

**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ТА ЗАКОН ОПТИМАЛЬНОГО
КЕРУВАННЯ МОТОБЛОКОМ З ТЯГОВИМ
ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Ковальов О.В., магістр

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел/факс (80619) 42-31-59

Анотація - робота присвячена отриманню рівняння енергетичного балансу мотоблока з електроприводом, основних енергетичних співвідношень, що визначають властивості тягового електродвигуна та обґрунтуванню закону оптимального керування тягового електродвигуна постійного струму по максимуму ККД.

Ключові слова – мотоблок, енергетичний баланс, тяговий електродвигун, закон керування, коефіцієнт корисної дії.

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво в Україні та за кордоном характеризується масовим застосуванням мобільних енергетичних засобів малої механізації у вигляді малогабаритних мотоблоків (МБ), міні-тракторів та різноманітних спеціалізованих агрегатів в основному з двигунами внутрішнього згорання ДВЗ [5]. В той же час проведені в НВО ВІСХОМ (Росія) та ІМЕСГ УААН (Україна) порівняльні випробування виявили, що електрифіковані мотоблоки з тяговими електродвигунами постійного та змінного струму мають ряд переваг в порівнянні з мотоблоком з двигуном внутрішнього згорання, наприклад, легкість керування, простота пуску та зупинки, надійність та економічність у роботі, відсутність загазованості навколишнього середовища [4,5]. Про ефективність мотоблоків з електроприводом свідчать і проведена порівняльна техніко-енергетична оцінка найбільш розповсюджених мотоблоків [6]. При цьому слід відмітити, що питання енергетики та керування мотоблоків з електроприводом не отримали чинного розвитку і відбиття в технічній літературі. Тому нам представляється, що дана робота є актуальною і сучасною.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є отримання рівняння енергетичного балансу МБ з електроприводом та основних енергетичних співвідношень, що визначають властивості ТЕД в приводі МБ, а також обґрунтування закону оптимального керування тягового електродвигуна постійного струму по максимуму ККД.

Основна частина. Мотоблоки з електроприводом можуть бути класифіковані за наступними ознаками: по виду джерела електропостачання – з централізованим або автономним, по роду струму тягового

електродвигуна – постійного або змінного, а також по конструктивному виконанню механічної передачі та ведучих коліс та ін.

На кафедрі АЕП ТДАТУ з урахуванням рекомендацій по конструюванню мотоблоків, приведених в [3,4] та іншій технічній літературі, було виготовлено дослідний зразок мотоблока з тяговим електродвигуном постійного струму та централізованим електропостачанням від мережі змінного струму через гнучкий кабель та керований випрямлювач. Загальний вигляд дослідного зразка мотоблока МБ-КЭП представлено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Загальний вигляд дослідного зразка мотоблока МБ-КЭП
Технічна характеристика мотоблока приведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічна характеристика мотоблока МБ-КЭП.

Номінальна потужність двигуна, кВт	0,85
Тип редуктора	М1463А
Передаточне число редуктора	63
Продуктивність, га/год.	0,23
Швидкість, км/год.	2...5
Кількість передач вперед (назад)	5 (2)
Габаритні розміри, мм	
- довжина	1250
- ширина	550
- висота	940
Маса, кг	70
Колеса: - матеріал виготовлення	Металеві
- ширина, мм	50
- кількість ґрунтозацепів, шт.	20

Процес перетворення енергії при роботі мотоблока з електроприводом та централізованим електропостачанням наочно може бути представлено у вигляді структурної схеми енергетичного каналу мотоблока, що представлено на рисунку 2.

