

УДК 621.3.078

І. А. ВОЛОЩАК

**ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДА
РУЛОННИХ РОТАЦІЙНИХ МАШИН
ПРИ ПЕРЕХОДІ
ДО БАГАТОДВИГУННОЇ СИСТЕМИ**

Застосування на рулонних ротаційних машинах (РМ) багатодвигунного взаємозв'язаного електропривода (ВЕП) істотно спрощує і полегшує кінематичну схему. При цьому підвищується к. к. д. привода, зменшується установлена потужність електродвигунів, металомісткість машини, змінюється зведений момент інерції рухомих мас. Проаналізуємо зміну кожного з цих параметрів.

Запишемо вирази к. к. д. привода для РМ з загальним валом і для РМ, обладнаної системою ВЕП:

$$\eta = \frac{m P_d + P_\phi}{K_z P_n / \eta_n}, \quad (1)$$

$$\eta' = \frac{m P_d + P_\phi}{K_z (m P_{н.д} / \eta_{н.д} + P_{н.ф} / \eta_{н.ф})}. \quad (2)$$

де m — кількість секцій машини; P_d, P_ϕ — потужність, яку споживає друкарська секція і фальцапарат; P_n, η_n — номінальні потужність і к. к. д. головного двигуна; $P_{н.д}, P_{н.ф}, \eta_{п.д}, \eta_{н.ф}$ — номінальні потужності і к. к. д. двигунів друкарської секції і фальцапарата; K_3 — коефіцієнт завантаження головного двигуна; K_3' — коефіцієнт завантаження двигунів друкарської секції і фальцапарата (приймаємо, що він однаковий для обох двигунів).

Назвемо відношення $K_\eta = \eta'/\eta$ кратністю підвищення к. к. д. привода при переході до ВЕП. Поділивши (2) на (1), одержимо

$$K_\eta = \frac{K_3 P_n / \eta_n}{K_3' (m P_{н.д} / \eta_{п.д} + P_{н.ф} / \eta_{н.ф})} \quad (3)$$

Припустимо, що $\eta_n = \eta_{н.д} = \eta_{н.ф}$. При такому спрощенні помилка у визначенні K_η для реальних машин не перевищить 3...5%. Прийmemo також $P_{н.ф} / P_{н.д} = P_\phi / P_d$ і $K_3 = K_3'$. Тоді остаточно

$$K_\eta = \frac{P_n}{P_{н.д} (m + P_{\phi*})} \quad (4)$$

де $P_{\phi*} = P_\phi / P_d$ — відносна потужність фальцапарата.

Аналіз (4) показує, що ефект підвищення к. к. д. не залежить від кількості секцій, тому що при збільшенні m потужність P_n зростає пропорційно сумі $(m + P_{\phi*} / P_d)$:

$$P_n = P_{н.д1} (m + P_{\phi*}), \quad (5)$$

де $P_{н.д1}$ — номінальна потужність головного двигуна, яка припадає на одну друкарську секцію, і ця сума в (4) скорочується.

Насправді збільшення кількості секцій все ж призводить до деякого збільшення K_η , тому що за рахунок збільшення кількості послідовно з'єднаних муфт та інших передач на головному валі при зростанні m зменшується к. к. д. привода η .

Коли порівняти (4) з (1), то видно, що кратність підвищення к. к. д. визначається практично тільки значенням к. к. д. η існуючої механічної системи привода.

Запропонована методика придатна і для багатодвигунних РМ з загальним механічним валом.

У двосекційних дводвигунних машинах, які укомплектовані двома однаковими односекційними, коефіцієнт завантаження виявляється меншим, ніж при незалежній роботі однієї секції, тому що загальна потужність двигунів тут у два рази більша, а навантаження зростає лише на $P_{н.д1} = P_n \cdot (1 + P_{\phi*})$. Підставивши в (3) $K_3 / K_3' = (2 + P_{\phi*}) : 2(1 + P_{\phi*})$ і замість P_n $2P_n$, одержимо розрахункову формулу для цього випадку:

