

# Лекція №1. ПРИВОДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

## План

1. Роль вітчизняних вчених у розвитку електрифікації сільськогосподарського виробництва;
2. Особливості роботи електрообладнання в умовах сільськогосподарського виробництва;
3. Електропривод та його елементи;
4. Класифікація електроприводів;
5. Приводні характеристики сільськогосподарських машин;
6. Механічні характеристики робочих машин;
7. Механічні характеристики електродвигунів.

### **1. Роль вітчизняних вчених у розвитку електрифікації сільськогосподарського виробництва**

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва і підвищення продуктивності праці можливі лише за умови максимальної механізації технологічних процесів на базі електрифікації і автоматизації. Комплексна електромеханізація передбачає гармонійне поєднання прогресивних машинних технологій і системи електрифікованих машин та раціональної організації праці і виробництва. Вона забезпечує використання електричної енергії в оптимальних розмірах, сприяє зменшенню собівартості і підвищенню якості сільськогосподарської продукції. Здійснює перехід від автоматизації окремих виробничих процесів та операцій до повної автоматизації потокових ліній, цехів і сільськогосподарських підприємств.

Визначна роль у розвитку електрифікації виробництва і сільськогосподарського зокрема належить вітчизняним вченим та інженерам.

Перший в історії електрифікований механізм з електроприводом був створений у 1834 – 1838 рр. академіком Якобі Б.С. у Петербурзі і призначався для приводу у рух катеру на річці Неві. Таким чином батьківщиною першого електродвигуна і першого електроприводу була Російська імперія, до складу якої на той час входила і Україна. Видатний російський електротехнік В.Н. Чикалев здійснив практичні розробки електроприводів для швейної машини у 1882 р. та вентилятора у 1886 р.

Значний вклад у розвиток теорії електроприводу внесли роботи Д.А. Лачинова “Електромеханічна робота”, що були опубліковані у 1880 році у журналі “Электричество”. Ця визначна праця дає можливість вважати датою заснування науки про електроприводи – 1880 рік.

Необхідні принципові передумови розвитку електроприводів змінного струму створили розробки російського інженера М.О. Доліво-Добровольського, який у 1889 році створив систему трифазного струму, асинхронний двигун із короткозамкнутим ротором та із контактними кільцями. Ці роботи визначили новий напрям розвитку електроприводу і відкрили широку дорогу для промислового використання електроенергії.

Реалізація плану електрифікації Радянського Союзу - ГОЭРЛО у 20-х роках, створила умови для широкого використання електроприводу і на теренах України. Визначний вплив на розвиток вітчизняної електротехніки та електропривода мав і створений у 1921 році Державний експериментальний електротехнічний інститут, який у 1929 році був реорганізований у Всесоюзний електротехнічний інститут.

Особливо бурхливо став розвиватись електропривод у роки перших п'ятирічок у зв'язку із загальною індустріалізацією країни. Розвиток теорії та практики електропривода знайшов відображення у працях професорів С.А. Ринкевича, В.К. Потова, Р.А. Аронова, А.Т. Голована, Д.П. Морозова та ін.. Питання автоматичного керування електроприводами знайшли освітлення у працях академіків М.П. Котенка, В.С. Кульбакіна, А.Г. Йосифяна та ін.. У розвитку нових типів електроприводів відіграли значну роль заводи ПЕМЗ, “Електросила”, “Динамо” та ін..

З розвитком промислового електроприводу, на його базі розвивався і електропривод сільськогосподарського призначення. Тут слід відмітити роботи академіків ВАСХНИЛ І.А. Бурдзка, Н.П. Листова, Л.Г. Прищепи, членів-кореспондентів ВАСХНИЛ Г.І. Назарова, І.І. Мартиненка, професорів С.П. Лебедева, І.Ф. Кудрявцева та ін..