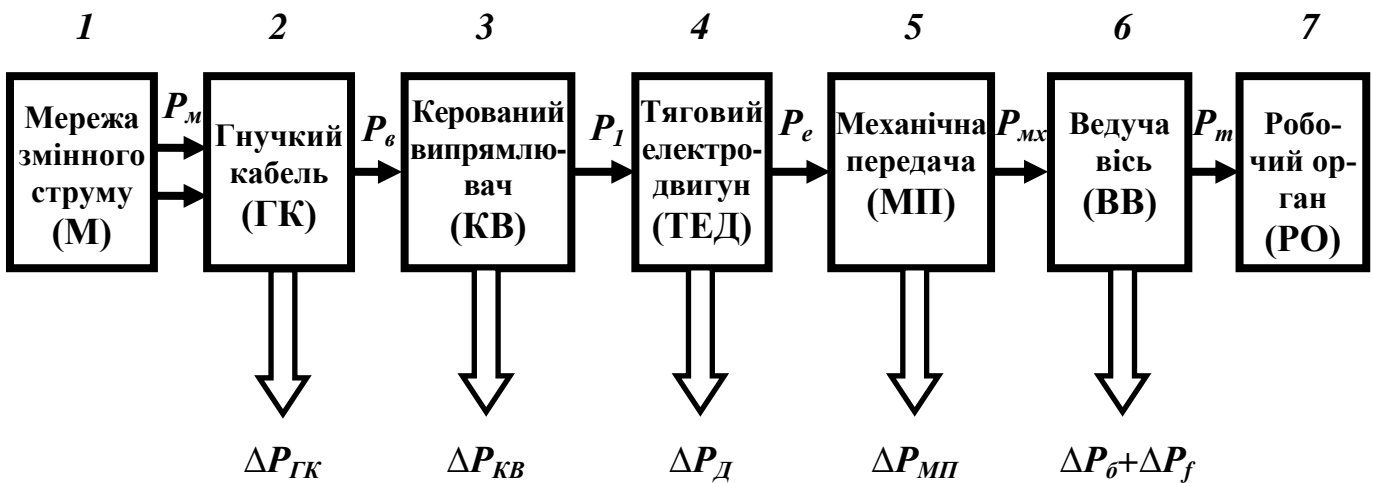


Рисунок 2 – Структурна схема енергетичного каналу мотоблока

На схемі енергетичного каналу мотоблока позначено:

P_m – електрична потужність що споживана з мережі;

P_e – електрична потужність на ввіді мотоблока;

P_1 – приєднана потужність тягового електродвигуна;

P_e – ефективна або корисна потужність тягового електродвигуна;

$P_{мх}$ – механічна потужність що подається на ведучу вісь мотоблока;

P_m – тягова потужність на робочому органі;

$\Delta P_{ГК}$ – електричні втрати в живлячому гнучкому кабелі;

$\Delta P_{КВ}$ – втрати в керованому випрямлювачі;

$\Delta P_{Д}$ – сумарні втрати в тяговому електродвигуні;

$\Delta P_{МП}$ – втрати в механічній передачі;

$\Delta P_{б}$ – втрати на буксування коліс;

ΔP_f – втрати на перекочування коліс.

$\Delta P_{б} + \Delta P_f$ – втрати в ходовій системі МБ на буксування та перекочування коліс.

У відповідності з наведеною на рис. 2 структурою енергетичного каналу, ефективність мотоблока може бути оцінена рівнянням енергетичного балансу МБ в наступному вигляді

$$P_e = P_1 - \Delta P_{\text{д}} = \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{б}} + \Delta P_f + P_m. \quad (1)$$

Рівняння (1) відображає режим роботи мотоблока при незмінності P_1 та P_m , а також швидкості руху МБ – v . В реальних умовах роботи МБ, наприклад при оранці, величина P_m постійно змінюється, що призводить до нестабільності енергетичного балансу МБ.

Оцінку тягових властивостей МБ можна провести за величиною його тягового ККД

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_e}. \quad (2)$$

З урахуванням втрат енергії в механічній передачі ($\Delta P_{МП}$) та в ходовій системі МБ на буксування (ΔP_{δ}) та перекочування коліс (ΔP_f) тяговий ККД буде визначений рівнянням

$$\eta_m = \eta_{mn} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f, \quad (3)$$

де η_{mn} – ККД механічної передачі;

η_{δ} – ККД буксування;

η_f – ККД перекочування.

Величина тягового зусилля пов'язана з тяговою потужністю рівнянням

$$F_m = \frac{P_m}{v}. \quad (4)$$

З урахуванням рівнянь (2) та (3) маємо

$$F_m = \frac{P_e}{v} \cdot \eta_{mn} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f. \quad (5)$$

Згідно рівнянь (2) та (5), величина тягової потужності та тягового зусилля МБ при заданій швидкості залежать від v та незмінній величині ефективної потужності залежать від тягового ККД.

$$P_m = F_m \cdot v = P_e \cdot \eta_m = P_e \cdot \eta_{mn} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f. \quad (6)$$

