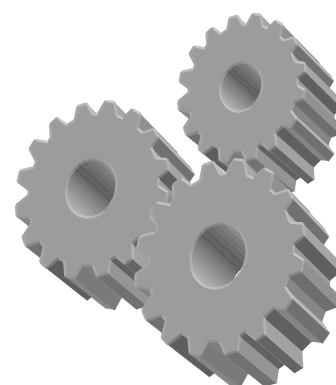


О.П.Полешко

Деталі Машин.
**ЕНЕРГО-КІНЕМАТИЧНИЙ
РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до проведення практичних занять, виконання контрольних
робіт і курсового проекту



2011

Міністерство освіти, науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

О.П.Полешко

Деталі Машин.
ЕНЕРГО-КІНЕМАТИЧНИЙ
РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять, виконання контрольних робіт і
курсowego проекту
для бакалаврів галузі знань «Машинобудування та матеріалообробка»
напрямів підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» (спеціальності
6.05050204 «Обробка металів за спецтехнологіями») і
6.050504 «Зварювання» усіх форм навчання

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

УДК 621.81

Деталі машин. Енерго-кінематичний розрахунок приводу:
Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання
контрольних робіт і курсового проекту для бакалаврів галузі знань
«Машинобудування та матеріалообробка» напрямів підготовки 6.050502
«Інженерна механіка» і 6.050504 «Зварювання» усіх форм навчання /
Уклад.: О.П. Полешко. –К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 27 с.

*Гриф наданий Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 8 від 21 квітня 2011 р.)*

Навчальне видання

Деталі машин. Енерго-кінематичний розрахунок приводу

Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання
контрольних робіт і курсового проекту для бакалаврів галузі знань
«Машинобудування та матеріалообробка» напрямів підготовки 6.050502
«Інженерна механіка» і 6.050504 «Зварювання» усіх форм навчання

Укладач: А.П.Полешко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: Л.Ф. Головка, доктор техн. наук, професор

Рецензенти: Е.Т. Горалік, канд. техн. наук, доцент

О.А. Кірієнко, канд. техн. наук, доцент

© О.П. Полешко, 2011 р.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ.....	5
2. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	7
3. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ ПЕРЕДАЧ. ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ НА ВАЛАХ ПРИВОДУ.....	12
4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ І ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ НА ВАЛАХ ПРИВОДУ.....	19
5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ.....	20
5.1. Кінематичний і силовий розрахунок індивідуального приводу.....	20
5.2. Кінематичний і силовий розрахунок групового приводу.....	23
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	27

ВСТУП

Курс «Деталі машин» для бакалаврів напрямів підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» і 6.050504 «Зварювання» відносять до професійно-орієнтованих і практичних дисциплін. Основними завданнями курсу є узагальнення інженерного досвіду створення машинобудівельних конструкцій; вивчення типажу, критеріїв роботоздатності деталей, з'єднань та складальних одиниць; розробка наукових основ їхнього розрахунку і проектування; розвинення навичок конструювання та технічної творчості.

Метою методичних вказівок, що пропонуються, є бажання надати бакалаврам означених напрямів підготовки допомогу при розв'язанні конкретних інженерних задач на практичних заняттях, а також під час самостійної підготовки і виконанні контрольних робіт і курсового проекту.

Розглянуто методики вибору електродвигуна, кінематичного і силового розрахунку електромеханічного приводу загального призначення. Вирішення вказаних задач дозволяє отримати вихідні данні для подальших розрахунків механічних передач і інших деталей та вузлів, що входять до складу приводу. Наведений аналіз характеристик вказаних об'єктів, надані необхідні для їхнього визначення довідкові матеріали. Викладення методик розрахунків проілюстроване прикладами розрахунків приводів машин. При підготовці методичних рекомендацій враховані сучасні стандарти, які використовуються в даній області знань.

В якості додаткових джерел для більш поглибленої проробки матеріалу пропонуємо скористатися навчальною та раніше виданою методичною літературою [1-7].

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ

До складу будь-якої сучасної машини входять робочий орган (споживач механічної енергії) і його привод. Схема приводу включає двигун і передачі (трансмісію). Останні передають рух від двигуна до робочого органу машини і дозволяють змінювати і узгоджувати параметри руху - частоту обертання і обертовий момент; перетворювати один вид руху в інші види, наприклад, обертальний рух у поступальний; міняти напрямок руху тощо. До складу приводу включають такі типи механічних передач, як от: пасові, ланцюгові, зубчасті циліндричні і конічні, черв'ячні, планетарні, хвилеві, комбіновані тощо. Вибір типу передач є важливою інженерною задачею. Він залежить від вимог, що ставляться до приводу, конкретних умов його роботи і наявності необхідних умов для технічного обслуговування.. У деяких приводах можна обійтися без механічних передач, а в інших їх включають декілька, до того ж різних за типом. Більш поширені в приводах закриті зубчасті і черв'ячні передачі, конструктивно виконані у вигляді окремих складальних одиниць: редукторів, коробок швидкостей чи варіаторів. Пасові і ланцюгові передачі, завдяки деяким їхнім особливостям, навпаки застосовуються як відкриті.