## **2. Особливості роботи електрообладнання в умовах сільськогосподарського виробництва**

Робота електрообладнання в умовах тваринницьких ферм має ряд особливостей які необхідно враховувати при його виборі та експлуатації. До цих особливостей можна віднести:

1. Електрообладнання може працювати в різних умовах (у сухих, вологих, вогких, особливо вологих приміщеннях, на відкритому повітрі, у захищених приміщеннях, із підвищеним вмістом аміаку, сірководню, вуглекислого газу при значних коливаннях температури, що призводить до поступового руйнування ізоляції, корозії контактів і конструктивних елементів електрообладнання) тому апаратуру керування розміщують поза тваринницькими приміщеннями.
2. Приміщення обробляються дезінфекційними розчинами, які хімічно активні.
3. Різна тривалість роботи механізмів і їх привідних електродвигунів:
  - кормороздавачі 500 год. на рік;
  - вакуумні насоси 1500 год. на рік;
  - вентилятори 3000 год. на рік.
4. Ступінь завантаження двигунів коливається від 25 до 100% а деякі працюють при тимчасових перевантаженнях;
5. Широкий діапазон коливань напруги живлення  $\Delta U = \pm 5\%$  для комплексів.
6. Низький професійний рівень обслуговуючого персоналу, що призводить до неправильної експлуатації і обслуговування електрообладнання.
7. Невдалі конструкції механізмів, які приводяться у рух електродвигунами (вібрація машин і двигунів, встановлення двигунів на агрегатах що нагріваються, можливість попадання води і т.д.)

### Вимоги до електрообладнання потокових ліній.

У тваринницьких фермах електроприводи дуже часто працюють на машинах і агрегатах які вмонтовані у технологічні потокові лінії. Керування такими електроприводами необхідно здійснювати централізовано, дистанційно

і автоматично. Електричні зв'язки між окремими елементами поточкових ліній досить складні (велика кількість зв'язків із контрольною і сигнальною апаратурою, датчиками та іншим електрообладнанням). Тип та потужність електродвигунів та різних електроспоживачів, апаратуру керування, сигналізації і захисту вибирають індивідуально для кожного споживача, відповідно до його призначення у технологічній схемі. При цьому пульт керування встановлюють у виробничому приміщенні, ближче до основних агрегатів у місці з найзручнішим оглядом робочих машин, а шафи з магнітними пускачами, реле та ін. апаратами розміщують окремо у більш сухому та чистому приміщенні.

Схеми автоматичного керування поточковими лініями повинні відповідати наступним вимогам:

1. Робочі машини якими керує електрообладнання повинні мати узгоджену (регульовану) продуктивність та забезпечувати високу якість продукту, що виробляється чи переробляється;
2. Запуску автоматичного електроприводу поточної лінії повинен передувати попереджувальний звуковий або (та) світловий сигнал;
3. Електроприводи усіх машин і механізмів поточної лінії повинні запускатись у послідовності, що направлена проти руху продукції (починаючи із кільця технологічної лінії), а зупинятись у послідовності що співпадає із напрямком руху продукції;
4. При аварійній зупинці однієї із машин, повинні зупинятись без затримки часу усі машини, що працюють на її завантаження та із затримкою часу – усі машини, які працюють на її розвантаження, що необхідно для повного звільнення від продукції;
5. Електричні схеми повинні забезпечувати неможливість неправильного вмикання та вимикання електричних кіл;
6. Для стійкої роботи електроприводів та запобігання недопустимого зниження напруги, схеми послідовного вмикання електроприводів повинні бути розрахованими на гранично допустиму потужність двигунів, що вмикаються

одночасно;

