

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ З ТРИВАЛИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Постановка задачі. Характер зміни продуктивності певних виробничих механізмів визначається гістограмою продуктивності за відповідний час роботи – добу, тиждень, місяць, рік (рис. 1).

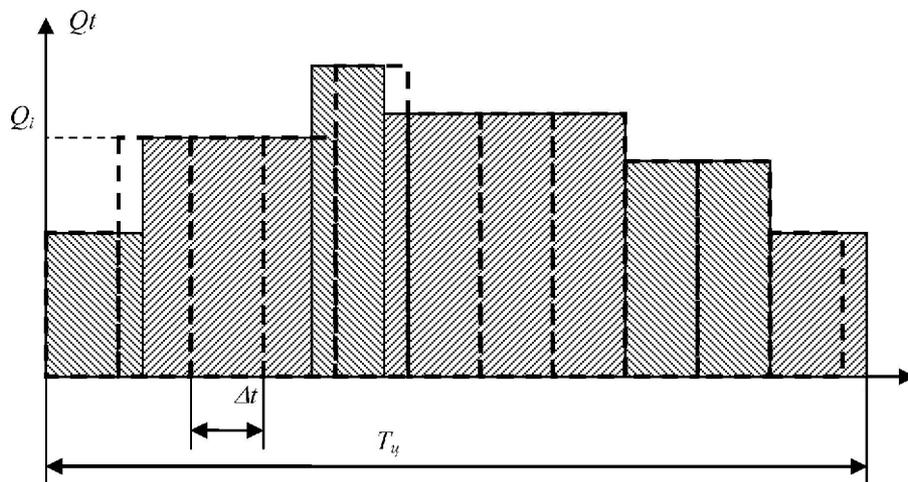


Рис.1. Гістограма продуктивності виробничого механізму.

Основною вимогою, що висувається до електропривода, є забезпечення заданих параметрів технологічного процесу. Тому регулювання енергетичних показників електропривода можливе тільки за умови виконання цих параметрів.

Зазвичай, продуктивність виробничого механізму пропорційна лінійній або кутовій швидкості робочого органу та, через коефіцієнт редукції, – кутовій швидкості електропривода. При цьому момент опору і використовувана потужність механізму тісно пов'язані з його продуктивністю. За типом механічних характеристик усі виробничі механізми можливо розділити на чотири групи:

- 1) момент опору не залежить від швидкості (механізми підйому, подачі верстатів і т.і.);
- 2) момент опору нелінійно залежить від швидкості (вентилятори, відцентрові насоси, центрифуги);
- 3) момент опору нелінійно зворотно пропорційний швидкості (моталки прокатних станів, механізми, що працюють з постійною потужністю);
- 4) лінійна залежність моменту опору від швидкості (електричний генератор).

Для трьох останніх класів механізмів регулювання продуктивності напряму призводить до зміни моменту опору і потужності виробничого механізму. Тому ставимо задачу регулювати продуктивність виробничого механізму з вентиляторним типом механічної характеристики засобами електропривода.

Рішення. Без суттєвої похибки базову гістограму (рис.1) можна спростити, привівши окремі її частини до одного відрізка часу Δt у межах циклу $T_{ц}$ і вважати, що гістограма є тахограмою механізму без врахування перехідних процесів розгону і гальмування.

Використовуючи вираз для відносної кутової швидкості

$$v = \omega / \omega_{ц}, \quad (1)$$

маємо тахограму виробничого механізму у відносних одиницях (рис.2).

У загальному вигляді для усіх груп механізмів момент опору можна описати формулою

$$M_c = M_{xx} + (M_{сн} - M_{xx}) \cdot v^\alpha, \quad (2)$$

де M_{xx} – момент неробочого ходу механізму; $M_{сн}$ – момент статичного опору при номінальній швидкості двигуна $\omega_{н}$; M_c – момент статичного опору при поточній швидкості ω ; α – степінь нелінійності залежності моменту опору від швидкості.

Згідно з поставленою задачею (вентиляторна механічна характеристика) розглядаємо випадок, коли $\alpha \geq 1$.

