

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра “Деталі машин та прикладна механіка”

Деталі машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Розрахунки енергетичних та кінематичних співвідношень у механічних
передачах з застосування ПЕОМ

Кропивницький

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра “Деталі машин та прикладна механіка”

Деталі машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Розрахунки енергетичних та кінематичних співвідношень у механічних
передачах з застосування ПЕОМ

Затверджено на засіданні
кафедри ДМ та ПМ
Протокол № 2 від 28.09.2023 р.

Кропивницький
2023

Методичні вказівки з практичних занять розрахунки енергетичних та
кінематичних співвідношень у механічних передачах з застосування ПЕОМ

/ Укл.: Невдаха Ю.А., Пирогов В.В., Невдаха Н.А., Шматько С.І. –
Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 43 с.

Рецензент докт. техн. наук, проф. Філімоніхін Г.Б.

Відповідальний за випуск канд. техн. наук доц. Невдаха Ю.А.

Зміст

Передмова	4
Розділ 1. Механічні передачі	5
1.1. Призначення механічних передач та їх класифікація	5
1.2. Основні співвідношення для кінематичних параметрів і параметрів навантаження механічних передач	7
1.3. Загальні міркування щодо вибору розрахункових навантажень механічних передач	10
Розділ 2. Кінематичний розрахунок привода	11
2.1. Вибір електродвигуна	11
2.2. Рекомендації по розподілу передаточного числа між ступіннями редукторів	13
Розділ 3. Приклади розрахунків кінематичних схем механізмів загального призначення	15
Приклад 1.	15
Приклад 2.	20
Приклад 3.	24
Приклад 4.	29
Приклад 5.	33
Додатки	38
Література	43

Передмова

Методичні вказівки призначені для самостійної роботи студентів механічних спеціальностей під час розв'язування задач з курсу деталей машин а також використовувати при розрахунках курсових проектів.

В методичних вказівках приведені деякі схеми різних приводів загального призначення, які містять кінематичний розрахунок з раціональним вибором потужності електродвигуна та його обертів, визначається загальне передаточне число привода, розподіл загального передаточного числа по ступеням механічних передач, визначення обертів, кутових швидкостей, потужності та моментів на кожному валі привода.

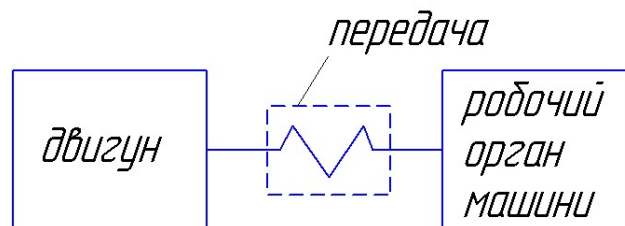
Задачі розв'язуються із допомогою ПЕОМ з застосуванням прикладних програм MathCAD, версії 7 і вище. Переваги пакету полягають у тому, що у результаті розв'язання задачі деталей машин з'являється документ MathCAD, який є звітом з розв'язання задачі, містить формули, розрахункові данні, результати розрахунків тощо. Такий документ легко перевіряється навіть тим, хто немає навичок роботи на ПЕОМ. У разі наявності помилок, вони легко виправляються у вихідному документі.

Розв'язання технічних задач на ПЕОМ із застосуванням MathCAD, є загальним підходом кафедри ДМ та ПМ до організації навчального процесу (охоплені всі дисципліни кафедри, зокрема теоретична механіка, опорів матеріалів, ТММ тощо). Тому студенти механічних спеціальностей, починаючи вивчати курс деталей машин, повинні вже мати відповідні навички користування програмою MathCAD.

РОЗДІЛ 1. МЕХАНІЧНІ ПЕРЕДАЧІ

1.1. Призначення механічних передач та їхня класифікація

Більшість сучасних машин і приладів створюється по схемі двигун – передача – робочий орган (виконавчий механізм). Необхідність введення передачі як проміжної ланки між двигуном і робочими органами машини пов'язана з рішенням ряду задач. Наприклад, в автомобілях і інших транспортних машинах вимагається змінювати величину швидкості і напрям руху, а на підйомах і при рушанні з місця необхідно у декілька разів збільшити обертаючий момент на привідних колесах. Сам автомобільний двигун не може виконувати ці вимоги, оскільки він працює стійко тільки у вузькому діапазоні зміни величини обертаючого моменту і кутової швидкості. При виході за межі цього діапазону двигун зупиняється. Подібно автомобільному двигуну слабо регулюються багато інших двигунів, у тому числі більшість електричних.



В деяких випадках регулювання двигуна можливо, але недоцільно з економічних міркувань, оскільки за межами номінального режиму роботи ККД двигунів істотно знижується.

Маса і вартість двигуна при однаковій потужності зменшуються із збільшенням кутової швидкості його валу.

Механічною передачею називають механізм, що передає енергію від двигуна до робочого органу машини з перетворюванням параметрів руху.

Обертовий рух найпоширеніший у машинах в порівнянні з іншими видами руху: існує можливість здійснення неперервного та рівномірного руху; невеликі втрати на тертя в спряженнях обертових деталей; порівняльна простота та компактність деталей, що забезпечують обертовий рух.

Безпосередній зв'язок двигуна з робочим органом машини використовується рідко, наприклад у відцентрових насосах, де вал електродвигуна безпосередньо з'єднується з валом насоса.

Потреба впровадження механічної передачі між двигуном та робочим органом машини, як складової частини привода диктується такими міркуваннями: для вибору оптимальної швидкості руху; для регулювання швидкості руху (підвищення або пониження); для перетворення виду руху: обертального в поступальне (передачі рейкові і гвинт – гайка) і навпаки; для зміни напрямку руху (реверсування); для зміни обертаючих моментів і сил руху; для передачі потужності на відстань.

Отже, основне призначення механічних передач – це узгодження параметрів руху робочих органів машини з параметрами руху вала двигуна.

Усі механічні передачі поділяють на дві основні групи:

- а) передачі, що базуються на використанні сил тертя (пасові, фрикційні);
- б) передачі, що базуються на зачепленні (зубчасті, черв'ячні, ланцюгові, гвинтові).

Основні групи та види механічних передач



У свою чергу, передачі тертям та передачі зачепленням можуть здійснюватись безпосереднім дотиканням ведучого та веденого елементів

передачі (фрикційні, зубчасті, черв'ячні) і за допомогою проміжної гнучкої ланки – так звані передачі гнучким зв'язком (пасові, ланцюгові).

1.2. Основні співвідношення для кінематичних параметрів і параметрів навантаження механічних передач

Розглянемо загальні співвідношення між деякими параметрами всіх механічних передач на прикладі зубчастої передачі (рис. 1).

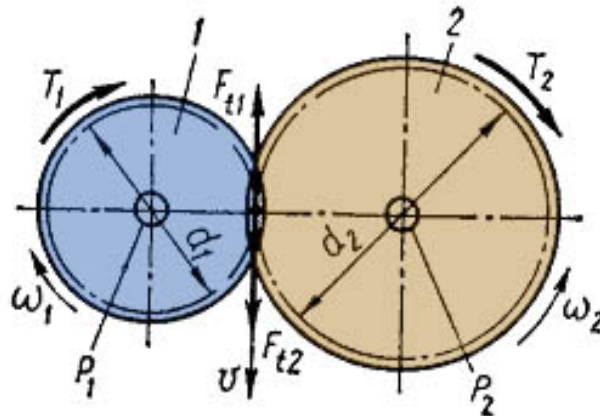


Рисунок 1 - Розрахункові параметри механічної передачі

Усі параметри механічної передачі, що належать до ведучої ланки будемо позначати індексом 1, а до веденої ланки – відповідно індексом 2. Під ведучою або веденою ланкою будемо розуміти вал, зубчасте колесо, шків, зірочку тощо.

Переважно ведучі ланки або елементи мають більшу швидкість, а ведені – меншу. Тому перші інколи називають швидкохідними, а другі – тихохідними ланками.

Основний кінематичний параметр механічної передачі – передаточне число

$$U = \omega_1 / \omega_2 \quad (1)$$

яке є відношенням кутової швидкості ω_1 ведучої ланки до кутової швидкості ω_2 веденої ланки передачі.

Енергетичними параметрами механічної передачі є передавані потужності на ведучій ланці P_1 і на веденій ланці P_2 , а також коефіцієнт корисної дії (ККД), що визначається за співвідношенням

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (2)$$

ККД характеризує ступінь досконалості механічної передачі і за ним можна оцінити втрати потужності ΔP у передачі:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1 (1 - \eta). \quad (3)$$

Параметри ω_1 і ω_2 , а також P_1 і P_2 є мінімально потрібними для розрахунку будь-якої механічної передачі.

