



**Міністерство освіти і науки України**  
**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет мехатроніки та інжинірингу**  
**Кафедра сервісної інженерії та технології та технології**  
**матеріалів в машинобудуванні ім. О.І.Сідашенка**

**НАЛАГОДЖЕННЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО**  
**НАПІВАВТОМАТА МОДЕЛІ 5Д32**

**Методичні вказівки**  
**для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологічні основи**  
**машинобудування» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня**  
**вищої освіти денної форми навчання**  
**зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

**Харків**

**2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет мехатроніки та інжинірингу  
Кафедра сервісної інженерії та технології та технології матеріалів в ма-  
шинобудуванні ім. О.І.Сідашенка

**НАЛАГОДЖЕННЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО  
НАПІВАВТОМАТА МОДЕЛІ 5Д32**

Методичні вказівки  
для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологічні основи  
машинобудування» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти денної форми навчання  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Затверджено  
рішенням Науково-методичної комісії  
факультету мехатроніки та інжинірингу  
Протокол № 2  
від 26 грудня 2023р.

Харків  
2023

УДК 621.91  
Н 32

Схвалено  
на засіданні кафедри сервісної інженерії та технології та технології  
матеріалів в машинобудуванні  
Протокол № 5 від 11 грудня 2023 р.

**Рецензенти:**

**В. Я. Платков**, д.ф.-м.н., проф., професор кафедри "Механізація сільського господарства" Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

**М. В. Марченко**, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри "Надійності та міцності машин і споруд імені В.Я. Аніловича" Державного біотехнологічного університету

Ф-32 Налагодження зубофрезерного напівавтомата моделі 5Д32: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми навчання зі спец. 133 «Галузеве машинобудування» / Держ. біотехнологічний ун-т; авт.-уклад.: О.І.Тришевський, О.Б.Калюжний – Харків : [б. в.], 2023. – 16 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Технологічні основи машинобудування». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

**УДК 621.91**

**Відповідальний за випуск : О. І.Тришевський, д-р техн. наук**

© О.І.Тришевський,  
О.Б.Калюжний,  
2023  
© ДБТУ, 2023

## **МЕТА РОБОТИ**

- вивчити призначення, улаштування і органи керування зубофрезерного верстата;
- вивчити кінематику, розрахунок налагодження верстата;
- оволодіти технікою налагодження верстата.

Час виконання: самостійна робота –2 год., в лабораторії –2 год.

## **ЗАВДАННЯ СТУДЕНТУ**

При самостійній підготовці до заняття вивчити тему “Методи обробка зубчастих коліс”. В лабораторії вивчити призначення, принцип роботи і будову зубофрезерного верстата. Вивчити кінематику верстата і провести розрахунок налагодження верстата. Налагодити верстат згідно з виконаним розрахунком.

## **ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

Перед виконанням лабораторної роботи кожен студент повинен отримати вступний інструктаж з техніки безпеки, а потім інструктаж на робочому місці. Включення верстата та іншого обладнання без майстра виробничого навчання категорично забороняється. Встановлення змінних зубчастих коліс швидкісного ланцюга, ланцюга розподілення і подачі виконувати під керівництвом майстра виробничого навчання справним інструментом при виключеному рубильнику верстата.

Перевірку правильності налагодження ланцюгів здійснювати при закритих кришках відповідних гітар. В процесі роботи слідкувати за тим, щоб руки, одяг, волосся не потрапили до обертальних частин верстата. Не допускати попадання охолоджуваної рідини на відкриті частини тіла. Після роботи прибрати верстат від стружки за допомогою гачків, щіток. Верстат протерти насухо ганчіркою і змазати. Категорично забороняється прибирання стружки голими руками.

## **ОСНАЩЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ**

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати:

- зубофрезерний напівавтомат моделі 5Д32;
- набір черв'ячних модульних фрез з різними модулями;
- заготовки для обробки зубчатих коліс, які приведені в завданні;
- набори змінних зубчастих коліс різних кінематичних ланцюгів;
- кінематичну схему верстата;
- номограму для підбору змінних зубчастих коліс швидкісного ланцюга;
- набір слюсарного інструменту для налагодження верстата;
- методичні вказівки до лабораторної роботи – 15шт.

