	40,0	11	160	14	630		
3	4,00	6	16,0	9	63,0	12	250	15	1000		
Позначення ряду $E_1 = 20/5$											
Значення знаменника $\varphi = 1,78$											
1	1,80	3	5,60	5	18,0	7	56,0	9	180	11	560
2	3,15	4	10	6	31,5	8	100	10	315	12	1000
Позначення ряду $E_1 = 10/3$											
Значення знаменника $\varphi = 2,0$											
1	2,00	3	8,00	5	31,5	7	125	9	500		
2	4,00	4	15,0	6	63,0	8	250	10	1000		
Примітка: ряди чисел більше 1000 та менше 1 отримують множенням або діленням табличних даних на 1000											

Далі порівнюють отримане значення відносної похибки з допустимим її значенням  $[\Delta n]$ , що визначається за формулою:

$$[\Delta n] \leq |10(\varphi - 1)\%|. \quad (2.4)$$

Результати розрахунків заводять до табл. 2.3.

*Таблиця 2.3*

*Результати розрахунків частот обертання шпинделя*

Номер ступені	Частота обертання ротора електро-Двигуна, $xv^{-1}$	Номери ввімкнених муфт	Частота обертання шпинделя, $xv^{-1}$		Визначена похибка, $[\Delta n]$ , %	Висновки
			Нормалізована	Розрахункова		

Змінити поля "Висновки" в табл. 2.3 є рішення студента щодо придатності або непридатності розрахункових частот обертання шпинделя з їх нормалізованими значеннями на підставі виразу (2.4).

## 2.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.
2. Вивчити основні вузли верстата, його органи управління та технічні характеристики, що визначають його (верстата) технологічні можливості.
3. За формулою (2.2) визначити знаменник ряду частот обертання валів привода головного руху та співставити його із нормалізованим значенням з табл. 2.1.
4. Виміряти на верстаті діаметри шківів  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  відповідних пасових передач.
5. Знайти розрахункові (дійсні) значення частот  $n_{роз}$  обертання шпинделя (табл. 2.1) та їх відхилення від стандартних  $n_{станд}$  (формули 2.4, 2.3).
6. Побудувати графік частот обертання валів привода головного руху, включаючи частоту обертання шпинделя.
7. Оформити звіт по роботі.

## 2.3. Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Основні вузли верстата, характеристика органів управління (рис. 2.1, 2.2, 2.3).
3. Кінематична схема верстата та кінематичний баланс кінематичного ланцюга привода головного руху (рис. 2.4).
4. Результати вимірювання діаметрів шківів  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  відповідних пасових передач.
5. Розрахунок знаменника ряду частот обертання шпинделя.
6. Структурна сітка та графік частот обертання шпинделя.
7. Розрахунок частот обертання шпинделя та їх відносних похибок (табл. 2.3).
8. Аналіз отриманих результатів та стислі висновки щодо виконаної роботи.

## 2.4. Контрольні запитання

1. Побудова токарно-револьверного верстата мод. 1В340Ф3О: основні вузли, призначення, взаємодія.
2. Особливості приводів головного руху верстатів із ступінчастим регулюванням частот обертання шпинделя.
3. Рівняння кінематичного балансу обертання валів привода головного руху верстата мод. 1В340Ф3О.
4. Похибки обертання валів коробки швидкостей та їх допустимі значення.
5. Ряди частот обертання шпинделя та їх значення.
6. Кінематичні ланцюги передачі рухів за кінематичною схемою рис. 2.4 та побудованим графіком частот обертання валів привода головного руху, їх взаємодія.

## **НАЛАГОДЖЕННЯ ЗУБОФРЕЗНОГО НАПІВАВТОМАТА МОДЕЛІ 5К32А ДЛЯ НАРІЗАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПРЯМО- ЗУБНИХ ЗУБЧАТИХ КОЛІС**

*Мета роботи* – вивчити будову, принцип роботи зубофрезного напівавтомата мод. 5К32А та отримати навички в налагодженні кінематичних ланцюгів для нарізання циліндричних прямозубних зубчастих коліс.

### **3.1. Теоретичні відомості**

#### **3.1.1. Загальні відомості про нарізання зубчастих коліс**

Нарізання зубів черв'ячною фрезою виконується на зубофрезерних верстатах методом обкатки. Профіль ріжучої частини черв'ячної фрези в осьовому її перетині близький до профілю рейки. Тому нарізання зубів черв'ячною фрезою можна представити як зачіплення рейки із зубчастим колесом.

Робочий рух - рух різання реалізується обертанням фрези (рис. 3.1). Для забезпечення обкатки обертання фрези 4 та заготовки 3 повинно бути узгодженим так, як і при зачіплення черв'яка 1 та колеса 2, тобто число обертів столу із заготовкою повинно бути менше, ніж у фрези, у стільки разів, у скільки кількість зубів, що нарізаються, більше кількості заходів фрези (при однозахідній фрезі стіл із заготовкою обертається в  $Z$  разів повільніше фрези).

Рух подачі реалізується переміщенням супорту з фрезою відносно колеса, що нарізається (паралельно його осі). При необхідності реалізується також радіальна подача - подача врізання. При нарізанні косо-зубих коліс, крім того, повинне бути забезпечене додаткове обертання столу із заготовкою, що зв'язане з рухом подачі.

Відповідно до сказаного зубофрезерний верстат мод. 5К32А має кінематичні ланцюги та органи їх налагодження, що вказані в табл. 3.1.

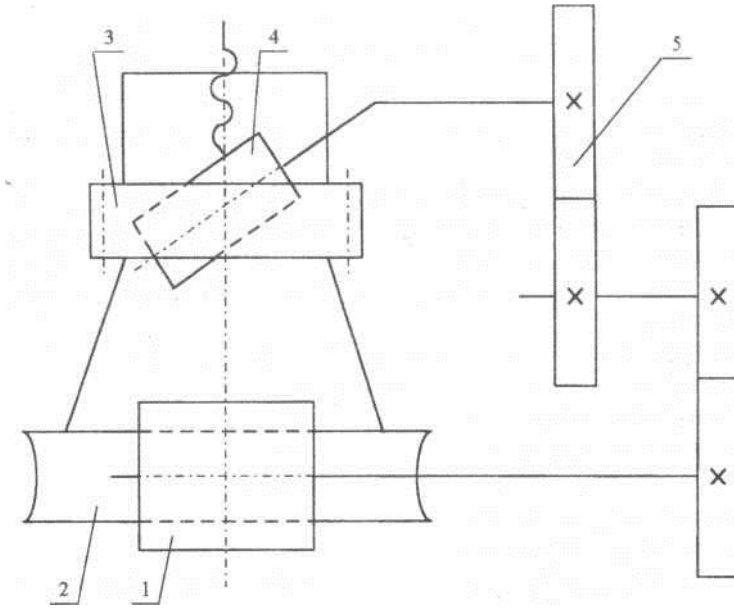


Рис. 3.1. Сема, що ілюструє принцип роботи зубофрезних верстатів

Таблиця 3.1.  
Основні кінематичні ланцюги зубофрезних верстатів

Ланцюг	Що забезпечується	Крайні елементи ланцюга	РУзи, які необхідно зв'язати	Орган настроювання
Швидкісний (головного руху), $n_{\phi}$	Швидкість різання $V$ , м/хв (частота обертання $n_{\phi}$ , $xv^{-1}$ )	Електродвигун – фрезерний шпиндель	Обертання вала електродвигуна $n_{дв}$ , $xv^{-1}$ та фрези $n_{\phi}$ , $xv^{-1}$	Гітара швидкості $a, b$



Закінчення табл. 3.1

Поділу	Число зубів, що нарізаються, $Z$	Стіл-фрезерний шпинделя	Один оберт фрези – $k \setminus Z$ обертів столу	Гітара поділу $a_1, b_1, c_1, d_1$
Основної (вертикальної) подіча	Подача $S_0$ , мм/об	Стіл-гвинт подачі супорта	Один оберт заготовки – осьове переміщення супорта на $S_0$	Гітара вертикальної подачі $a_2, b_2$
Диференціалу	Кут нахилу щувів, що нарізаються, $\beta$	Стіл-гвинт подачі супорта	Переміщення супорта на основний крок – додатковий поворот заготовки $1 \setminus Z$	Гітара диференціалу $a_3, b_3, c_3, d_3$

### 3.1.2. Основні технічні характеристики зубофрезного напівавтомата мод. 5K32A

Зубофрезерний напівавтомат мод. 5K32A призначений для нарізання циліндричних прямозубих та косозубих зубчастих, а також черв'ячних коліс.

Нарізання зубчастих коліс виконується способом обкатки черв'ячної фрези та заготовки, що обертається, супутним або зустрічним зубофрезеруванням з вертикальною та /або радіальною подачею. Черв'ячні колеса нарізаються з радіальною та /або тангенціальною (осьовою) подачами.

Верстат має наступні основні технічні характеристики, що подані у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Основні технічні характеристики верстата мод. 5K32A

№ з/п	Параметр	Од. виміру	Значення
1	Параметри зубчастих коліс, що		

	нарізаються:		
	Найбільший модуль	мм	10
	Найбільший діаметр	мм	800
	Найбільша довжина	мм	300

Закінчення табл.3.2

	Наймеша кількість зубів	шт	12
2	Значення частот обертання шпинделя фрези (9 частот)	$\text{хв}^{-1}$	50; 63; 80; 100; 125; 150; 200; 250; 310
3	Значення подач:		
	Вертикальної (8 подач)	мм/об	0,58; 0,8; 1; 1,7; 2; 2,5; 4,5
	Радіальної (8 подач)	мм/об	0,2; 0,27; 0,33; 0,56; 0,67; 0,83; 1,38; 1,7
	тангенціальної	мм/об	0,17 – 3,7
4	Потужність електродвигуна привода головного руху	кВт	7,0
5	Маса	кг	7200

### 3.1.3. Основні вузли та органи управління верстата мод. 5К32А

Основні вузли та органи управління напівавтоматом 5 К32А показані на рис. 3.2., де позначено:

1. Отвір для транспортування верстата;
2. Перемикач методу фрезерування - супутного або зустрічного;
3. Вимикач освітлення;
4. Вимикач охолодження;
5. Перемикач циклів;
6. Перемикач обертання фрези;
7. Сигнальна лампа вмикання радіальної подачі;
8. Сигнальна лампа вимкнення вертикальної подачі;
9. Сигнальна лампа “верстат ввімкнено”;
10. Кнопка “пуск” гідронасосу;
11. Кнопка “стоп” гідронасосу;
12. Кнопка “пуск” головного приводу;
13. Кнопка “стоп” головного приводу;
14. Кнопка “пуск” циклу;
15. Кнопка “стоп” циклу;

16. Кнопка прискореного відведення столу;
17. Кнопка прискорення підведення столу;
18. Кнопка прискореного ходу супорта “вверх”;
19. Кнопка прискореного ходу супорта “вниз”;
20. Рукоятка включення та виключення вертикальної подачі;
21. Манометр;
22. Аварійний упор;
23. Упор зупинки прискореного відведення столу;
24. Отвір для транспортування верстату;
25. Аварійний упор;
26. Упор виключення прискореного підвищення столу;
27. Квадрат для ручного переміщення упору;
28. Рукоятка фіксування упору зупинки столу;
29. Квадрат для ручного переміщення столу;
30. Кран управління переміщенням кронштейну контрпідтримки;
31. Рукоятка кріплення кронштейну контрпідтримки;
32. Верхній упор автоматичного управління роботою верстата за циклом;
33. Нижній упор автоматичного управління роботою за циклом;
34. Лінійка для повороту супорта на кут;
35. Квадрат для ручного повороту супорта на кут;
36. Квадрат для ручного повороту супорта;
37. Рукоятка блоку тангенціальної подачі;
38. Рукоятка реверса тангенціальної подачі;
39. Квадрат для натягування пасів ланцюга головного руху;
40. Гвинт затиску диференціалу при обробці прямозубих та черв'ячних коліс;
41. Лінійний вимикач;
42. Квадрат для ручного повороту шнека транспортера стружки;
43. Квадрат підйому та опускання шнека;
44. Змінні шестерні для нарізування простих чисел зубів;
45. Нижній аварійний упор;
46. Квадрат шомпола кріплення оправки фрези;
47. Верхній аварійний упор;
48. Аварійний упор;
49. Кран охолодження.