Передаванні потужності, Вт, та кутові швидкості, рад/с, визначають обертові моменти, Нм, на валах передачі;

на ведучому валу:

$$T_1 = P_1 / \omega_1; \quad (4)$$

на веденому валу:

$$T_2 = P_2 / \omega_2. \quad (5)$$

Співвідношення між обертовими моментами на валах механічної передачі можна встановити за виразами (4) та (5) і записати у такому вигляді:

$$T_2 / T_1 = U \cdot \eta \quad \text{або} \quad T_2 = T_1 \cdot U \cdot \eta. \quad (6)$$

Інколи швидкості обертання ланок механічної передачі задаються у вигляді частоти обертання n , хв⁻¹. Зв'язок між кутовою швидкістю ω , рад/с, та частотою обертання n , об/хв, виражається співвідношенням

$$\omega = \pi \cdot n / 30.$$

У розрахунках механічних передач зустрічаються такі параметри, як колова швидкість та колова сила. Колова швидкість v – це лінійна швидкість точок обертової ланки передачі, розміщених на відстані $d_1/2$ або $d_2/2$ від осі обертання (рис. 1):

$$v = v_1 = v_2 = \omega_1 \cdot d_1 / 2 = \omega_2 \cdot d_2 / 2.$$

Колова сила F_t – це сила, що діє на ланку передачі, спричинюючи її обертання або створюючи опір обертанню, і напрямлена по дотичній до траєкторії (кола) руху точки її прикладання (рис. 1):

$$F_t = F_{t1} = F_{t2} = 2 T_1 / d_1 = 2 T_2 / d_2. \quad (7)$$

Потужність, кВт, що затрачається на рух ланки передачі із швидкістю v , м/с, у напрямі, протилежному дії на ланку зовнішньої сили F , Н, визначають за формулою

$$P = F \cdot v / 10^3. \quad (8)$$

У приводах машин можуть застосовуватись кілька послідовно розміщених механічних передач 1–4 (рис. 2).

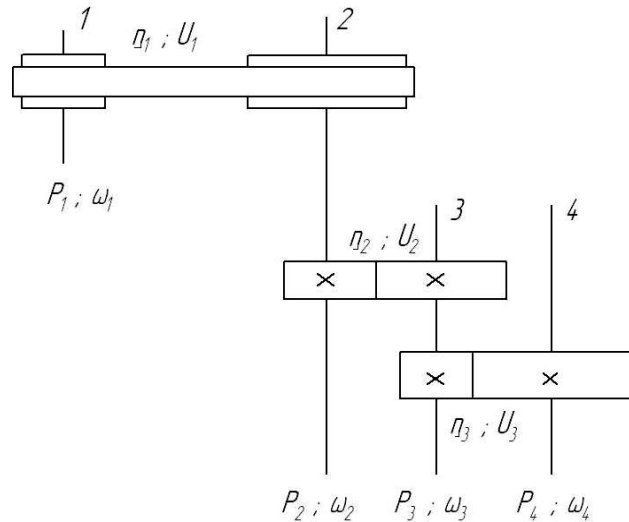


Рисунок 2 - Послідовне розміщення механічних передач

У цьому разі загальне передаточне число U привода та його ККД визначаються за наведеними нижче формулами:

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \omega_1 / U_1; & \omega_3 &= \omega_2 / U_2 = \omega_1 / (U_1 \cdot U_2); \\ \omega_4 &= \omega_3 / U_3 = \omega_1 / (U_1 \cdot U_2 \cdot U_3). \end{aligned}$$

Загальне передаточне число привода

$$U = \omega_1 / \omega_4 = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3.$$

Отже, загальне передаточне число привода, що складається з кількох механічних передач, дорівнює добутку передаточних чисел його складових передач, тобто

$$u = U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n. \quad (9)$$

Зв'язок між потужностями на окремих валах привода (рис. 2) запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 \cdot \eta_1; \\ P_3 &= P_2 \cdot \eta_2 = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2; \\ P_4 &= P_3 \cdot \eta_3 = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \end{aligned}$$

Відповідно ККД всього приводного механізму

$$\eta = P_4 / P_1 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3.$$

ККД привода, що складається з кількох механічних передач, дорівнює добутку ККД всіх його складових передач, тобто

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_n. \quad (10)$$

1.3. Загальні міркування щодо вибору розрахункових навантажень механічних передач

Навантаження, що передають механічні передачі, можуть бути постійними або змінними в часі. Як постійні, так і змінні навантаження спричиняють у деталях механічних передач циклічно змінні напруження, що обумовлені, наприклад, періодичним входом у зачеплення зубців зубчастих передач або зміною положення паса на шківках у пасових передачах. Рівень циклічно змінних напружень залишається постійним при постійному зовнішньому навантаженні, але змінюється у разі змінного зовнішнього навантаження.

Змінний режим навантаження можна замінити еквівалентним постійним режимом. При цьому за номінальне навантаження $T = T_{НОМ}$ (або $F = F_{НОМ}$) беруть максимальне довгочасно діюче навантаження, число циклів появи якого не менше від $5 \cdot 10^4$ за строк служби машини чи її деталі. Максимальні навантаження $T_{\max}$ (або $F_{\max}$) із числом циклів появи менше від $5 \cdot 10^4$ вважають короткочасно діючими і беруть тільки у розрахунках деталей на статичну міцність при перевантаженнях.

Вибір номінального навантаження залежить від призначення приводного механізму:

а) якщо привод проектують для роботи із заданим режимом навантаження то це навантаження беруть за номінальне розрахункове для передач цього привода. Приводні двигуни, що використовують в такому випадку, можуть мати потужність, яка відповідає даному номінальному навантаженню, або може бути дещо більшою від потрібної. В цьому випадку передачі приводного механізму не будуть перевантажені, це спричинить лише недовантаження двигуна;

б) якщо проектують механічну передачу без конкретних вказівок її призначення, але з відомим режимом навантаження, то треба мати на увазі, що споживач може завантажити передачу на повну потужність використаного у приводі двигуна. У цьому разі розрахунок передачі слід виконувати за номінальним обертовим моментом, що дістають із номінальної потужності двигуна;

в) у разі проектування передачі з невідомим режимом навантаження, але із заданим номінальним навантаженням (наприклад, редуктори загального призначення) у розрахунках слід брати найважчий для передачі режим – режим з постійним навантаженням.

Максимальні навантаження $T_{\max}$ у передачах, що обумовлені дією короткочасних або випадкових перевантажень, можуть у кілька разів перебільшувати номінальні розрахункові навантаження. В основному вони залежать від характеру робочого процесу в машинах. У розрахунках механічних передач максимальне навантаження беруть таким:

$$T_{\max} = T \cdot K_n,$$

де K_n – коефіцієнт короткочасного перевантаження, що беруть за рекомендаціями на основі досвіду експлуатації конкретних машин. Якщо рекомендації щодо вибору K_n відсутні, а у приводних пристроях використовують асинхронні електродвигуни, то значення коефіцієнта перевантаження можна брати рівним відношенню пускового моменту до номінального моменту двигуна, яке задається в каталогах електродвигунів.

РОЗДІЛ 2. КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВОДА

2.1. Вибір електродвигуна

Розрахунок привода починають з вибору електродвигуна за потрібною потужністю і умовам експлуатації, вказаної в завданні на проект.

Якщо потужність на вихідному валу привода P_B (кВт) не задається, то вона може бути визначена:

1) по крутному моменту T_B (Н·м) на вихідному валу і кутовій швидкості ω_B (рад/с):

$$P_B = \frac{T_B \cdot \omega_B}{1000} \text{ кВт} \quad (11)$$

2) по крутному моменту T_B (Н·м) на вихідному валу і частоті обертання n_B (об/хв)

$$P_B = \frac{T_B \cdot n_B}{9550} \text{ кВт} \quad (12)$$

3) по тяговому зусиллю F_{tB} (Н) на виході і швидкості V (м/с)

$$P_B = \frac{F_{tB} \cdot V}{1000} \text{ кВт} \quad (13)$$

Кутова швидкість на вихідному валу при заданій частоті обертання n_B (об/хв) визначають по формулі

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_B}{30} \text{ рад/с} \quad (14)$$

Частота обертання вихідного вала при відомій швидкості вихідної ланки V (м/с) і діаметрі ланки D (мм)

$$n_B = \frac{60000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ об/хв.} \quad (15)$$

Якщо задана швидкість руху ланцюга на виході V (м/с) крок ланцюга t (мм) і число зубців z зірочки, то частоту обертання вихідного вала визначають за формулою:

$$n_B = \frac{60000 \cdot V}{z \cdot t} \text{ об/хв.} \quad (16)$$

По потужності на вихідному валу P_B (кВт) визначають розрахункову потужність електродвигуна

$$P_{\text{ел.дв}} = \frac{P_B}{\eta} \text{ кВт} \quad (17)$$

де η - коефіцієнт корисної дії привода (ККД), дорівнює добутку часних ККД

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

тут $\eta_1 \eta_2 \dots$ - коефіцієнт корисної дії окремих ланок кінематичного ланцюга, наближене значення яких без урахувань затрат в підшипниках наведенні в табл. 1.

