

Структура динамічної системи машини.
Поняття про розімкнуті і замкнуті системи

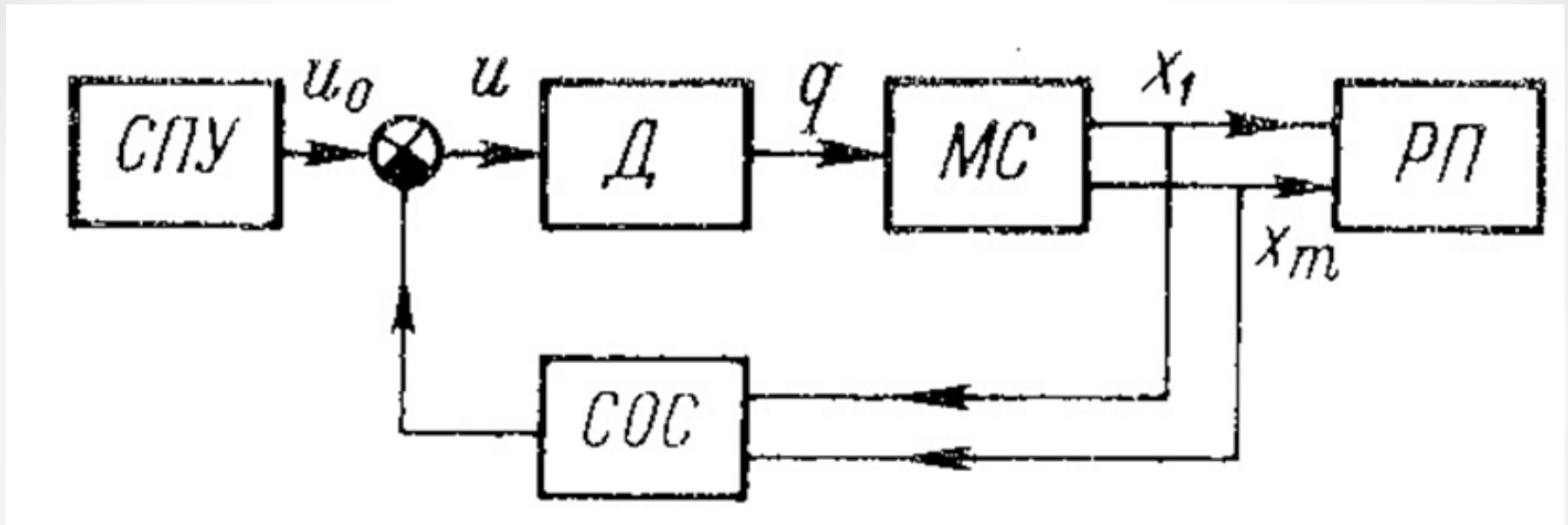


Рис. 5.1. Функціональна схема машини з одним двигуном.
Д – двигун, МС – механічна система, СОС – слідкуюча система,
РП – робочий процес, СПУ – система програмного управління