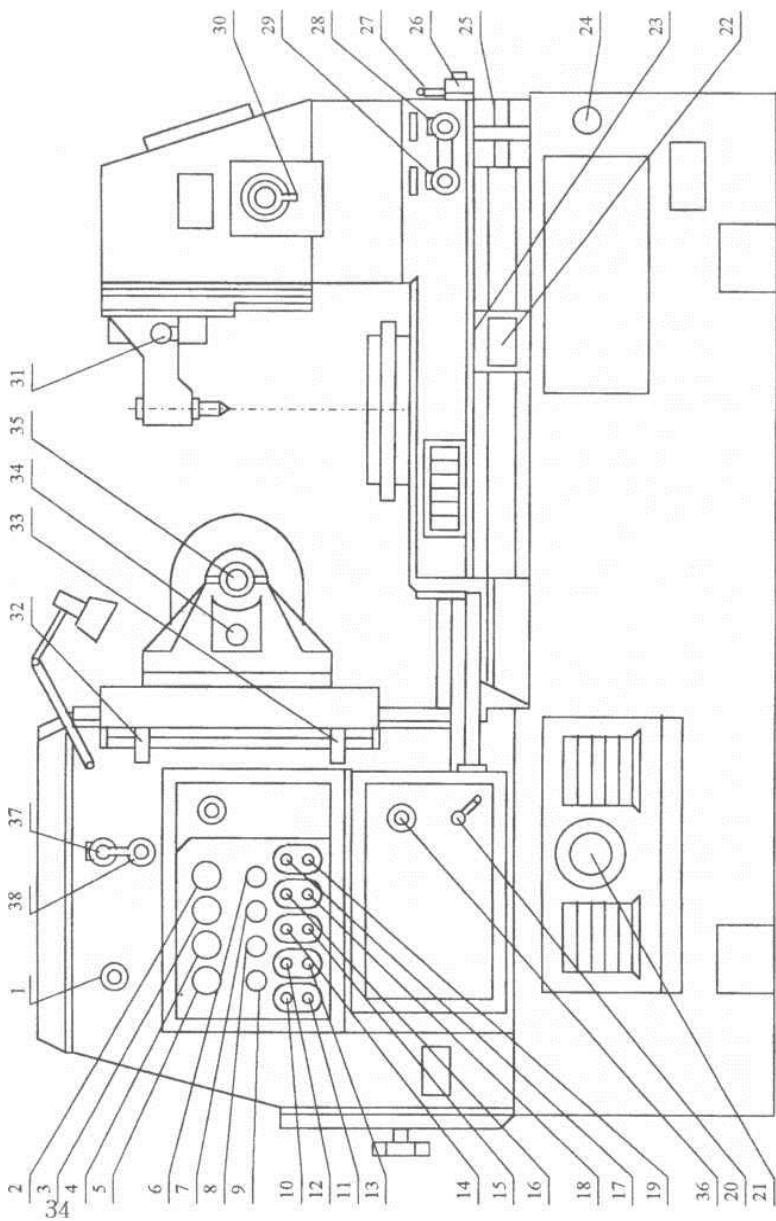


Рис. 3.2. Схема основних вузлів та органів управління напівавтоматом мод. 5К32А

### 3.1.4. Включення верстата в роботу

Послідовність дій для включення в роботу зубофрезерного напівавтомата наступна:

1. включити лінійний вимикач 41;
2. перемикач циклів 5 поставити в положення “вертикальна подаюча”;
3. перемикач методу фрезерування 2 поставити в положення “зустрічне фрезерування”;
4. перемикач обертання фрези 6 повернути вправо;
5. рукояткою 20 ввімкнути вертикальну подачу;
6. рукоятку реверса тангенціальної подачі 38 поставити в нейтральне положення;
7. натиснути на кнопку “пуск” гідронасосу 10 (загориться сигнальна лампа 9 “верстат ввімкнено”);
8. натиснути кнопку “пуск” циклу 14 (загориться сигнальна лампа вертикальної подачі 8);
9. включити охолодження 4.

### 3.1.5. Налаштування зубофрезерного напівавтомата мод. 5К32А

#### 3.1.5.1. Зміст налаштування

Основними операціями налаштування є:

- налаштування кінематичних ланцюгів верстата (гітар швидкостей, подач, поділу, диференціалу);
- установка, вивіряння, закріплення заготовки та фрези;
- встановлення фрези відносно заготовки на необхідну глибину фрезерування;
- встановлення упорів автоматичного вимкнення верстата.

При установці черв'ячної фрези необхідно для її закріплення на оправці використовувати мінімальну кількість розпірних кінець.

Після установки та закріплення фрези на оправці салазки фрезерного супорта повертають на кут встановлення (рис 3.3.):

$$\gamma = \beta \pm \alpha,$$

де знак:

“-” - використовують при різних напрямленнях гвинтових ліній зубів колеса та фрези;

“+” - при однонаправлених витках зубів колеса та фрези.

Радіальне биття зовнішньої поверхні заготовки, що затиснена в пристосуванні, не повинне перевищувати 0,02 мм.

Частоту обертання фрези визначають виходячи із матеріалу ріжучої частини, зовнішнього діаметра фрези та допустимої швидкості різання. Для звичайних фрез із швидкоріжучої сталі при нарізанні циліндричних зубчатих коліс швидкість різання рекомендується вибирати за табл. 3.2.

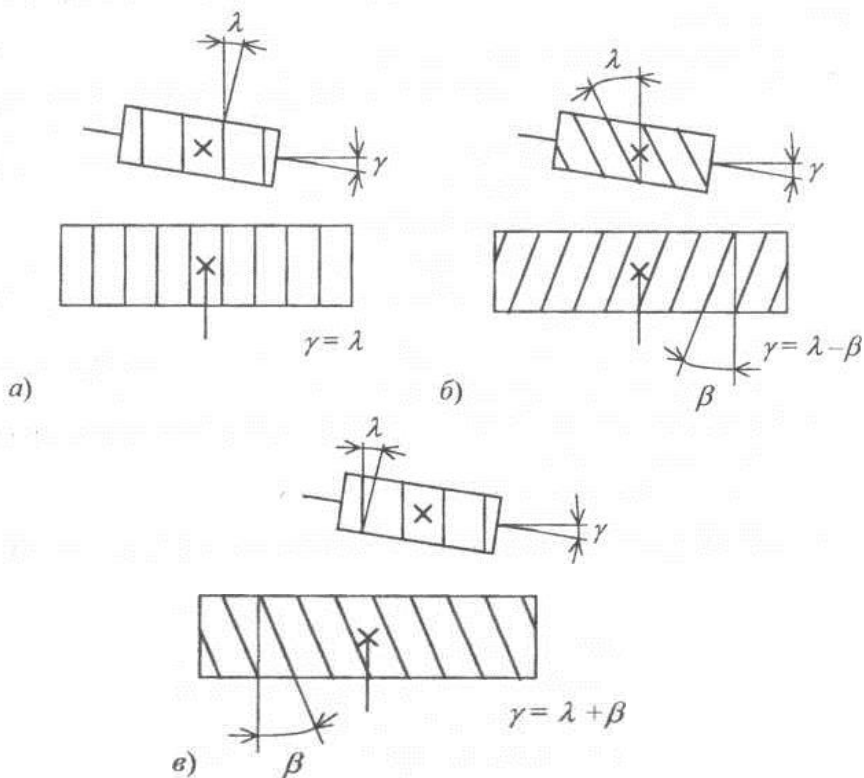


Рис. 3.3. Схема взаємного розташування фрези на оправці та салазок фрезерного супорта

Таблиця 3.3.  
Рекомендовані значення швидкостей різання для черв'ячних фрез із швидкорізальної сталі

Матеріал заготовки	Швидкість різання, м/хв	
	Чорновий прохід	Чистовий прохід
Чавун	16-20	20-25
Сталь конструкційна	20-28	25-36

Подача вибирається в залежності від необхідної точності колеса, що нарізається, та допустимої шорсткості поверхні зубів.

При нарізанні прямозубих зубчатих коліс черв'ячними фрезами із швидкорізальної сталі вертикальні подачі вибирають за табл. 3.4.

Таблиця 3.4  
Рекомендовані значення вертикальних подач для черв'ячних фрез із швидкорізальної сталі

Матеріал заготовок	Характер обробки	Модуль, мм	Число зубів колеса, що нарізається			
			до 25	до 40	до 70	до 120
			Подача на оберт заготовки, мм/об			
Сталь конструкційн	Чистове нарізання зубів	1,5 – 2,0	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,6 – 0,9	0,8 – 0,9
		2,5 і більше	0,6 – 0,9	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	1,0 – 1,2
	Чорнове нарізання зубів	2,5 – 3,0	3,0 – 4,0	3,0 – 4,0	3,0 – 4,0	3,0 – 3,4
		3,5				
		4				
		4,5	2,7 – 3,5	2,9 – 3,5	3,0 – 3,5	3,0 – 3,5

Установка упорів виконується в такій послідовності: спочатку підводиться стіл до дотику фрези із заготовкою, потім стіл відводиться на 0,5 мм і в цьому ж положенні закріплюється упор 26 (рис. 3.2.), що вмикає швидке підведення стола.

З перепадом у 0,25 мм встановлюється також аварійний упор 25. Потім стіл відводиться на величину, що забезпечує вільне сход-



ження та установку виробу (не менш 15-20 мм) і в цьому положенні встановлюється упор 23, що вмикає прискорене відведення столу за циклом. Знову підводиться стіл до дотику фрези із заготовкою і в такому положенні, повертаючи квадрат 27, підводиться змонтований всередині столу рухомий упор 25 впритул до нерухомого упору, а потім відводиться на величину глибини проходів. Стіл на прискореному ході відводиться в праве вихідне положення. Вертикальні упори забезпечують необхідну довжину зубофрезерування. Їх положення повинно враховувати ширину пакету заготовок та величини врізання і перебігу інструмента.

Передачу рухів різними механізмами верстата зручно розглядати за його кінематичною схемою (рис. 3.4.). Це значно полегшує виведення формул для налагоджування відповідних верстатних ланцюгів.

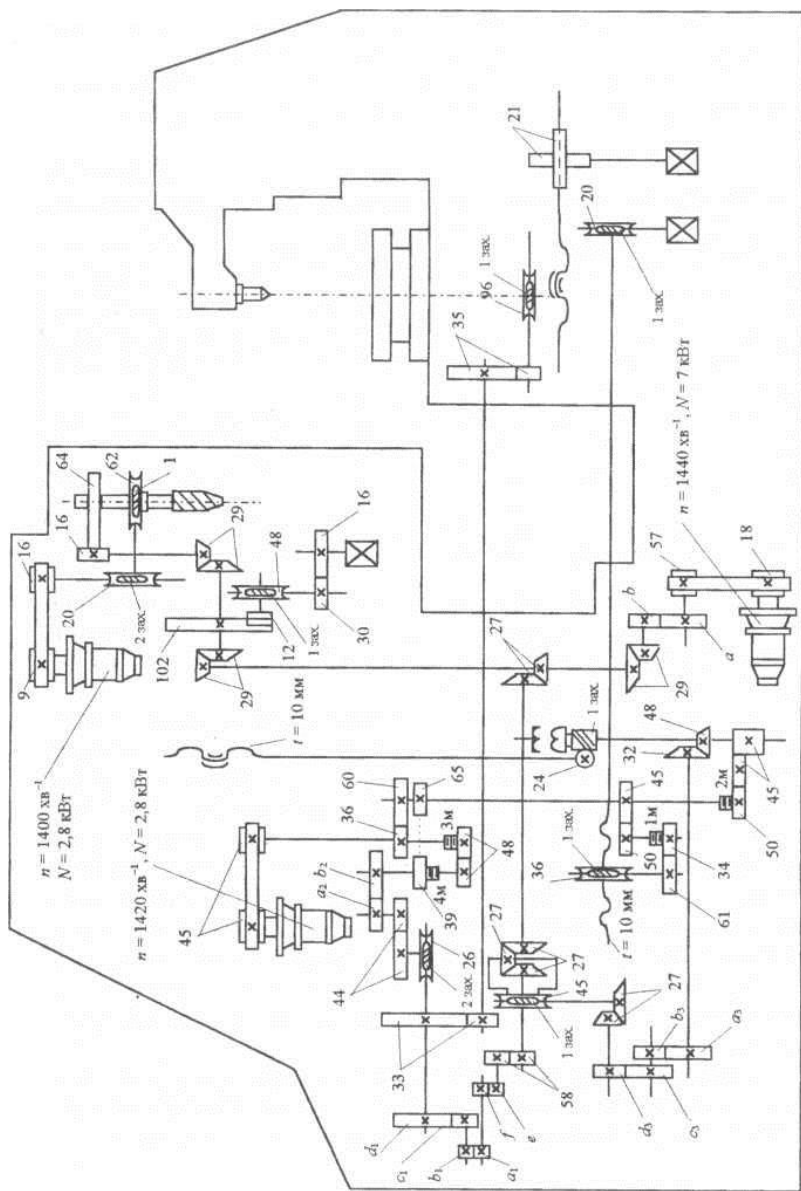


Рис. 3.4 Кінематична схема верстата мод. 5К52А

На кінематичній схемі вказані числа зубів циліндричних, конічних та черв'ячних коліс та кількість заходів черв'яків в черв'ячних передачах. Вказані також деякі характеристики електродвигунів головного руху, прискорених рухів, осьового переміщення фрези (вздовж осі фрезерної оправки).