## **МЕТОДИ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

Розрізняють два методи виготовлення зубчастих коліс – метод копіювання і метод обкатки, чи огинання. Метод копіювання полягає у тому, що різальним лезам інструмента (наприклад фрезі) надають профіль западин зубчастого колеса. Западини між зубами фрезерують послідовно, обробка чергується з поділом, тобто з повертанням заготовки на один зуб після закінчення обробки кожної западини. Найбільш часто обробка методом копіювання здійснюється дисковими і пальцевими (кінцевими) модульними фрезами. Комплекти дискових фрез для кожного модуля нараховують 8, 15 і 26 штук відповідно до профілю западини при різному числі зубів.

Метод копіювання дисковими та пальцевими фрезами виявляється неточним і малопродуктивним. Похибка профілю інструмента повністю копіюється деталлю. Кутовий крок і форма западини між зубами залежать від діаметра колеса і точності ділильних пристроїв. Низька продуктивність виникає через переривчатий характер обробки – після кожного робочого проходу відбувається відведення заготовки назад і оберт на один зуб.

Метод обкатки полягає у формоутворенні зуба колеса в умовах зачеплення зубчастої пари без зазорів, одним елементом якої є інструмент, а другим заготовка. При обробці за методом обкатки профіль бокових поверхонь зубів колеса, що нарізається, отримується як огинаюча певного числа послідовних положень різальних кромки інструмента. В залежності від виду інструмента розрізняють три способи нарізання зубчастих коліс методом обкатки: зубчастим колесом – довбачем, рейкою – гребінкою, черв'яком – циліндричною черв'ячною модульною фрезою.

Метод обкатки характеризується високою продуктивністю і точністю нарізання зубів, можливістю обробки одним і тим же інструментом коліс з будь яким числом зубів, у тому числі і з коригованим профілем.

## ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ І ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

Зубофрезерний верстат моделі 5Д32 призначається для обробки циліндричних зубчастих коліс зовнішнього зачеплення з прямими і косими зубцями, а також черв'ячних коліс способами радіальної і осьової (тангенціальної) подачі. Для нарізання черв'ячних коліс способом осьової подачі потрібен спеціальний протяжний супорт, який постачає підприємство-виробник верстатів. Фрезерування зубів засноване на відтворюванні рухів черв'ячної передачі, в якій черв'як у вигляді фрези являє собою різальний інструмент, а колесо – заготовку. Циліндрична черв'ячна модульна фреза має у нормальному перерізі профіль прямої рейки.

Фрези і заготовці надають обертання, яке вони мали б, якби черв'ячна фреза і колесо, що нарізається, знаходились у дійсному правильному зачепленні. У своєму відносному русі різальні кромки фрези обкатують форму зубів, одночасно вирізаючи западини між зубцями. Для отримання профілю по всій довжині зуба черв'ячній фрези надають подачу вздовж осі заготовки.

*Таблиця 1*

### Коротка технічна характеристика верстата моделі 5Д32

Найбільший модуль нарізання зубчастих коліс, мм	6
Найбільша ширина обробки зубчастого вінця, мм	276
Найбільший зовнішній діаметр оброблюваних коліс, мм	800
Відстань між осями стола і фрези:	
найменше, мм	30
найбільше, мм	500
Найбільший діаметр фрези, мм	120
Границі частоти обертання фрези, об/хв.	47,5-192
Число ступенів частоти обертання фрези	7
Границі подач на оберт заготовки, мм/об. заг	
вертикальних	0,5-3
радіальних	0,1-1
тангенціальних	0,25-1
Потужність електродвигунів:	
головного приводу, кВт	2,8
прискорених переміщень, кВт	1

## ЗАГАЛЬНА БУДОВА ЗУБОФРЕЗНОГО ВЕРСТАТА

Верстат має вертикальну компоновку (рис. 1), тобто вісь виробу розташована вертикально. На станині **А** верстата встановлюється стіл **Б**. Задня стійка **В** закріплюється до станини верстата, по її вертикальних напрямних переміщується кронштейн **Г**, який підтримує верхній кінець оправки, на ній встановлюється заготовка.

По напрямних станини може переміщуватись фрезерна стійка **З**, на ній встановлено фрезерний супорт **Е**. Він може повертатися на необхідний кут разом з фрезою. В цьому верстаті настановні переміщення на задану глибину і радіальна подача здійснюються переміщенням рухомої стійки з фрезерним супортом і фрезою.