З урахуванням розрахункової потужності P_B (кВт) по каталогу вибирають електродвигун, потужність якого P повинна бути рівна або більше розрахункової потужності двигуна, тобто

$$P \geq P_{\text{ЕЛ.ДВ}} \quad (18)$$

Загальне передаточне число привода визначають за формулою

$$U = \frac{n_{\text{ЕЛ.ДВ}}}{n_B}, \quad (19)$$

де $n_{\text{ЕЛ.ДВ}}$ - частота обертання вала вибраного електродвигуна;

n_B - частота обертання вихідного вала привода.

2.2. Рекомендації по розподілу передаточного числа між ступіннями редукторів

При проектуванні багатоступінчатих редукторів від доцільності розбивки загального передаточного числа залежить маса і габарити редуктора; раціональність змащування і компоновки елементів редуктора в корпусі, ефективність використання навантажувальної здібності кожної ступені і т. д.

Розбивка передаточного числа здійснюється за різними умовами: рівномірності швидкохідної і тихохідної ступенів; однакового занурення швидкохідної і тихохідної ступенів в мастило; мінімальних габаритів редуктора в площині, перпендикулярній до осей обертання; мінімальної маси і т.д.

Універсальних рекомендацій розбивки передаточних чисел, які задовольняють всі перераховані вимоги, не існує.

Питання розбивки передаточного числа слід розглядати як конкретну задачу стосовно даного конкретного випадку.

В редукторах які розробляються при курсовім проектуванні, розбивка передаточного числа проводиться з умови рівномірності зубчастих коліс і їх однакового занурення в мастильну ванну.

Орієнтовні рекомендації по розбивці передаточних чисел різних типів редукторів приводяться нижче.

В одноступінчатих циліндричних і конічних редукторах передаточні числа повинні мати наступні стандартні значення (ДСТУ 21426-75).

U	1-й ряд	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3
	2-й ряд	2,24	2,8	3,55	4,5	5,6	7,1
Примітка: Не рекомендується назначати для одноступінчатих циліндричних редукторів $U > 6,3$ і одноступінчатих конічних редукторів $U > 5$.							

В двохступінчатих циліндричних редукторах передаточне число швидкохідної ступені визначається за формулою

$$U_1 = (1,1 \dots 1,15) \cdot \sqrt{U_p}, \text{ або } U_1 > U_2$$

В двоступінчатих конічно-циліндричних редукторах передаточне число тихохідної (циліндричної) ступені визначається за формулою

$$U_2 = 1,1 \cdot \sqrt{U_p}, \text{ або } U_2 > U_1$$

Рекомендовані передаточні числа циліндричної пари комбінованих редукторів:

черв'ячно-циліндричних $U_2 = 3,15 \dots 5$

циліндрично-чярв'ячних $U_1 = 1,6 \dots 3,15$

де U_p - загальне передаточне число редуктора,

U_1 - передаточне число першої ступені редуктора,

U_2 - передаточне число другої ступені редуктора.

РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА КІНЕМАТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧАХ.

В цьому розділі приведені приклади розрахунків кінематичні схеми загального призначення набрані в програмі Mathcad. На відміну від звичайного математичного запису виразів, в програмі Mathcad використовуються команди програмування, наприклад:

- в звичайному вигляді

$$T_B = 250 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

- в вигляді програми Mathcad

$$T_B := 250 \text{ Нм.}$$

Приклад 1.

1. Кінематичний розрахунок привода

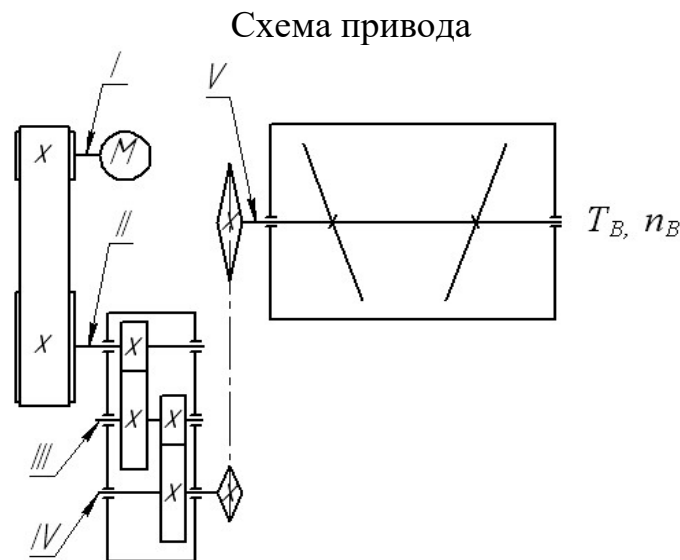
Вихідні дані для розрахунку

Крутний момент на вихідному валу привода, Нм

$$T_B := 250$$

Частота обертання вихідного вала привода, об/хв

$$n_B := 25$$



Привод змішувача кормів

1.1. Вибір електродвигуна.

1.1.1. Визначаємо потужність та кутову швидкість на вихідному валу привода:

$$P_B := \frac{T_B \cdot n_B}{9550} \quad P_B = 0.654 \text{ кВт} ;$$

$$\omega_B := \frac{\pi \cdot n_B}{30} \quad \omega_B = 2.618 \frac{\text{рад}}{\text{с}} ;$$

1.1.2. Розраховуємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода, приймаємо за табл.1 стор. 38, ККД окремих передач привода (пасової передачі, циліндричної передачі, ланцюгової передачі):

$$\eta_{пп} := 0.96 \quad - \text{ККД пасової передачі};$$

$$\eta_{цп} := 0.97 \quad - \text{ККД циліндричної передачі};$$

$$\eta_{лп} := 0.92 \quad - \text{ККД ланцюгової передачі};$$

$$\eta_{ппк} := 0.99 \quad - \text{ККД пари підшипників кочення.}$$

$$\eta_{заг} := \eta_{пп} \cdot \eta_{цп}^2 \cdot \eta_{лп} \cdot \eta_{ппк}^4 \quad \eta_{заг} = 0.798$$

1.1.3. Розраховуємо необхідну потужність електродвигуна, кВт

$$P_{\text{ел.дв.}} := \frac{P_B}{\eta_{заг}} \quad P_{\text{ел.дв.}} = 0.82$$

1.1.4. Визначаємо частоту обертів вала електродвигуна.

Електродвигун повинен працювати в такому діапазоні частот обертання вала:

$$n_{\min} < n_{\text{ел.дв}} < n_{\max}$$

Для визначення максимальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39 максимальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, циліндричної передачі першої ступені, циліндричної передачі другої ступені, ланцюгової передачі.):

$$U_{пп\max} := 5 ; \quad U_{цп\max} := 6.3 ; \quad U_{лп\max} := 6.3 ;$$

$$n_{\max} := n_B \cdot U_{пп\max} \cdot U_{цп\max}^2 \cdot U_{лп\max} ; \quad n_{\max} = 3.126 \times 10^4 \text{ об/хв.}$$

Для визначення мінімальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39, мінімальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, циліндричної передачі першої ступені, циліндричної передачі другої ступені, ланцюгової передачі.):

$$U_{ппmin} := 1.8 ; \quad U_{цпmin} := 2 ; \quad U_{лпmin} := 2 ;$$

$$n_{min} := n_B \cdot U_{ппmin} \cdot U_{цпmin}^2 \cdot U_{лпmin} ; \quad n_{min} = 360 \quad \text{об/хв.}$$

За табл. 3 стор. 40 вибираємо електродвигун типу 4А71В2У3, потужністю 1.1 кВт

та частотою обертання валу електродвигуна $n_{дв} := 2810$ об/хв.