На схемі вказані також електромагнітні муфти, вмикання яких в різних поєднаннях забезпечує необхідні рухи:

- 1М та 2М - прискорене переміщення столу або супорта;
- 1М та 4М - радіальна подача стола;
- 2М та 4М - вертикальна подача супорта вверх;
- 2М та 3М - вертикальна подача супорта вниз.

Нарізання черв'ячних коліс виконується при радіальній подачі фрези.

В конструкції зубофрезерних верстатів передбачено спеціальний механізм - механізм диференціалу, призначений для додаткового обертання заготовки при нарізанні косозубих зубчастих коліс.

### 3.1.5.2. Налаштування гітари швидкостей (обертання фрези)

Швидкісний ланцюг зв'язує задане число обертів фрези  $n_f$  з числом обертів електродвигуна головного приводу  $n_{дв} = 1440 \text{ хв}^{-1}$ , тому рівняння швидкісного ланцюга має вигляд (див. рис. 3.4.):

$$n_f = 1440 \cdot \frac{18}{57} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{18}{64}, \text{ хв}^{-1}$$

де  $a$  та  $b$  - числа зубів змінних коліс гітари швидкостей;  
 $a + b = 87$

Верстат має п'ять змінних коліс:

$$\frac{23}{64}; \frac{27}{60}; \frac{31}{56}; \frac{36}{51}; \frac{41}{46}.$$

Колеса кожної пари можуть бути встановлені у вказаному та зворотному порядку, наприклад  $\frac{64}{23}$ , що дозволяє отримати відповідно дев'ять частот обертання фрези  $n_f$  (див. п. 3.1.2).

### 3.1.5.3. Налаштування гітари поділу

Для нарізання коліс із зубів  $Z$  за час одного оберту черв'ячної фрези з числом заходів  $k$  заготовка повина зробити  $k \setminus Z$  обертів, що забезпечується підбором змінних коліс  $a_1, b_1, c_1$ , та  $d_1$  гітари поділу з передатним відношенням  $i_{\text{под}}$ .

Рівняння кінематичного балансу ділильного ливцюга має наступний вигляд:

$$k \setminus Z \text{ обертів заготовки} = 1 \text{ оберт фрези}$$

$$\frac{64}{16} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot i_{\text{под}} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96}$$

При  $Z \leq 161$ :  $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$ , тоді  $i_{\text{под}} = \frac{24k}{Z} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1}$ .

При  $Z > 161$ :  $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$ , тоді  $i_{\text{под}} = \frac{48k}{Z} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1}$ .

Верстат має 45 змінних коліс модулем 2,5 мм гітар поділу, подач та диференціалу із наступним числом зубів: 20 (2 шт.); 23; 24 (2 шт.); 25 (2 шт.); 30; 34; 35; 37; 40 (2 шт.); 41; 43; 45; 47; 50; 53; 55; 58; 59; 60; 61 62; 65; 67; 70 (2 шт.); 71; 72; 75 (2 шт.); 79; 80; 83 85; 89; 90; 92; 95; 98; 100.

Саме з цього набору прямозубих зубчастих коліс виконується підбір відповідних зубчастих коліс  $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, a_3, b_3, c_3, d_3$ .

### 3.1.5.4. Налогодження гітари вертикальної подачі

За один оберт встановленої на столі заготовки супорт із фрезою повинні отримати вертикальне переміщення на величину осрової (вертикальної) подачі  $S_0$ , що вибрана при призначенні режимів різання. Вказане забезпечується налагодженням гітари подачі  $a_2, b_2$ .

Рівняння кінематичного балансу вертикальної подачі при аналізі кінематичної схеми верстата в напрямку руху від столу до фрезерного супорта має наступний вигляд:

$$S_0 \left( \frac{\text{мм}}{\text{об}} \right) = 1 \text{ об. заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot i_n \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10,$$

де:  $i_n$  – передатне відношення гітари подачі;

10 мм – крок ходового гвинта вертикальної подачі (див. рис. 3.4.)

Звідки:

$$i_n = \frac{39}{80} \cdot S_0 = \frac{a_2}{b_2}, \text{ або } S_0 = 2 \cdot i_n.$$

Для радіальної подачі столу  $S_p = 0,67 \cdot i_n$ .

### 3.1.6. Способи підбору чисел зубів змінних коліс

Налагодження вказаних в п. 3.1.5. кінематичних ланцюгів реалізується підбором відповідних пар зубчатих коліс, що поставляються в комплекті з верстатом. При цьому корисними є знання щодо способів підбору змінних зубчатих коліс. Вказані нижче способи використовуються і при відсутності в комплектах зубчатих коліс із необхідним числом зубів із наступним їх виготовленням, наприклад, в ремонтно-механічних підрозділах підприємств.

#### 3.1.6.1. Спосіб комбінування множників

Цей спосіб найбільш простий та точний. Він використовується, якщо передаточне відношення гітари  $i$  може бути представлене у вигляді звичайного дробу, в якого чисельник та знаменник розкладаються на прості множники. Комбінують множники окремо чисельника та знаменника таким чином, щоб отримати числа зубів, що є в комплекті змінних коліс.

При цьому можливі тільки перетворення, що не змінюють передаточне відношення  $i$ , а саме:

- чисельник та знаменник можна додатково помножити на одне і те ж число;
- множники в межах чисельника або знаменника можна міняти місцями та об'єднувати.

Наприклад, для фрезерного верстата  $i = 18/35$ . Проведемо перетворення:

$$i = \frac{18}{35} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3}{5 \cdot 7} = \frac{2}{5} \cdot \frac{9}{7} = \left[ \frac{20}{50} \cdot \frac{90}{70} \right] = \frac{90}{50} \cdot \frac{20}{70}.$$

Передостанній вираз (взятий в квадратну рамку) непридатний, так як не виконується хоча б одна з умов зачіплювання:

$$(a+b) > (c + (15 \dots 20));$$

$$(c+d) > (b + (15 \dots 20));$$

$$100 \leq \sum Z \leq 140.$$

При  $a = 20, b = 50, c = 90, d = 70$  маємо:

$$\begin{aligned}(a+b = 20+50 = 70) &< 100; \\ (c+d = 90+70 = 160) &> 140; \\ (a+b = 70) &< 90 + 15.\end{aligned}$$

Останій вираз для заданого значення і також не задовольняє умовні зчіплювання: при  $a = 90, b = 50, c = 20, d = 70$  маємо:

$$(c+d = 20+70 = 90) < 100$$

Крім того, вказані значення  $a, b, c, d$  також є недоцільні, так як:

- в першій парі  $90/50$  кутова швидкість збільшується приблизно в 2 рази;

- в другій парі  $20/70$  кутова швидкість зменшується в 3,5 рази.

Тому комбінуємо множники по іншому:

$$i = \frac{18}{35} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3}{5 \cdot 7} = \frac{3}{5} \cdot \frac{6}{7} = \frac{30}{50} \cdot \frac{60}{70} = \frac{60}{50} \cdot \frac{30}{70}.$$

В цьому випадку колеса  $a = 60, b = 50, c = 30, d = 70$  задовольняють умовам зчіплення (розрахунок аналогічний попереднім) і можуть бути прийняті для налагодження верстата і, крім того, в першій парі кутова швидкість збільшується мало.

Якщо передаточне відношення двопарної гітари вдається виразити однією парою чисел, то не потрібно штучно шукати другу пару, а замість коліс  $b$  та  $c$  достатньо ввести в набір змінних коліс, що встановлюються, паразитне колесо. Тому для  $i = 18/35$ , якщо в комплекті є колесо  $Z = 36$ , можна прийняти:

$$a = 36, b = 70, c = d = 65 \text{ (або } 68)$$

Тоді:

$$i \approx \frac{36}{65} \cdot \frac{65}{70}.$$

### 3.1.6.2. Наближений набір змінних коліс

Даний спосіб використовується тоді, коли ні при яких комбінаціях співмножників не вдається підібрати числа зубів змінних коліс, що є в комплекті, та витримати всі умови зчіплювання.

В цьому випадку необхідно замінити задану величину  $i_3$  близь-

кою до неї прийнятою  $i_n$  з іншими співмножниками в чисельнику та знаменнику. При цьому:

- абсолютна похибка налагоджування  $\Delta i = i_3 - i_n$ ;

- відносна похибка  $\delta = \frac{\Delta i}{i_3} = \frac{i_3 - i_n}{i_3}$ .

Не повині перевищувати допустимого значення.

Наближений підбір використовують також у випадку, коли задане передаточне відношення  $i = i_3$  не розкладається на множники, та у випадку, коли в формулу налагодження входять такі величини, як:

-  $\pi$  – при налагодженні гвинторізного лпнцюга на крок черв'яка;

- або множник 25,4 (1 дюйм = 25,4 мм);

- або тригонометрична функція тощо.

### 3.1.6.3. Спосіб зміни чисел, що найбільш часто зустрічаються, наближеними дробами

Цей спосіб зводиться до вибору підходящого значення чисел із ряду відомих співвідношень:

$$\pi = \frac{5 \cdot 71}{113} \approx \frac{13 \cdot 29}{4 \cdot 30} \approx \frac{19 \cdot 21}{127} \approx \frac{33 \cdot 27}{25 \cdot 11} \approx \frac{22}{7};$$
$$i = \frac{127}{5} \approx \frac{40 \cdot 40}{7 \cdot 9} \approx \frac{18 \cdot 24}{17} \approx \frac{11 \cdot 30}{13}$$

тощо. Далі використовують спосіб комбінованих множників.

Найбільш вжвані значення вказаних величин наведені в табл.

3.5.

Наприклад, дано:

-  $m = 2,75$  мм;

- крок модульної різьби  $t_p = \pi \cdot m \cdot z$ ;

-  $i_{\text{гит}} = \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} = \frac{1}{C_p} \cdot \frac{t_p}{t_{\text{гв}}}$ ;

-  $t_{\text{гв}} = 12$  мм – крок ходового гвинта;

-  $C_p = \frac{2}{3} = \text{const}$ ;

- верстат 5К32А.

Таблиця 3.5

Таблиця наближених заміन вживаних значень та співвідношень величин  $\pi$ ; 25,4 на дробові еквіваленти

№ з/п	Співвідношення величин $\pi$ ; 25,4			
1	25,4	$\pi$	$\frac{\pi}{25,4}$	$25,4 \cdot \pi$
2	$\frac{127}{5}$	$\frac{22}{7}$	$\frac{47}{4 \cdot 95}$	$\frac{22 \cdot 127}{7 \cdot 5}$
3	$\frac{18 \cdot 24}{17}$	$\frac{33 \cdot 27}{25 \cdot 11}$	$\frac{5 \cdot 19}{32 \cdot 24}$	$\frac{21 \cdot 19}{5}$
	$\frac{40 \cdot 40}{7 \cdot 9}$	$\frac{19 \cdot 21}{127}$	$\frac{12}{97}$	$\frac{10 \cdot 17 \cdot 232}{7 \cdot 7}$
5	$\frac{11 \cdot 30}{13}$	$\frac{8 \cdot 97}{13 \cdot 19}$	$\frac{22 \cdot 5}{7 \cdot 127}$	$\frac{27 \cdot 65}{2 \cdot 11}$
6	-	$\frac{22}{7}$	$\frac{23}{6 \cdot 31}$	$\frac{13 \cdot 29}{4 \cdot 30}$

Необхідно підібрати числа зубів гітари при нарізанні двозахідного черв'яка ( $k = 2$ ) з модулем  $m = 2,75$  мм.