7. Схеми керування повинні бути простими і надійними, забезпечувати надійний захист електродвигунів і проводів (застосування електричних та механічних блокувань);
8. Для запобігання забивання машини продукцією і захисту двигунів (особливо серійних) від холостого ходу при обриві передавальних пасів, необхідно на привідний вал таких машин встановлювати реле контролю швидкості, яке подавало б сигнал для зупинки потокової лінії;
9. Схеми керування повинні забезпечувати максимальну автоматизацію виробничих процесів достатню зручність та гнучкість керування, а також можливість регулювання кутової швидкості валів робочих машин у заданих межах (простий і швидкий перехід на інші режими роботи, можливість керування із декількох місць, контроль за допомогою світлової та звукової сигналізації);
10. У протяжних приміщеннях, кнопки аварійної зупинки повинні встановлюватись у декількох різних місцях;
12. Для налагоджувальних та ремонтних робіт у схемах керування необхідно передбачити деблокувальні режими, які забезпечували б можливість довільного включення двигунів.
13. Проводи силових електричних кіл повинні розраховуватись за максимальним тривалим робочим струмом, бути достатньо механічно міцними, при цьому спад напруги на них не повинен перевищувати допустимих меж. Ізоляція проводів і кабелів повинна бути розрахована на напругу не нижчу номінальної напруги мережі, і бути стійкою до агресивної дії навколишнього середовища.

### **3. Електропривод та його елементи**

Сільськогосподарське - виробництво використовує різноманітні машини, агрегати та потокові лінії. Ту частину робочої машини або агрегату, яка безпосередньо виконує заданий технологічний процес або операцію, називають *виконавчим органом*. Для виконання технологічної операції виконавчий орган

має здійснювати механічний рух з потрібною швидкістю і долати при цьому силу опору. Тому до виконавчого органу повинна бути підведена механічна енергія, яку виробляє *рушійний пристрій - привод*. *Привод* - це система пристроїв, призначених для перетворення різних видів енергії у механічну, що використовується для приведення в рух виконавчих органів робочих машин і керування цим рухом. До приводу звичайно входять двигун та механічна передача. Залежно від виду первинної енергії двигуна розрізняють ручний, паровий, пневматичний, гідравлічний, тепловий і електричний приводи.

Електропривод є основним у промисловості, на транспорті, в сільському господарстві. Він дає можливість регулювати швидкість виконавчих органів робочих машин у потрібних діапазонах, швидко запускати і зупиняти, змінювати напрямок руху, ефективно гальмувати, витримувати тривалі незначні перевантаження без спеціального регулятора подачі енергії з мережі.

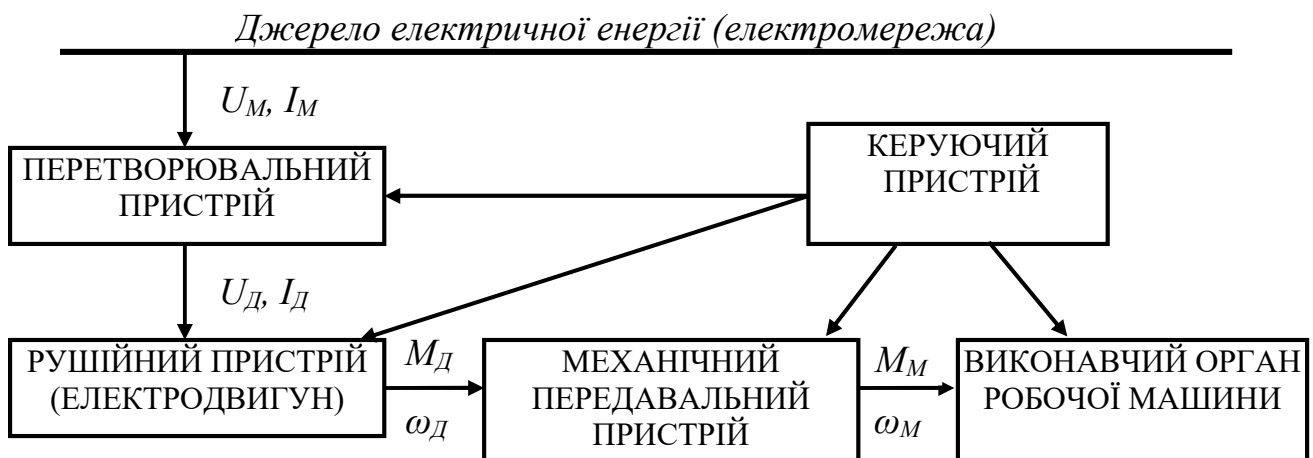
Електроприводом називають електромеханічну систему, що складається з електродвигуна, перетворювального, передавального й керуючого пристроїв і призначена для приведення в рух виконавчих органів робочих машин та керування цим рухом.