Рациональне проектування приводів сприяє зниженню їхньої маси і габаритних розмірів, збільшенню коефіцієнта корисної дії (ККД) і надійності.

Основними характеристиками механічних передач (необхідними і достатніми для виконання проектувального розрахунку) являються потужність на вхідному P_1 і вихідному P_2 (кВт) валах; і швидкохідність, яка характеризується кутовими швидкостями ω_1 і ω_2 (с⁻¹) на ведучому і веденому валах, або частотами обертання n_1 і n_2 (хв.⁻¹) відповідно. Крім

основних розрізняють похідні характеристики - передаточне число u і ККД - η , які визначають відповідно за формулами:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} , \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} . \quad (2)$$

В розрахунках використовують відомі залежності, які відображають зв'язок між параметрами передачі:

- співвідношення між обертальним моментом T (Нм) потужністю P (кВт) і кутовою швидкістю ω (с^{-1}) чи частотою обертання n (хв^{-1}) на будь-якому валу мають вигляд:

$$T = \frac{1000P}{\omega} = 9550 \frac{P}{n} \quad (3)$$

- обертальні моменти на сусідніх валах привода (передачі) з урахуванням ККД відрізняються один від одного в передаточне число разів:

$$T_2 = T_1 u \eta \quad (4)$$

- кутова швидкість вала зв'язана з частотою його обертання залежністю:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (5)$$

- потужність P (кВт), яка витрачається на рух ланки передачі із коловою швидкістю V (м/с) визначають за формулою:

$$P = 10^{-3} FV = 10^{-3} T\omega \quad (6)$$

При проектуванні машин, приладів і іншого устаткування для перетворення руху вхідних ланок в визначені за певними законами рухи вихідних ланок потрібно вибирати найпростіші, але одночасно надійні схеми їхніх механізмів.

2. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

З урахуванням призначення машин та наявності джерела енергії у приводах застосовують двигуни різних видів, а саме: електродвигуни, двигуни внутрішнього згоряння, гідравлічні та пневматичні двигуни. В машинобудуванні широко використовують електродвигуни.

Розрахункову (потрібну) потужність електродвигуна, визначають за формулою:

$$P_{\text{пот}} = \frac{\bar{P}_{\text{вих}}}{\eta_{\text{заг}}}, \quad (7)$$

де $\bar{P}_{\text{вих}}$ – потужність на вихідному валу приводу; $\eta_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу.

Загальний ККД приводу визначають як добуток ККД усіх елементів, що входять до його складу:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots, \quad (8)$$

де $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ – ККД окремих елементів приводу, орієнтовні значення яких без врахування збитків у підшипниках наведені в табл. 1.1.

В групових приводах, в яких від одного двигуна за допомогою механічних передач рух передається декільком робочим органам, розглядають окремі потоки потужності, і розрахункову потужність визначають з урахуванням всіх потоків потужності:

$$P_{\text{пот}} = \sum_{i=1}^m (P_{\text{пот}})_i, \quad (9)$$

де m – кількість потоків потужності.

За розрахунковим значенням потрібної потужності з каталогів вибирають електродвигун, номінальна потужність якого дорівнює або є більшою розрахункової. Допускається обирати найближчий менший за потужністю електродвигун, якщо його перевантаження при цьому не буде

перевищувати 5...8% при сталому і 10...12% при змінному режимі навантаження.

Таблиця 1. Орієнтовні значення ККД окремих ланок приводу

Елемент приводу	ККД
Ступінь зубчастого редуктора:	
- циліндрична	0,96...0,98
- конічна	0,95...0,97
Зубчаста передача відкрита:	
- циліндрична	0,92...0,94
- конічна	0,88...0,92
Ступінь черв'ячного редуктора:	
- з одноходовим черв'яком	0,7...0,75
- з двоходовим черв'яком	0,75...0,85
- з чотиріходовим черв'яком	0,85...0,92
Пасова передача:	
- з плоским пасом	0,95...0,97
- клинова, або поліклинова	0,94...0,96
Ланцюгова передача:	
- з роликівим ланцюгом	0,94...0,96
- з зубчастим ланцюгом	0,96...0,97
- відкрита	0,88...0,93
Планетарна передача за схемою 2К-н	0,93...0,98
Хвилева передача	0,8...0,9
Підшипники кочення (пара)	0,99...0,995
Підшипники ковзання (пара)	0,98...0,99
Муфта	0,9...0,995

Потужність двигуна завжди відносять до певного режиму роботи. При проектуванні приводу зовнішній опір і режим роботи є заданими. Відрізняють три номінальних режими роботи двигунів: довгочасний, короткочасний і повторно-короткочасний. При довгочасному режиму роботи двигун нагрівається до усталеної температури на відміну від короткочасного, за якого це не відбувається. При повторно-короткочасному режимі відбуваються пуск і зупинка двигуна, але нагрівання двигуна та можливість реалізації заданої потужності визначаються тривалістю включення по відносному часу за цикл, що дорівнює 10 хв. Режим роботи відносять до довгочасного, якщо час одного робочого циклу перевищує 10 хвилин.