Рішення:

$$\pi = \frac{13}{4} \cdot \frac{29}{30};$$

$$i_{\text{факт}} = i_{\text{гіт}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{13}{4} \cdot \frac{29}{30} \cdot \left(2,75 \cdot \frac{2}{12}\right) = 2,159896;$$

$$\frac{1}{i_{\text{гіт}}} = \frac{1}{2,159896} = 0,462985;$$

$$i_{\text{теор}} = \frac{3}{2} \cdot 3,141581;$$

$$i_{\text{теор}} = \frac{3}{2} \cdot 3,141581 \cdot \frac{2,75}{12} = 2,1598445;$$

$$\Delta i = i_{\text{теор}} - i_{\text{факт}} = 2,1598445 - 2,159896 =$$

-0,000051;

$$\delta_i = \frac{\Delta i}{i_{\text{теор}}} = 1 - \frac{2,159896}{2,1598445} = \frac{-0,000051}{2,1598445} = -0,000024;$$

$$\Delta t_p = t_p \cdot \Delta i = 3,141581 \cdot 2,75 \cdot 2 \cdot (-0,000051) = -0,000881 \text{ (мм)};$$

#### 3.1.6.4. Підбір змінних коліс за допомогою таблиць



В таблицях Сандакова [13] передаточні відношення дані з похибкою до 0,000001. Поряд з кожним з них - простий дріб. За допомогою додаткових таблиць того ж літературного джерела [13] розкладають чисельник та знаменник на прості множники. Далі використовують спосіб комбінування співмножників. У вказаних таблицях  $i < 1$ .

Якщо необхідно налагодити гітару з  $i > 1$ , попередньо обчислюють десятковий дріб  $1 : i'$  і далі використовуються ті ж таблиці, причому у виписаних із таблиць виразах міняють місцями чисельник та знаменник.

Наприклад, при  $i_{\text{диф}} = 0,918112$  останнє значення (десятковий дріб) переводимо в простий та розкладаємо на множники (див. [13, С.541]):

$$i_{\text{диф}} = 0,918112 = \frac{370}{403} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 37}{13 \cdot 31}$$

З урахуванням даних [13, С.505]:

$$i_{\text{диф}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 37 \cdot 10}{13 \cdot 31 \cdot 5 \cdot 2} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10}{13 \cdot 5} \cdot \frac{37}{31 \cdot 2} = \frac{100 \cdot 37}{65 \cdot 62} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d};$$

Вказані зубчаті колеса належать до комплекту зубчатих коліс верстата мод. 5К32А.

В таблицях Петрика та Шишкова [11] приведені значення передаточних відношень  $i$  з точністю до 0,000001. З них вибирають найближче до заданого  $i$  значення, поряд з яким вказується конкретний набір змінних коліс.

Вказане підкреслює простоту та зручність цих таблиць. Але приведений набір часто непридатний для використання за причини відсутності в комплекті якого-небудь із вказаних коліс або за причини порушення умов зчеплення. В цьому випадку виконують скорочення загальних множників та пробують комбінувати множники, що залишились.

### 3.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з загальними відомостями про нарізання зубчатих коліс.
2. Вивчити механічні характеристики, вузли та органи управління зубофрезерного напівавтомату мод. 5К32А та порядок його включення роботи.
3. Вивчити сутність налагодження верстата мод. 5К32А на нарізання

прямозубих зубчатих коліс.

4. Ознайомтесь із методами налагодженням ланцюгів верстата 5К32А на нарізання прямозубчатих коліс та виконати необхідні розрахунки згідно варіантів індивідуальних завдань (табл. 3.5.).

5. Підібрати зубчаті колеса органів налагодження за одним із способів підбору.

6. Налагодити верстат на виготовлення коліс згідно заданого варіанту.

7. Проаналізувати отримані результати.

### 3.3. Зміст змісту

1. Найменування та мета роботи.

2. Короткий опис, призначення та принцип роботи зубофрезерного напівавтомата мод. 5К32А.

3. Кінематична схема напівавтомата мод. 5К32А.

4. Рівняння кінематичного балансу ланцюгів основних рухів та розрахункові формули.

5. Вихідні дані та розрахунки по налагодженню передаточних відношень гітар при нарізанні прямозубих зубчатих коліс.

6. Вибрані числа зубів змінних зубчатих коліс для гітар кінематичних ланцюгів.

7. Аналіз отриманих результатів та стислі висновки щодо роботи.

### 3.4. Індивідуальні завдання

Таблиця 3.6

Таблиця варіантів індивідуальних завдань

№ завдання	Колесо, що нарізається			Фреза		Характер обробки
	кількість зубів $Z$ , шт	модуль, мм	матеріал	діаметр $D$ , мм	число заходів, $k$	
1	21	3	Сталь 45	100	1	Чорнова
2	23	3,5	Сталь 40Х	112	2	Чорнова
3	57	4	Сталь 20Х	180	1	Чорнова

4	55	4,5	Сталь 40X	160	2	Чорнова
5	32	3	Сталь 45	100	1	Чорнова
6	36	3,5	Сталь 20X	112	2	Чорнова
7	38	4	Сталь 40X	140	1	Чорнова
8	40	4,5	Сталь 45	115	2	Чорнова
9	42	3	Сталь 20X	160	1	Чорнова
10	48	3,5	Сталь 45	180	2	Чорнова
11	50	4	Сталь 40X	200	1	Чорнова
12	58	4,5	Сталь 20X	250	2	Чорнова
13	52	4	Сталь 45	220	1	Чорнова
14	55	3,5	Сталь 20X	240	2	Чорнова
15	60	4,5	Сталь 40X	260	1	Чорнова

### 3.5. Контрольні запитання

1. Види робіт, які можливо виконувати на напівавтоматі мод. 5К32А.
2. Основні вузли напівавтомата мод. 5К32А.
3. Встановлення на верстаті черв'ячної фрези.
4. Налаштування ланцюга головного руху.
5. Налаштування ланцюга вертикальної подачі.
6. Налаштування ланцюга обкатки.
7. Порядок встановлення упорів.
8. Зміст терміну "налаштування зубофрезерного напівавтомату на нарізання прямозубих зубчатих коліс".
9. Кінематичні ланцюги зубофрезерного напівавтомата, що налаштовують на нарізання прямозубих та косозубих зубчатих коліс.

## Лабораторна робота № 4

### **ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ МОДУЛІВ СТУПЕНІВ РУХОМОСТІ МАНІПУЛЯТОРІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ТА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

*Мета роботи* – на підставі вивчення компоувальних рішень модулів окремих ступенів рухомості маніпуляційних систем (МС) промислових роботів (ПР) набути навички формалізації технологічних можливостей МС ПР в частині їх метрик.

#### **4.1. Теоретичні відомості**

В процесі загального проектування МС ПР вибирають їх компоувальну схему, визначають навантаження на модулі та точнісні вимоги до них. Потім поетапно проектують робочі органи ПР та виконавчі модулі їх ступенів рухомості. До основних задач проектування модулів відносяться: вибір складу, визначення взаємодії його основних функціональних елементів та конструктивних параметрів деталей та агрегатів.

Проектування модулів умовно розділяють на наступні основні етапи:

- вибір загальної компоувально-кінематичної схеми;
- вибір геометричних та функціональних відношень між основними елементами;
- визначення розмірів напрямних або осей;
- оцінка маси та сил інерції рухомих елементів та вибір типорозміру приводів для кожного з них;
- вибір основних розмірів несучих корпусів, опор, напрямних або осей;
- визначення точнісних вимог до основних розмірів модуля.

Компоувально-кінематичні схеми МС ПР для систематизації групують за наступними ознаками:

- призначенням:
- висування чи підйому ланок МС;
- зсув затискного пристрою (схвату);
- горизонтального переміщення всієї МС або декількох її модулів;
- конструктивним виконанням напрямних:

- дві, три, чотири циліндричні напрямні;
- призматичні напрямні з трьома або чотирма гранями;
- змішані напрямні;
- видом опор напрямних:
- ковзання;
- з тілами кочення у вигляді роликів на осях чи в сепараторах;
- з шариковими опорами кочення та т.п.;
- рухомістю каретки:
- каретка рухається по нерухомих напрямних;
- відносно нерухокої каретки рухаються напрямні;
- комбіновані схеми;
- виглядом та розташуванням приводів ступенів рухомості МС:
- силові циліндри, суміщені з напрямними;
- знаходиться всередині чи поряд з напрямними;
- обертальний привод із зубчастою або ланцюговою передачею та т.п.;
- розміщенням упорів, гальмівних пристроїв та датчиків положення:
- на основній чи допоміжній напрямній;
- на додатковій штанзі;
- в корпусі та т. п.

Доцільно зауважити, що вказані ознаки систематизації компонуально-кінематичних схем МС та їх сутність повною мірою відносяться і до етапу їх аналізу.

Окремі поєднання вказаних елементів компонувань формують множину можливих компонуально-кінематичних схем модулів. Деякі з цих схем, що знайшли найбільш широке практичне використання, приведені в табл. 4.1.

#### **4.1.1. Модулі з основною та допоміжною циліндричними напрямними (табл. 4.1, схеми 1–6)**

Основна напрямна забезпечує прямолінійність руху та сприймає бокове навантаження перпендикулярно осі руху. Допоміжна напрямна, більш тонка та піддатлива порівняно з основною, встановлюється для кутової фіксації входу модуля відносно осі руху.

Роль основної (схеми 1 та 3) або допоміжної (схеми 2 та 4) напрямних може грати шток силового циліндру. Схема 1 – самий простий варіант реалізації модулів поступального переміщення, так як

являє собою звичайний силовий циліндр, шток якого з'єднаний з легкою допоміжною напрямною.

Схеми 2 та 4 використовують в тих випадках, коли шток силового циліндру, розміри якого вибрані за необхідним зусиллям переміщень, не в стані сприймати достатньо великі бокові навантаження. Загальним недоліком схем 1–4 є підвищене зношування поверхонь штоків під дією бокових навантажень та моменту на вході модуля.

Для запобігання такого зношування силовий циліндр встановлюється всередині (схема 5) або поряд (схема 6) з основною напрямною. Схема 5 більш компактна в поперечному напрямку та забезпечує центральне відносно основної напрямної прикладання зусилля приводу. Однак для закріплення силового циліндра на нерухомій основі в напрямній потрібно виконати проріз, який зменшує її жорсткість.

Технологічнішою та компактною в поздовжньому напрямку є схема 6. Однак в ній опори основної напрямної додатково навантажуються моментом від позacentрового прикладання зусилля приводу.

Упори, що регулюють хід ступені рухомості, переміщуються та закріплюються на допоміжній (схеми 1, 6) або основній (схеми 4, 5) напрямних.

При збільшенні діючого на вхід модуля моменту відносно осі руху основна напрямна виявляється недовантаженою порівняно з допоміжною. Тому схеми першої групи використовують тільки при незначних моментах, діючих на вхід.

#### **4.1.2. Модулі з декількома однаковими циліндричними напрямними (табл. 4.1, схеми 7–19)**

В цих модулях циліндричні напрямні сприймають рівною мірою всі складові навантаження.