Порівняно з іншими системами приводів, електропривод має такі переваги: високий коефіцієнт корисної дії, надійність, високий рівень автоматизації, екологічна чистота, компактність.

Основою будь-якого електроприводу є електродвигун (мал. 1.1), що призначений для перетворення електричної енергії в механічну. До складу електроприводу може входити один або кілька електродвигунів постійного або змінного струму. У сільськогосподарському виробництві здебільшого застосовують електропривод з асинхронними короткозамкненими двигунами. Електродвигун отримує живлення  $(U_M, I_M, f_M)$  від джерела електричної енергії (електромережі) через перетворювальний пристрій, який перетворює і регулює параметри електроенергії (струм, напругу, частоту  $(U_D, I_D, f_D)$ ). Як перетворювальний пристрій електричної енергії в електроприводах використовують автономні генератори з регулюванням в широких межах

напруги на їх затискачах, керовані тиристорні випрямлячі, автотрансформатори, перетворювачі частоти та ін.

Механічний передавальний пристрій (передача) передає механічну енергію від електродвигуна (з параметрами  $M_d$ ,  $\omega_d$ ) до виконавчих органів робочих машин та узгоджує вид та швидкість їх руху (параметри  $M_m$ ,  $\omega_m$ ). В сучасних сільськогосподарських електроприводах найбільш поширені клинопасові, зубчаті та ланцюгові передачі, а також різноманітні за своєю конструкцією з'єднувальні муфти.



Мал. 1.1. Структурна схема електроприводу

Керування процесом перетворення електроенергії виконується керуючим пристроєм, який виробляє керуючий сигнал в функції вхідного сигналу і різних додаткових електричних сигналів, що містять інформацію про процес перетворення енергії, реальні параметри механічного руху електродвигуна і виконавчих органів робочих машин та ін. Перетворювальний та керуючий пристрої утворюють систему керування, яка разом з обмотками електродвигуна складає електричну частину електроприводу. До керуючого пристрою належать апарати керування, захисту, сигналізації та різні підсилювачі, вимірювальні елементи, блоки порівняння дійсних і заданих значень робочих параметрів тощо.

#### 4. Класифікація електроприводів

Сучасні електроприводи класифікують за такими основними ознаками:

1. За видом руху електродвигуна:

- обертального руху;
  - поступального руху;
2. *За можливістю зміни його напрямку руху:*
- *реверсивний;*
  - *нереверсивний;*
3. *За причиною зміни параметрів руху:*
- регульовані електроприводи, параметри яких змінюються під впливом керуючого пристрою;
  - нерегульовані електроприводи, параметри яких змінюються в результаті збурюючих впливів (зміна навантаження);
4. *За кількістю робочих машин або виконавчих органів однієї робочої машини, які приводяться в рух одним електроприводом:*
- групові електроприводи (*груповим* називають електропривод, який забезпечує рух виконавчих органів кількох робочих машин чи кількох виконавчих органів однієї робочої машини);
  - індивідуальні електроприводи, що забезпечує рух одного виконавчого органу робочої машини;
5. *За наявністю зв'язків з іншими електроприводами:*
- незалежні електроприводи - режими роботи яких практично не залежать від режимів роботи інших електроприводів;
  - взаємозв'язані електроприводи, в яких два або кілька електроприводів електрично і механічно пов'язані між собою. При роботі взаємозв'язаних електроприводів підтримується задане співвідношення їх швидкостей, навантажень або положення виконавчих органів робочих машин.
- Розрізняють два види взаємозв'язаних електродвигунів:
- *багатодвигунні* - в яких електродвигуни і пристрої працюють разом на загальний вал;
  - *електричні вали*, в яких забезпечується синхронне обертання двох і більше електродвигунів, вали яких не мають механічного зв'язку.
6. *За рівнем автоматизації керування:*



- неавтоматизовані, усі операції керування якими виконуються з участю людини;
- автоматизовані, у яких людина бере участь у створенні лише початкової керуючої дії;
- автоматичні, у яких керування здійснюється без участі людини;

7. *За видом перетворювального пристрою:*

- вентильні;
- автотрансформаторні;
- з системою генератор - двигун та ін.