Обраний двигун повинен забезпечувати обертальний момент, достатній для розгону механізму і при роботі в заданому режимі не повинен зазнавати тривалих перевантажень, які можуть призвести до його перегріву. Для приводів загального призначення, які працюють в умовах довгочасного сталого або неістотно змінного навантаження, перевірка електродвигунів на нагрів необов'язкова, оскільки завод - виробник вже виконав її для вказаних умов і гарантує тривалу роботу на номінальному режимі.

За родом струму електродвигуни поділяються на наступні групи :

- Двигуни сталого струму, які допускають плавне регулювання кутової швидкості у певних межах; забезпечують плавний пуск, гальмування та реверс. Ці двигуни призначені для використання здебільшого у приводах електротранспорту, кранів, підйомного устаткування тощо;

- Однофазні асинхронні двигуни невеликої потужності, які використовують у приводах побутових приладів;

- Трифазні синхронні двигуни, частота обертання яких залежить від навантаження. Характеризуються високою механічною надійністю, малою чутливістю до коливань напруги мережі. Використовуються здебільшого в устаткуванні великої потужності.

- Трифазні асинхронні двигуни, які є найбільш поширеними завдяки перевагам перед двигунами інших типів, а саме: простоті конструкції, нижчій вартості, високій експлуатаційній надійності.

При проектуванні приводів загального призначення, верстатів, конвеєрів, транспортерів, ескалаторів, вентиляційного та компресорного обладнання і приводах багатьох інших машин використовують загальнопромислові асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором серії АІР, які замінили двигуни серій 4А, 4АМ, що випускалися раніше. Завдяки простій конструкції, відсутності рухомих контактів, високій ремонтпридатності, відносно невисокій вартості ці двигуни використовують у всіх областях промисловості і сільського господарства.

Загальнопромислові асинхронні трифазні електричні двигуни серії АІР випускають потужністю від 0,06 до 400 кВт з висотою осі обертання від 50 до 355 мм використовують в приводах механізмів, що не висувають особливих вимог до пускових характеристик і ковзання, при температурі навколишнього повітря від -35 до $+40^{\circ}\text{C}$.

Основні технічні характеристики двигунів серії АІР:

- прив'язка потужності і установлювальних розмірів за ГОСТ 51689-2000;
- ступінь захисту IP54, IP55 за ГОСТ17494-87;
- ізоляція класу стійкості проти нагріву «F» за ГОСТ8865-93;
- виконання за способом монтажу: IM 1001, IM2001, IM3011 за ГОСТ2479-79;
- кліматичне виконання У2, У3 за ГОСТ15150-69;
- режим роботи S1 за ГОСТ183-74;

- спосіб охолодження 1С-0151 за ГОСТ20459-87;
- рівень шуму в режимі холостого ходу - 2 класу за ГОСТ16372-93.

Додаткові позначення двигунів серії АІР спеціального призначення:

- Б – з вбудованим температурним захистом (АІР112М2БУ3);
- В – такі, що вбудовуються (АІРВ71А2);
- С – з підвищеним ковзанням (АІРС100L4);
- Е - з вбудованим гальмом (АІР100S2Е);
- Е2 - з ручним пристосуванням для розгальмування (АІР100L4Е2);
- 3Е - однофазний двигун з трифазною обмоткою (АІР3Е80В4);
- Е - однофазний двигун з двофазною обмоткою (АІРЕ100S4);
- Ж - електродвигуни для моноблочних насосів з спеціальним вихідним кінцем валу (АІР80В2Ж);
- РЗ - для мотор-редукторів (АІР100S4РЗ);
- Ш - для промислових швейних машин (АІР71В2Ш);
- П - підвищеної точності за установлювальними розмірами (АІР100S4П);
- Ф - холодомаслостійке виконання(АІР90L4Ф).

Приклад позначення електродвигуна: «АІРС160S2ЖУ2».

АІР – позначення серії : "А" - асинхронний, "І" - Інтерелектро, "Р" - прив'язка потужностей до установлювальних розмірів відповідно до ГОСТ Р 51689 ("С" - в разі прив'язки за нормами CENELEK);

С - признак модифікації з підвищеним ковзанням;

160 - габарит (висота осі обертання в мм);

S – установлювальний розмір за довжиною станини (S, M, L);

2 - число полюсів;

Ж - конструктивне виконання валу;

У – кліматичне виконання (ХЛ, УХЛ, У, Т, ОМ, О);

2 - категорія розміщення .

Основні характеристики асинхронних електродвигунів серії АІР наведено в табл.1.2 , а їхні установлювальні і приєднувальні розміри – в табл.1.3.

