

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія природничих дисциплін**

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ  
навчальної дисципліни «Матеріали та деталі»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
**Аеронавігація****

**Вінниця 2023**

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

## **СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

## **ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 8

***Розробник:** викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Грибанова С.А.*

### **Рецензенти:**

*1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*

*2. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*

## 1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами

### 1.1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (денна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин, відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Семестр №3							
Тема №1 Матеріали повітряного судна залізомісткі.	12	4		2		6	
Тема №2 Матеріали повітряного судна незалізомісткі.	6	2				4	
Тема №3 Загальні положення конструювання деталей машин.	6	2				4	
Тема №4 Передачі обертowego руху та його основні параметри.	6	2				4	
Тема №5 Зубчасті передачі.	18	2		4	6	6	
Тема №6 Пасові та ланцюгові передачі.	4	2				2	
Тема №7 Осі та вали.	8	2		2		4	
Тема №8 Підшипники.	10	2		4		4	
Тема №9 Нарізні з'єднання.	8	2		2		4	
Тема №10 Шпонкові, шліцьові, штифтові та профільні з'єднання.	6	2				4	
Тема №11 Муфти.	6	2				4	
							Екзамен
Всього за семестр:	90	24		14	6	46	

### 1.2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (заочна форма навчання - не передбачена)

## 2. Методичні вказівки до лабораторних занять

**Тема № 5. Зубчасті передачі.**

**Лабораторне заняття №1:** Вибір електродвигуна. Кінематичний розрахунок.

Навчальна мета заняття: Набути практичних навичок розрахунку: передаточних чисел кожної ступені редуктора та передачі (редуктора) загалом, а також можливості обчислення передаточних чисел, маючи різні вихідні параметри; силових параметрів передачі, користуючись знаннями, отриманими при вивченні фундаментальних дисциплін. Оцінити важливість коефіцієнту корисної дії. Поновити вміння користування довідковою літературою і стандартами.

Кількість годин - 2

Місце проведення: навчальний кабінет коледжу.

### Навчальні питання:

1. Кінематичні та силові співвідношення в передачах.

Література: 1-3 (с. 5 - 62)

### План проведення заняття:

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Проведення попереднього контролю теоретичних знань здобувачів освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття: постановка задачі та обговорення методики її розв'язання за участю здобувачів освіти.

### Кінематичні та силові співвідношення в передачах.

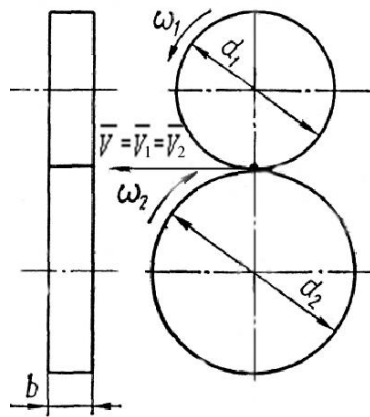


Рис.1

Попередні знання:

Колова (лінійна) швидкість точки дотику:

$$\overline{V} = \overline{V}_1 = \overline{V}_2$$

Модуль колової (лінійної) швидкості точки дотику:

$$V = \omega R = \omega \frac{d}{2} \quad (c^{-1})$$

Зв'язок між кутовою швидкістю та числом обертів колеса:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (c^{-1})$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} \quad (x\delta^{-1})$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД,  $\eta$ ):

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}$$

Потужність:

$$P = FV = \omega R = \omega T \quad (\kappa Bm)$$

Передавальне число:

$$u_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1};$$

$$u_2 = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{Z_4}{Z_3} \dots$$

### Обчислення характеристик ведучого валу

Кутова швидкість на і-тому валу:

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30}$$

Обертальний момент на і-тому валу:

$$T_i = \frac{P_i}{\omega_i}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = T_1 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \eta_1 = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta_1$$

$$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = T_2 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3} \cdot \eta_2 = T_2 \cdot u_2 \cdot \eta_2$$

Потужність і-тому валу:

$$P_1 = P_3 / \eta$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_2$$

де  $\eta_1$  - коефіцієнт корисної дії першої ступені передачі,

$\eta_2$  - коефіцієнт корисної дії другої ступені передачі.