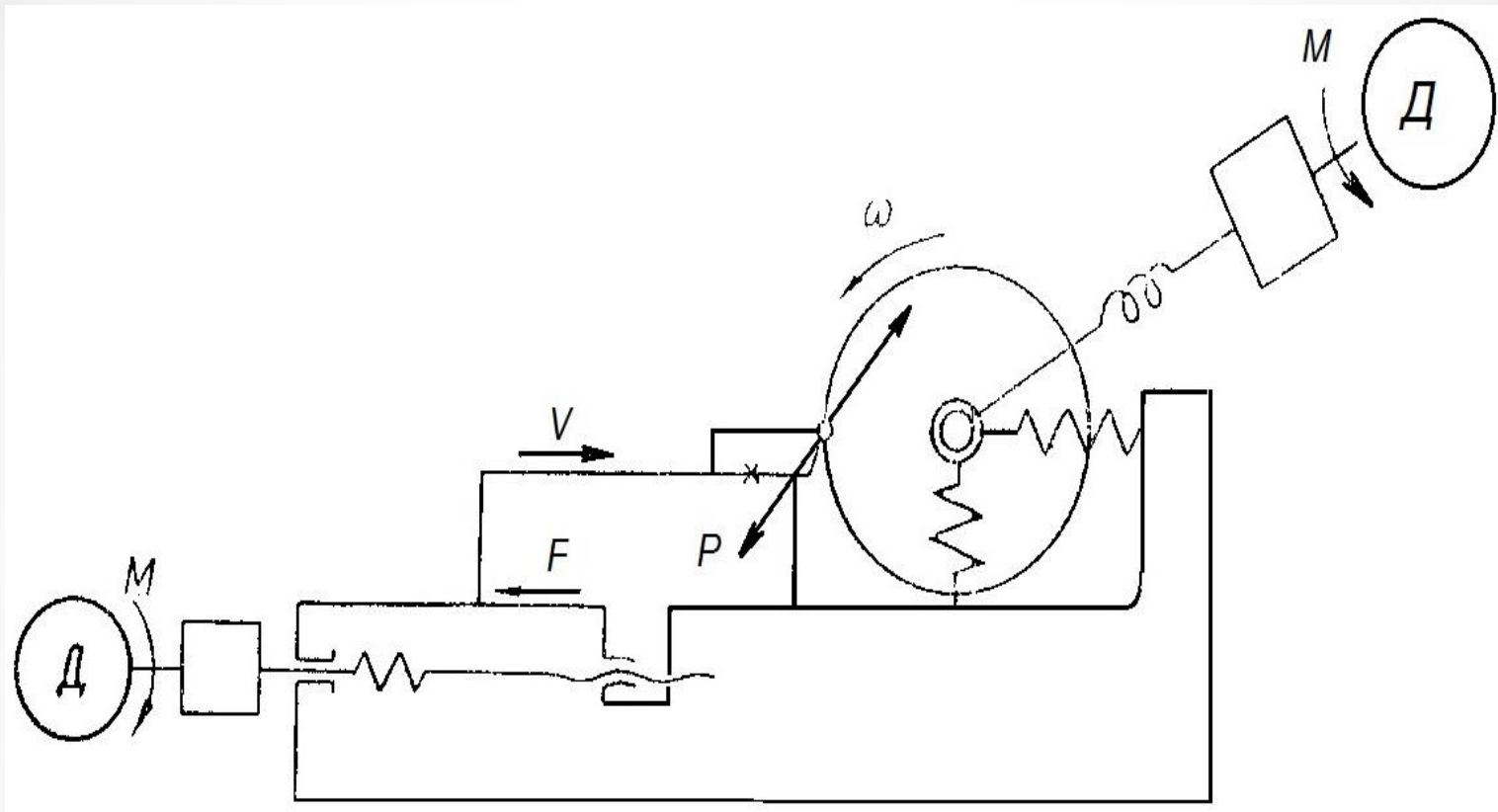


Рис. 5.2. Спрощена схема металорізального верстата

Впливи на пружну систему машини (верстата) робочих процесів - тертя, різання і процесів, що відбуваються в двигунах позначені на рис. 5.2 відповідно через F , P і M .