Недолік електродвигунів серії АІР, пов'язаний з невисоким значенням пускового моменту легко усунути введенням в кінематичну схему привода відцентрової муфти, яку, здебільшого, вбудовують у ведучий шків пасової передачі. Основне призначення муфти в даному випадку - розігнати машину з великими маховими масами двигуном з малим пусковим моментом. При цьому збільшується плавність пуску і відпадає необхідність використання електродвигуна із збільшеним пусковим моментом.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ ПЕРЕДАЧ. ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ НА ВАЛАХ ПРИВОДУ

У кожній з чотирьох частин табл. 2 наведені типорозміри електродвигунів, які мають однакову потужність, але відрізняються один від одного частотою обертання, груповою ознакою якої є синхронна частота обертання, яка становить 3000; 1500; 1000 або 750 хв.⁻¹

Отже вибір двигуна за частотою обертання потребує певного обґрунтування. Підґрунтям для такого обґрунтування можуть бути додаткові умови по забезпеченню, наприклад, мінімальних габаритів привода в цілому або будь-якої з передач, що входить до його складу, обмеження площі розміщення привода тощо.

Оскільки наведені у вихідних даних на проектування частоти обертання приводних валів є узгодженими з робочими органами машин, від вибору частоти обертання електродвигуна залежить загальне

передаточне число приводу i , відповідно, передаточні числа окремих передач.

Передаточне число визначає зміну швидкості руху та обертового моменту і являється головним кінематичним параметром передачі. Збільшення передаточного числа призводить до зростання габаритних розмірів передач і приводу в цілому. При цьому загальне передаточне число не повинно перевищувати величини, яку можна реалізувати для заданої кінематичної схеми приводу.

Для приводів загального призначення, якщо немає спеціальних вказівок, рекомендують перевагу віддавати більш швидкісним двигунам, оскільки із збільшенням частоти обертання маса двигуна, його габаритні розміри і вартість зменшується, хоча при цьому дещо зменшується і робочий ресурс.

Загальне передаточне число приводу визначають за формулою:

$$u_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{\bar{n}_{\text{вих}}}, \quad (10)$$

де $n_{\text{дв}}$ - частота обертання двигуна (хв.^{-1}); $\bar{n}_{\text{вих}}$ - частота обертання вихідного валу приводу (хв.^{-1}).

При послідовному з'єднанні передач загальне передаточне число приводу є добутком передаточних чисел окремих передач, що входять до його складу:

$$u_{\text{заг}} = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot \dots \quad (11)$$

Рекомендовані середні значення передатних чисел деяких механічних передач наведені в табл. 4.

Загальне передаточне число двоступеневого зубчастого редуктора складається з передаточних чисел швидкохідної $u_{\text{ш}}$ та тихохідної $u_{\text{т}}$ ступені:

$$u_{RED} = u_{ш} \cdot u_T \quad (12)$$

Значення передаточних чисел швидкохідної та тихохідної ступені двоступеневих редукторів рекомендують визначати за співвідношеннями, наведеними в табл. 5.

Таблиця 2. Основні технічні характеристики електродвигунів серії АІР
Синхронна частота обертання 3000 хв.⁻¹

Потужність $P_{дв}$, кВт	Типорозмір двигуна	Частота обертання, $n_{дв}$, хв. ⁻¹	$\frac{T_{пуск}}{T_{ном}}$	$\frac{T_{мах}}{T_{ном}}$	ККД, %	Сos φ
1	2	3	4	5	6	7
1,5	AIP80A2Y3	2850	2,1	2,6	81,0	0,85
2,2	AIP80B2Y3	2850	2,1	2,6	83,0	0,87
3,0	AIP90L2Y3	2840	2,1	2,5	84,5	0,88
4,0	AIP100S2Y3	2880	2,0	2,5	86,5	0,89
5,5	AIP100L2Y3	2880	2,0	2,5	87,5	0,91
7,5	AIP112M2Y3	2900	2,0	2,8	87,5	0,88
11,0	AIP132M2Y3	2900	1,7	2,8	88,0	0,99
15,0	AIP160S2Y3	2940	1,4	2,2	88,0	0,91

Синхронна частота обертання 1500 хв.⁻¹

1,5	AIP80B4Y3	1415	2,0	2,2	77,0	0,83
2,2	AIP90L4Y3	1425	2,1	2,4	80,0	0,83
3,0	AIP100S4Y3	1435	2,0	2,4	82,0	0,83
4,0	AIP100L4Y3	1430	2,0	2,4	84,0	0,84
5,5	AIP112M4Y3	1445	2,0	2,2	85,5	0,85
7,5	AIP132S4Y3	1455	2,2	3,0	87,5	0,86
11,0	AIP132M4Y3	1460	2,2	3,0	87,5	0,87
15,0	AIP160S4Y3	1465	1,4	2,3	88,5	0,88