8. *За родом механічного передавального пристрою розрізняють:*

- редукторний електропривод;
- без редукторний:
- привод з варіатором:
- з пасовою передачею:
- з фрикційною муфтою.

9. *За родом струму:*

- електроприводи постійного струму, в яких рушійними пристроями є електродвигуни постійного струму (незалежного, послідовного та змішаного збудження);
- електроприводи змінного струму. Розрізняють два види електроприводів змінного струму:
  - *асинхронні*, де рушійними пристроями є асинхронні електродвигуни;
  - *синхронні*, в яких рушійними пристроями є синхронні двигуни.

## **5. Приводні характеристики сільськогосподарських машин**

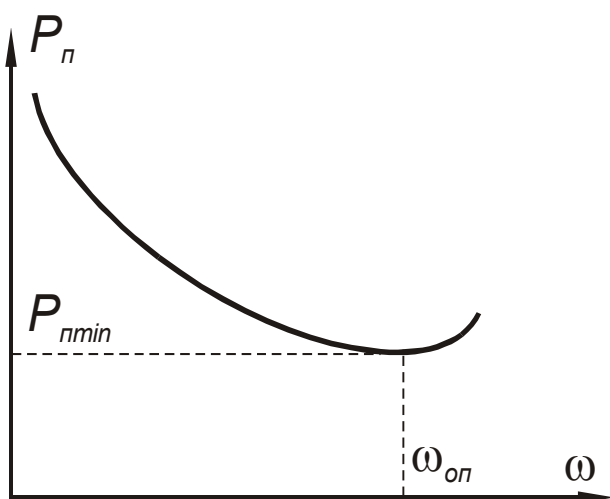
При виборі електроприводу довільної робочої машини чи механізму необхідно знати окрім властивостей самого приводу, також властивості та особливості робочої машини і технологічного процесу у якому ця машина приймає участь. Характеристики робочої машини, які впливають на вибір її

приводу отримали узагальнену назву – *привідних характеристик*. До них відносяться: технологічні, кінематичні, енергетичні, механічні, інерційні характеристики та навантажувальні діаграми.

*Технологічні характеристики* – відображають специфіку даного технологічного процесу та визначають вимоги до електроприводу з точки зору якості продукції (необхідність регулювання режимів роботи, допустимі коливання швидкості, можливість та необхідність автоматизації) та умови роботи електроприводу залежно від характеру навколишнього середовища, роду приміщення (сухе, вологе, опалюване, пожежонебезпечне, вибухонебезпечне). Вони звичайно подаються у вигляді технологічної схеми, у якій вказується послідовність виконання головних операцій.

*Кінематичні характеристики* – відображають послідовність передавання руху від двигуна до виконавчого органу робочої машини, швидкісні режими та траєкторії руху окремих механізмів. Їх зображують у вигляді кінематичних схем, де вказують типи передач, передавальні числа та іншу інформацію необхідну для проектування машини.