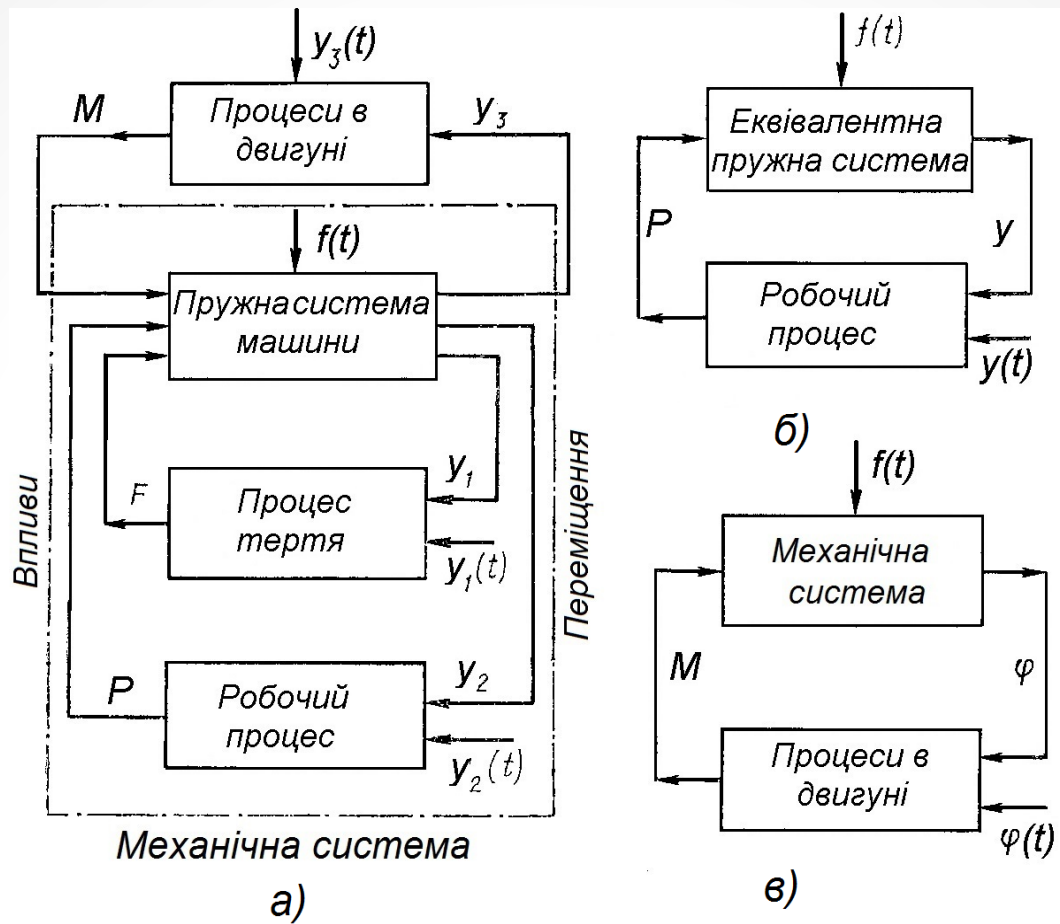


Рис. 5.3. Структурні схеми динамічної системи машини

Крім впливів F , P і M позначені: зовнішній вплив $f(t)$ на ПС, переміщення y , викликані всіма цими впливами, і зміни настройки $y(t)$ з індексами, відповідними певному робочому процесу. З цієї схеми випливає, що динамічна система машини багатоконтурна і замкнута.

Основні характеристики динамічних властивостей машин:

- 1) найбільший допустимий режим стійкої роботи машини при можливих відхиленнях його параметрів;
- 2) амплітуда відносних коливань робочого органу та окремих ланок;
- 3) швидкодія виконання перехідних процесів;
- 4) тривалість неперервної роботи машини;
- 5) шум та коливання ланок.

Силові характеристики машини – це найбільші значення сил, крутних моментів та потужності, які передаються механізмами машини при її усталеному режимі роботи

В динамічній моделі машини, як єдиної системи повинні бути враховані наступні фактори:

- 1) сили опору на робочому органі, які в ряді випадків є значними і змінюються в значних межах;
- 2) електричні характеристики приводного двигуна: для короткочасних процесів у машинах деяких типів статичні характеристики двигуна, які виражають залежність моменту від кутової швидкості, виявляються недостатніми і повинні бути замінені динамічними;
- 3) характеристики проміжних ланок: гідравлічних муфт, пружних муфт, пружин, пасових передач тощо;
- 4) пружні характеристики елементів трансмісії (валів, зубчастих коліс).

Показники динамічної якості машини

Динамічна якість машини визначається стійкістю системи і характеристикою її реакцій на зовнішні впливи.

Динамічним процесом називається зміна параметрів системи, в тому числі і параметрів, що характеризують робочі процеси, під впливом того чи іншого зовнішнього впливу (розгін, гальмування, коливання і т. п.).