1.1.5. Визначаємо загальне передаточне число привода;

$$U_{заг} := \frac{n_{дв}}{n_B} \quad U_{заг} = 112.4$$

1.1.6. Розбиваємо загальне передаточне число привода по ступеням передач, користуючись рекомендаціями стор. 14 та табл. 2 стор.39 приймаємо:

передаточне число циліндричної передачі першої ступені редуктора $U_{цп1} = 5$;

передаточне число циліндричної передачі другої ступені редуктора $U_{цп2} = 4$;

передаточне число ланцюгової передачі $U_{лп} = 2$;

тоді передаточне число пасової передачі визначаємо за формулою:

$$U_{пп} := \frac{U_{заг}}{U_{цп1} \cdot U_{цп2} \cdot U_{лп}} \quad U_{пп} = 2.81$$

1.2. Кінематичний розрахунок привода.

1.2.1. Розраховуємо частоту обертання на валах привода, об/хв

На першому валу

$$n_I := n_{дв} \quad n_I = 2.81 \times 10^3$$

На другому валу

$$n_{II} := \frac{n_I}{U_{пп}} \quad n_{II} = 1 \times 10^3$$

На третьому валу

$$n_{III} := \frac{n_{II}}{U_{цп1}} \quad n_{III} = 200$$

На четвертому валу

$$n_{IV} := \frac{n_{III}}{U_{цп2}} \quad n_{IV} = 50$$

На п'ятому валу

$$n_V := \frac{n_{IV}}{U_{лп}} \quad n_V = 25$$

1.2.2. Розраховуємо кутові швидкості на валах привода, рад/с.

На першому валу

$$\omega_I := \pi \cdot \frac{n_I}{30} \quad \omega_I = 294.263$$

На другому валу

$$\omega_{II} := \pi \cdot \frac{n_{II}}{30} \quad \omega_{II} = 104.72$$

На третьому валу

$$\omega_{III} := \pi \cdot \frac{n_{III}}{30} \quad \omega_{III} = 20.944$$

На четвертому валу

$$\omega_{IV} := \pi \cdot \frac{n_{IV}}{30} \quad \omega_{IV} = 5.236$$

На п'ятому валу

$$\omega_V := \pi \cdot \frac{n_V}{30} \quad \omega_V = 2.618$$

1.2.3. Розраховуємо потужність на валах привода, кВт

На першому валу

$$P_I := P_{ел.дв.} \quad P_I = 0.82$$

На другому валу

$$P_{II} := P_I \cdot \eta_{пп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{II} = 0.779$$

На третьому валу

$$P_{III} := P_{II} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{III} = 0.748$$

На четвертому валу

$$P_{IV} := P_{III} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{IV} = 0.719$$

На п'ятому валу

$$P_V := P_{IV} \cdot \eta_{лп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_V = 0.654$$

1.2.4. Розраховуємо моменти на валах привода, Нм

На першому валу

$$T_I := \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I} \quad T_I = 2.786$$

На другому валу

$$T_{II} := \frac{P_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} \quad T_{II} = 7.441$$

На третьому валу

$$T_{III} := \frac{P_{III} \cdot 10^3}{\omega_{III}} \quad T_{III} = 35.726$$

На четвертому валу

$$T_{IV} := \frac{P_{IV} \cdot 10^3}{\omega_{IV}} \quad T_{IV} = 137.232$$

На п'ятому валу

$$T_V := \frac{P_V \cdot 10^3}{\omega_V} \quad T_V = 249.982$$

1.2.5. Перевірка кінематичних розрахунків привода,

$$T_V := T_I \cdot U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}} \quad T_V = 249.982 \text{ Нм}$$

1.2.6. Отримані результати заносимо до таблиці

Вал	Параметри				
	P , кВт	n , об/хв	ω , рад/с	T , Н·м	U
1	0,82	2810	294,263	2,786	$U_{\text{заг}} = 112,4$
2	0,779	1000	104.72	7,441	$U_{\text{ПАС}} = 2,81$
3	0,748	200	20,944	35,726	$U_{\text{ЦП}}^I = 5$
4	0,719	50	5,236	137,232	$U_{\text{ЦП}}^{II} = 4$
5	0,654	25	2,618	249,982	$U_{\text{ЛП}} = 2$

Приклад 2.

1. Кінематичний розрахунок привода йоржового конвейєра.

Вихідні дані для розрахунку:

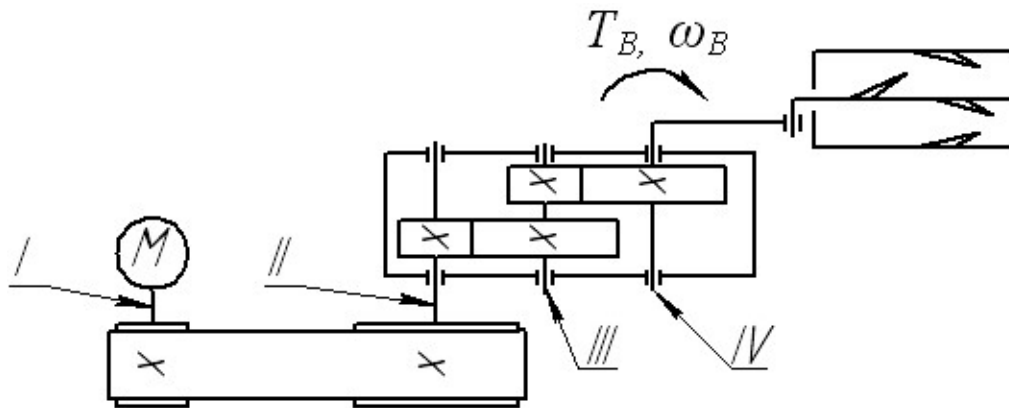
Момент на вихідному валу, Нм

$$T_B := 400$$

Кутова швидкість на вихідному валу, рад/с

$$\omega_B := 4.0$$

Схема привода



Привод йоржового конвейєра

1.1 Вибір електродвигуна.

1.1.1. Визначаємо потужність на вихідному валу привода, кВт

$$P_B := \frac{T_B \cdot \omega_B}{1000} \quad P_B = 1.6$$

1.1.2. Визначаємо частоту обертання вала привода, об/хв

$$n_B := \frac{30 \cdot \omega_B}{\pi} \quad n_B = 38.197$$

1.1.3. Розраховуємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода, приймаємо за табл. 1 стор. 38 ККД окремих передач привода:

$\eta_{пп} := 0.95$ - ККД пасової передачі;

$\eta_{цп} := 0.97$ - ККД циліндричної передачі;

$\eta_{ппк} := 0.99$ - ККД пари підшипників кочення.

$$\eta_{заг} := \eta_{пп} \cdot \eta_{цп}^2 \cdot \eta_{ппк}^3 \quad \eta_{заг} = 0.867$$

1.1.4. Визначаємо потрібну потужність електродвигуна, кВт

$$P_{\text{ел.дв.}} := \frac{P_{\text{в}}}{\eta_{\text{заг}}} \quad P_{\text{ел.дв.}} = 1.845$$

1.1.5. Визначаємо частоту обертання вала електродвигуна.

Електродвигун повинен працювати в такому діапазоні частот обертання вала:

$$n_{\text{min}} < n_{\text{ел.дв.}} < n_{\text{max}}$$

Для визначення максимальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39 максимальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, циліндричної передачі першої ступені, циліндричної передачі другої ступені,):

$$U_{\text{ппmax}} := 4 \quad ; \quad U_{\text{цпmax}} := 6.3 \quad ;$$

$$n_{\text{max}} := n_{\text{в}} \cdot U_{\text{ппmax}} \cdot U_{\text{цпmax}}^2 \quad n_{\text{max}} = 6.064 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для визначення мінімальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39 мінімальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, циліндричної передачі першої ступені, циліндричної передачі другої ступені,):

$$U_{\text{ппmin}} := 2 \quad ; \quad U_{\text{цпmin}} := 2 \quad ;$$

$$n_{\text{min}} := n_{\text{в}} \cdot U_{\text{ппmin}} \cdot U_{\text{цпmin}}^2 \quad n_{\text{min}} = 305.577 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

По табл. 3 стор.40 вибираємо електродвигун типу 4А80В2У3, потужністю $P = 2.2$ кВт та частотою обертання валу електродвигуна $n_{\text{дв}} := 2850$ об/хв.