Продовж. табл. 2

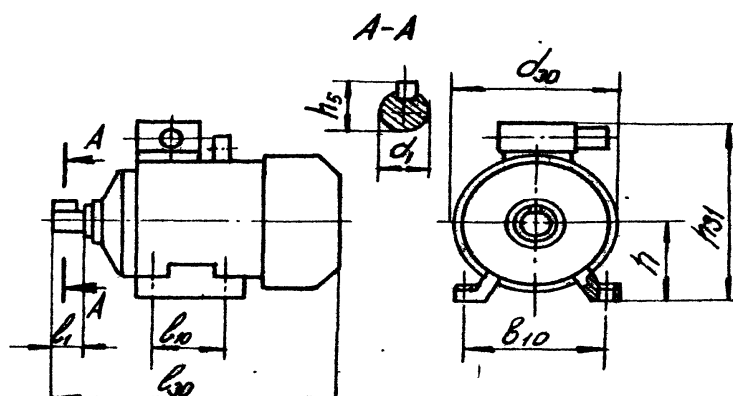
Синхронна частота обертання 1000 хв.⁻¹

1,5	AIP90L6Y3	935	2,0	2,2	75,0	0,74
2,2	AIP100L6Y3	950	2,0	2,2	81,0	0,73
3,0	AIP112MA6Y3	955	2,0	2,5	81,0	0,76
4,0	AIP112MB6Y3	950	2,0	2,5	82,0	0,81
5,5	AIP132S6Y3	965	2,0	2,5	85,0	0,80
7,5	AIP132M6Y3	970	2,0	2,5	85,5	0,81
11,0	AIP160S6Y3	975	1,2	2,0	86,0	0,86
15,0	AIP160M6Y3	975	1,2	2,0	87,5	0,87

Синхронна частота обертання 750 хв.⁻¹

1,5	AIP100L8Y3	700	1,6	1,9	74,0	0,65
2,2	AIP112MA8Y3	700	1,9	2,2	76,5	0,71
3,0	AIP112MB8Y3	700	1,9	2,2	79,0	0,74
4,0	AIP132S8Y3	720	1,9	2,6	83,0	0,70
5,5	AIP132M8Y3	720	1,9	2,6	83,0	0,74
7,5	AIP160S8Y3	730	1,4	2,2	86,0	0,75
11,0	AIP160M8Y3	730	1,4	2,2	87,0	0,76
15,0	AIP180M8Y3	730	1,2	2,0	87,0	0,82

Таблиця 3. Основні розміри електродвигунів серії AIP



Тип двигуна	Габаритні розміри, мм			Установлювальні та приєднувальні розміри, мм						Маса, кг
	l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	d_1	b_{10}	h	h_5	
AIP80A	300	218	186	50	100	22	125	80	24,5	17,4
AIP80B	320	218	186	50	100	22	125	80	24,5	20,4
AIP90L	350	243	208	50	125	24	140	90	27	28,7
AIP100S	362	263	235	60	112	28	160	100	31	36,0
AIP100L	392	263	235	60	112	28	160	100	31	42,0
AIP112M	452	310	260	80	140	32	190	112	35	56,0
AIP132S	480	350	302	80	140	38	216	132	41	77,0
AIP132M	530	350	302	80	178	38	216	132	41	93,0
AIP160S	624	430	358	110	178	48	254	160	51,5	135,0
AIP160M	667	430	358	110	210	42	254	160	45	145,0
AIP180M	702	470	410	110	241	48	279	180	59	195

Таблиця 4. Орієнтовні значення передаточних чисел передач

Тип передачі	Передаточне число	
	Середнє	Граничне
Зубчаста передача у редукторі: циліндрична	2,5 .. 5	6,3
Зубчаста передача у редукторі: конічна	2 .. 4	6,3
Черв'ячна передача	8 .. 63	80
Планетарна передача за схемою 2К- <i>h</i>	3 .. 9	15
Хвилева передача	80 .. 250	1000
Пасова передача з клиновим пасом	2 .. 4	8
Ланцюгова передача	2 .. 4	10
Коробка передач	1 .. 2,5	3,15
Фрикційна передача	2,5 .. 6,3	12
Двоступеневий циліндричний редуктор	-	30
Конічно-циліндричний редуктор	-	20

Остаточню вибір конкретного типорозміру електродвигуна виконують з урахуванням допустимого передаточного числа приводу. Враховують, що із збільшенням частоти обертання габаритні розміри, маса і вартість знижуються, тому перевагу надають більш швидкісним двигунам. Обчислюють найбільше можливе загальне передаточне число приводу:

$$u_{заг}^{max} = u_1^{max} \cdot u_2^{max} \cdot u_3^{max} \dots, \quad (13)$$

і з урахуванням верхньої межі інтервалу середніх значень передаточних чисел (табл. 4) оцінюють очікувану найбільшу частоту обертання двигуна:

$$n_{об}^{max} = u_{заг}^{max} \cdot \bar{n}_{ВИХ}, \quad (14)$$

Таблиця 5. Розподіл загального передаточного числа двоступеневого зубчастого редуктора за ступенями

Схема редуктора	Передаточні числа	
	$u_{ш}$	$u_{т}$
Циліндричний по розгорнутій схемі	$\frac{u_{ред}}{u_{т}}$	$0,88 \sqrt{u_{ред}}$
Циліндричний співвісний	$\frac{u_{ред}}{u_{т}}$	$0,95 \sqrt{u_{ред}}$
Циліндричний співвісний з внутрішнім зачепленням	$2 \sqrt[3]{u_{рТЛ}}$	$\frac{u_{ред}}{u_{ш}}$
Конічно-циліндричний	$\frac{u_{ред}}{u_{т}}$	$1,1 \sqrt{u_{ред}}$
Циліндрично-черв'ячний	1,6...3,5	$\frac{u_{ред}}{u_{ш}}$

після чого за табл. 2 обирають типорозмір електродвигуна, асинхронна (фактична) частота обертання якого є *найближчою меншою* до очікуваної.