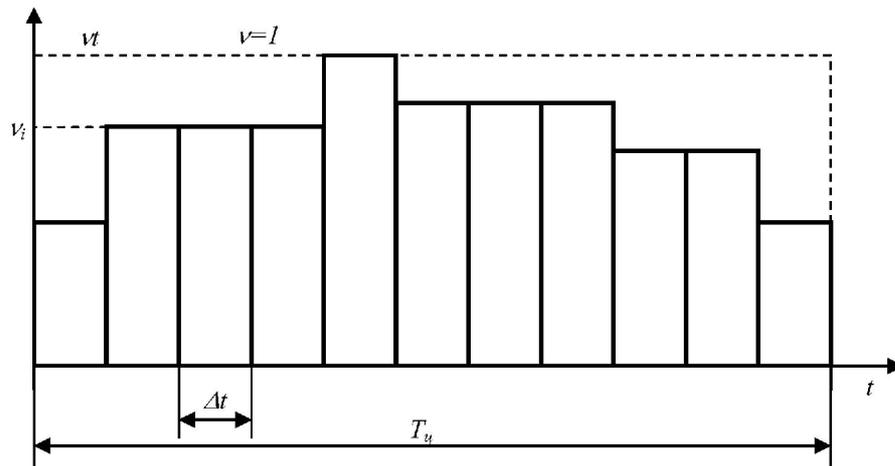


Рис.2. Тахограма виробничого механізму.

Приймаючи за базову величину моменту момент статичного опору при номінальній швидкості двигуна $M_{сн}$, отримуємо рівняння (2) у відносних одиницях

$$\mu_c = \mu_{xx} + (1 - \mu_{xx}) \cdot v^\alpha, \quad (3)$$

де $\mu_{xx} = M_{xx}/M_{сн}$, $\mu_c = M_c/M_{сн}$.

Корисна потужність, яка витрачається електроприводом на забезпечення продуктивності виробничого механізму

$$P_M = \mu_c \cdot v = [\mu_{xx} + (1 - \mu_{xx}) \cdot v^\alpha] \cdot v = \mu_{xx} \cdot v + (1 - \mu_{xx}) \cdot v^{\alpha+1}. \quad (4)$$

З врахуванням тахограми виробничого механізму (рис.2) і припущення, що μ_{xx} не залежить від швидкості v , потужність на кожному відрізку часу Δt тахограми (рис.2) визначатиметься

$$P_{M,i} = \mu_{xx} \cdot v_i + (1 - \mu_{xx}) \cdot (v_i)^{\alpha+1}. \quad (5)$$

Корисна робота електропривода за час циклу T_u становить

$$\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} P_{M,i} \cdot \Delta t = \mu_{xx} \cdot \sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i \cdot \Delta t + (1 - \mu_{xx}) \cdot \sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i^{\alpha+1} \cdot \Delta t \quad (6)$$

З рівняння (6) отримуємо середню потужність за цикл роботи

$$P_M^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} P_{M,i} \cdot \Delta t}{T_u} = \mu_{xx} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i \cdot \Delta t}{T_u} + (1 - \mu_{xx}) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i^{\alpha+1} \cdot \Delta t}{T_u}. \quad (7)$$

Приймаючи, що швидкість електропривода регулюється нижче від основної, тобто завжди $v_i \leq 1$, маємо, що

$$\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i \leq \frac{T_u}{\Delta t} \quad (8)$$

Нерівність (8) стає рівнянням тільки у випадку, коли увесь масив v_i дорівнює одиниці, і тахограма (рис.2) вироджується у прямокутник зі сторонами $v = 1$ і T_u . У цьому випадку продуктивність шляхом регулювання швидкості не відбувається.

Отримуємо коефіцієнт заповнення тахограми (гістограми), або середню продуктивність механізму за цикл роботи

$$q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i \cdot \Delta t}{T_u}. \quad (9)$$

Очевидно, що $q_{cp} \leq 1$. Відносна глибина регулювання продуктивності визначається як $1 - q_{cp}$.