1.1.6. Визначаємо загальне передаточне число привода,

$$U_{\text{заг}} := \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{в}}} \quad U_{\text{заг}} = 74.613$$

1.1.7. Розбиваємо загальне передаточне число привода по ступеням передач, користуючись рекомендаціями стор.14 та табл. 2 стор. 39 приймаємо:

передаточне число першої ступені циліндричної передачі $U_{\text{цп1}} := 6.3 \quad ;$

передаточне число другої ступені циліндричної передачі $U_{цп2} := 5$;
 тоді передаточне число пасової передачі визначаємо за формулою :

$$U_{пп} := \frac{U_{заг}}{U_{цп1} \cdot U_{цп2}} \quad U_{пп} = 2.369$$

1.2 Кінематичний розрахунок привода.

1.2.1. Розраховуємо частоту обертання на валах привода, об/хв

На першому валу

$$n_I := n_{дв} \quad n_I = 2850$$

На другому валу

$$n_{II} := \frac{n_I}{U_{пп}} \quad n_{II} = 1.203 \times 10^3$$

На третьому валу

$$n_{III} := \frac{n_{II}}{U_{цп1}} \quad n_{III} = 190.986$$

На четвертому валу

$$n_{IV} := \frac{n_{III}}{U_{цп2}} \quad n_{IV} = 38.197$$

1.2.2. Розраховуємо кутові швидкості на валах привода, рад/с

На першому валу

$$\omega_I := \pi \cdot \frac{n_I}{30} \quad \omega_I = 298.451$$

На другому валу

$$\omega_{II} := \pi \cdot \frac{n_{II}}{30} \quad \omega_{II} = 126$$

На третьому валу

$$\omega_{III} := \pi \cdot \frac{n_{III}}{30} \quad \omega_{III} = 20$$

На четвертому валу

$$\omega_{IV} := \pi \cdot \frac{n_{IV}}{30} \quad \omega_{IV} = 4$$

1.2.3. Розраховуємо потужність на валах привода, кВт

На першому валу

$$P_I := P_{\text{ел.дв.}} \quad P_I = 1.845$$

На другому валу

$$P_{II} := P_I \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{II} = 1.735$$

На третьому валу

$$P_{III} := P_{II} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{III} = 1.666$$

На четвертому валу

$$P_{IV} := P_{III} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{IV} = 1.6$$

1.2.4. Розраховуємо моменти на валах привода, Нм

На першому валу

$$T_I := \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I} \quad T_I = 6.181$$

На другому валу

$$T_{II} := \frac{P_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} \quad T_{II} = 13.77$$

На третьому валу

$$T_{III} := \frac{P_{III} \cdot 10^3}{\omega_{III}} \quad T_{III} = 83.307$$

На четвертому валу

$$T_{IV} := \frac{P_{IV} \cdot 10^3}{\omega_{IV}} \quad T_{IV} = 400$$

1.2.5. Перевірка кінематичних розрахунків привода,

$$T_{IV} := T_I \cdot U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}} \quad T_{IV} = 400 \text{ Нм}$$

1.2.6. Отримані результати заносимо до таблиці

Вал	Параметри				
	P , кВт	n , об/хв	ω , рад/с	T , Н·м	U
1	1,845	2850	298,451	6,181	$U_{\zeta\dot{A}\dot{A}} = 74,613$ $U_{I\dot{A}\dot{N}} = 2,369$ $U_{\dot{O}I}^I = 6,3$ $U_{\dot{O}I}^{II} = 5$
2	1,735	1203	126	13,77	
3	1,666	190,986	20	83,307	
4	1,6	38,197	4	400	

Приклад 3.

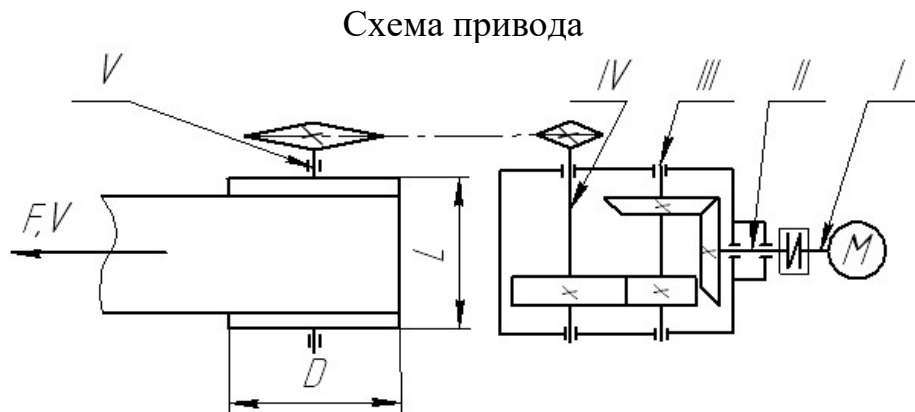
1. Кінематичний розрахунок привода стрічкового конвейєра.

Вихідні дані;

Тягове зусилля на стрічці конвейєра, Н $F := 5200$

Швидкість стрічки, м/с $V := 1.5$

Діаметр барабана конвейєра, мм $D := 750$



Привод стрічкового конвейєра.

1.1. Вибір електродвигуна.

1.1.1. Визначаємо потужність на вихідному валу привода, кВт

$$P_B := \frac{F \cdot V}{1000} \quad P_B = 7.8$$

1.1.2. Визначаємо оберти вихідного вала привода, об/хв

$$\pi := 3.14$$

$$n_B := \frac{60 \cdot 1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad n_B = 38.217$$

1.1.3. Розраховуємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода, попередньо приймаємо за табл. 1 стор. 38 ККД окремих передач привода:

$\eta_{\text{муф}} := 0.99$ - ККД муфти;

$\eta_{\text{кп}} := 0.96$ - ККД контор.ічної передачі;

$\eta_{\text{цп}} := 0.97$ - ККД циліндричної передачі;

$\eta_{\text{лп}} := 0.92$ - ККД ланцюгової передачі;
 $\eta_{\text{ппк}} := 0.99$ - ККД пари підшипників кочення.

$$\eta_{\text{заг}} := \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{лп}} \cdot \eta_{\text{ппк}}^4 \quad \eta_{\text{заг}} = 0.815$$

1.1.4. Визначаємо потрібну потужність електродвигуна, кВт

$$P_{\text{эл.дв.}} := \frac{P_{\text{в}}}{\eta_{\text{заг}}} \quad P_{\text{эл.дв.}} = 9.574$$

1.1.5. Визначаємо частоту обертання вала електродвигуна.

Електродвигун повинен працювати у такому діапазоні частот обертання вала:

$$n_{\text{min}} < n_{\text{ел.дв}} < n_{\text{max}}$$

Для визначення максимальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39 максимальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (конічної передачі, циліндричної передачі, ланцюгової передачі):

$$U_{\text{кп.мах}} := 4 ; \quad U_{\text{цп.мах}} := 6.3 ; \quad U_{\text{лп.мах}} := 4 ;$$

$$n_{\text{мах}} := n_{\text{в}} \cdot U_{\text{кп.мах}} \cdot U_{\text{цп.мах}} \cdot U_{\text{лп.мах}} \quad n_{\text{мах}} = 3.852 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для визначення мінімальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор. 39 мінімальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (конічної передачі, циліндричної передачі, ланцюгової передачі):

$$U_{\text{кп.мін}} := 2 ; \quad U_{\text{цп.мін}} := 2 ; \quad U_{\text{лп.мін}} := 2 ;$$

$$n_{\text{мін}} := n_{\text{в}} \cdot U_{\text{кп.мін}} \cdot U_{\text{цп.мін}} \cdot U_{\text{лп.мін}} \quad n_{\text{мін}} = 305.732 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

По табл. 3 стор. 40 вибираємо електродвигун типу 4А132М4У3, потужністю $P=11\text{кВт}$ та частотою обертання валу електродвигуна $n_{\text{дв}} := 1460$ об/хв.

1.1.6. Визначаємо загальне передаточне число привода,

$$U_{\text{заг}} := \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{в}}} \quad U_{\text{заг}} = 38.203$$

1.1.7. Розбиваємо загальне передаточне число привода по ступеням передач, користуючись рекомендаціями стор.14 та табл. 2 стор. 39 приймаємо:

передаточне число конічної передачі $U_{\text{кп}} := 3.15$;

передаточне число циліндричної передачі $U_{\text{цп}} := 4$;

тоді передаточне число ланцюгової передачі визначаємо за формулою:

$$U_{\text{лп}} := \frac{U_{\text{заг}}}{U_{\text{кп}} \cdot U_{\text{цп}}} \quad U_{\text{лп}} = 3.032$$

1.2 Кінематичний розрахунок привода.