Фактичне загальне передаточне число приводу, яке відповідає обраному електродвигуну, визначають за формулою (10), а передаточні числа окремих передач коректують так, щоб виконувалась умова (11). При цьому враховують, що габарити приводу залежать в більшій мірі від пасових і ланцюгових передач, тому значення їхніх передаточних чисел приймають, якщо це можливо, не більше 2 .. 3.

Після визначення передаточних чисел передач обчислюють частоти обертання всіх валів приводу, звертаючи увагу на наступне:

- частота обертання першого валу – валу двигуна становить $n_{об}$;

- відношення частот обертання ведучого валу передачі до веденого за визначенням складає передаточне число;
- частота обертання співвісних валів, поєднаних між собою за допомогою муфт співпадає.

Мірою оцінки правильного вибору передаточних чисел передач є збіг в певних межах розрахункових частот обертання вихідних валів приводу з заданими. Розбіжність значень при цьому повинні знаходитись в межах $\pm 5\%$.

$$\Delta = \frac{n_{pi} - \bar{n}_{ВИХ}}{\bar{n}_{ВИХ}} \cdot 100 \leq \pm 5 \% \quad (15)$$

4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ І ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ НА ВАЛАХ ПРИВОДУ

Задачею силового розрахунку являється визначення оберտальних моментів, що діють на валах приводу.

Для приводу, який складається з послідовно з'єднаних передач, зменшення потужності на сусідніх валах в напрямку потоку потужності обумовлене втратами, що відбуваються в розташованих на них передачах, підшипниках, у муфтах тощо. Потужність, яка знімається з валу електродвигуна, відрізняється від номінальної потужності двигуна і дорівнює розрахунковій потужності $P_{пот}$. Загальний ККД приводу обчислюється за формулою (8). Для групового приводу слід враховувати ще і заданий на вихідних валах приводу відбір потужності.

Якщо потужності на валах приводу і їхні частоти обертання відомі, то обертальні моменти на валах визначають за формулою (4) або за співвідношенням (6).

5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ПРИВОДІВ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

5.1. Кінематичний і силовий розрахунок індивідуального приводу

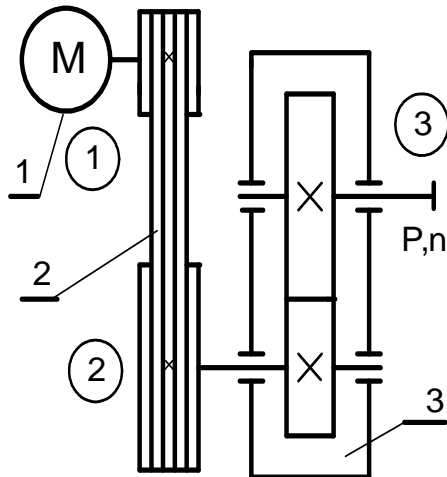


Рис. 1

Для приводу загального призначення, зображеного на рис.1, що складається з передачі з клиновими пасами (2) і одноступінчастого циліндричного зубчастого редуктора (3), підібрати електродвигун (1) та виконати кінематичні і силові розрахунки, якщо потужність на вихідному валу редуктора і частота його обертання складають $P = 4,5$ кВт і $n = 198$ хв⁻¹ відповідно.

складають $P = 4,5$ кВт і $n = 198$ хв⁻¹ відповідно.

Розв'язок:

5.1.1. Потрібна (розрахункова) потужність двигуна

За табл. 1 приймемо ККД передачі з клиновими пасами $\eta_{нас} = 0,95$; зубчастої циліндричної передачі $\eta_{зуб} = 0,98$; однієї пари підшипників кочення $\eta_{ш} = 0,99$ (кількість пар підшипників кочення у приводі $q = 2$).

Тоді за формулою (8) загальний ККД приводу складе:

$$\eta_{заг} = \eta_{нас} \cdot \eta_{зуб} \cdot \eta_{ш}^2 = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 0,91 \quad ,$$

а потрібна потужність за формулою (7) становитиме:

$$P_{\text{пот}} = \frac{P}{\eta_{\text{заг}}} = \frac{4,5}{0,91} = 4,9 \text{ кВт.}$$

За табл. 2 для використання в приводі підходять двигуни, номінальна потужність яких складає $P_{\text{дв}} = 5,5$ кВт.