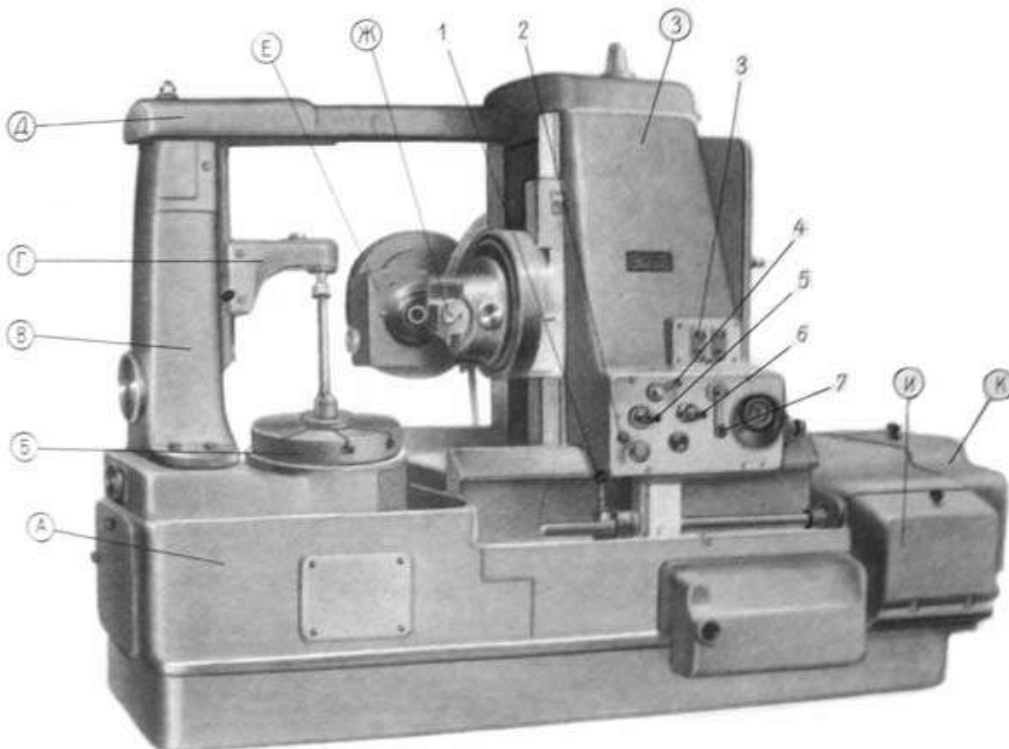


Рис. 1. Загальний вигляд зубофрезерного верстата моделі 5Д32

### Перелік складових частин напівавтомата 5Д32

- А — Станина.
- Б — Обертальний стіл.
- В — Задня стійка.
- Г — Підтримуючий кронштейн
- Д — Верхня балка (хобот).

- Е — Фрезерний супорт.
- Ж — Протяжний супорт.
- З — Фрезерна стійка.
- И — Змінні зубчасті колеса гітари диференціала.
- К — Змінні зубчасті колеса гітари швидкісного ланцюга.

### Перелік органів керування верстатом 5Д32

1. Рукоятка включення і виключення робочих подач.
2. Рукоятка вертикальної подачі фрезерного супорта
3. Кнопкова станція.
4. Рукоятка вмикання подачі при роботі з протяжним супортом.
5. Рукоятка ручного вертикального переміщення супорта.
6. Рукоятка ручного горизонтального переміщення супорта.
7. Рукоятка падаючого черв'яка.

### УСТАНОВКА ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ І ЗАГОТОВКИ

Фреза кріпиться на оправці, яка попередньо встановлюється в шпинделі, затискується гвинтом і без підтримуючого кронштейна перевіряється індикатором на биття. Після перевірки оправки встановлюють черв'ячну фрезу. Фреза щільно насаджується на оправку і перевіряється на биття за контрольним циліндричним буртиком.

Фрезерний супорт встановлюється на кут підйому гвинтової лінії фрези -  $\omega$  (рис. 2) так, щоб напрямок витків фрези був паралельним зубцю колеса, що нарізається.