1.2.1. Розраховуємо частоту обертання на валах привода, об/хв

На першому валу

$$n_I := n_{\text{дв}} \quad n_I = 1.46 \times 10^3$$

На другому валу

$$n_{II} := n_I \quad n_{II} = 1.46 \times 10^3$$

На третьому валу

$$n_{III} := \frac{n_{II}}{U_{\text{кп}}} \quad n_{III} = 463.492$$

На четвертому валу

$$n_{IV} := \frac{n_{III}}{U_{\text{цп}}} \quad n_{IV} = 115.873$$

На п'ятому валу

$$n_V := \frac{n_{IV}}{U_{\text{лп}}} \quad n_V = 38.217$$

1.2.2. Розраховуємо кутову швидкість на валах привода, рад/с

На першому валу

$$\omega_I := \pi \cdot \frac{n_I}{30} \quad \omega_I = 152.813$$

На другому валу

$$\omega_{II} := \pi \cdot \frac{n_{II}}{30} \quad \omega_{II} = 152.813$$

На третьому валу

$$\omega_{III} := \pi \cdot \frac{n_{III}}{30} \quad \omega_{III} = 48.512$$

На четвертому валу

$$\omega_{IV} := \pi \cdot \frac{n_{IV}}{30} \quad \omega_{IV} = 12.128$$

На п'ятому валу

$$\omega_V := \pi \cdot \frac{n_V}{30} \quad \omega_V = 4$$

1.2.3. Розраховуємо потужність на валах привода, кВт

На першому валу

$$P_I := P_{\text{эл.дв.}} \quad P_I = 9.574$$

На другому валу

$$P_{II} := P_I \cdot \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{II} = 9.383$$

На третьому валу

$$P_{III} := P_{II} \cdot \eta_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{III} = 8.918$$

На четвертому валу

$$P_{IV} := P_{III} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_{IV} = 8.564$$

На п'ятому валу

$$P_V := P_{IV} \cdot \eta_{\text{лп}} \cdot \eta_{\text{ппк}} \quad P_V = 7.8$$

1.2.4. Розрахуємо моменти на валах привода, Нм

На першому валу

$$T_I := \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I} \quad T_I = 62.651$$

На другому валу

$$T_{II} := \frac{P_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} \quad T_{II} = 61.404$$

На третьому валу

$$T_{III} := \frac{P_{III} \cdot 10^3}{\omega_{III}} \quad T_{III} = 183.829$$

На четвертому валу

$$T_{IV} := \frac{P_{IV} \cdot 10^3}{\omega_{IV}} \quad T_{IV} = 706.124$$

На п'ятому валу

$$T_V := \frac{P_V \cdot 10^3}{\omega_V} \quad T_V = 1.95 \times 10^3$$

1.2.5. Перевірка кінематичних розрахунків,

$$T_V := T_I \cdot U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}} \quad T_V = 1.95 \times 10^3 \text{ Нм}$$

1.2.6. Отримані результати заносимо до таблиці,

Вал	Параметри				
	P , кВт	n , об/хв	ω , рад/с	T , Н·м	U
1	9,574	1460	152,813	62,651	$U_{\zeta A \tilde{A}} = 38,2$ $U_{\tilde{E} \tilde{I}} = 3,15$ $U_{\tilde{O} \tilde{I}} = 4$ $U_{\tilde{E} \tilde{I}} = 3,032$
2	9,383	1460	152.813	61,404	
3	8,918	463,492	48,512	183,829	
4	8,546	115,873	12,128	706,124	
5	7,8	38,217	4	1950	

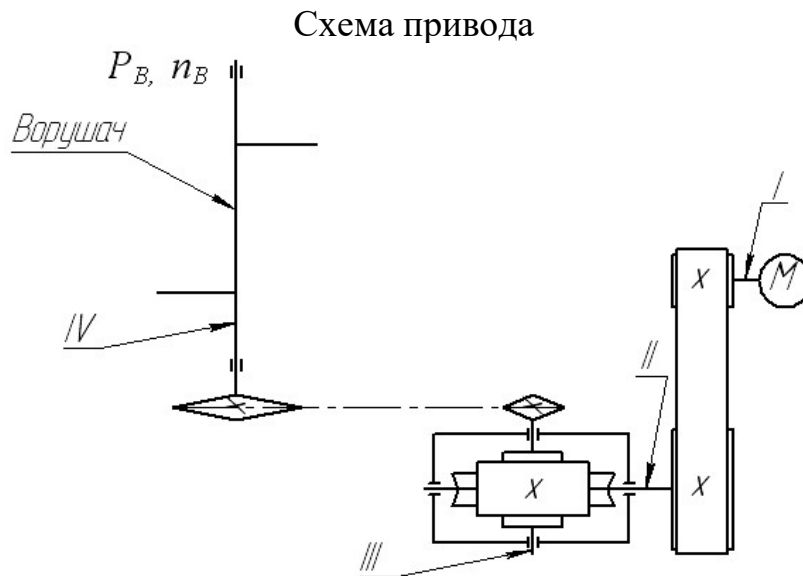
Приклад 4.

1. Кінематичний розрахунок привода змішувача кормів.

Вихідні дані до розрахунку:

Потужність на вихідному валу привода, Вт $P_B := 1600$

Частота обертання вихідного вала привода, об/хв $n_B := 20$



Привод змішувача кормів

1.1 Вибір електродвигуна.

1.1.1. Розраховуємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода, приймаємо за табл. 1 стор. 38 ККД окремих передач привода:

$\eta_{пп} := 0.95$ - ККД пасової передачі;

$\eta_{лп} := 0.92$ - ККД ланцюгової передачі;

$\eta_{чп} := 0.75$ - ККД черв'ячної передачі;

$\eta_{під} := 0.99$ - ККД пари підшипників кочення.

$$\eta_{заг} := \eta_{пп} \cdot \eta_{лп} \cdot \eta_{чп} \cdot \eta_{ппк}^3 \quad \eta_{заг} = 0.636$$

1.1.2. Розраховуємо кутову швидкість на вихідному валу привода, рад/с.

$$\omega := \frac{\pi \cdot n_B}{30} \quad \omega = 2.094$$

1.1.3. Розраховуємо обертовий момент на вихідному валу привода, Нм

$$T_B := \frac{P_B}{\omega} \quad T_B = 763.944$$

1.1.4. Розраховуємо потрібну потужність електродвигуна, Вт

$$P_{\text{ел.дв.}} := \frac{P_B}{\eta_{\text{заг}}} \quad P_{\text{ел.дв.}} = 2.516 \times 10^3$$

1.1.5. Визначаємо частоту обертів вала електродвигуна.

Електродвигун повинен працювати у такому діапазоні частот обертання вала:

$$n_{\min} < n_{\text{ел.дв.}} < n_{\max}$$

Для визначення максимальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор.39 максимальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, черв'ячної передачі, ланцюгової передачі):

$$\begin{aligned} U_{\text{ппmax}} &:= 5 ; & U_{\text{чпmax}} &:= 80 ; & U_{\text{лпmax}} &:= 6.3 ; \\ n_{\max} &:= n_B \cdot U_{\text{ппmax}} \cdot U_{\text{чпmax}} \cdot U_{\text{лпmax}} & n_{\max} &= 5.04 \times 10^4 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \end{aligned}$$

Для визначення мінімальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор.39 мінімальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, черв'ячної передачі, ланцюгової передачі):

$$\begin{aligned} U_{\text{ппmin}} &:= 2 ; & U_{\text{чпmin}} &:= 12.5 ; & U_{\text{лпmin}} &:= 2 ; \\ n_{\min} &:= n_B \cdot U_{\text{ппmin}} \cdot U_{\text{чпmin}} \cdot U_{\text{лпmin}} & n_{\min} &= 1 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \end{aligned}$$

По табл. 3 стор. 40 вибираємо електродвигун типу 4A90L2Y3, потужністю 3 кВт та частотою обертання вала електродвигуна $n_{\text{дв}} := 2840$ об/хв.

1.1.6. Визначаємо загальне передаточне число привода,

$$U_{\text{заг}} := \frac{n_{\text{дв}}}{n_B} \quad U_{\text{заг}} = 142$$

1.1.7. Розбиваємо загальне передаточне число привода по ступеням передач, користуючись рекомендаціями стор. 14 та за табл. 2 стор. 39 приймаємо:

передаточне число черв'ячної передачі $U_{чп} := 25$;

передаточне число ланцюгової передачі $U_{лп} := 2$;

тоді передаточне число пасової передачі визначаємо за формулою:

$$U_{пп} := \frac{U_{заг}}{U_{чп} \cdot U_{лп}} \quad U_{пп} = 2.84$$

1.2 Кінематичний розрахунок привода.