Робочим **процесом** називається комплекс фізико-хімічних явищ, що протікають в даному рухомому з'єднанні (різання, тертя...).

Основними показниками динамічної якості верстата є:

- 1) запас і ступінь усталеності;
- 2) відхилення параметрів динамічної системи при зовнішніх впливах;
- 3) швидкодія.

Запас усталеності визначає можливість зміни того чи іншого параметра системи без втрати нею стійкості.

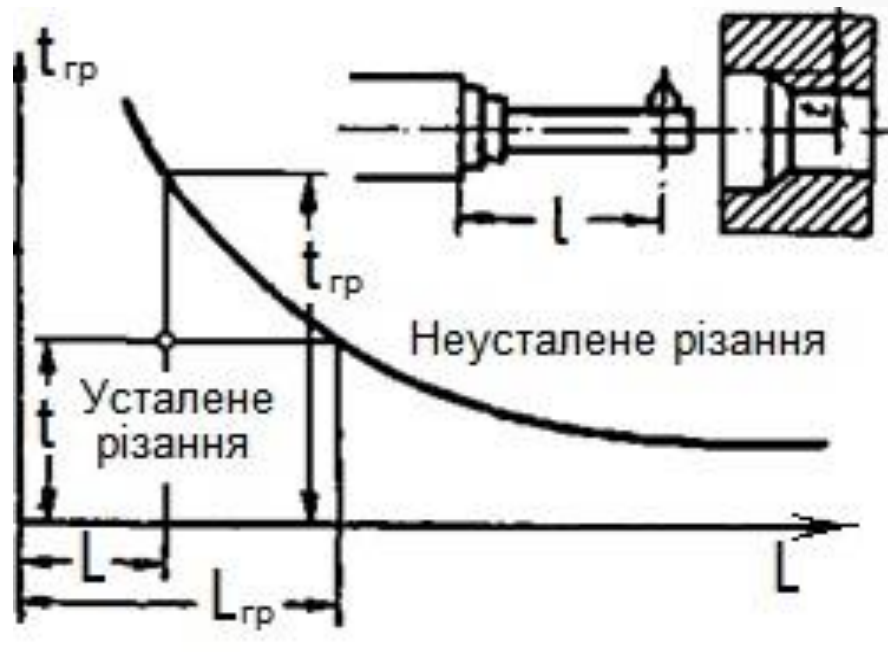


Рис. 5.4. Область усталеності при розточуванні • 5

Ступінь усталеності визначає здатність системи розсіювати енергію, що вноситься зовнішнім впливом.