5.1.2. Передаточні числа передач привода

За табл. 1.4 рекомендовані середні значення передаточних чисел передач, що входять до складу привода, повинні знаходитись в таких межах: у передачі з клиновими пасами - $u_{\text{нас}} = 2 \dots 4$; у зубчастій циліндричній передачі - $u_{\text{зуб}} = 2,5 \dots 5$. Орієнтуючись на більш швидкохідні двигуни для попереднього розрахунку прийmemo найбільші граничні значення цих інтервалів і за формулою (13) обчислимо найбільше допустиме загальне передаточне число привода:

$$u_{\text{заг}}^{\text{max}} = u_{\text{нас}}^{\text{max}} \cdot u_{\text{зуб}}^{\text{max}} = 4 \cdot 5 = 20$$

Очікувана частота обертання вала електродвигуна при цьому становитиме:

$$n_{\text{дв}}^{\text{max}} = u_{\text{заг}}^{\text{max}} \cdot n = 20 \cdot 198 = 3960 \text{ хв.}^{-1}$$

Найближчим за частотою обертання двигуном є асинхронний трифазний електродвигун *AIP100L2U3*, потужність і частота обертання якого за табл. 2 складають відповідно $P_{\text{дв}} = 5,5$ кВт і $n_{\text{дв}} = 2880$ хв.⁻¹

Фактичне загальне передаточне число привода при обраному двигуні складе:

$$u_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n} = \frac{2880}{198} = 14,55$$

Мінімізуючи розміри привода в цілому, прийmemo передаточне число зубчастої передачі $u_{\text{зуб}} = 5$ і скоректуємо передаточне число пасової передачі:

$$u_{nac} = \frac{u_{pfi}}{u_{зуб}} = \frac{14,55}{5} = 2,91$$

При такому співвідношенні передаточних чисел ($u_{nac} < u_{зуб}$) більший за розмірами - ведений шків пасової передачі буде менше виступати за габарити редуктора.

Отримані розрахункові значення передаточних чисел передач слід розглядати як потрібні, але попередні. Остаточні значення передаточних чисел встановлюють під час розрахунків передач після визначення геометричних розмірів їхніх ланок.

5.1.3. Частоти обертання валів привода

Частоти обертання валів відповідно до прийнятої на рис. 1 (в кружечках) нумерації складають:

$$n_1 = n_{ов} = 2880 \text{ хв.}^{-1}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{nac}} = \frac{2880}{2,91} = 989,7 \text{ хв.}^{-1}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{зуб}} = \frac{989,7}{5} = 197,9 \text{ хв.}^{-1}$$

Оскільки відхилення частоти обертання вихідного валу редуктора від заданої частоти обертання:

$$\Delta = \frac{n - n_3}{n} \cdot 100 = \frac{198 - 197,9}{198} \cdot 100 = 0,05 \%$$

не перевищує $\pm 5 \%$, що є допустимим, то затверджуємо для використання у подальших розрахунках прийняті значення передаточних чисел передач.

5.1.4. Потужності на валах привода

$$P_1 = P_{пот} = 4,9 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{nac} \cdot \eta_m = 4,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 4,6 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{зуб} \cdot \eta_m = 4,6 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 4,5 \text{ кВт}.$$

Розв'язок:

5.2.1. Потрібна потужність двигуна

У цьому приводі діють два силові потоки, що забезпечують роботу двох приєднаних до двигуна робочих органів. Для обчислення їхніх загальних ККД прийmemo: ККД пасової передачі $\eta_{нас} = 0,95$; ККД зубчастої циліндричної передачі $\eta_{зц} = 0,98$; ККД зубчастої конічної передачі $\eta_{зк} = 0,97$; ККД пари підшипників кочення $\eta_{шн} = 0,99$; ККД муфти $\eta_{м} = 0,99$.

Тоді (8) загальний ККД першого потоку потужності, до якого входять пасова передача і пара підшипників кочення за формулою складе:

$$\eta_{заг1} = \eta_{нас} \cdot \eta_{шн} = 0,95 \cdot 0,99 = 0,94$$

Загальний ККД другого потоку потужності який складається з пасової передачі, зубчастих конічної і циліндричної передач редуктора, муфта і чотири пари підшипників кочення за формулою (8) становитиме:

$$\eta_{заг2} = \eta_{нас} \cdot \eta_{зц} \cdot \eta_{зк} \cdot \eta_{шн} \cdot \eta_{м} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,86$$

Потрібна потужність електродвигуна за формулами (7) і (9) складе :

$$P_{пот} = \frac{\bar{P}_1}{\eta_{заг.1}} + \frac{\bar{P}_2}{\eta_{заг.2}} = \frac{1,3}{0,94} + \frac{6,8}{0,86} = 9,3 \text{ кВт}$$

Для використання в приводі за табл. 1.2 підходять електродвигуни, які мають потужність $P_{дв} = 11 \text{ кВт}$.