В [4] для визначення тягової потужності МБ запропоноване рівняння виду

$$P_m = \frac{(F_m + f \cdot G_{m\delta}) \cdot v}{\eta_{mn} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f}, \quad (7)$$

де f – коефіцієнт опору пересуванню мотоблока;

$G_{m\delta}$ – експлуатаційна вага або сила тяжіння МБ, кН;

В межах оптимального режиму роботи МБ залежність між швидкістю руху та тяговим зусиллям МБ повинна мати гіперболічний характер. Дійсно, згідно рівняння (5) ідеальна тягова характеристика може бути виражена співвідношенням

$$P_m = F_m \cdot v = P_e \cdot \eta_m = const. \quad (8)$$

При використанні в якості тягового двигуна постійного струму послідовного збудження, співвідношення (8) може дотримуватися автоматично.

Тяговий момент що розвиває МБ визначається по рівнянню

$$M_m = F_m \cdot R_k = M \cdot i_{mn} \cdot \eta_m, \quad (9)$$

де F_m – тягове зусилля, Н;

R_k – радіус кочення колеса, м;

M – електромагнітний момент ТЕД, Н·м;
 i_{mn} – передаточне відношення механічної передачі.
 Звідки електромагнітний момент ТЕД

$$M = \frac{R_k \cdot F_m}{i_{mn} \cdot \eta_{mn} \cdot \eta_b \cdot \eta_f}, \quad (10)$$

та кутова швидкість

$$\omega = \frac{i_{mn} \cdot v}{R_k}. \quad (11)$$

Тягова характеристика МБ, як і інших мобільних енергетичних засобів представляє собою залежність

$$F_m = f(v) \text{ при } P_1 = const. \quad (12)$$

По наведеній механічній характеристиці $F_m = f(v)$ можливо побудувати механічну характеристику ТЕД $M=f(\omega)$ з використанням співвідношень (10) та (11). Гранична механічна характеристика ТЕД наведена на рисунку 3.

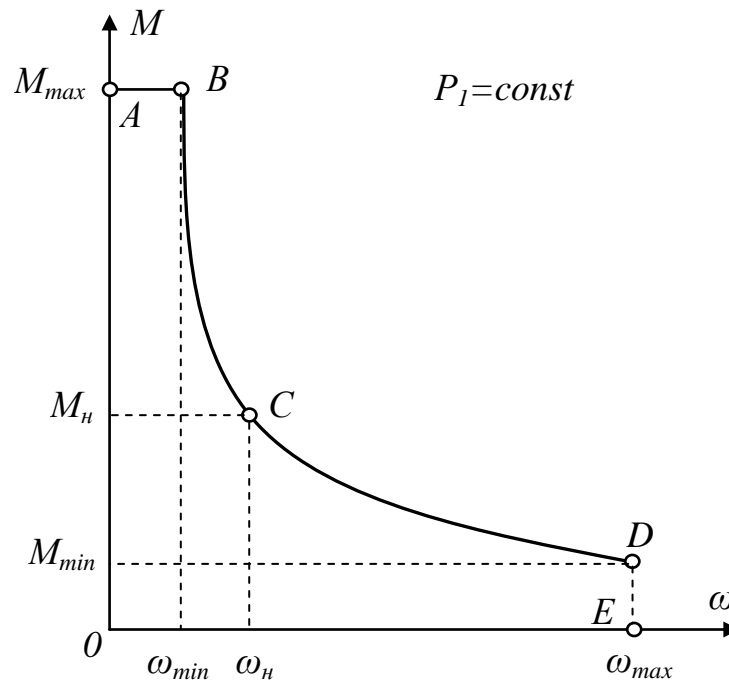


Рисунок 3 – Гранична механічна характеристика тягового електро-двигуна постійного струму

Згідно [3] властивості ТЕД постійного струму в сталому режимі можуть бути описані наступною системою рівнянь

$$U = E_a + I_a R_a \quad (12)$$

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (13)$$

$$M = k \cdot \Phi \cdot I \quad (14)$$

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{M \cdot R_a}{k^2 \cdot \Phi^2} \quad (15)$$

де U – напруга, що підключається до обмотки якоря;

E_a – ЕРС якоря;

I_a, R_a – струм та опір мережі якоря;

Φ – основний магнітний потік збудження;

k – постійний коефіцієнт, що визначає параметри якоря ДПС;

M – електромагнітний момент електродвигуна;

ω – кутова швидкість двигуна.

$$R_a = R_{я} + R_{\partial n} + R_{\partial n z} + R_{щ}, \quad (16)$$

де $R_{я}, R_{\partial n}, R_{\partial n z}, R_{щ}$ – відповідно, опори обмотки якоря, додаткових полюсів, обмотки послідовного збудження та в щітковому контакті колектора.