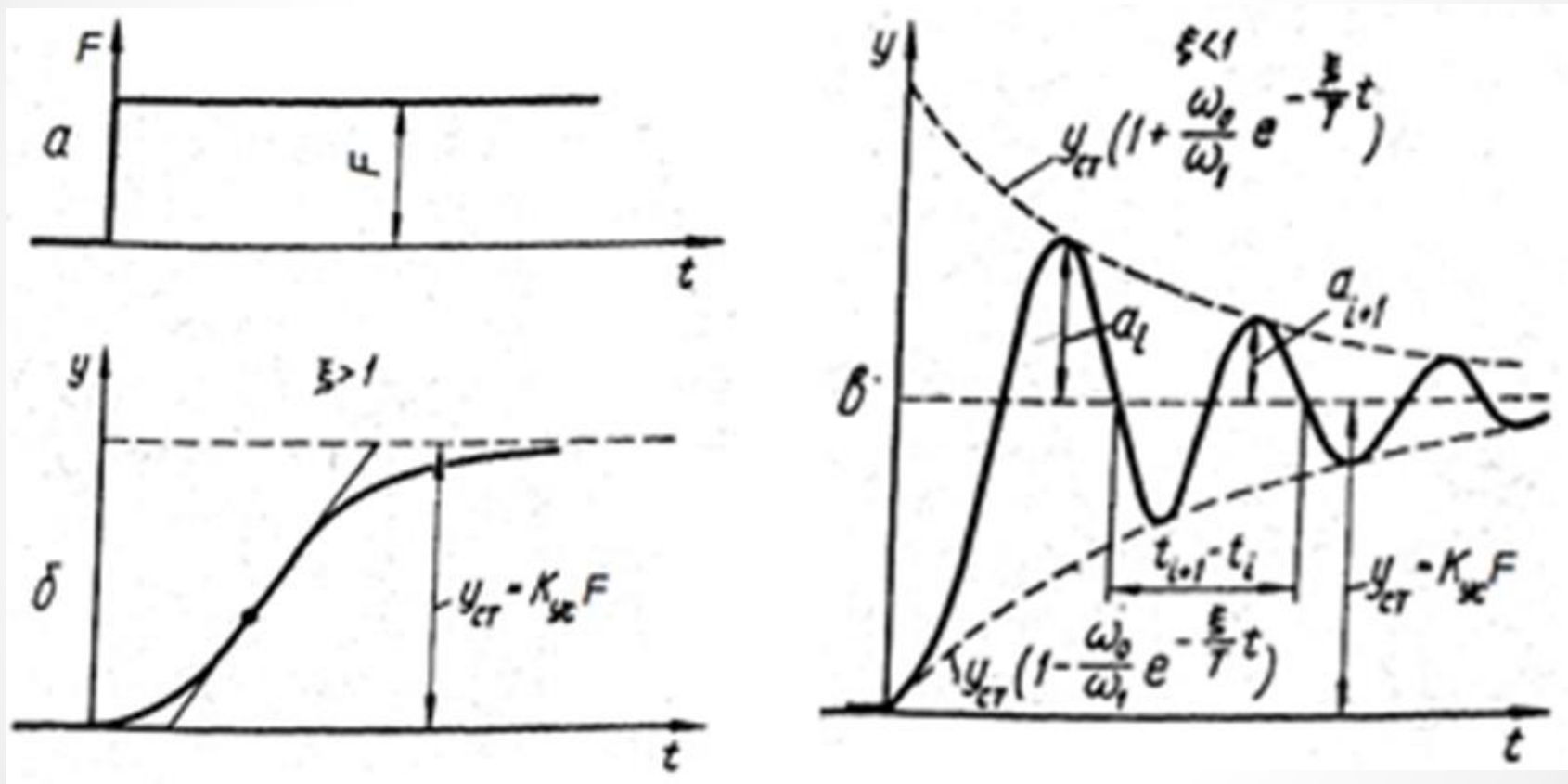


Рис. 5.4*. Графіки перехідних процесів одномасової системи

Відхилення параметрів динамічної системи поділяються по виду зовнішніх впливів на:

- 1) статичні, викликані постійним у часі впливом;
- 2) стаціонарні динамічні, викликані сталим у часі впливом (з постійною швидкістю, прискоренням і т. п.).
- 3) перехідні динамічні відхилення, що виникають при перехідних процесах;
- 4) випадкові динамічні, викликані випадковими зовнішніми впливами.

Статичні навантаження, що діють у динамічній системі верстата, можуть бути двох видів:

- сили різання і тертя, що викликають розсіювання енергії в системі (дисипативні процеси);
- сили, що змінюють потенційну енергію системи. До них відносяться вага і сили пружності деформівних елементів або стисненого робочого тіла.

Динамічні навантаження також бувають двох видів:

- основні, що відповідають прийнятним законам руху робочих органів і змінам у часі сил різання;
- додаткові, викликані конструктивними та іншими факторами.

Швидкодію системи визначає швидкість завершення перехідного процесу.

Кінетична енергія машини. Приведений момент інерції

Якщо розглянути машину, що складається з механізмів з жорсткими ланками та має одну ступінь вільності, тоді кінетична енергія T машини, як системи N з відповідними точковими масами:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N m_k (\dot{x}_k^2 + \dot{y}_k^2 + \dot{z}_k^2) \qquad T = \frac{mV^2}{2} \qquad (5.1)$$

де x_k, y_k, z_k – декартові координати k -тої матеріальної точки.