*Енергетичні характеристики* – відображають загальну та питому енергоємність технологічного процесу, а також розподіл енергії між окремими вузлами машини. За енергетичними характеристиками машини можна



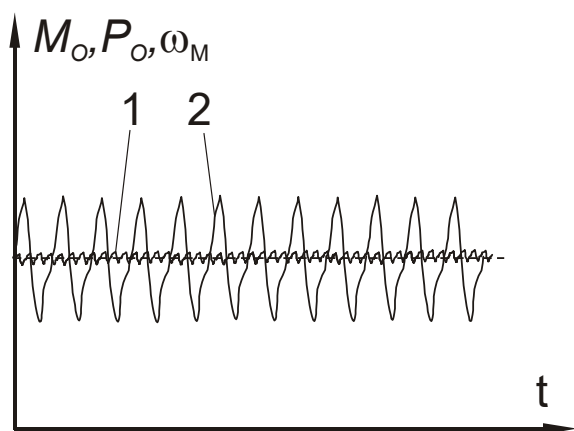
**Мал. 2.1. Залежність питомого споживання електроенергії робочою машиною від кутової швидкості її робочого валу**

визначити також такий її визначальний параметр як *оптимальна кутова швидкість машини* (кутова швидкість робочого валу машини при якій вона споживає найменше електроенергії на одиницю виробленої продукції (див. мал. 2 1.)).

*Інерційні характеристики* – визначають величину та характер зміни моменту інерції рухомих частин машини. В машинах з обертовим рухом

робочих органів момент інерції величина постійна. В машинах зі складним рухом робочих органів момент інерції величина змінна (кривошипи, куліси, поршневі механізми та ін.). Величину та ступінь зміни моменту інерції рухомих частин машини необхідно знати для визначення тривалості її запуску та зупинки, а також для оцінки рівномірності її ходу при роботі.

*Навантажувальні діаграми* машини – це залежність моменту опору -  $M_O$ , потужності опору  $P_O$  машини та кутової швидкості її робочого валу –  $\omega_M$  від часу  $t$ . Вони відображають характер та режим роботи електропривода.



*Мал. 2.2. Навантажувальні діаграми робочих машин*

Навантаження робочої машини може бути постійним та змінним. З постійним навантаженням (див. крива 1 на мал. 2.2) працюють вентилятори, відцентрові насоси при постійних продуктивності та напорі, зернові елеватори, коли у них незмінні подача та кутова швидкість, сепаратори. Із змінним навантаженням (див. крива 2 на мал. 2.2) працюють машини у які перероблювану сировину подають

нерівномірно (дробарки, молоткові та комбайнові барабани), а також машини, у яких швидкість робочих органів змінна (поршневі насоси, поршневі преси, лісопилільні рами). За навантажувальними діаграмами можна зробити висновок про необхідність застосування маховиків у приводах машин, які запасують кінетичну енергію при мінімальних навантаженнях машини і витрачають її при пікових навантаженнях, що дозволяє використовувати для приводу даних машин двигуни меншої встановленої потужності.

## **6. Механічні характеристики робочих машин**

Високопродуктивний, надійний і економічно вигідний тільки такий виробничий агрегат, у якого приводний електродвигун має електромеханічні властивості, що відповідають характеристикам і технологічним вимогам

робочої машини. Найважливішими характеристиками двигунів і робочих машин є їх механічні характеристики.

*Механічною характеристикою робочої машини* називають залежність моменту статичних опорів від кутової швидкості її приводного вала  $M_O(\omega)$ . Механічні характеристики робочих машин описують такою емпіричною формулою:

$$M_O = M_{TP} + (M_{OH} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^x,$$

де  $M_O$  - момент опору при швидкості  $\omega$ , Н·м;

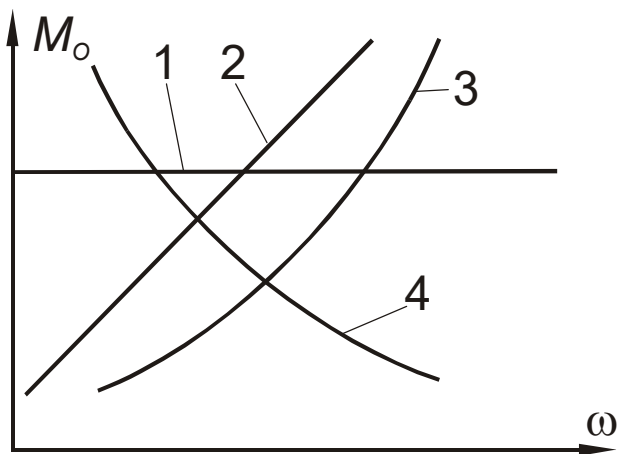
$M_{TP}$  - момент опору тертя в рухомих частинах, який не залежить від швидкості Н·м;

$M_{OH}$  - момент опору при номінальній швидкості –  $\omega_H$ , Н·м;

$x$  - показник степеня, що характеризує зміну статичного моменту при зміні швидкості.