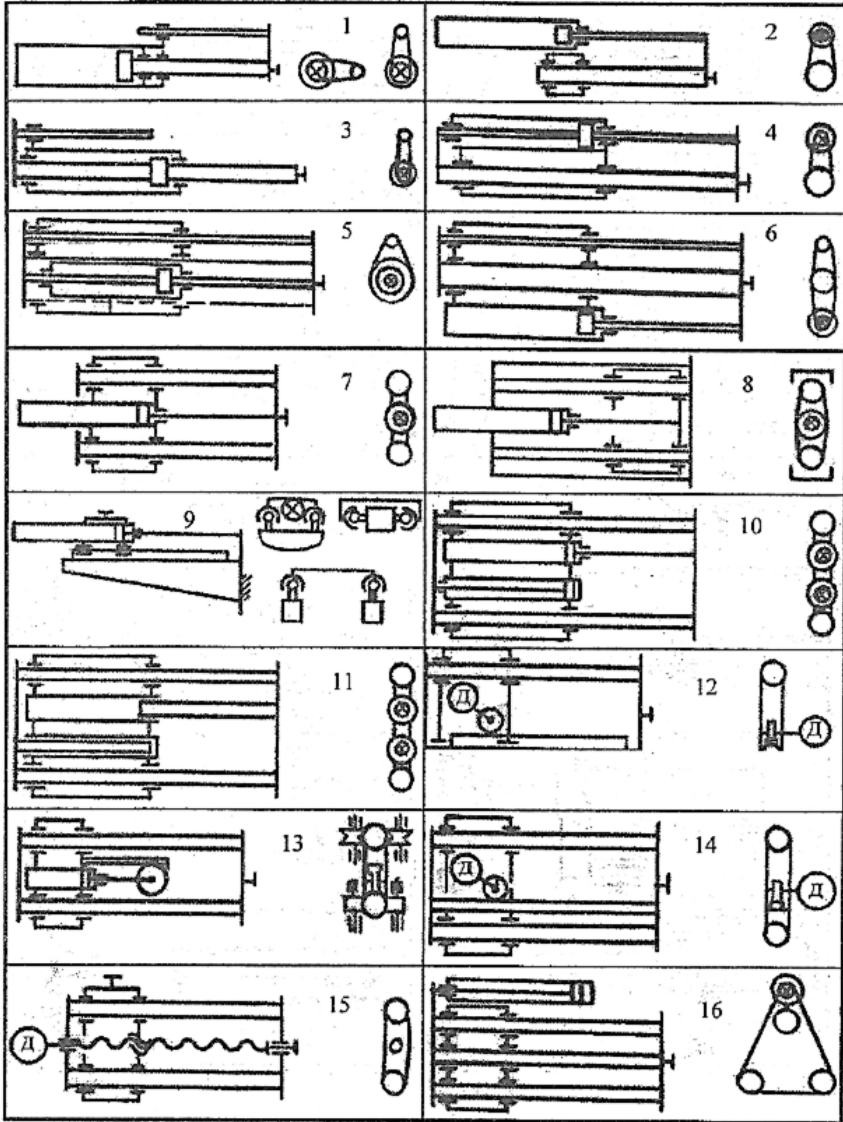
Найбільш часто в модулях висування руки з силовим циліндром застосовують схему 7. Зменшити товщину (один з поперечних габаритних розмірів) модуля дозволяє перехід від одного силового циліндру до двох циліндрів меншого розміру, що направлені в протилежні сторони (схеми 10, 18).

В легких ПР з гідроприводом застосовують силові циліндри діаметром 5 – 10 мм та ходом 200 – 500 мм.

Достатньо технологічна конструкція з такими параметрами отримується за рахунок переходу від силових циліндрів до плунжерів (схема 11).

Таблиця 4.1

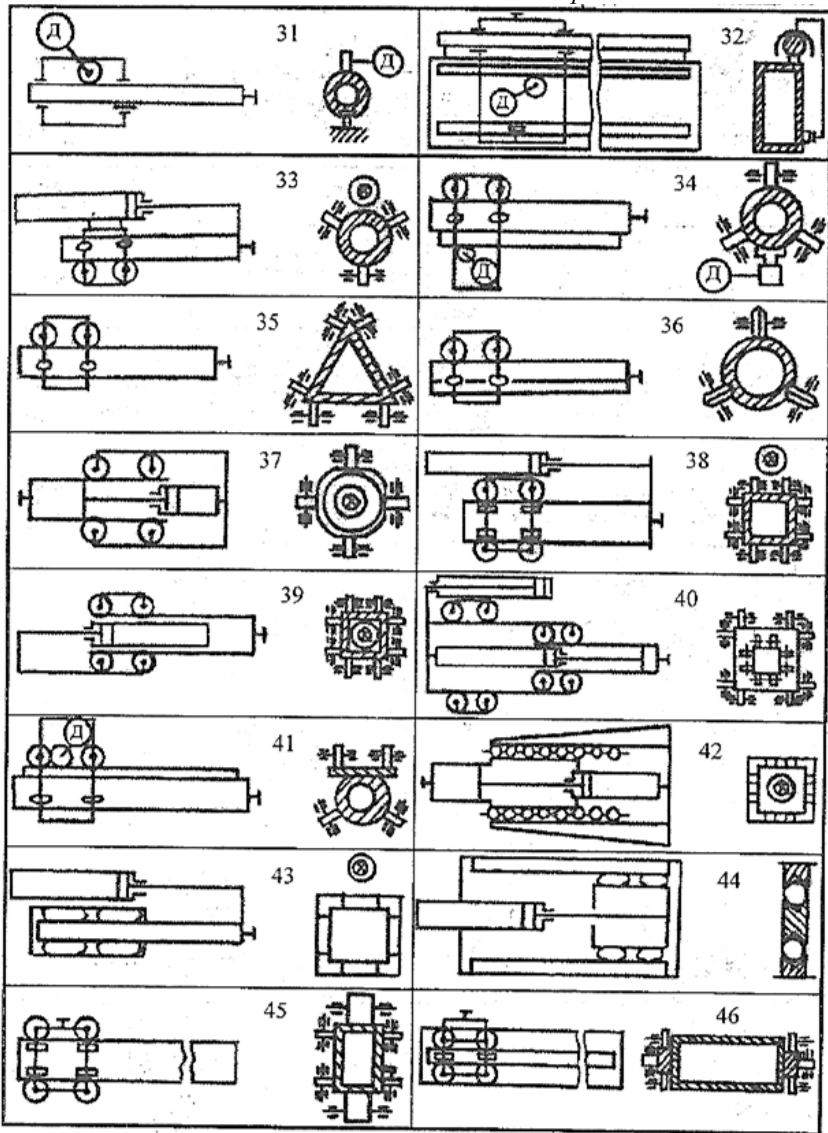
Типові схеми модулів ступенів рухомості маніпуляторів ПР



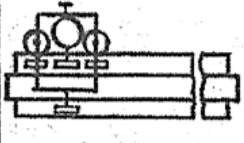
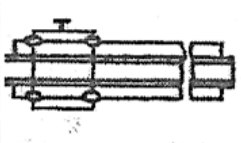
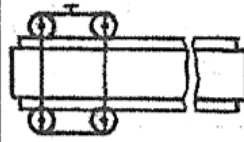
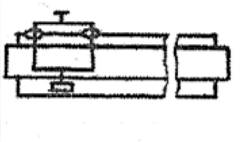
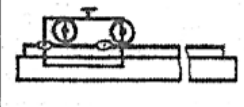
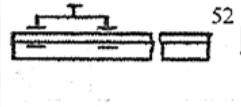


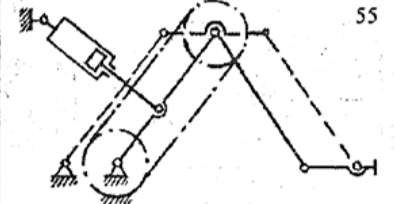
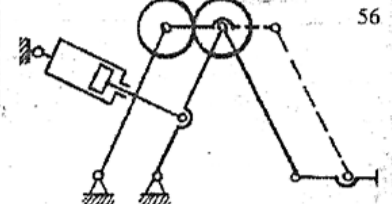
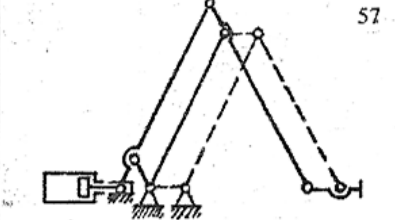
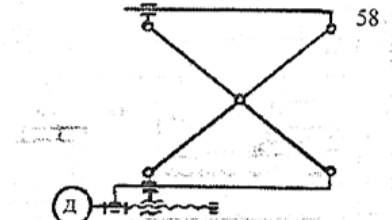
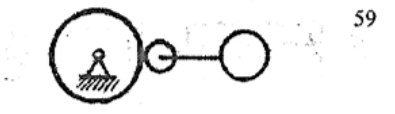
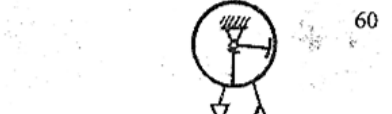
	<p>17</p>		<p>18</p>
	<p>19</p>		<p>20</p>
	<p>21</p>		<p>22</p>
	<p>23</p>		<p>24</p>
	<p>25</p>		<p>26</p>
	<p>27</p>		<p>28</p>
	<p>29</p>		<p>30</p>



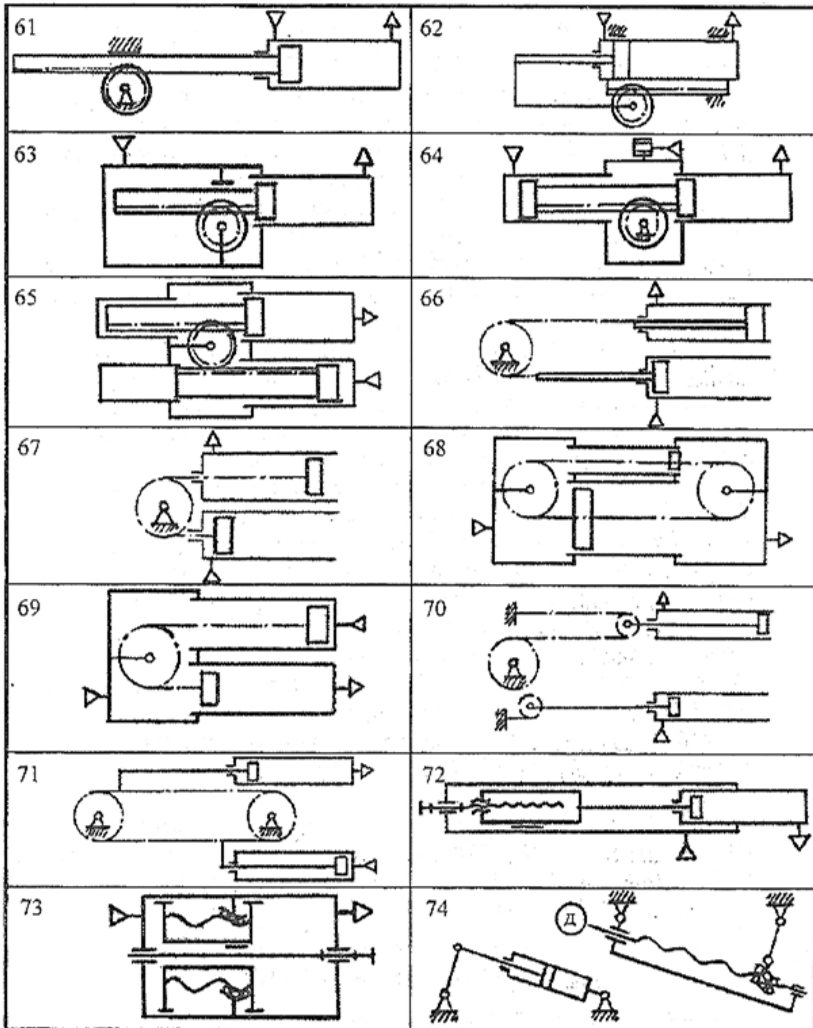
Продовження табл. 4.1



Продовження табл. 4.1

 <p>47</p>	 <p>48</p>
 <p>49</p>	 <p>50</p>
 <p>51</p>	 <p>52</p>
 <p>53</p>	 <p>54</p>
 <p>55</p>	 <p>56</p>
 <p>57</p>	 <p>58</p>
 <p>59</p>	 <p>60</p>

Закінчення табл. 4.1



Тут: Д – двигун з відповідним редуктором;  
 М – порошкова електромагнітна муфта

Для зменшення довжини силового циліндра на його штоці встановлюється зубчасте колесо, що входить в зачіплення із зубами, що нарізані на напрямних, та додатковою нерухомою рейкою (схема 13). Зубчасте колесо та рейка використовуються також для перетворення руху електричного або гідравлічного обертального привода в поступальний (схеми 12 та 14). При цьому зубчаста рейка або приєднується безпосередньо до напрямної, або виконується разом з нею (схема 12), або знаходиться між напрямними (схема 14). Для перетворення руху використовується також передача гвинт-гайка (схема 15). Підвищення жорсткості модулів досягається або збільшенням кількості напрямних до трьох (схеми 16–18) або чотирьох (схема 19), або приєднанням їх по кінцях до додаткової несучої конструкції (схеми 8, 17). Ще більшу жорсткість дає приєднання до жорсткого корпусу по всій довжині (схема 9).