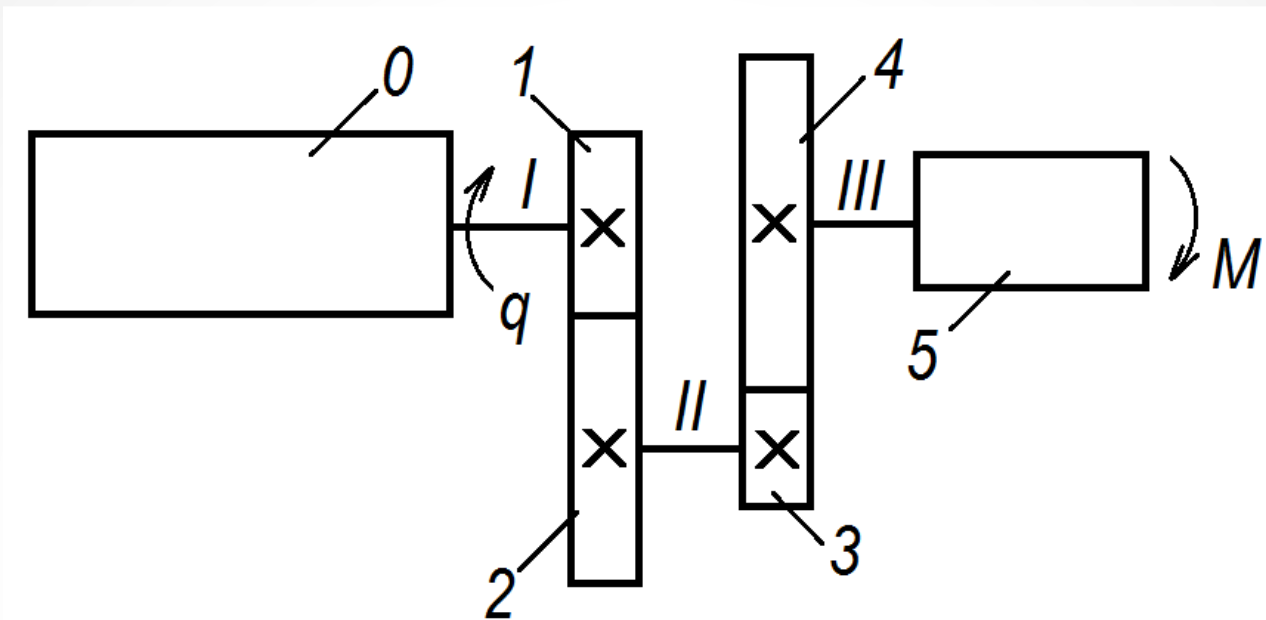


Рис. 5.5. Динамічна модель жорсткої машини

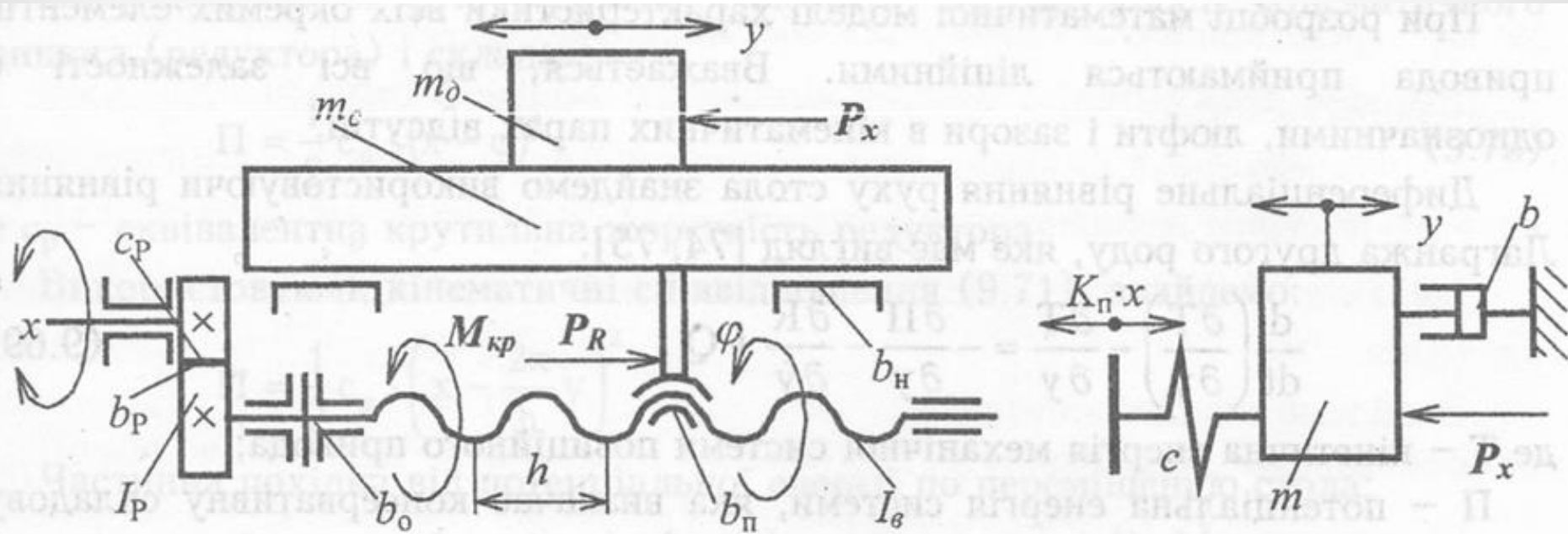


Рис. 5.6. Схема позиційного приводу з передачею гвинт-гайка (а) та його динамічна модель (б).

В системі з одним ступенем вільності координати усіх точок можуть бути представлені як функції узагальненої координати:

$$x_k = x_k(q); y_k = y_k(q); z_k = z_k(q); \quad (5.2)$$

Після диференціювання по часу (5.2), отримуємо:

$$\dot{x}_k = \frac{dx_k}{dq} \dot{q}; \dot{y}_k = \frac{dy_k}{dq} \dot{q}; \dot{z}_k = \frac{dz_k}{dq} \dot{q}; \quad (5.2)$$

Підставляємо рівняння (5.3) у (5.1) отримуємо:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^2 \sum_{k=1}^N m_k \left[\left(\frac{dx_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dz_k}{dq} \right)^2 \right]. \quad (5.4)$$

Вираз:

$$A(q) = \sum_{k=1}^N m_k \left[\left(\frac{dx_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dy_k}{dq} \right)^2 + \left(\frac{dz_k}{dq} \right)^2 \right]. \quad (5.5)$$