5.2.2. Передаточні числа передач привода

Оскільки задані частоти обертання вихідних валів привода \bar{n}_1 і \bar{n}_2 , а ці вали в редукторі є відповідно вхідним і вихідним, то загальне передаточне число редуктора за формулою (1) складе:

$$u_{ред} = \frac{\bar{n}_1}{\bar{n}_2} = \frac{400}{35} = 11,43$$

Таким чином, очікувана частота обертання електродвигуна буде залежати від значення передаточного числа пасової передачі. Орієнтуючись на найбільш швидкохідний двигун прийmemo за табл. 4 передаточне число пасової передачі $u_{нас}^{max} = 4$, а очікувана частота обертання валу електродвигуна становитиме:

$$n_{дв}^{max} = \bar{n}_1 \cdot u_{нас}^{max} = 400 \cdot 4 = 1600 \text{ хв}^{-1}$$

Цьому значенню задовольняє за табл. 2 електродвигун *AIP132M4Y3*, який має потужність $P_{дв}=11$ кВт і частоту обертання $n_{дв}=1460 \text{ хв}^{-1}$.

Загальне передаточне число приводу при цьому становитиме:

$$u_{заг} = \frac{n_{дв}}{\bar{n}_2} = \frac{1460}{35} = 41,71$$

Скоректуємо передаточне число пасової передачі:

$$u_{нас} = \frac{n_{дв}}{\bar{n}_1} = \frac{1460}{400} = 3,65$$

Передаточні числа зубчастої циліндричної передачі (тихохідна ступінь редуктора) і зубчастої конічної передачі (швидкохідна ступінь редуктора) відповідно за табл. 5:

$$u_{зц} = 1,1\sqrt{u_{ред}} = 1,1\sqrt{11,43} = 3,72$$

$$u_{зк} = \frac{u_{ред}}{u_{зц}} = \frac{11,41}{3,72} = 3,07$$

5.2.3. Визначимо частоти обертання валів приводу (нумерація валів вказана на рис. 2):

$$n_1 = n_{дв} = 1460 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{нас}} = \frac{1460}{3,65} = 400 \text{ хв}^{-1} \text{ (співпадає з заданою частотою обертання } \bar{n}_1);$$

$$n_3 = n_2 = 400 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{зк}} = \frac{400}{3,07} = 130,3 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_5 = \frac{n_4}{u_{зц}} = \frac{130,3}{3,72} = 35 \text{ хв}^{-1} \quad (\text{співпадає з заданою частотою обертання } \bar{n}_2).$$

5.2.4. Потужності на валах привода

$$P_1 = P_{\text{пот}} = 9,3 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{\text{пас}} \cdot \eta_{\text{пш}} = 9,3 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 8,75 \text{ кВт};$$

З цього вала привода частина потужності, яка належить першому потоку потужності ($\bar{P}_1 = 1,3 \text{ кВт}$) знімається, а решта – частина, яка належить другому силовому потоку і становить $P_{\text{п}} = P_2 - \bar{P}_1 = 8,75 - 1,3 = 7,45 \text{ кВт}$ передається на редуктор, з урахуванням втрат потужності у муфті і підшипниковій парі.

$$P_3 = P_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{пш}} = 7,45 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 7,3 \text{ кВт};$$

$$P_4 = P_3 \cdot \eta_{\text{зк}} \cdot \eta_{\text{пш}} = 7,3 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 7 \text{ кВт};$$

$$P_5 = P_4 \cdot \eta_{\text{зц}} \cdot \eta_{\text{пш}} = 7 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 6,8 \text{ кВт}.$$

5.2.4. Обертальні моменти на валах приво­ду:

$$T_1 = 9550 \frac{P_1}{n_1} = 9550 \frac{9,3}{1460} = 60,8 \text{ Нм};$$

$$T_2 = 9550 \frac{P_2}{n_2} = 9550 \frac{8,75}{400} = 209 \text{ Нм};$$

$$T_3 = 9550 \frac{P_3}{n_3} = 9550 \frac{7,3}{400} = 174,3 \text{ Нм};$$

$$T_4 = 9550 \frac{P_4}{n_4} = 9550 \frac{7}{130,3} = 513 \text{ Нм};$$

$$T_5 = 9550 \frac{P_5}{n_5} = 9550 \frac{6,8}{35} = 1855 \text{ Нм}.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
2. Иванов М. Н.,Финогенов В.А. Детали машин. – М.: Высш. шк., 2007. – 408 с.
3. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Академия, 2006. – 496 с.
4. Баласанян Р.А. Атлас деталей машин: Навчальний посібник для вузів. - Харків: Основа, 1996. -256 с.
5. Полешко О.П., Горалік Є.Т. Теорія машин, механізмів і деталі машин. Розрахунок та проектування. - К.: КДАВТ, 2009.- 224 с.
6. Методические указания и задания к курсовому проекту по дисциплине "Детали машин" для студентов машиностроительных специальностей / Сост.: В.В. Хильчевский, Ю. А. Попченко, А. П. Полешко и др. Киев: КПИ, 1994,-44с,
7. Розрахунки приводів машин: Вибір електродвигуна, кінематичні і силові розрахунки: Методичні вказівки для самостійної роботи студентів при виконанні розрахунково-графічних робіт і курсового проекту з дисципліни: "Деталі машин і основи конструювання" /Укл.:О.П. Полешко. -К.: КУЕТТ, 2002. - 56с.