Модулі з циліндричними напрямними звичайно виконують на опорах ковзання. Рідше встановлюють опори у вигляді конічних роликів на осях (схема 13) або кулькових опорах (схема 9).

Конструкції з компоновальними схемами (7 – 19) другої групи технологічні. В них повністю використовуються несучі можливості обох напрямних і тому вони добре сприймають бокові навантаження та моменти.

#### **4.1.3. Модулі з основною циліндричною напрямною, рухомою відносно допоміжної (табл. 4.1, схеми 20 – 24)**

Допоміжна напрямна з двох боків (схеми 20, 21) або з одного (схеми 22 та 23) закріплена на нерухомому корпусі. Силовий циліндр модулів підйому розташований в нижній частині (схема 20) або поряд (схема 21) з основною напрямною. При такій компоновці у напрямній залишається місце для розміщення модуля обертання. В схемі 22 основна напрямна суміщена з шток-плунжером силового циліндру. Схеми 20, 21 та 22 порівняно з іншими схемами більш громіздкі в поздовжньому напрямку.

В схемі 24 кутова фіксація входу забезпечується ексцентричним розміщенням штоку відносно стінок силового циліндра. У цьому випадку внутрішня поверхня стакана відіграє роль допоміжної нерухомої напрямної. Ця схема містить мінімальну кількість конструктивних елементів - тільки силовий циліндр. У зв'язку з тим, що відстань між осями основної та допоміжної напрямних не може бути великою, точність куткової фіксації та можливість сприймати моменти недостатні. У зв'язку з цим на упорах вводять конічні фіксатори, які входять в

кінці ходу у відповідні гнізда кришок силового циліндру. Крім того, складно забезпечити необхідну для плавного руху точність взаємного положення штоку, поршня, силового циліндра та його кришок. Завдяки легкості та простоті схема 24 використовується в модулях висування руки легких ПР. Але широкого розповсюдження вони не отримали в зв'язку з нетехнологічністю та слабкою кутовою фіксацією.

В схемі 23 роль допоміжної нерухокої напрямної відіграє зовнішня поверхня силового циліндра. В порівнянні із схемою 24 в цьому випадку дещо більше конструктивних елементів, але в цілому ця схема значно технологічніша, так як ролики опори допоміжної напрямної забезпечують її працездатність навіть при значних похибках взаємного розташування напрямних.

#### **4.1.4. Модулі з основною циліндричною та допоміжною призматичною напрямними (табл. 4.1, схеми 25 – 32)**

В модулях цієї групи до основної циліндричної напрямної приєднана допоміжна призматична напрямна, що забезпечує кутову фіксацію входу.

Допоміжна напрямна приєднується до основної за допомогою зв'язуючих корпусів біля входу (схема 25), виходу (схема 26) модуля, з обох боків (схема 27), а також безпосередньо до основної напрямної по всій її довжині (схеми 28 – 30).

В модулях горизонтального переміщення основна та допоміжна напрямні встановлюються на спільну несучу конструкцію-портал (схема 32).

Основна напрямна іноді суміщується із штоком (схема 25) чи із штоком та зовнішньою поверхнею (схема 26) силового циліндра. Однак частіше силовий циліндр виконується окремим агрегатом та встановлюється поряд (схема 28) чи в центрі (схема 29) основної циліндричної напрямної.

Допоміжна напрямна може бути суміщена із зубчастою рейкою, яка взаємодіє із зубчатим колесом обертового гідравлічного, електричного привода (схема 30) або гальмівного привода (схема 29). При невеликій точності кутової фіксації роль допоміжної напрямної може грати також паз в основній циліндричній напрямній (схема 31).

В більшості модулів цієї групи основна напрямна має дві опори з трьома роликами на осях, а допоміжна – одну опору з двома роликами (схеми 27–30). Такі схеми технологічні, тому що не вимагають підвищених вимог до точності виготовлення та складання вузла. В схемі 32 каретка може рухатись по циліндричній напрямній на опорах.

Компонувальні схеми 28–31 відрізняються малими поперечними габаритними розмірами та відносно невеликою точністю кутової фіксації.

#### 4.1.5. Модулі з призматичними напрямними (табл. 4.1, схеми 33–54)

У вказаних модулях всі види навантажень сприймаються як правило однією призматичною напрямною. Найбільш технологічні призматичні напрямні отримані огранкою товстостінних труб (схеми 33, 34, 37). Ці напрямні мають по дві опори з трьома (схеми 33, 34) або чотирма (схема 37) роликами на осях. Мала ширина таких роликів та граней напрямних не забезпечують достатньої кутової фіксації. В схемі 33 моменти можуть частково сприйматися штоком силового циліндру. Велику жорсткість та непогану кутову фіксацію забезпечують напрямні з трьома (схема 35) або чотирма (схеми 38 – 40, 42, 43, 45) широкими гранями. Вони можуть бути виготовлені з прокату спеціального профілю (схеми 38–40), із зварених конструкцій або відливок (схеми 35, 42, 45).

Однією із вад при використанні таких напрямних є низька зносостійкість матеріалу прокату або відливок. Невеликі напрямні можуть бути суцільні (схеми 43).

Призматичні напрямні з широким гранями звичайно встановлюють на двох опорах з роликами на осях. Для покращення кутової фіксації, як правило, на кожну грань опираються два або чотири ролики, що максимально зміщені до ребер напрямних. В підсумку кожна опора тригранної напрямної містить по шість роликів (схеми 35), а в чотиригранних – по вісім (схеми 38 – 40, 42). Виняток становить схема 45, в якій кожна опора верхньої та нижньої граней містить по одному, більш потужному порівняно з іншими, ролику.

Схема 36 є оберненою по відношенню до схеми 35. Тут замість ребер на суцільній циліндричній напрямній виконані пази, а кожен конічний ролик замінено на два ролики в попередній схемі.

Схема 41 є комбінацією напрямних з вузькими та широкими гранями. Тут до циліндричної напрямної з трьома вузькими гранями прикріплена широка пластина, яка слугує одночасно зубчастою рейкою привода. Напрямна встановлюється на двох опорах з чотирма роликами на осях. Така конструкція поєднує технологічність та непогану кутову фіксацію.

Напрямна модуля в схемі 42 по всій своїй довжині опирається на два ряди роликів в сепараторах, а в 43 кожна грань напрямних встановлена на двох широких роликів опорах із циркуляцією тіл кочення.

Велика кількість опорних елементів в розглянутих схемах спонукає або підвищувати точність форми напрямних та взаємного роз-

міщення опор, або частину опор виконувати підпружиненими. Причому, чим вища жорсткість модуля та більші розміри поперечного перетину напрямних, тим складніше забезпечити потрібну точність виготовлення та складання вузла.

Вагомо підняти технологічність модулів, особливо високої жорсткості та з великими ходами, дозволяють накладні напрямні. Завдяки невеликим розмірам таких напрямних порівняно легко добитися потрібної зносостійкості та точності їх обробки. Висока жорсткість забезпечується приєднанням вказаних напрямних по всій довжині до деякої несучої конструкції у вигляді П-подібного зварного корпусу (схема 44) або балки портала (схема 45 – 51, 54).

При порівняно невеликих розмірах модулів каретка може переміщуватись по двох накладних напрямних на вісьмох шарикових опорах з циркуляцією тіл кочення (схема 44). У інших випадках, як правило, використовують опори у вигляді роликів на осях.

В схемі 46 каретка рухається по двох прямокутних напрямних на чотирьох опорах з трьома роликами в кожній. Основний недолік даної конструкції – чутливість до непаралельності напрямних. Каретка модуля в схемі 47 має тільки три опори, дві з яких містять по три ролики на осях, а третя, нижня – тільки два. Така конструкція забезпечує вільне переміщення навіть при значних похибках взаємного розташування напрямних.

У порталних ПР часто використовують накладні напрямні трикутного профілю (схеми 48 та 49). Каретка у вказаних модулях встановлюється на трьох або чотирьох опорах, кожна з яких містить або по два циліндричних ролики на осях (схема 48), або по одному конічному ролику на осі (схема 49). Конструкції з чотирма опорами мають більш високу жорсткість порівняно з модулями на трьох опорах, але вони більш чутливі до непаралельності напрямних. При необхідності ці похибки взаємного розташування напрямних можуть бути компенсовані податливим встановленням частини опор.

Малу чутливість до похибки взаємного розташування мають схеми 50 та 51 з однією прямокутною та однією трикутною (в перетині) напрямними. Вони можуть виконуватися як на чотирьох, так і на трьох опорах. В цій схемі перекид напрямних призводить тільки до нерівномірності навантаження на опорах.

У ПР з прямокутною системою координат застосовують напрямні верстатного типу, виконані як одне ціле з відлитим корпусом, встановленим на фундаменті (схема 52).



Переміщення ПР з невисокою точністю може виконуватись на чотирьох колесах з ребордами безпосередньо по сталевих рейках (схема 53) або двотаврах (схема 54).

#### **4.1.6. Модулі з шарніро-важільними механізмами поступального переміщення (табл. 4.1, схема 55 – 58)**

Головна особливість компоувальних схем цієї групи – особливо малі поздовжні габаритні розміри. Поступальне переміщення входів модулів досягається відповідною координацією за допомогою ланцюгової (схема 55), зубчастої (схема 56) або шарнірно-важільної (схема 57) передач руху основних несучих ланцюгів. Ці передачі задають однаковий кут їх повороту відносно нерухомої основи. Близьким до вказаних схем є також компоування 58, побудоване на базі кулісно-важільного механізму паралельних лінійок.

#### **4.1.7. Модулі обертальних ступенів рухомості (табл. 4.1, схеми 59 – 74)**

Компоувально-кінематичні схеми модулів обертальних ступенів рухомості перед усім відрізняються видом вбудованих в них механічних передач.

Привод модулів від звичайних обертальних двигунів звичайно виконується через рад зубчастих передач (схема 59). Спеціальні двигуни, наприклад, високомоментні обертальні, неповнообертальні гідравлічні чи пневматичні, можуть бути вбудовані безпосередньо в шарнір модуля (схема 60), що дозволяє спростити та значно полегшити конструкцію. Частіше за все надійне ущільнення таких двигунів забезпечити досить складно. У зв'язку з цим привод модулів обертальних ступенів рухомості більшості пневматичних та гідравлічних ПР виконується від звичайних силових циліндрів із вбудованими механічними передачами, що перетворюють поступальний рух в обертальний.

Найпростішим варіантом модуля із вбудованою механічною передачею є зубчасте колесо – рейка (схема 61). Один з його головних компоувальних параметрів – поздовжній габаритний розмір – визначається ходом силового циліндра:

$$S = r \cdot \varphi,$$

де  $r$  – радіус дільного кола зубчастого колеса, мм;

$\varphi$  – потрібний кут повороту входу модуля, рад.

Компоування 61 має достатньо великий поздовжній габаритний розмір. Виконати модуль компактнішим за рахунок зменшення радіуса зубчастого колеса не вдається по причині інтенсивного падін-

ня жорсткості вузла (жорсткість пропорційна 4-6 степені радіуса). Зменшення поздовжніх габаритних розмірів при збереженні достатньої жорсткості отримується перенесенням рейок на зовнішню поверхню силового циліндра (схема 62), переходом до одностороннього силового циліндра з подачею живлення в порожнину зубчастого колеса (схема 63) або двох односторонніх циліндрів (схеми 64 та 65). Остання схема відрізняється від попередньої відсутністю зазорів у зубчастому зачіпленні і тому найчастіше використовується в гідравлічних ПР з позиційною системою управління.