називається приведеною масою (для випадку лінійної координати - q) або приведеним моментом інерції (якщо q – кутова координата) механічної системи з одним ступенем вільності.

Тоді:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^2 A(q) : \quad T = \frac{1}{2} \dot{q}^2 m_{\text{прив}}(q) \quad \text{або} \quad T = \frac{1}{2} \dot{q}^2 J_{\text{прив}}(q)$$

Рівняння руху машини з обертальним робочим органом. Режими руху

Якщо скласти рівняння руху механічної системи з одним ступенем вільності у вигляді рівняння Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{q}} \right) - \frac{dT}{dq} = Q \quad (5.6)$$

Використовуючи (5.5) та вважаючи, що q – кутова координата і A – приведений момент інерції машини, тоді:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\dot{q}} &= \frac{d\left(\frac{1}{2} \dot{q}^2 J_{\text{прив}}(q)\right)}{d\dot{q}} = \frac{1}{2} 2\dot{q}J(q) = J(q)\dot{q}; & \frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{q}} \right) &= \frac{dJ(q)}{dq} \dot{q}^2 + J(q)\ddot{q}; \\ \frac{dT}{dq} &= \frac{1}{2} \frac{dJ(q)}{dq} \dot{q}^2; & Q &= M_{\text{дв}} + M_{\text{опору}}(q, \dot{q}). \end{aligned}$$