1.2.1. Розраховуємо частоту обертання на валах привода, об/хв

На першому валу

$$n_I := n_{дв} \quad n_I = 2.84 \times 10^3$$

На другому валу

$$n_{II} := \frac{n_I}{U_{пп}} \quad n_{II} = 1 \times 10^3$$

На третьому валу

$$n_{III} := \frac{n_{II}}{U_{чп}} \quad n_{III} = 40$$

На четвертому валу

$$n_{IV} := \frac{n_{III}}{U_{лп}} \quad n_{IV} = 20$$

1.2.2. Розраховуємо кутову швидкість на валах привода, рад/с

На першому валу

$$\omega_I := \pi \cdot \frac{n_I}{30} \quad \omega_I = 297.404$$

На другому валу

$$\omega_{II} := \pi \cdot \frac{n_{II}}{30} \quad \omega_{II} = 104.72$$

На третьому валу

$$\omega_{III} := \pi \cdot \frac{n_{III}}{30} \quad \omega_{III} = 4.189$$

На четвертому валу

$$\omega_{IV} := \pi \cdot \frac{n_{IV}}{30} \quad \omega_{IV} = 2.094$$

1.2.3. Розраховуємо потужність на валах привода, Вт

На першому валу

$$P_I := P_{\text{ел.дв.}} \quad P_I = 2.516 \times 10^3$$

На другому валу

$$P_{II} := P_I \cdot \eta_{пп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{II} = 2.366 \times 10^3$$

На третьому валу

$$P_{III} := P_{II} \cdot \eta_{чп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{III} = 1.757 \times 10^3$$

На четвертому валу

$$P_{IV} := P_{III} \cdot \eta_{лп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{IV} = 1.6 \times 10^3$$

1.2.4. Розраховуємо моменти на валах привода, Нм

На першому валу

$$T_I := \frac{P_I}{\omega_I} \quad T_I = 8.459$$

На другому валу

$$T_{II} := \frac{P_{II}}{\omega_{II}} \quad T_{II} = 22.593$$

На третьому валу

$$T_{III} := \frac{P_{III}}{\omega_{III}} \quad T_{III} = 419.381$$

На четвертому валу

$$T_{IV} := \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}} \quad T_{IV} = 763.944$$

1.2.5. Перевірка кінематичних розрахунків привода,

$$T_{IV} := T_I \cdot U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}} \quad T_{IV} = 763.944 \text{ Нм}$$

1.2.6. Отримані результати заносимо до таблиці,

Вал	Параметри				
	P , кВт	n , об/хв	ω , рад/с	T , Н·м	U
1	2,516	2840	297,404	8,459	$U_{зат} = 142$
2	2,366	1000	104.72	22,593	$U_{пас} = 2,84$
3	1,757	40	4,189	419,381	$U_{чп} = 25$
4	1,6	20	2,094	763,944	$U_{лп} = 2$

Приклад 5.

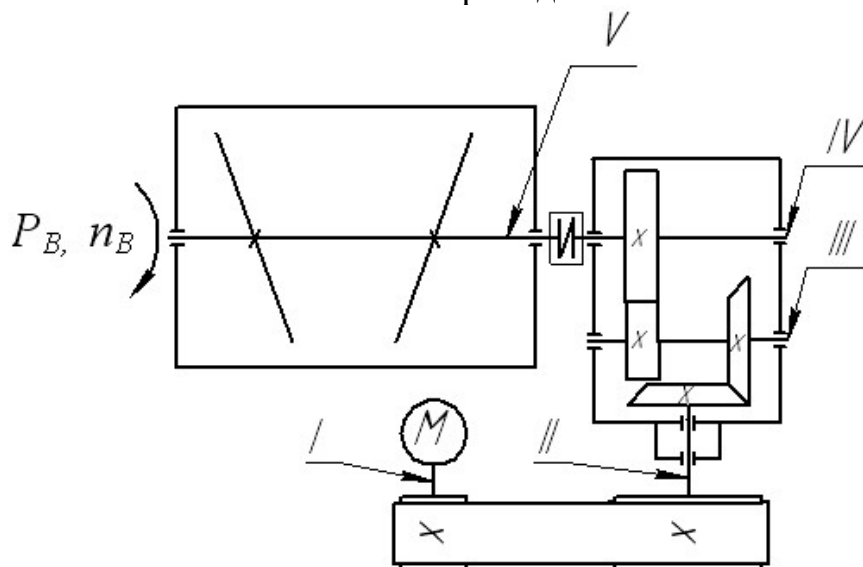
1. Кінематичний розрахунок привода змішувача кормів.

Вихідні дані до розрахунків:

Потужність на вихідному валу привода, кВт $P_B := 2.8$

Частота обертання вихідного вала привода, об/хв $n_B := 35$

Схема привода



Привод змішувача кормів

1.1 Вибір електродвигуна.

1.1.1. Розраховуємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода, приймаємо за табл. 1 стор. 38 ККД окремих передач привода:

$$\eta_{пп} := 0.95 \quad \text{ККД пасової передачі;}$$

$$\eta_{кп} := 0.96 \quad \text{ККД конічної передачі;}$$

$$\eta_{цп} := 0.97 \quad \text{ККД циліндричної передачі;}$$

$$\eta_{муф} := 0.99 \quad \text{ККД муфти;}$$

$$\eta_{ппк} := 0.99 \quad \text{ККД пари підшипників кочення.}$$

$$\eta_{заг} := \eta_{пп} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{ппк}^4 \quad \eta_{заг} = 0.841$$

1.1.2. Розраховуємо потрібну потужність електродвигуна, кВт

$$P_{ел.дв.} := \frac{P_v}{\eta_{заг}} \quad P_{ел.дв.} = 3.328$$

1.1.3. Визначаємо частоту обертів вала електродвигуна.

Електродвигун повинен працювати в такому діапазоні частот обертання валу:

$$n_{min} < n_{ел.дв} < n_{max}$$

Для визначення максимальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор.39 максимальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, конічної передачі, циліндричної передачі):

$$U_{ппmax} := 5 ; \quad U_{кпmax} := 4 ; \quad U_{цпmax} := 6.3 ;$$
$$n_{max} := n_v \cdot U_{ппmax} \cdot U_{кпmax} \cdot U_{цпmax} \quad n_{max} = 4.41 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для визначення мінімальної частоти обертання вала електродвигуна приймаємо за табл. 2 стор.39 мінімальні значення передаточних чисел ступенів передач привода (пасової передачі, конічної передачі, циліндричної передачі):

$$U_{ппmin} := 1.8 ; \quad U_{кп.min} := 2 ; \quad U_{цп.min} := 2 ;$$

$$n_{\min} := n_B \cdot U_{пп\min} \cdot U_{кп\min} \cdot U_{цп\min} \quad n_{\min} = 252 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

По табл. 3 стор. 40 приймаємо електродвигун типу 4A100S4Y3, потужністю $P = 4$ кВт та частотою обертання вала електродвигуна $n_{\text{дв}} := 1430$ об/хв.

1.1.4. Визначаємо загальне передаточне число привода,

$$U_{\text{заг}} := \frac{n_{\text{дв}}}{n_B} \quad U_{\text{заг}} = 40.857$$

1.1.5. Розбиваємо загальне передаточне число привода по ступеням передач, користуючись рекомендаціями стор.14 та табл. 2 стор.39 приймаємо:

передаточне число конічної передачі $U_{кп} := 4$;

передаточне число циліндричної передачі $U_{цп} := 5$;

тоді передаточне число пасової передачі розраховуємо за формулою:

$$U_{пп} := \frac{U_{\text{заг}}}{U_{кп} \cdot U_{цп}} \quad U_{пп} = 2.043$$

1.2 Кінематичний розрахунок привода.