Наступна група модулів містить передачі з гнучким тягнучим органом – ланцюгом, тросом чи стрічкою. За одних і тих самих діаметрів зірки або барабана навіть найпростіша схема 66 має порівняно невеликий поздовжній габаритний розмір, що трохи перевищує  $2S$ . Ще менші габаритні розміри мають модулі (схема 67) з ущільненням безпосереднього гнучкого тягнучого органа, який у цьому випадку виконується у вигляді покритого гумою тросу. Більш технологічно він може бути ущільнений додатковим поршнем (схема 68). Проста та компактна також схема 69 з двома односторонніми силовими циліндрами та подачею живлення до порожнини зірки.

За одних і тих самих розмірів та кута повороту зірки за допомогою ланцюгового мультиплексора (схема 70) можна збільшити хід та, відповідно, покращити технологічність силового циліндра, а схема 71 дозволяє зменшити діаметри силових циліндрів при тих самих моментах опору на вході модуля. В цілому навантажувальна здібність ланцюгових передач нижча, ніж у зубчастих. Тому їх використовують тільки у тих випадках, коли з компоновальних міркувань радіус зубчастого колеса чи зірки штучно завищений.

В зв'язку з низьким ККД передачі гвинт-гайка схеми 72 та 73 порівняно рідко використовуються в модулях обертальних ступенів рухомості. Шарніро-важільні передачі із силовим циліндром (схема 74) чи шарико-гвинтровою парою широко використовуються для повороту на невеликий кут (біля  $90^\circ$ ) ланцюгів переважно ангулярних МС ПР.

#### **4.1.8. Формалізація маніпуляційних систем ПР**

Для знання технологічних можливостей ПР важливою є інформація про всі можливі рухи схват ПР та про величини цих рухів, форму та лінійно-кутові розміри робочих зон, їх об'єм та найбільшу площу, а також про систему координат (СК), в якій функціонує МС. Вказані та інші параметри враховуються на етапі планування та розміщен-

ня технологічного обладнання при технологічному проектуванні гнучких виробничих комірок (ГВК) та інших роботизованих технологічних структур.

Можливе формалізоване представлення МС ПР за допомогою опису їх так званих просторово-кінематичних структур (ПКС). В принципі формування ПКС покладено два аспекти: просторовий та кінематичний. Вписане формує, так звану, кінематику ПР.

Основою кінематичного аспекту опису МС ПР є кінематична структура – склад виконуваних робочим органом ПР елементарних рухів. Ці рухи ідентифіковані векторами координатних напрямків, що виконуються схватом (Сх) ПР вздовж та (або) навкруги осей прийнятої системи координат (рис. 4.1) і називаються операторами координатних напрямків (ОКН). В термінах ОКН описуються види рухів кожної із ланок МС ПР відносно попередньої, а також відносна рухомість ланок.

В основу просторового аспекту опису кожної ланки МС ПР покладені такі характеристики ланки як її розмір, початкова орієнтація в просторі, величина та координатний напрямок її переміщення, тобто її узагальнена координата (УК).

Таким чином, опис кожної  $i$ -ої ланки МС ПР представляється у вигляді:

$$l_{ic} \mathbf{O}_i \boldsymbol{\tau}_i (\mathbf{l}_{iv}), \quad (4.1)$$

де  $l_{ic}$  – розмір  $i$ -ої ланки, що визначається особливостями її конструкції, так звана міжланкова відстань (постійна частина розміру);

$O_i$  – позначення осі, вздовж якої конструктивно розташована  $i$ -та ланка:  $O_i \in (X, Y, Z)$ ;

$\boldsymbol{\tau}_i$  – вид руху  $i$ -ої ланки (тобто позначення ОКН) відносно  $(i-1)$ -ої ланки, при цьому якщо  $i$ -та ланка прямолінійно рухається паралельно осі, вздовж якої вона конструктивно розташована (тобто при  $O_i \parallel \boldsymbol{\tau}_i$ ), то  $\boldsymbol{\tau}_i$  по замовчуванню не вказується; якщо вказані переміщення відсутні, то  $\boldsymbol{\tau}_i = 0$ :

$$\boldsymbol{\tau}_i \in \left( \begin{array}{l} X, Y, Z, A, B, C, O | \forall \boldsymbol{\tau}_i \parallel O_i \\ A, B, C, O | \forall \boldsymbol{\tau}_i \neq O_i \end{array} \right);$$

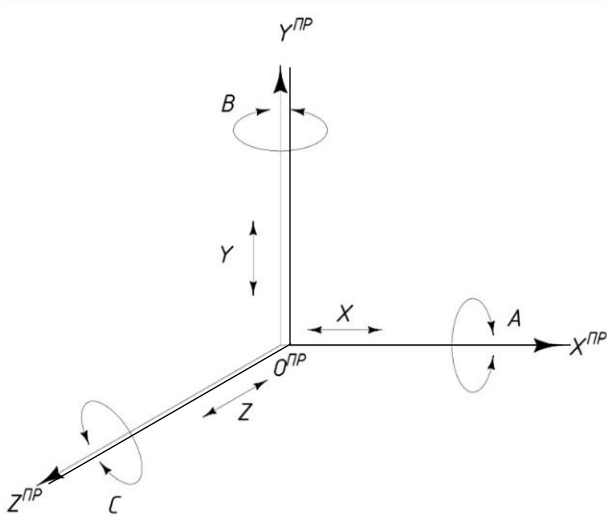


Рис. 4.1. Базова (права) система координат та позначення елементарних рухів, що реалізуються в ній (ОКН)

$l_{iv}$  – величина переміщення  $i$ -ої ланки відносно попередньої ( $(i-1)$ -ої ланки (змінна частина розміру); при цьому для лінійних переміщень:

$$I_{iv} \in \{[X], [Y], [Z], [A], [B], [C]\},$$

$X, Y, Z$  – позначення лінійних ОКН, що виконуються вздовж одноіменних координатних осей;

$A, B, C$  – позначення обертальних ОКН навколо осей  $X, Y, Z$  відповідно;

$[X], [Y], [Z]$  – абсолютні величини переміщень  $i$ -ої ланки відносно попередньої ( $(i-1)$ -ої ланки при відпрацюванні відповідних одноіменних ОКН;

$[A], [B], [C]$  – абсолютні величини обертальних переміщень  $i$ -ої ланки відносно попередньої ( $(i-1)$ -ої ланки відповідно навколо осей  $X, Y, Z$ .

$\{ \dots \}$  – позначення множини, з якої обирається тільки один її елемент.

Таким чином, в загальному випадку ПКС  $r$ -ої моделі ПР являє собою упорядковану множину (кортеж) послідовно з'єднаних операторами зв'язку  $S$  в напрямку від стійки до Сх формалізованих описів рухомих або нерухомих ланок МС ПР із вказанням їх геометричних

розмірів та виду, а також величин взаємних переміщень:

$$\begin{aligned} \mathbf{PKS}(\mathbf{r}) &= \langle \mathbf{I}_{ic} \mathbf{O}_i \boldsymbol{\tau}_i (\mathbf{I}_{iv}) \mathbf{S}_j | i = \overline{1, I}; j = i - 1 = \overline{1, I - 1}; \\ \mathbf{I}_{ic} &\in \{[\mathbf{X}], [\mathbf{Y}], [\mathbf{X}]\}; \\ \mathbf{O}_i &\in \{\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}\}; \quad \mathbf{I}_{iv} \in \{[\mathbf{X}], [\mathbf{Y}], [\mathbf{X}], [\mathbf{A}], [\mathbf{B}], [\mathbf{C}]\}; \end{aligned} \quad (4.2)$$

$\mathbf{S}_j \in \{\mathbf{v}, \mathbf{v}, \mathbf{\wedge}\}, j = \overline{1, I - 1}$ ; (кількість операторів з'єднань на 1 менше кількості ланок);

$$\tau_i \in \begin{cases} \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{O} | \forall \tau_i \parallel \mathbf{O}_i \\ \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{O} | \forall \tau_i \# \mathbf{O}_i \end{cases}.$$

Тут  $I$  – загальна кількість ланок кінематичного ланцюга МС  $r$ -го ПР;

$\mathbf{v}, \mathbf{v}, \mathbf{\wedge}$  – знаки диз'юнкції, роздільної диз'юнкції та кон'юнкції, що позначають порядок реалізації ОКН (відносна рухливість ланок) і змістовно відповідають одноіменним операціям математичної логіки, фактично визначаються за параметрами та видом системи ЧПУ ПР;  $K_{O_i}$  – умовне позначення кінцевого елемента кінематичного ланцюга ПР – схвата із зазначенням осі, вздовж або паралельно якій можливий підхід  $S_x$  до об'єкта маніпулювання (ОМ, заготовки, деталі), робочої позиції тощо.

З рівняння (4.1) та (4.2) маємо:

$$\mathbf{PKS}(\mathbf{r}) = (\mathbf{I}_{1c} \mathbf{O}_1 \boldsymbol{\tau}_1 (\mathbf{I}_{1v}) \mathbf{S}_1 \mathbf{I}_{2c} \mathbf{O}_2 \boldsymbol{\tau}_2 (\mathbf{I}_{2v}) \mathbf{S}_2 \dots \mathbf{I}_{ic} \mathbf{O}_i \boldsymbol{\tau}_i (\mathbf{I}_{iv}) \mathbf{S}_{i-1} \dots \mathbf{I}_{ic} \mathbf{O}_I \boldsymbol{\tau}_I (\mathbf{I}_{Iv})) \mathbf{K}_{O_I}. \quad (4.3)$$

Таким чином, вирази (4.2) та (4.3) є фактично формалізованим описом ПКС ПР в запасному випадку.

Очевидно, що для проведення формалізації ПКС необхідна інформація про ПР, що знаходиться в паспортах, керівництвах по експлуатації, довідниках та інших інформаційних джерелах у вигляді технічних характеристик ПР тощо.


Виходячи із вищезазначеного, ПКС конкретної моделі ПР формується в наступному порядку:

1. Складається схема кінематичного ланцюга МС ПР, що розташовується, як правило, в площині  $X^{PP} O^{PP} Y^{PP}$  (площина креслення) прийнятої за базову правої системи координат ПР –  $X^{PP}, O^{PP}, Y^{PP}$ . При цьому вісь  $O X^{PP}$  розташовується горизонтально, а  $O Y^{PP}$  – вертикально. Таким чином, ланки ПР, конструктивно виконані в горизонтальній

площині, на схемі зображаються паралельно  $OX^{PP}$ ; ланки, розташовані вертикально, зображаються паралельно  $OY^{PP}$ ; решта – паралельно  $OZ^{PP}$ , що доповнює прийняту систему координат ПР до правої.

2. Схема складається в так званому початковому стані ланок, тобто при "нульових" початкових переміщеннях  $l_{iv} = 0$  (наприклад, їх "втягнутому" положенні при поступальному переміщенні ланки) кожної із ланок з урахуванням конкретних довжин ланок  $l_{ic} \neq 0$ .

Обертальні ступені рухомості зображаються на схемі з осями, паралельними осям базової правої системи координат ПР, і орієнтують відповідні ланки паралельно координатним осям (рис. 4.1).

3. Виконується нумерація ланок в напрямку від стійки до схвата. Номери ланок МС ПР позначаються в кружечках, наприклад  0, 1, 2, ... . Тут під номером 0 позначається нерухома основа, до якої встановлюється стаціонарний ПР.

4. На схемі позначаються параметри  $\tau_i$  та  $l_{iv}$ .

5. З використанням наявних довідково-нормативних та інших інформаційних джерел виконується формалізований опис МСПР за виразом (4.1), (4.2) та (4.3) послідовно розташованих ланок, що з'єднуються за допомогою конкретних символів операторів зв'язку  $S_j$ . При цьому описуються всі ланки, починаючи з першої і закінчуючи останньою  $I$ -ою, з врахуванням в описі рухомості кожної  $i$ -ої відносно попередньої  $(i-1)$ -ої ланки, тобто 1-ої відносно 0-ої (нерухомої основи), 2-ої відносно 1-ої, 3-ої відносно 2-ої, ...,  $i$ -ої відносно  $(i-1)$ -ої, ...,  $I$ -ої відносно  $(I-1)$ -ої.