Загальний ККД передачі:

$$\eta = \eta_1 \eta_2$$

Передавальне число першої, другої ступенів та загальне передавальне число передачі:

$$u_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$u_2 = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{Z_4}{Z_3}$$

$$u = u_1 u_2$$

## Вихідні дані

1. Надана схема двохступеневого редуктора рис.2.

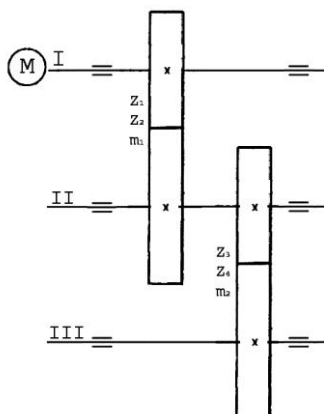


Рис.2

2. Числові значення параметрів обрати в Таблиці 1 за індивідуальним варіантом, який відповідає порядковому номеру в журналі.

Таблиця 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_1, \text{хв}^{-1}$	750	750	750	1500	1500	1500	1500	3000	3000	3000
$P_1, \text{кВт}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$z_1$	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$z_2$	75	78	81	83	86	89	91	93	95	97
$z_3$	34	33	32	31	30	29	28	29	28	27
$z_4$	68	66	64	62	60	58	56	58	56	54
$m_1, \text{мм}$	2	2,5	3,15	4	4,5	5	5,6	7,1	8,0	9,0
$m_2, \text{мм}$	2,5	3,15	4	4,5	5	5,6	7,1	8	9	9,1

### Порядок виконання роботи:

1. Обчислити:

1.1. Параметри першої ступені:  $\omega_1, T_1, u_1, n_2, \omega_2, P_2, T_2$

1.2. Параметри другої ступені:  $\omega_3, T_3, u_2, n_3, P_3$

2. Визначити загальний ККД передачі та загальне передаточне число редуктора ( $\eta$ ).

3. За визначеними параметрами обрати електродвигун і обґрунтувати його вибір.

4. Надати звіт (додаток 1).

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Здійснити перевірку і оцінювання виконаних завдань. Підвести підсумок практичного заняття звернувши увагу на основні помилки при його виконанні.

## Лабораторне заняття №2, 3: Розрахунок першої ступені двохступеневого редуктора.

Навчальна мета заняття:

Набути практичних навичок розрахунку:

1. Вибір матеріалу коліс.
2. Розрахунку допустимого контактного напруження.
3. Розрахунку та вибору міжосьової відстані, модуля, числа зубців коліс.
4. Розрахунку геометричних характеристик коліс.
5. Перевірки умов міцності.
6. Поновити вміння користування довідковою літературою і стандартами.

Кількість годин - 2

Місце проведення: навчальний кабінет .

### Навчальні питання:

Розрахунок першої ступені двохступеневого редуктора.

Література: 1-3 (с. 5 - 62)

### План проведення заняття:

I. Проведення попереднього контролю теоретичних знань здобувачів освіти

II. Порядок проведення основної частини заняття: постановка задачі та обговорення методики її розв'язання за участю здобувачів освіти.

### Стисли теоретичні відомості.

Допустиме контактне напруження:

$$[\sigma_f] = \frac{\sigma_{f \lim b} \cdot K_{HL}}{[S_f]}$$

де  $\sigma_{f \lim b}$  - межа контактної витривалості при базовому числі циклів;

$K_{HL}$  - коефіцієнт безпеки;

$[S_f]$  - коефіцієнт довговічності.