$$K_\eta = \frac{P_n}{P_{н.д} (1 + P_{\phi*})} \quad (6)$$

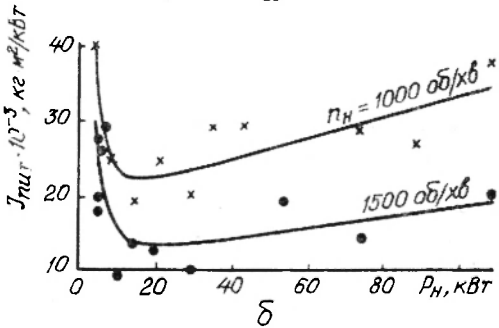
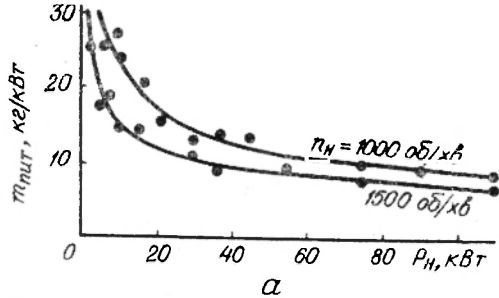
Відносно однодвигунної двосекційної машини потужність P_n збільшується у стільки разів, у скільки зменшується K_z . Отже, K_n не змінюється.

Розрахуємо значення K_n для реальної багатосекційної машини, яку надалі називатимемо базовою моделлю (БМ). Характеристики БМ $P_d=9$ кВт; $P_\phi=2,5$ кВт; $P_{\phi*}=0,28$; $P_n=15$ кВт при $m=1$; $n_n=1500$ об/хв відповідають секції офсетної РМ ПОГ-90.

Вибравши потужність індивідуального двигуна в системі ВЕП $P_{н.д}=1,1 \times P_d=9,9$ кВт, одержимо: при $m=1$ $K_n=15:9,9 \times 1,28=1,18$, а при $m=2$, згідно з (5), $P_{н.д1}=15:1,28=11,7$ кВт, $P_{н2}=27$ кВт і $K_n=1,18$. Те ж саме значення K_n дістаємо і за (6) для двосекційної машини ПОГ-90-22.

Отже, якщо для машини ПОГ-90 застосувати ВЕП, то його к. к. д. на 18% стає вищим к. к. д. існуючого привода.

Кратність зменшення установленної потужності P' двигунів у системі ВЕП по відношенню до номінальної потужності P_n головного двигуна машини дорівнює



Криві питомої маси за даними каталога.

$$K_p = \frac{P'}{P_n} = \frac{P_{н.д} + P_{н.ф}}{P_n}, \quad (7)$$

або

$$K_o = \frac{P_{н.д}(m + P_{\phi*})}{P_n} = \frac{1}{K_n}. \quad (8)$$

Таким чином, при переході до системи ВЕП сумарна потужність двигунів зменшується обернено пропорційно збільшенню к. к. д. привода. Зменшення потужності не залежить від кількості секцій.

Впровадження ВЕП на РМ неминуче супроводиться зменшенням металомісткості машини, за рахунок спрощення кінематичної схеми. Разом з тим, у зв'язку зі збільшенням кількості двигунів і зменшенням їх одиничної потужності, загальна маса двигунів повинна, на перший погляд, збільшитися. Вияснимо питання зміни загальної маси двигунів більш детально.

На рисунку, *a* побудовані за даними каталога криві питомої маси $m_{\text{пит}}$, що припадає на 1 кВт номінальної потужності P_n двигунів постійного струму незалежного збудження серії 2 ПН. Із графіка видно, що лише при переході від крупних двигунів до малих загальна маса двигунів помітно зростає.

Введемо поняття кратності зміни маси двигунів як відношення сумарної маси індивідуальних двигунів секцій m' при переході до системи ВЕП до маси головного двигуна m_n РМ:

$$K_m = \frac{m'}{m_n} \quad (9)$$

Виразимо маси двигунів через відповідні питомі маси. Тоді

$$K_m = \frac{m_{\text{пит.д}} P_{\text{н.д}} + m_{\text{пит.ф}} P_{\text{н.ф}}}{m_{\text{пит.н}} P_n} \quad (10)$$

Позначивши відносну масу фальцапарата $m_{\text{ф*}} = m_{\text{пит.ф}} P_{\text{н.ф}} / m_{\text{пит.д}} P_{\text{н.д}}$, одержимо

$$K_m = \frac{P_{\text{н.д}} m_{\text{пит.д}} (m + m_{\text{ф*}})}{m_{\text{пит.н}} P_n} \quad (11)$$

Як і раніше, можна прийняти $P_{\text{н.д}} = 1,1 P_d$.