Розглянемо співвідношення

$$k_\mu = \sum_{i=1}^{T_u/\Delta t} v_i^{\alpha+1} \cdot \frac{\Delta t}{T_u}. \quad (10)$$

Відносний опір механізму складається із постійної частини та складової, що залежить від швидкості. Вираз

(10) є середнім за цикл значенням складової опору, що залежить від швидкості. Тобто k_μ визначає степінь зміни моменту опору механізму в залежності від регулювання його продуктивності за цикл роботи. Очевидно, що $k_\mu \leq 1$.

Визначимо рівняння (8) через вирази (9) та (10)

$$p_M^{cp} = \mu_{xx} \cdot q_{cp} + (1 - \mu_{xx}) \cdot q_{cp} \cdot k_\mu = q_{cp} \cdot [\mu_{xx} + k_\mu \cdot (1 - \mu_{xx})]. \quad (11)$$

З рівняння (11) маємо залежність середньої за цикл роботи механізму потужності p_M^{cp} від середньої продуктивності q_{cp} (глибини регулювання $1 - q_{cp}$) при заданій залежності моменту опору від швидкості (рис.3).

Рівняння (11) можна використовувати для оцінки ефективності регулювання продуктивності виробничого механізму за рахунок зміни його швидкості.

Наприклад, для гістограми продуктивності (рис.1) знаходимо відносну середню продуктивність за цикл роботи за формулою (9). У даному випадку вона складає $q_{cp} = 0,786$, або $1 - q_{cp} = 0,214$ (рис.3).

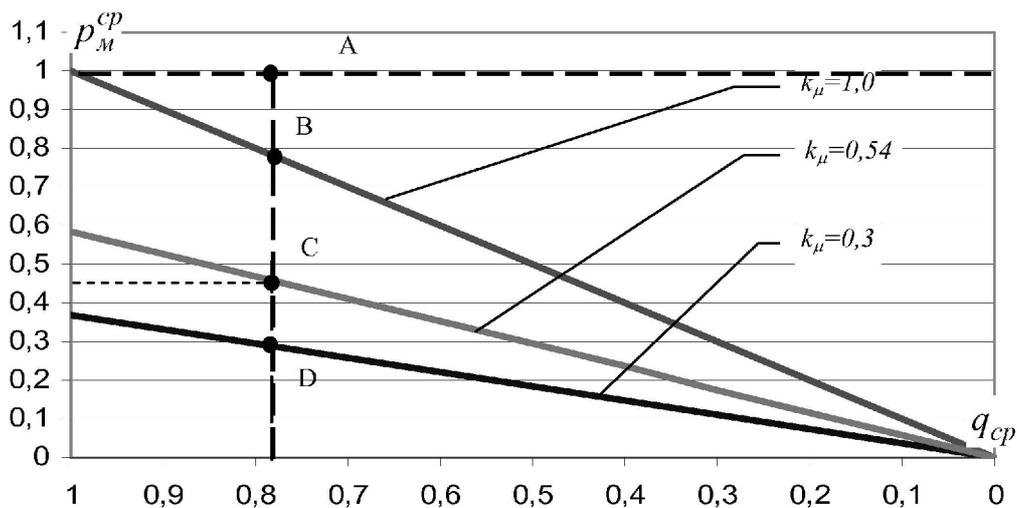


Рис. 3. Залежність середньої потужності від глибини регулювання продуктивності

Якщо механізм належить до однієї з чотирьох згаданих вище груп механізмів, це означає, що є відомою типова механічна характеристика механізму, тобто степінь α залежності моменту опору від швидкості. Використовуючи формулу (10), отримуємо коефіцієнт k_μ .

Припустимо, що гістограма (рис.1) належить турбомеханізму, тобто $\alpha = 2$. За формулою (10) отримуємо $k_\mu = 0,5423$. Момент неробочого ходу μ_{xx} залежить від технічного стану механізму і визначається окремо. У нашому випадку припустимо, що $\mu_{xx} = 0,1$.