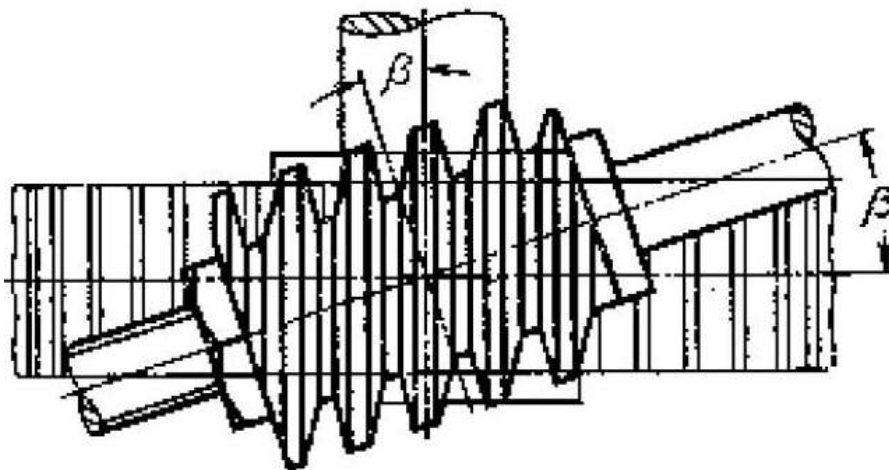


Рис. 2. Схема установки фрезерного супорта





Кінцеві ланки: електродвигун → фреза.

Розрахункові переміщення:  $n_{с.д.}$ , об/хв електродвигуна →  $n_{\phi}$ , об/хв фрези.

Зв'язуємо розрахункові переміщення рівнянням кінематичного балансу:

$$1420 \frac{105}{224} \cdot 0,99 \frac{32}{48} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{64} = n_{\phi}.$$

З цього рівняння визначаємо передаточне відношення змінних зубчастих коліс швидкісного ланцюга:

$$i_{зм} = \frac{A}{B} = \frac{n_{\phi}}{111}.$$

Частота обертання фрези визначається в залежності від раціональної швидкості різання:

$$V = \frac{\pi D_{\phi} n_{\phi}}{1000}, \text{ звідки } n_{\phi} = \frac{1000V}{\pi D_{\phi}}.$$

Швидкість різання визначається по нормативним даним з таблиці 2 режимів різання.

Таблиця 2

**Режими різання при зубофрезеруванні фрезами з швидко різальної сталі нормальної продуктивності**

Матеріал заготовки	Попередня обробка		Однократна кінцева обробка		Кінцева після попередньої		Однократна обробка під шевінгування		
	V, м/хв	S, мм/об	V, м/хв	S, мм/об	V, м/хв	S, мм/об	V, м/хв	S, мм/об	
Чавун	30	2,8	35	2,3	45	2,8	45	3,5	
Сталь	45	30	2,6	35	1,9	45	2,6	45	3,1
	40Х, 18ХГ Т	28	2,0	32	1,6	42	2,0	42	2,6
	30ХГ Т	26	1,8	26	1,5	40	1,8	40	2,3

До верстата додають чотири пари змінних зубчастих коліс, які забезпечують сім ступенів частот обертання шпинделя (табл. 3).

**Частоти обертання шпинделя в залежності від  
встановлених змінних зубчастих коліс**

Частота обертання шпинделя, об/хв.	192	155	127	97	79	64	47,5
Змінні зубчасті колеса	$\frac{38}{22}$	$\frac{35}{25}$	$\frac{32}{28}$	$\frac{28}{32}$	$\frac{25}{35}$	$\frac{22}{38}$	$\frac{18}{72}$

Крім того, змінні зубчасті колеса швидкісного ланцюга можна також підібрати за номограмою в залежності від швидкості різання і діаметра фрези.

**Розрахунок настроювання ланцюга ділення (обкатки).** Цей ланцюг забезпечує узгоджене обертання заготовки і фрези. За один оберт однозахідної черв'ячної фрези заготовка повернеться на 1 зуб, тобто на  $\frac{1}{Z_n}$  свого кола. Якщо фреза має  $K$  заходів, то за один оберт фрези заготовка повернеться на  $K$  зубів або на  $\frac{K}{Z_n}$  оберту.

Кінцеві ланки: фреза  $\rightarrow$  заготовка.