1.2.1. Розраховуємо частоту обертання на валах привода, об/хв

На першому валу

$$n_I := n_{\text{дв}} \quad n_I = 1.43 \times 10^3$$

На другому валу

$$n_{II} := \frac{n_I}{U_{пп}} \quad n_{II} = 700$$

На третьому валу

$$n_{III} := \frac{n_{II}}{U_{кп}} \quad n_{III} = 175$$

На четвертому валу

$$n_{IV} := \frac{n_{III}}{U_{цп}} \quad n_{IV} = 35$$

На п'ятому валу

$$n_V := n_{IV} \quad n_V = 35$$

1.2.2. Розраховуємо кутову швидкість на валу привода, рад/с

На першому валу

$$\omega_I := \pi \cdot \frac{n_I}{30} \quad \omega_I = 149.749$$

На другому валу

$$\omega_{II} := \pi \cdot \frac{n_{II}}{30} \quad \omega_{II} = 73.304$$

На третьому валу

$$\omega_{III} := \pi \cdot \frac{n_{III}}{30} \quad \omega_{III} = 18.326$$

На четвертому валу

$$\omega_{IV} := \pi \cdot \frac{n_{IV}}{30} \quad \omega_{IV} = 3.665$$

На п'ятому валу

$$\omega_V := \pi \cdot \frac{n_V}{30} \quad \omega_V = 3.665$$

1.2.3. Розраховуємо потужність на валах привода, кВт

На першому валу

$$P_I := P_{\text{ел.дв.}} \quad P_I = 3.328$$

На другому валу

$$P_{II} := P_I \cdot \eta_{пп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{II} = 3.13$$

На третьому валу

$$P_{III} := P_{II} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{III} = 2.975$$

На четвертому валу

$$P_{IV} := P_{III} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{ппк} \quad P_{IV} = 2.857$$

На п'ятому валу

$$P_V := P_{IV} \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{ппк} \quad P_V = 2.8$$

1.2.3. Розраховуємо моменти на валах привода, Нм

На першому валу

$$T_I := \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I} \quad T_I = 22.225$$

На другому валу

$$T_{II} := \frac{P_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} \quad T_{II} = 42.702$$

На третьому валу

$$T_{III} := \frac{P_{III} \cdot 10^3}{\omega_{III}} \quad T_{III} = 162.336$$

На четвертому валу

$$T_{IV} := \frac{P_{IV} \cdot 10^3}{\omega_{IV}} \quad T_{IV} = 779.455$$

На п'ятому валу

$$T_V := \frac{P_V \cdot 10^3}{\omega_V} \quad T_V = 763.944$$

1.2.5. Перевірка кінематичних розрахунків привода,

$$T_V := T_I \cdot U_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}} \quad T_V = 763.944 \text{ Нм}$$

1.2.6. Отримані результати заносимо до таблиці,

Вал	Параметри				
	P , кВт	n , об/хв	ω , рад/с	T , Н·м	U
1	3,328	1430	149,749	22,225	$U_{\text{заг}} = 40,857$ $U_{\text{пас}} = 2,043$ $U_{\text{кп}} = 4$ $U_{\text{цп}} = 5$
2	3,13	700	73,304	42,702	
3	2,975	175	18,326	162,336	
4	2,857	35	3,665	779,455	
5	2,8	35	3,665	763,944	

Таблиця 1.1 Коефіцієнти корисної дії механічних передач

Елемент привода	η
Ступінь зубчастого редуктора (закритого):	
циліндрична	0,96 ... 0,98
конічна	0,95 ... 0,97
Зубчата передача відкрита:	
циліндрична	0,92 ... 0,94
конічна	0,91 ... 0,93
Ступінь черв'ячного редуктора:	
при однозаходному черв'яку	0,7 ... 0,75
при двозаходному черв'яку	0,75 ... 0,85
Пасова передача:	
плоскопасова	0,95 ... 0,97
клинопасова	0,94 ... 0,96
поліклинова	0,94 ... 0,96
зубчасто-пасова	0,92 ... 0,98
Ланцюгова передача роликів, або зубчастий ланцюг:	
закрита	0,95 ... 0,97
відкрита	0,91 ... 0,93
Підшипники кочення (одна пара)	0,99 ... 0,995
Підшипники ковзання (одна пара):	
при рідинному терті	0,99 ... 0,995
при напіврідинному терті	0,975 ... 0,985
Муфти компенсуючі	0,985 ... 0,995

Таблиця 2. Передаточні числа окремих передач привода.

Тип передачі	Передаточні числа U
Закриті зубчасті передачі:	
з циліндричними колесами	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0. 2-й ряд 2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0.
з конічними колесами	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0. 2-й ряд 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5.
Відкрита зубчата:	
з циліндричними колесами	4,0; 5,0; 6,3
з конічними колесами	3,15; 4,0; 5,0
Закрита черв'ячна передача:	
з однозаходним черв'яком	1-й ряд 25; 31,5; 40; 50; 63; 80. 2-й ряд 28; 33,5; 45; 56; 71.
з двухзаходним черв'яком	1-й ряд 16; 20; 25; 31,5; 40. 2-й ряд 14; 18; 22,4; 28; 33,5; 40.
Ланцюгова:	
відкрита	2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0.
закрита	2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0.
Пасові передачі:	
з плоским пасом	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0. 2-й ряд 1,8; 2,24; 2,8; 3,55.
з клиновим пасом	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0. 2-й ряд 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5.
з поліклиновим пасом	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0. 2-й ряд 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5.
з зубчастим пасом	1-й ряд 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0. 2-й ряд 2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0.

Таблиця 3. Основні технічні дані асинхронних двигунів серії 4А по ДСТУ 19523 – 81

Потужність Р, кВт	Тип двигуна	Частота обертання, об/хв	Т _{max} /Т _{ном}
1	2	3	4
Синхронна частота обертання 3000 об/хв			
1,1	4A71B2Y3	2810	2,2
1,5	4A80A2Y3	2850	2,2
2,2	4A80B2Y3	2850	2,2
3,0	4A90L2Y3	2840	2,2
4,0	4A100S2Y3	2880	2,2
5,5	4A100L2Y3	2880	2,2
7,5	4A112M2Y3	2900	2,2
11,0	4A132M2Y3	2900	2,2
15,0	4A160S2Y3	2940	2,2
18,5	4A160M2Y3	2940	2,2
22,0	4A180S2Y3	2945	2,2
30,0	4A180M2Y3	2945	2,2
37,0	4A200M2Y3	2945	2,2
45,0	4A200L2Y3	2945	2,2
Синхронна частота обертання 1500 об/хв			
1,1	4A80A4Y3	1420	2,2
1,5	4A80B4Y3	1415	2,2
2,2	4A90L4Y3	1425	2,2
3,0	4A100S4Y3	1435	2,2
4,0	4A100L4Y3	1430	2,2
5,5	4A112M4Y3	1445	2,2
7,5	4A132S4Y3	1455	2,2
11,0	4A132M4Y3	1460	2,2
15,0	4A160S4Y3	1465	2,2
18,5	4A180M4Y3	1465	2,2
22,0	4A180M4Y3	1470	2,2
30,0	4A180M4Y3	1470	2,2
37,0	4A200M4Y3	1475	2,2
45,0	4A200L4Y3	1475	2,2
Синхронна частота обертання 1000 об/хв			
1,1	4A80B6Y3	920	2,0
1,5	4A90L6Y3	935	2,0
2,2	4A100M6Y3	950	2,0
3,0	4A112MA6Y3	955	2,0
4,0	4A112MB6Y3	950	2,0
5,5	4A132S6Y3	955	2,0
7,5	4A132M6Y3	970	2,0

Продовження таблиці 3			
1	2	3	4
11,0	4A160S6Y3	975	2,0
15,0	4A160M6Y3	975	2,0
18,5	4A180M6Y3	975	2,0
22,0	4A200M6Y3	975	2,0
30,0	4A200L6Y3	980	2,0
Синхронна частота обертання 750 об/хв			
1,1	4A90LB8Y3	700	1,7
1,5	4A10LB8Y3	700	1,7
2,2	4A112MA8Y3	700	2,2
3,0	4A112MB8Y3	700	2,2
4,0	4A132S8Y3	720	2,2
5,5	4A132M8Y3	720	2,2
7,5	4A160S8Y3	730	2,2
11,0	4A160M8Y3	730	2,2
15,0	4A180M8Y3	730	2,0
18,5	4A200M8Y3	735	2,2
22,0	4A200L8Y3	730	2,2
30,0	4A225M8Y3	735	2,0

Література

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: - К.: Вища школа, 1993.
2. Рудь Ю.С. Р 83 Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.
3. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.
4. Деталі машин : Навчальний посібник / Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
5. Мерхель І.І. Деталі машин: Навчальний посібник. – К.: Алерта, 2005.-368 с. іл.
6. Карнаух, С.Г. К 24 Деталі машин : курс лекцій для студентів технічних спеціальностей / С. Г. Карнаух, М. Г. Таровик. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – 26 с.

Навчально-методичне видання

Деталі машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

З ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

розрахунки енергетичних та кінематичних співвідношень у механічних
передачах з застосування ПЕОМ

Укладачі: доц., к.т.н. Невдаха Ю.А.
доц., к.ф.-м.н. Пирогов В.В.
ас. Невдаха Н.А.
інж. Шматько С.І.

Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 43 с.