Міжосьова відстань з умови контактної міцності:

$$a_w = K_a \cdot (u+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_{ba}}}$$

Модуль зачеплення:

$$m = (0,01 - 0,02) \cdot a_w$$

Загальне число зубців ступені:

$$z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot a_w}{m}$$

Число зубців шестерні і колеса:

$$Z_1 = \frac{2 \cdot a_w}{(u+1) \cdot m}$$

$$Z_2 = z_{\Sigma} - Z_1$$

Основні розміри коліс:

- ділильні діаметри коліс:

$$d_i = m \cdot z_i$$

- діаметри вершин зубців:

$$d_{ai} = d_i + 2 \cdot m$$

Ширина коліс:

$$b_2 = \psi_{ba} \cdot a_w$$

$$b_1 = b_2 + 5$$

Колова швидкість:

$$V_i = \frac{\omega_i \cdot d_i}{2}$$

Перевірка контактних напружень (за умовами міцності):

$$\sigma_H = \frac{270}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot K_H \cdot (u+1)^3}{b_1 \cdot u^2}} \leq [\sigma_H]$$

### Вихідні дані:

1. Надана схема двохступеневого редуктора рис.2.
2. За розрахунком лабораторної роботи обрати:  $T_2$ ,  $u_1$ ,  $\omega_1$ .
3. Додаткові параметри:  
 $HV=220$ ,  $K_{HL}=1$ ,  $[S_f]=1,2$ ,  $K_{H\beta}=1,1$ ,  $\psi_{ba}=0,25$ ,  $K_a=49,5$ ,  $K_H=1,24$ .

### Порядок виконання роботи:

Обчислити:

1. Допустиме контактне напруження  $[\sigma_f]$ .
2. Міжосьову відстань  $a_w$  з умови контактної міцності, та прийняти найближче значення міжосьової відстані  $a_w$  (згідно з ГОСТ).
3. Модуль зачеплення  $m$ , та прийняти найближче значення модуля зачеплення (згідно з ГОСТ).
4. Загальне число зубців ступені  $z_\Sigma$ , число зубців шестерні і колеса ( $z_1$ ,  $z_2$ ).
5. Основні розміри коліс:
  - ділильні діаметри коліс:  $d_1$ ,  $d_2$ ;
  - діаметри вершин зубців:  $d_{a1}$ ,  $d_{a2}$ .
6. Ширину коліс:  $b_1$ ,  $b_2$ .
7. Колову швидкість коліс:  $V_1$ ,  $V_2$ .

Перевити контактні напруження (за умовами міцності).

### Приклад. Розрахунок першого ступеня редуктора

Вибір матеріалів і термічної обробки зубчастих коліс. Обираємо сплав 45 з твердістю заготовки 179 – 217 HB.

Середня твердість зубів коліс визначається за формулою (2.1):

$$HB_0 = 0,5 (HB_{min} + HB_{max}) = 0,5 * (179 + 217) = 198 \quad (2.1)$$



Допустимі контактні напруження визначаються за формулою (2.2):

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim} * Z_N}{S_H}, \text{ МПа} \quad (2.2)$$

де  $\sigma_{H \lim}$  – границя контактної витривалості при базовому числі циклів напружень  $N_{H0}$ ;

$Z_N$  – коефіцієнт довговічності, що враховує вплив строку служби й режиму навантаження передач; ( $Z_N = 1,2$ )

$S_H$  – коефіцієнт запасу міцності ( $S_H = 1,1$ )

$$\begin{aligned} \sigma_{H \lim} &= 2HB_0 + 70 = 2 * 198 + 70 = 466 \text{ МПа} \\ [\sigma_H] &= \frac{466 * 1,2}{1,1} = 508,36 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Визначаємо допустимі напруження з умови витривалості при згині за формулою (2.3):

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim} * Y_R * Y_Z * Y_A * Y_N}{S_F}, \text{ МПа} \quad (2.3)$$

де  $\sigma_{F \lim}$  – границя витривалості зубів при згинанні, що відповідає базовому числу циклів напружень

$$\sigma_{F \lim} = 1,75HB_0 = 1,75 * 198 = 346,5 \text{ МПа};$$

$S_F$  – коефіцієнт запасу міцності ( $S_F = 1,7$ );

$Y_R$  – коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості перехідної поверхні між зубами ( $Y_R = 1$ );

$Y_Z$  – коефіцієнт, що враховує спосіб одержання заготовки зубчастого колеса  $Y_Z = 1$  (для кувань і штампувань);

$Y_A$  – коефіцієнт, що враховує вплив двостороннього навантаження ( $Y_A = 1$ ) (при однобічному навантаженні);