Звідси випливає рівняння руху у вигляді:

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{dJ(q)}{dq} \dot{q}^2 = M_{\text{дв}} + M_{\text{опору}}(q, \dot{q}) \quad (5.7)$$

2) Статична характеристика двигуна

У реальних двигунах узагальнена швидкість \dot{q} вихідної ланки залежить не тільки від значення вхідного параметра u , але і від навантаження, що характеризується величиною узагальної сили Q . Як правило, зі збільшенням навантаження швидкість зменшується. Враховуючи цей зв'язок, можна отримати статичну характеристику двигуна:

$$\dot{q} = f(u, Q),$$

або у формі представлення відносно Q : $Q = Q_{\text{ст}}(u, \dot{q})$.

$$Q = Q_{\text{ст}}(u, q, \dot{q}), \text{ або } \dot{q} = f_2(u, Q, q) \quad (5.8^{**})$$

Або через узагальнений момент:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}}(u, q, \dot{q}); \quad (5.9)$$

При вирішенні завдань динаміки машин розглядаються ті властивості двигунів, які визначають характер їх взаємодії з іншими функціональними частинами машини. Ці властивості визначаються механічними характеристиками двигунів, що становлять залежності між законами зміни в часі вхідного параметра $u(t)$, узагальненої координати вихідної ланки $q(t)$ та узагальненої рушійної сили $Q(t)$.

В залежності від рівня ідеалізації властивостей двигуна розрізняють декілька видів його характеристики.

1) Ідеальна кінематична характеристика двигуна.

Ця характеристика виходить з припущення, що узагальнена швидкість вихідної ланки \dot{q} в кожний момент часу залежить тільки від значення вхідного параметра в цей момент і не залежить від узагальненої сили:

$$\dot{q} = f(u); \quad (5.8)$$

Ідеальна силова характеристика. Припускаючи, що узагальнена рушійна сила не залежить від швидкості вихідної ланки і визначається лише значенням вхідного параметра, одержуємо іншу ідеалізовану модель двигуна, що описується ідеальною силовою характеристикою у вигляді:

$$Q = Q(u)$$

3) Динамічна характеристика двигуна

Статичні характеристики двигунів адекватно відтворюють їх властивості при статичних режимах роботи, тобто у випадках, коли параметри u, q, Q є постійними за величиною чи змінюються досить повільно.

Якщо статичні характеристики не включають координати q , динамічні характеристики дещо спрощуються:

$$\dot{q} = f(u, Q + \tau\dot{Q}) \text{ та } \tau\dot{Q} + Q = Q_{\text{ст}}(u, \dot{q}) \quad (5.12)$$

у вигляді:

$$\tau\dot{M}_{\text{дв}} + M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}}(u, q, \dot{q}); \quad (5.13)$$

Тоді підставивши в рівняння руху (5.7) статичну характеристику двигуна (5.9) можна отримати уточнене рівняння руху машини (її вихідної ланки), яке має одну невідому функцію часу q :

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{dJ(q)}{dq} \dot{q}^2 = M_{\text{ст}}(u, q, \dot{q}) + M_{\text{опору}}(q, \dot{q}) \quad (5.14)$$

Режими руху. Дослідження динаміки машини полягає в першу чергу у визначенні та аналізі особливих розв'язань отриманих вище диференціальних рівнянь руху, що відповідають деяким характерним режимам роботи.

Рух, що встановився характерний для машин, які протягом тривалого часу виконують робочий процес, що циклічно повторюється, або працюють у статичному режимі, при якому параметри робочого процесу і, зокрема, сили корисного опору залишаються постійними.

Перехідні процеси. До перехідних процесів належать:

1. **Розбіг**, в процесі якого машина зі стану спокою приходить до руху, що встановився.
2. **Вибіг**, у процесі якого машина переходить від руху до стану спокою.
3. **Перехідний процес** за умови зміни навантаження.
4. **Процес позиціонування** пов'язаний з переміщенням деякого робочого органу з одного положення до іншого, тобто з виконанням завдання позиціонування робочого органу.