Як впливає із аналізу поданої таким чином інформації, що дозволяє виконувати її автоматизовану обробку, ПКС містить дані, необхідні для розв'язання таких локальних задач технологічного проектування ГВК, як визначення маніпуляційних можливостей ПР, вибір ПР за геометричними характеристиками (формою, об'ємом та площею) робочих зон, а також формування бази даних ПР, що вкрай важливо при створенні автоматизованих систем технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв.

На рис. 4.2–4.5 представлені приклади МС ПР для складання формалізованих описів ПКС реальних моделей ПР, МС яких працюють в різних системах координат.

Деякі з наведених моделей ПР не є новими та/або реальними і наведені тут для ілюстрації можливостей використання формалізованого опису для МС однорухомих односхватих ПР різаного конструктивного виконання.

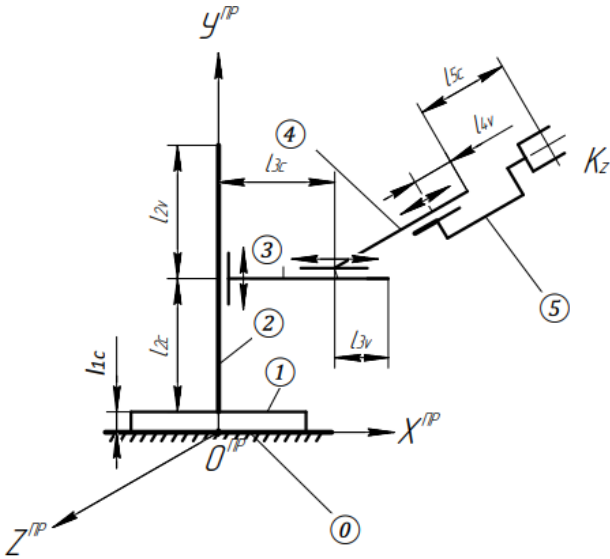


Рис. 4.2. Схема для формалізації МС ПР мод. Ритм 05.01

МС ПР мод. Ритм 05.01 (див. рис. 4.2) функціонує в прямокутній СК. Формалізований опис його ПКС має вид:

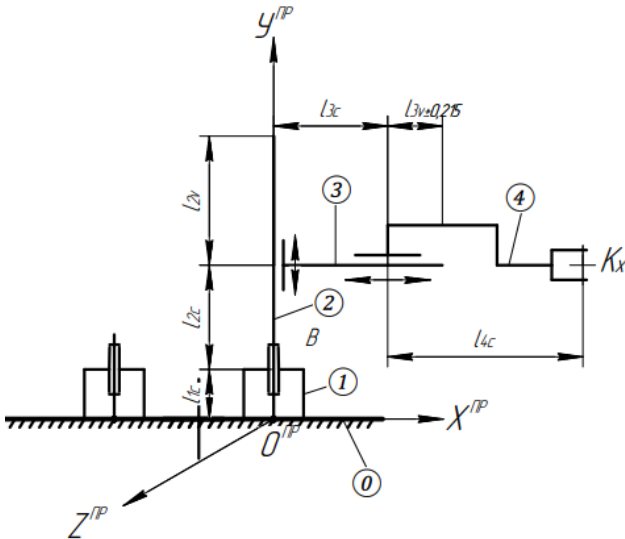




Рис. 4.3. Схема для формалізації МС ПР мод. КМ10Ц.42.01

МС ПР мод. КМ 10Ц.42.01 (див. рис. 4.3) має полярну СК і формалізовано складається наступним чином:

З довільно прийнятими геометричними та кінематичними параметрами ланок маємо:

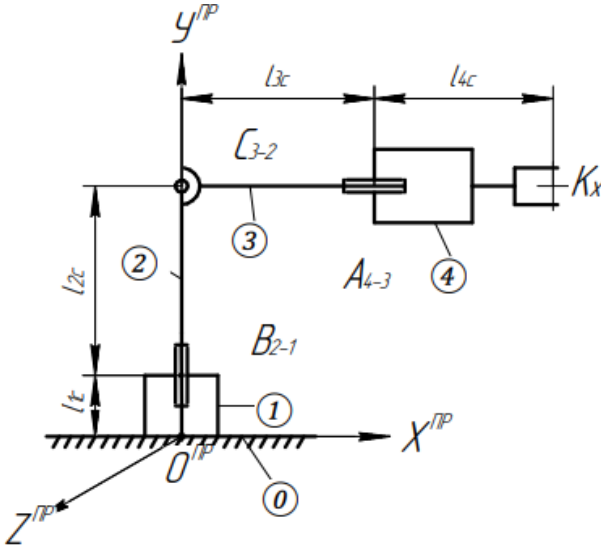


Рис. 4.4. Схема для формалізації МС ПР абстрактної моделі (XXX)

МС ПР абстрактної (неіснуючої) моделі ПР за рис. 4.4 характеризується сферичною СК. В загальному вигляді її ПКС має наступний формалізований опис:

З довільно прийнятими геометричними параметрами ланок та їх переміщень маємо:

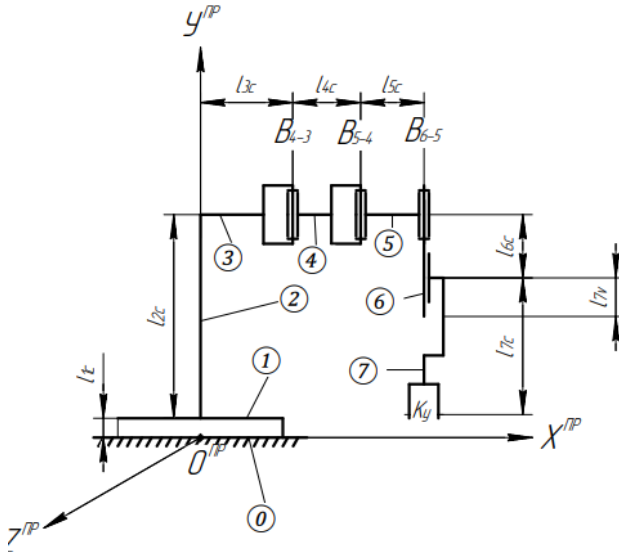


Рис. 4.5. Схема для формалізації МС ПР мод. SkilamSR2

#### 4.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із теоретичними відомостями.
2. Визначити компоувальну схему вказаних викладачем моделей ПР.
3. Дати оцінку кожному модулю у відповідності з вказаними у теоретичних відомостях ознаками.
4. Виконати графічне компоування кожного з модулів та дати його характеристики.
5. Скласти ПКС МС ПР для вказаних викладачем ПР.
6. Оформити звіт по роботі.

#### 4.3. Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Опис конструкції моделей ПР, що аналізуються, а також схеми кінематичних ланцюгів їх МС по аналогії з рис. 4.2 – 4.5.
3. Характеристики та компоувально-кінематичні схеми модулів ступенів рухомості (із вказанням нумерації згідно табл. 4.1), що утворюють несучу механічну систему МС ПР.
4. Формалізований опис у загальному та **цифровому** вигляді ПКС МС заданих моделей ПР.
5. Короткі висновки.

#### 4.4. Контрольні запитання

1. Короткі відомості про модулі з:
  - а) основною та допоміжною циліндричною напрямними;
  - б) декількома однаковими циліндричними напрямними;
  - в) основною циліндричною напрямною, рухомою відносно допоміжної;
  - г) основною циліндричною та допоміжною циліндричною напрямними;
  - д) призматичними напрямними;
  - е) шарнірно-важільними механізмами поступального переміщення.
2. Загальний вираз формалізованого опису  $i$ -ої ланки ПР, характеристика складових.
3. Поняття “оператор координатних напрямків” (ОКН).
4. Принципи, що покладені в основу формалізованого опису ПКС ПР, та їх стислий зміст.
4. Формалізований опис ПКС ПР.
5. Послідовність формування ПКС ПР.

Таким чином, методично обумовлена послідовність кроків к при формалізованому описі складання математичних моделей маніпуляційних систем стандартних промислових роботів є наступною:

K1 - вивчення конструктивних та кінематичних особливостей кожної із ланок МС ПР та МС в цілому;

K2 - графічне зображення кінематичної структури МСПР (упорядковане зображення положення ланок МСПР в напрямку від стійки до схвату ПР);

K3 - нумерація ланок маніпуляційної системи в напрямку від стійки до схвату ПР (номери ланок в кружечках, наприклад, ①);

K4 - позначення правої системи координат ПР на графічному зображенні кінематичної структури МС;

K5 - позначення взаємної рухомості ланок МСПР на графічному зображенні їх (промислових роботів), його промислової структури з використанням лінійних та кутових ОКН;

K6 - за результатами виконання кроку K5 позначити постійні розміри кожної  $i_c$  - і та  $i_v$  - і ланки МСПР тобто  $(i_c | i_c = 1)$  де  $n_c$  = загальна кількість постійних розмірів ланок МСПР;

K7 - за результатами виконання кроків 5 та 6, позначення змінних розмірів ланок маніпуляційної системи, тобто  $(i_v | i_v = 1, \bar{n}_v)$ ;

K8 - за результатами попередніх кроків скласти формалізований опис МСПР у вигляді його PKS (модель цього робота, яка буде задана викладачем);

K9 - за результатами виконання K8 описати цифрові параметри ланок постійної та змінної довжини:  $(i_c)$  та  $(i_v)$ .

## ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Адам Я.Н., Овулян Г.Г. Справочник зубореза. – М.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
2. Давыгора В.Н., Кирилович В.А. Автоматизированный выбор роботов по кинематическим требованиям сборочной технологии. – К.: Обво “Знание Украины”, 1991. – 24 с.
3. Голофтеев С.А. Лабораторный практикум по курсу “Металлорежущие станки”. – М.: Высш. шк., 1991 – 240 с.
4. Кирилович В.А., Ковальчук П.М. Формалізація просторово-кінематичних структур промислових роботів // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1994. – № 1. – С. 40 – 46.
5. Кирилович В.А. Методичні вазівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Автоматичне виробниче обладнання та робототехніка” для студентів спеціальності 7.095 – “Автоматизоване управління технологічними процесами”. – Житомир, ЖІТІ, 1998. – 72 с.
6. Локтева С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы. - М.: Машиностроение, 1988. – 320 с.
7. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Под ред. В.Э. Пуша. - М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
8. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Металлорежущие станки и промышленные роботы для студентов специальности 0501”. Ч. 1 / Е.П. Кобзарь, Г.П. Ильин, В.Л. Андрейчиков. – К.: КПИ, 1986. - 44 с.
9. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Металлорежущие станки и промышленные роботы для студентов специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” / Е.П. Кобзарь, Г.П. Ильин, В.Л. Андрейчиков. – К.: КПИ, 1987. – 52 с.
10. Передові технології в автоматизованому виробництві. Практикум: навч.-метод. посібник / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунів, Л.В. Дімітров, П.П. Мельничук; за заг. ред. В.А. Кириловича. – Житомир: Видавець О.О. Євенок, 2016. – 144 с.
11. Петрик М.И., Шишков В.А. Таблицы для подбора зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1964. – 410 с.
12. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высшая школа, 1986. – 264 с.
13. Сандаков М.В. Таблицы для подбора шестерен. – М.: Машгиз, 1982. – 559 с.

Навчальне видання

**КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович**

**Обладнання,  
технологія та автоматизація дискретного виробництва**  
Лабораторний практикум.  
Частина I

Навчально-методичний посібник  
для виконання лабораторних робіт з курсу  
“Обладнання, технологія та автоматизація дискретного виробництва”  
для студентів всіх форм навчання  
напрямку підготовки  
151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Редактор  
В.А. Кирилович  
Комп’ютерний набір та верстка  
О.О. Хомік

---

Підписано до друку 12.07.2017. Формат 60×84 1/16. Папір офс.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 15,6. Наклад 100 пр.  
Зам. № 11.

---

Видавець О.О. Євенок  
10000, м. Житомир, вул. М. Бердичівська, 17-а  
тел.: (0412) 422-106

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до Державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої про-  
дукції України серія ДК № 3544 від 05.08.2009 р.

Віддруковано ФОП О.О. Євенок 10000,  
м. Житомир, вул. М. Бердичівська, 17-а  
тел.: (0412) 422-106, e-mail: zt\_druk@i.ua