Підставляючи отримані дані у формулу (11), знаходимо $p_M^{cp} = 0,4624$.

Таким чином, регулювання продуктивності турбомеханізму у середньому на 21,4% нижче номінальної за рахунок зменшення кутової швидкості обертання турбіни призводить до зменшення використання потужності до 46,24% від потужності при номінальній кутовій швидкості. Тобто при такій гістограмі продуктивності можливе зменшення використання енергії на 53,76%.

Високого ефекту від використання швидкісного регулювання продуктивності можна досягти тільки за умови, що номінальна продуктивність виробничого механізму відповідає максимальній продуктивності технологічного процесу, який він обслуговує. З рис.3 видно, що при малій середній продуктивності q_{cp} ефективність регулювання продуктивності за рахунок швидкості механізму суттєво знижується.

Важливо знати, при якій глибині регулювання середньої продуктивності доцільне використання зміни швидкості виробничого механізму. Відповідь на це питання дозволяє знайти співвідношення заощаджувальної потужності при регулюванні продуктивності механізму відносно середнього q_{cp} до заощаджувальної потужності від зниження середньої продуктивності за рахунок зміни швидкості. Графічно це виглядає як відношення відрізків ординат між графіками при $k_\mu = 0,3$ та $k_\mu = 0,54$:

$$\varepsilon_1 = \frac{AD}{AB}, \varepsilon_2 = \frac{AC}{AB}.$$

Для всього діапазону зміни q_{cp} залежність $\varepsilon(q_{cp})$ має вигляд (рис.4).

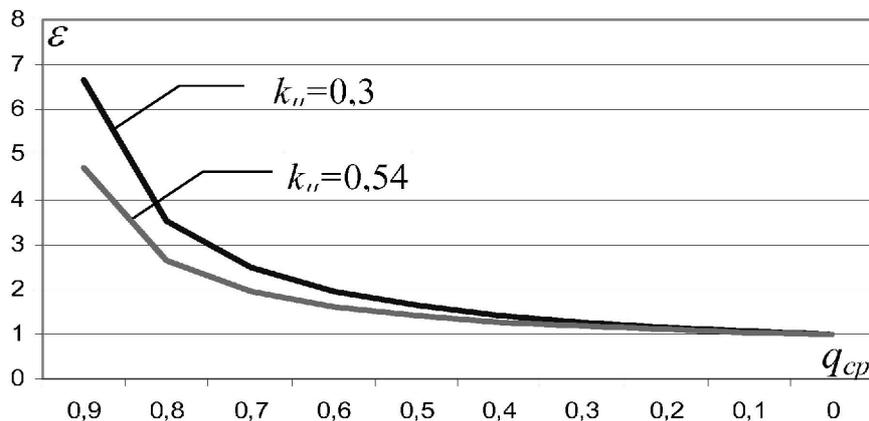


Рис.4. Залежність $\varepsilon(q_{cp})$

З рис.4 видно, що значний ефект економії енергії за рахунок регулювання швидкості за умови забезпечення заданої гістограми продуктивності досягається при середній продуктивності за цикл в межах $q_{cp}=1,0\dots0,6$. Тобто, якщо середня продуктивність механізму нижче 60%, це означає що на об'єкті встановлений механізм і перетворювач надлишкової потужності.

Висновки. 1. Регулювання продуктивності за рахунок зміни швидкості завжди дозволяє зменшити енерговитрати виробничого механізму. Ці витрати тим менші, чим глибше регулювання середньої продуктивності.

2. Степінь залежності моменту опору від швидкості суттєво впливає на витрати потужності. Тому при проектуванні слід вибирати виробничі механізми з якомога більшим показником α (відповідно, найменшим k_{μ}).

3. Регулювання продуктивності за рахунок швидкості механізму ефективне лише у діапазоні зміни середньої продуктивності не нижче 60% відносно максимальної. Якщо глибина регулювання більше ніж 40%, слід замінити робочу машину на іншу, з максимальною продуктивністю, що складає 60% від максимальної продуктивності попередньої робочої машини.

Список літератури:

[1] Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация промышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980.