У машинах малої і середньої потужності питома маса головного двигуна $m_{\text{пит.н}}$ менша питомої маси менш потужних двигунів друкарських секцій $m_{\text{пит.д}}$. Тому загальна маса двигунів дещо збільшується ($K_m > 1$). Наприклад, для двосекційної БМ відповідні питомі маси, згідно з рисунком, *a*, дорівнюють 10, 15, 31 кг/кВт і за формулою (11) $K_m = 1,42$.

Зі збільшенням потужності машин кратність зміни маси K_m зменшується. У потужних машинах, де $P_d > 20 \dots 22$ кВт, перехід до системи ВЕП приводить до зменшення маси двигунів ($K_m < 1$), тому що в області $P_n > 25$ кВт $m_{\text{пит.д}} \approx m_{\text{пит.н}}$. Наприклад, для однієї секції агрегата 2ГАУ ($P_n = 75$ кВт; $P_d = 32$ кВт; $P_f = 10,5$ кВт; $n_n = 1000$ об/хв); $K_m = 0,83$. Ще більший ефект у потужних дводвигунних машинах, які комплектуються з двох однакових секцій. Наприклад, у здвоєному агрегаті 2ГАУ ($P_n = 2 \cdot 75$ кВт) маса двигунів при переході до ВЕП зменшується на 33% ($K_m = 0,67$). У менш потужній машині ПОГ-90-22 ($P_n = 2 \cdot 15$ кВт, $P_d = 9$ кВт) маса двигунів уже не зменшується, а збільшується, хоча дуже незначно, всього на 3% проти 42% в однодвигунній двосекційній БМ. Цей приклад показує, що у випадку дводвигунних двосекційних машин маса двигунів при переході до ВЕП зменшується вже у машинах відносно невеликої потужності, у яких $P_d > 9 \dots 10$ кВт.

Чим більше секцій у машині, тим помітніше змінюється маса. Це наочно ілюструє таблиця, у якій зведені результати розрахунку величини K_m для БМ. За формулою (5) $P_n = 11,7 (m + 0,28)$.

Динамічні властивості машини визначаються значенням моменту інерції привода: чим менший зведений до вала двигуна

момент інерції, тим менша електромеханічна стала часу привода і час перехідних процесів, тим швидше згасають крутильні коливання в приводі. Тому конструктори друкарських машин намагаються зменшити зведений момент інерції машини. Наприклад, Е. А. Воронов рекомендує при створенні механічних систем приводів РМ з низьким рівнем крутильних коливань керуватися умовою

$$I_{\text{пр}} < 10 I_{\text{Г.д}}, \quad (12)$$

де $I_{\text{пр}}$ — зведений до вала двигуна момент інерції машини; $I_{\text{Г.д}}$ — момент інерції якоря головного двигуна.

При переході до системи ВЕП із кінематичної схеми машини виключається багато елементів передач і за рахунок цього дещо зменшується зведений до вала кожного індивідуального двигуна момент інерції.

Проте з огляду на велику різноманітність кінематичних схем різних РМ, виявити кількісні закономірності впливу передач на зниження моменту інерції привода важко. Більш чіткому врахуванню піддаються моменти інерції роторів електродвигунів.

Перехід до системи ВЕП супроводжується зменшенням одиначної потужності двигунів. Вияснимо, як при цьому змінюється зведений момент інерції.

Якщо проаналізувати залежність моменту інерції роторів електродвигунів від їх номінальної потужності, то можна побачити, що питомий момент інерції роторів $I_{\text{пит}}$ знаходиться у межах $(10 \dots 20) \cdot 10^{-3}$ кгм²/кВт для двигунів $n_{\text{рт}} = 1500$ об/хв і $(20 \dots 30) \cdot 10^{-3}$ кгм²/кВт для двигунів $n_{\text{рт}} = 1000$ об/хв. У межах потужностей від 10 до 110 кВт спостерігається тенденція до незначного зменшення $I_{\text{пит}}$ зі зниженням $P_{\text{н}}$. Це простежується за усередненими графіками питомого моменту інерції (див. рисунок), побудованими згідно з каталожними даними двигунів серії 2ПН.