$Y_N$  – коефіцієнт довговічності при розрахунках зубів на згинання  $Y_N = 1$  (для довгостроково працюючих швидкохідних передач).

$$[\sigma_F] = \frac{346,5 * 1 * 1 * 1 * 1}{1,7} = 203,82 \text{ (МПа)}$$

Визначення міжосьової відстані за формулою (2.4):

$$a_w \geq K_a * (U_1 \pm 1) * \sqrt[3]{\frac{T_1 * K_H}{U_1 * \psi_{Ba} * [\sigma_H]^2}}, \text{ мм} \quad (2,4)$$

де  $K_a = 495 \text{ МПа}^{1/3}$  – для прямозубих передач (матеріал шестерні та колеса-сталь)

$U$  – передаточне число;

$T_1$  – обертальний момент на шестерні, Нм

$K_H$  – коефіцієнт навантаження  $K_H = 1,3$  (для попередніх розрахунків для прямозубих передач).

$\Psi_{ba} = \frac{b}{a_w}$  – коефіцієнт ширини вінця колеса

$\Psi_{ba} = 0,25 \dots 0,40$  – при несиметричному розташуванні коліс щодо опор

$\Psi_{ba}$  вибирають із ряду стандартних чисел: 0,16; 0,2; 0,25; 0,3; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1;

Вибираємо  $\Psi_{ba} = 0,315$

У формулі (2.4) знак “+” – для передач зовнішнього зачеплення

$$a_w = 495 * (7,1 + 1) * \sqrt[3]{\frac{0,14 * 10^3 * 1,3}{7,1 * 3,15 * 508,36^2}} = 272,78 \text{ мм}$$

Приймаємо:  $a_w = 280 \text{ мм}$  (ГОСТ 2185-66)

Визначимо модуль передачі:

Мінімальне значення модуля передачі визначають із умови міцності на згинанні визначаємо за формулою (2.5):

$$m \geq \frac{K_m * T_1 * (U_1 \pm 1)}{a_w * b_2 * [\sigma_F]}, \text{ мм} \quad (2.5)$$

де  $K_m = 6,8 * 10^3$  – для прямозубих передач;

$b_2$  – ширина вінця колеса

$$b_2 = \Psi_{ba} * a_w = 0,315 * 280 = 88,2 \text{ мм}$$

Ширину вінця після обчислення округляють до найближчого більшого цілого числа, кратного двом або п'яти

Приймаємо  $b_2 = 90 \text{ мм}$

Визначаємо модуль:

$$m \geq \frac{6,8 * 10^3 * 0,14 * 10^3 * (7,1 + 1)}{280 * 90 * 203,82} = 1,50 \text{ мм}$$

Максимально допустимий модуль із умови відсутності підрізання зубів біля їх основи визначаємо за формулою (2.6):

$$m_{max} \approx \frac{2a_w}{17 * (U_1 \pm 1)}, \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$m_{max} \approx \frac{2 * 280}{17 * (7,1 + 1)} = 4,07 \text{ мм}$$

Обираємо стандартне значення модуля з діапазону ( $m \div m_{max}$ )  
Стандартне значення модуля обираємо згідно ГОСТ 9563-80:

$$m = 2 \text{ мм}$$

Визначаємо сумарне число зубів шестерні й колеса:  
Для прямозубих передач:

$$Z_s = \frac{2a_w}{m} = \frac{2 * 280}{2} = 280$$

Визначимо число зубів шестерні й колеса:

$$Z_1 = \frac{Z_s}{(U \pm 1)} \geq Z_{1 \min}$$

$$Z_{1 \min} = 17 \text{ (для прямозубих коліс)}$$

$$Z_1 = \frac{280}{7,1 + 1} = 34,6$$

Значення  $Z_1$  округлюють до найближчого цілого числа  $Z_1 = 35$   
Число зубів колеса:

$$Z_2 = Z_s - Z_1 \text{ (для зовнішнього зачеплення)}$$

$$Z_2 = Z_s + Z_1 \text{ (для внутрішнього зачеплення)}$$

$$Z_2 = 280 - 35 = 245$$

Уточнюємо міжосьову відстань

Для прямозубих передач  $a_w = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$ , (мм).