Розрахункові переміщення: 1 об. фрези  $\rightarrow$   $\frac{K}{Z_n}$  об. заготовки.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга ділення має наступний вигляд:

$$1 \text{ об. фрези} \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{e}{f} \cdot i_{\text{г.д.}} \cdot \frac{1}{96} = \frac{K}{Z_n},$$

де  $i_{\text{диф}}=1$  при обробці прямозубих зубчастих коліс (диференціал відключений і працює як зубчаста муфта);

$\frac{e}{f}$  - передаточне відношення зубчастих коліс переборної групи. При нарізанні зубчастих коліс з числом зубів  $Z_n < 161$ , передаточне відношення  $\frac{e}{f} = 1 = \frac{36}{36}$ .

Якщо  $Z_n > 161$ , то передаточне відношення зубчастих коліс  $\frac{e}{f} = \frac{1}{2} = \frac{24}{48}$ ;

$i_{\text{г.д.}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$  - передаточне відношення гітари ділення.

Якщо розв'язувати рівняння кінематичного балансу відносно гітари ділення, отримуємо наступні розрахункові формули:

$$\text{при } \frac{e}{f} = 1, \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24 \cdot K}{Z_n};$$

$$\text{при } \frac{e}{f} = \frac{1}{2}, \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{48 \cdot K}{Z_n}.$$

В розрахункову формулу підставляємо значення числа заходів фрези і числа зубів колеса, що нарізається. При цьому визначаємо передаточне від-

ношення змінних зубчастих коліс, а потім і їх значення. Числа зубів змінних зубчастих коліс які подаються до верстата, наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

### Числа змінних зубчастих коліс гітари ділення, подач і диференціала

25	25	27	30	30	32	34	35	36	36	37	38
40	40	41	43	45	46	47	48	48	50	50	53
55	55	58	59	60	60	61	62	64	65	65	67
70	71	73	74	75	75	79	80	83	85	89	90
95	97	98	100								

При підбиранні змінних зубчастих коліс гітари ділення необхідно дотримуватися умови зчеплення зубчастих коліс.

$$a < c + d;$$

$$c < a + b.$$

### Розрахунок настроювання ланцюга вертикальних подач.

Вертикальною подачею називається переміщення фрезерного супорта з фрезою вздовж осі заготовки в міліметрах за один оберт заготовки.

Кінцеві ланки: заготовка  $\rightarrow$  фрезерний супорт. Розрахункові переміщення: 1 об. заготовки  $\rightarrow S_B$ , мм/об загот. Складаємо рівняння кінематичного балансу ланцюга вертикальних подач:

$$1 \text{ об. заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot i_{\text{г.под.}} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{5}{30} \cdot t_{\text{х.гв.}} = S_B,$$

де  $i_{\text{г.под.}}$  – передаточне відношення гітари подач;

$t_{\text{х.гв.}} = 10$  мм – відстань (крок) ходового гвинта.

Розв'язуємо рівняння кінематичного балансу відносно гітари змінних зубчастих коліс і отримуємо робочу формулу:

$$i_{\text{г.под.}} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} S_B.$$

За нормативними даними (табл. 2) вибираємо величину вертикальної подачі і підбираємо змінні зубчасті колеса гітари подач. Значення чисел зубів зубчастих коліс гітари подач наведено у таблиці 4.

## ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Виконати розрахунок налагодження верстата за індивідуальними завданнями, які наведені у табл. 5.

Таблиця 5

### Індивідуальні завдання

№ з.ч.	Характеристика зубчастого колеса, що нарізається				Характеристика циліндричної черв'ячної модульної фрези				
	m	$z_n$	Матеріал заготовки	Характер обробки	m	$D_\phi$	K	$\omega$	Направлення витків фрези
1	2,0	25	Чавун	Попередня	2,0	55	1	2°19'	Правозахідна
2	2,5	26	Сталь 45	Одноразова кінцева	2,5	58	1	2°41'	Правозахідна
3	2,5	27	Сталь 40X	Кінцева після попередньої	2,5	65	1	2°31'	Правозахідна
4	3,0	28	Сталь 18ХГТ	Попередня	3,0	65	1	2°47'	Правозахідна
5	4,5	29	Чавун	Одноразова кінцева	4,5	60	1	2°18'	Правозахідна
6	2,0	30	Сталь 45	Кінцева після попередньої	2,0	55	1	2°19'	Лівозахідна
7	2,5	31	Сталь 40X	Одноразова кінцева	2,5	58	1	2°41'	Лівозахідна
8	2,5	50	Чавун	Попередня	2,5	65	1	2°31'	Лівозахідна
9	3,0	52	Сталь 45	Одноразова кінцева	3,0	65	1	2°47'	Лівозахідна
10	4,5	32	Сталь 40X	Одноразова під шевінгування	4,5	60	1	2°16'	Лівозахідна