Незважаючи на різноманітність робочих машин, їх механічні характеристики орієнтовно можна поділити на такі групи:

1. Незалежна від швидкості механічна характеристика (пряма 1, мал. 2.3). При цьому  $x = 0$  і момент опору  $M_O$  не залежить від швидкості. Такі механічні характеристики мають підйомні крани, стрічкові конвеєри, поршневі насоси, лебідки, вакуумні насоси тощо.
2. Прямолінійно-зростаюча механічна характеристика (пряма 2, мал. 2.3). У цьому випадку  $x = 1$  і момент опору  $M_O$  лінійно залежить від швидкості. Таку механічну характеристику має, наприклад, генератор постійного струму з незалежним збудженням, який працює з незмінним зовнішнім навантаженням, та деякі зерноочисні машини.
3. Нелінійно-зростаюча (параболічна) механічна характеристика (крива 3, мал. 2.3). У цьому випадку  $x = 2$  і момент опору  $M_O$  пропорційний квадрату швидкості. Параболічні механічні характеристики мають робочі машини, що працюють за відцентровим принципом: вентилятори, відцентрові насоси,



**Мал. 2.3. Механічні характеристики робочих машин**  
розточувальні та фрезерні верстати, тощо.

сепаратори молока тощо.

4. Нелінійно-спадаючі механічні характеристики (крива 4, мал. 2.3). У цьому випадку  $x = -1$  і момент опору  $M_0$  обернено пропорційний швидкості, а потужність, споживана робочою машиною, залишається сталою. Нелінійно-спадаючі механічні характеристики мають деякі токарні,

Механічні характеристики використовуються при аналізі перехідних процесів, режимів роботи машини разом із електродвигуном для визначення можливості запуску та стійкості роботи електроприводу, побудови навантажувальних діаграм.

### 7. Механічні характеристики електродвигунів

*Механічною характеристикою електродвигуна* обертового руху називають залежність кутової швидкості його вала –  $\omega$  від електромагнітного обертового моменту  $M$ .

Механічні характеристики можуть бути *природними* і *штучними*. *Природною* механічною характеристикою електродвигуна називають залежність швидкості обертання двигуна від створюваного ним моменту при номінальних параметрах мережі живлення (номінальних значеннях напруги і частоти), номінальному магнітному потоці (звичайних схемах включення) і при відсутності додаткових опорів у колі якоря (ротора, статора).

Якщо механічна характеристика не задовольняє тих або інших вимог виробничого механізму, використовують штучні механічні характеристики. Вони також являють собою залежність кутової швидкості двигуна від його моменту, але при неномінальних параметрах.

Крім механічної характеристики, в теорії електроприводу є поняття електромеханічної характеристики. Електромеханічною характеристикою

електродвигуна називають залежність його кутової швидкості –  $\omega$  від струму якоря  $I$ .

Електродвигуни можуть працювати у рушійному режимі, приводячи в рух робочі машини, та в гальмівних режимах – загальмовувати машини для швидкої їх зупинки. Майже всі електродвигуни характеризуються тим, що у рушійному режимі роботи при збільшенні обертового моменту кутова швидкість зменшується, а в гальмівних - при збільшенні швидкості гальмівний момент зростає.

Величина зміни швидкості при зміні моменту різних двигунів неоднакова і залежить від *коефіцієнта жорсткості*  $\beta$  механічної характеристики:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт жорсткості  $\beta$  є критерієм для оцінки форми механічної характеристики. Жорсткістю механічної характеристики електродвигуна називають його здатність зберігати свою кутову швидкість постійною при зміні величини моменту.