$$a_w = \frac{2(35 + 245)}{2} = 280 \text{ мм}$$

Визначимо геометричні параметри зубчастих коліс  
Діаметри ділільних кіл:

$$d = Z * m, \text{ мм}$$

$$d_1 = 35 * 2 = 70 \text{ мм}$$

$$d_2 = 245 * 2 = 490 \text{ мм}$$

Діаметр кіл вершини:

$$d_a = d + 2m, \text{ мм}$$

$$d_{a1} = 70 + 2 * 2 = 74$$

$$d_{a2} = 490 + 2 * 2 = 494$$

Діаметр кіл впадин (западин):

$$\begin{aligned}d_f &= d - 2,5m, \text{ мм} \\d_f &= 70 - 2,5 * 2 = 65 \text{ мм} \\d_f &= 490 - 2,5 * 2 = 485 \text{ мм}\end{aligned}$$

Ширина зубчастого вінця шестерні  $b_1$  вибирають на 2-5 мм більше ширини вінця зубчастого колеса  $b_2$  для забезпечення стабільності зубчастого зачеплення.

Таким чином

$$b_1 = b_2 + 4 = 90 + 4 = 94 \text{ мм}$$

Висота зуба

$$h = 2,25 * m = 2,25 * 2 = 4,5 \text{ мм}$$

Радіальний зазор

$$c = 0,25 * m = 0,25 * 2 = 0,5 \text{ мм}$$

Колова швидкість коліс обчислюється за формулою (2.7):

$$\begin{aligned}V_t &= \frac{\omega * d}{2}, \text{ м/с} \\V_{t1} &= \frac{76,44 * 70 * 10^3}{2} = 2,68 \text{ М/с} \approx 2,7 \text{ М/с} \\V_{t2} &= \frac{10,77 * 490 * 10^3}{2} = 2,64 \text{ М/с} \approx 2,6 \text{ М/с}\end{aligned} \tag{2.7}$$

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Здійснити перевірку і оцінювання виконаних завдань. Підвести підсумок практичного заняття звернув увагу на основні помилки при його виконанні.

### **3.Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна**

1. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. Навчальний посібник, Київ, К.Кондор, 2009 – 152 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є, Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів, Навчальний посібник, Київ, «Либідь», 2002 – 327 с.
3. Животовська К.О, Мамлюк О.В. Авіаційні матеріали та їх обробка. Навчальний посібник, Київ, "Вища освіта", 2003 – 303 с.
4. Гарнець В.М. Матеріалознавство Підручник. Київ, К.Кондор, 2009
5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство Навчальний посібник, Львів, 2002. – 264 с.
6. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М., Байдула В.О., Товстушко М.М. Деталі машин. Практикум. Навч. посіб. К.: Кондор, 2009. – 278 с.

7. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: Підручник. — Львів: Афіша, 2003. — 557 с.

8. Коновалюк Д. М. Деталі машин: підручник / Д. М. Коновалюк, Р. М. Ковальчук. - К.: Кондор, 2004. - 584 с

#### **Допоміжна**

9. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування: Навч. посіб. — 3-тє вид., стереотипне. —Львів: “Новий Світ – 2000”, 2007. 252с.

10. Малащенко В.О., Павлице В.Т. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків. Львів: Видавництво Новий Світ – 2000, 2009. — 136 с.

11. Мархель І.І. Деталі машин. Навчальний посібник. — Видавництво Алерта, 2016. — 368 с.

12. Дмитро Коновалюк, В. Байбула, М. Товстушко. Деталі машин. Практикум. — Видавництво Кондор, 2009 — 278с.

13. Анурьев В.І. Довідник конструктора-машинобудівника. - В 3 т. - М.: Машинобудування, 2001. — 859 с.

14. Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін. Деталі машин: Підручник. — К.: Агроосвіта, 2013. — 448 с.

15. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. — Харків: НТУ «ХП», 2020. — 275 с.

16. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Навч. посіб. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. — 196 с., 2009. — 208 с.

17. Павлице В.Т., Данило Я.Я. Різьби, різьбові з'єднання та кріпильні деталі: Довідник. — Львів: Інтелект-Захід, 2001. — 239 с.