11	2,0	54	Сталь 18ХГТ	Попередня	2,0	55	1	2°19'	Правозахідна
12	2,5	55	Чавун	Попередня	2,5	58	1	2°41'	Правозахідна
13	2,5	56	Сталь 45	Одноразова кінцева	2,5	65	1	2°31'	Правозахідна
14	3,0	57	Сталь 40Х	Попередня	3,0	65	1	2°47'	Правозахідна
15	4,5	33	Сталь 30ХГТ	Кінцева під шевінгу- вання	4,5	60	1	2°16'	Правозахідна
16	2,0	34	Чавун	Одноразова кінцева	2,0	55	1	2°19'	Лівозахідна
17	2,5	35	Сталь 45	Кінцева під шевінгу- вання	2,5	58	1	2°41'	Лівозахідна
18	2,5	38	Сталь 40Х	Кінцева пі- сля попере- дньої	2,5	65	1	2°31'	Лівозахідна
19	3,0	37	Сталь 30ХГТ	Одноразова кінцева	3,0	65	1	2°47'	Лівозахідна
20	4,5	38	Чавун	Попередня	4,5	60	1	2°16'	Лівозахідна
21	2,0	30	Сталь 45	Одноразова кінцева	2,0	55	1	2°19'	Правозахідна
22	2,5	40	Сталь 40Х	Кінцева пі- сля попере- дньої	2,5	58	1	2°41'	Правозахідна
23	2,5	41	Сталь 18ХГТ	Попередня	2,5	65	1	2°31'	Правозахідна
24	3,0	42	Сталь 30ХГТ	Попередня	3,0	65	1	2°47'	Правозахідна
25	4,5	43	Чавун	Попередня	4,5	60	1	2°16'	Правозахідна

26	2,0	44	Сталь 40Х	Одноразова кінцева	2,0	55	1	2°19'	Лівозахідна
27	2,5	45	Сталь 40Х	Кінцева після попередньої	2,5	58	1	2°41'	Правозахідна
28	2,5	46	Сталь 30ХГТ	Попередня	2,5	65	1	2°31'	Лівозахідна
29	2,0	47	Сталь 45	Одноразова кінцева	2,0	55	2	2°19'	Правозахідна
30	2,0	52	Сталь 40Х	Кінцева після попередньої	2,0	55	1	2°19'	Правозахідна

**Примітка:**  $m$  - модуль зубчастого колеса, що нарізається, мм;  $Z_n$  – число зубів зубчастого колеса, що нарізається;  $D_f$  – діаметр фрези, мм;  $K$  – число заходів фрези;  $\omega$  - кут підйому фрези.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. В чому сутність метода копіювання при нарізанні зубчастих коліс?
2. В чому сутність метода обкатки при нарізанні зубчастих коліс?
3. Призначення зубофрезерного верстата.
4. Принцип роботи зубофрезерного верстата.
5. Які кінематичні ланцюги необхідно налаштувати при обробці прямозубого зубчастого колеса?
6. Складіть рівняння кінематичного балансу швидкісного ланцюга.
7. Складіть рівняння кінематичного балансу ланцюга ділення.
8. Складіть рівняння кінематичного балансу ланцюга вертикальних подач.
9. Як встановити черв'ячну фрезу на верстаті?
10. На який кут треба повернути фрезерний супорт при обробці прямозубого зубчастого колеса?
11. Як встановити глибину фрезерування при обробці зубчастого колеса?

Навчальне видання

НАЛАГОДЖЕННЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО  
НАПІВАВТОМАТА МОДЕЛІ 5Д32

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи

Автори-укладачі:

**ТРИШЕВСЬКИЙ** Олег Ігорович  
**КАЛЮЖНИЙ** Олексій Борисович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. \_.

Наклад \_\_\_ пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44