Запишемо відносне значення моменту інерції привода машини:

$$\gamma = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{Г.д}}} = \frac{m I_{\text{д}} + I_{\text{О}}}{I_{\text{Г.д}}} \quad (13)$$

і друкарської секції при переході до ВЕП

$$\gamma' = \frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{д.д}}}, \quad (14)$$

де $I_{\text{д}}$, $I_{\text{ф}}$ — зведений до вала двигуна момент інерції друкарської секції і фальцапарата; $I_{\text{д.д}}$ — момент інерції якоря двигуна друкарської секції.

Розрахунок величини K_m і K_{γ} для БМ

m	$P_{\text{н}}$, кВт	K_m	$I_{\text{Г.д}}$, кгм ²	K_I	K_{γ}
1	15	1,25	0,18	0,88	1,24
2	27	1,42	0,35	0,48	1,26
4	50	1,64	0,80	0,26	1,51
6	73	1,81	1,24	0,17	1,56

Назвемо кратністю зміни відносного моменту інерції привода при переході до ВЕП відношення

$$K_{\gamma} = \frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{I_{г.д}}{I_{д.д} (m + I_{\phi}/I_{д})}. \quad (15)$$

Формула (15) показує, що відносний момент інерції привода при переході до системи ВЕП збільшується приблизно у стільки разів, у скільки момент інерції головного двигуна виявляється більшим сумарного моменту інерції двигунів друкарських секцій.

Виразимо моменти інерції через їхні питомі значення. Тоді

$$K_{\gamma} = \frac{I_{\text{пит.г.д}} P_{н}}{I_{\text{пит.д.д}} P_{н.д} (m + I_{\phi}/I_{д})}. \quad (16)$$

Як приклад розрахуємо K_{γ} для машини ПОГ-90-11, у якій $I_{д}=1,66$ кгм²; $I_{\phi}=0,2$ кгм²; $P_{н}=15$ кВт і $P_{н.д}=9,9$ кВт. Відповідно до рисунка знаходимо $I_{г.д}=0,18$ кгм² і $I_{д.д}=0,13$ кгм². Отже, $\gamma'=12,8$; $\gamma=10,3$ і $K_{\gamma}=1,24$. Таким чином, зведений до вала двигуна відносний момент інерції збільшується на 24%.

При збільшенні кількості секцій машини відносний момент інерції зростає дещо помітніше за рахунок підвищення питомого моменту інерції головного двигуна $I_{\text{пит.г.д}}$, який зростає зі збільшенням потужності (див. рисунок). Це наглядно підтверджують результати розрахунку залежності K_{γ} від m для БМ РМ (див. таблицю).

Збільшення відносного моменту інерції привода при переході до ВЕП належить признати незначним. Адже при заміні двигунів з номінальною частотою обертання 1000 об/хв, якими обладнані деякі РМ, на двигуни 1500 об/хв (така заміна рекомендується Е. А. Вороновим) зведений момент інерції змінюється набагато більше. Дійсно, згідно з рисунком, питомий момент інерції двигунів 1500 об/хв приблизно в два рази нижчий, ніж у двигунів 1000 об/хв. Цей факт додатково підтверджує доцільність застосування для РМ двигунів з високою частотою обертання.

Швидкість протікання перехідних процесів у системі ВЕП визначається не сумарним моментом інерції електропривода машини, як в однодвигунній системі привода, а моментом інерції електропривода окремої секції $I' = I_{д} + I_{д.д}$. Якщо відносне значення моменту інерції при переході до ВЕП γ' збільшується, то абсолютне значення I' зменшується, причому значно сильніше — приблизно пропорційно кількості секцій машини.

Кратність зменшення моменту інерції електропривода

$$K_I = \frac{I'}{I} = \frac{I_{д} + I_{д.д}}{m I_{д} + I_{\phi} + I_{г.д}}. \quad (17)$$

Враховуючи, що $I_{д.д} \ll I_{д}$, а при $m \geq 2$ ($I_{\phi} + I_{г.д} \ll m I_{д}$), будемо мати $K_I \approx \frac{1}{m}$ (див. таблицю).

Зменшується також сумарний момент інерції якорів електродвигунів:

$$K_{I\Sigma} = \frac{m I_{\text{я.л}}}{I_{\text{Г.д}}}, \quad (18)$$

Наприклад, для БМ при $m=1$ на 28%, а при $m=6$ на 37%.

Стаття надійшла до редколегії 05.04.85