Для прямолінійних механічних характеристик диференціали  $dM$  і  $d\omega$  можна відповідно замінити скінченими приростами  $\Delta M$  та  $\Delta\omega$ , тоді:

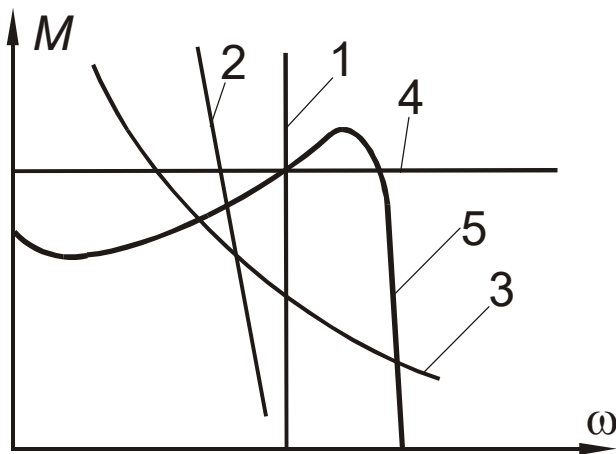
$$\beta = \frac{M_1 - M_2}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{\Delta M}{\Delta\omega}. \quad (2.3)$$

Абсолютно жорсткою (мал. 2.4. пряма 1)  $\beta \rightarrow \infty$  називають механічну характеристику, при якій із зміною обертового моменту швидкість двигуна не змінюється. Таку характеристику мають синхронні двигуни а також двигун постійного струму змішаного збудження при зустрічному включенні обмоток.

Жорстка (мал. 2.4. пряма 2) - механічна характеристика, коли із зміною обертового моменту в широких межах кутова швидкість двигуна змінюється дуже мало. Таку характеристику мають електродвигуни постійного струму незалежного (паралельного) збудження та асинхронні двигуни, що працюють при ковзаннях, менших від критичного (крива 5 на мал. 2.4), для цих електродвигунів  $\beta = const < 0$ . Такі двигуни жорстко впливають на роботу їх

мережі живлення, оскільки для подолання пікових навантажень вони споживають великий струм із мережі.

М'якою (мал. 2.4. крива 3) називають механічну характеристику, де невелика зміна обертового моменту викликає значну зміну швидкості двигуна (електродвигуни постійного струму послідовного збудження та асинхронні двигуни із фазним ротором при великому додатковому опорі у колі ротора),



Мал. 2.4. Механічні характеристики електродвигунів

для цих електродвигунів  $\beta = \text{var} < 0$ . Такі двигуни, при перевантаженнях різко сповільнюються і долають пікові навантаження за рахунок попереднього запасу кінетичної енергії.

Абсолютно м'якою (мал. 2.2. пряма 4) називають механічну характеристику, коли момент двигуна при зміні швидкості залишається сталим ( $\beta = 0$ ). Таку характеристику мають

електродвигуни постійного струму незалежного збудження при живленні їх від малопотужного джерела струму або при роботі в замкнених системах електроприводу в режимі стабілізації струму якоря.

Жорсткі і м'які механічні характеристики мають від'ємний коефіцієнт жорсткості, тобто  $\beta < 0$ . На неробочій частині характеристики асинхронного двигуна при ковзаннях, більших від критичного коефіцієнт  $\beta > 0$ .

Контрольні запитання:

1. Що називають приводними характеристиками машин і які вони бувають?
2. Що називають електроприводом?
3. Із яких основних елементів складається електропривод і яке їх призначення?
4. За якими основними ознаками класифікують сучасні електроприводи?
5. Що називають механічною характеристикою робочої машини? Електродвигуна?

6. Що називають електромеханічною характеристикою електродвигуна?
7. Що таке жорсткість механічної характеристики?
8. Як поділяють механічні характеристики за ступенем жорсткості?

*Література:*

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;
2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.