В каталогах ДПС, як правило, наведено данні опорів обмоток, що входять до ланцюга якоря.

ККД ТЕД визначається співвідношенням

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \quad (17)$$

або через втрати

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_0 + \kappa_3^2 \cdot \Delta P_{ен}}{\kappa_3^2 P_2 + \Delta P_0 + \kappa_3^2 \cdot \Delta P_{ен}}, \quad (18)$$

де ΔP_0 – постійні втрати в ТЕД;

$\Delta P_{ен}$ – змінні навантажувальні втрати при номінальному навантаженні;

κ_3 – коефіцієнт завантаження двигуна.

При цьому

$$\Delta P_0 = \Delta P_{мх} + \Delta P_{мг} + \Delta P_{\partial}; \quad (19)$$

$$\Delta P_{ен} = \Delta P_{ea} + \Delta P_{зб} + \Delta P_{щ}; \quad (20)$$

$$\kappa_3 = \frac{P_2}{P_{2н}}, \quad (21)$$

де $\Delta P_{мх}$ – механічні втрати на тертя в підшипниках;

$\Delta P_{мг}$ – магнітні втрати на віхрові струми та гістерезис в магнітопроводі ЕД від основного магнітного поля;

ΔP_{∂} – додаткові електричні та магнітні втрати від полів вищих гармонік;

ΔP_{ea} – електричні втрати в ланцюзі обмотки якоря;

$\Delta P_{зб}$ – електричні втрати в обмотці збудження;

$\Delta P_{щ}$ – електричні втрати в щітковому контакті на колекторі;

При цьому

$$\begin{aligned}\Delta P_{ea} &= I^2 \cdot R_a; & \Delta P_{зб} &= \beta_{он}^2 I^2 \cdot R_{онз}; \\ \Delta P_{щ} &= \Delta U_{щ} \cdot I; & \Delta P_{мх} &= \Delta P_{мхн} \cdot \omega^{1,5}; \\ \Delta P_{мг} &= \Delta P_{мгн} \cdot \Phi^2 \cdot \omega^{1,5}; & \Delta P_{\delta} &= 0,01 P_{Iн}.\end{aligned}$$

де $\Delta U_{щ}$ – падіння напруги в щітковому контакті.

$\Delta P_{мхн}$, $\Delta P_{мгн}$ – механічні та магнітні втрати при номінальному навантаженні. Розрахунок втрат $\Delta P_{мхн}$ та $\Delta P_{мгн}$ наведено в [1, 3].

Умовою отримання максимального ККД в ТЕД у відповідності з (18) є рівність постійних та змінних втрат, тобто

$$\Delta P_{\delta} = \kappa_{зм}^2 \Delta P_{ен}, \quad (22)$$

$\kappa_{зм}$ – коефіцієнт завантаження, при якому ККД ТЕД буде максимальним.

Рівняння (12)...(13) та (22) з урахуванням (19) та (20) дозволяють визначити умови та режими керування ТЕД постійного струму в приводі МБ для реалізації закону регулювання $M(\omega)$ на всіх інтервалах кутових швидкостей. Розділивши рівняння (12) зліва та справа на U_n з урахуванням (13) отримаємо рівняння, що визначає керування ТЕД зміною магнітного потоку на напруги у в.о.

$$U_* = (I - \Delta U_n) \cdot \Phi_* \cdot \omega_* \cdot \Delta U_{н*} \cdot I_*, \quad (23)$$

$$\text{якщо } U_* = \frac{U}{U_n}; \quad \Phi_* = \frac{\Phi}{\Phi_n}; \quad \omega_* = \frac{\omega}{\omega_n}; \quad I_* = \frac{I}{I_n};$$

ΔU_n – падіння напруги в якірному ланцюзі двигуна при номінальному струмі.

При цьому для ДПС послідовного та змішаного збудження

$$\Delta U_{н*} = \frac{I}{U_n} [(R_{я} + R_{он}) + \beta_{он} R_{онз}], \quad (24)$$

$\beta_{он}$ – коефіцієнт ослаблення магнітного поля шляхом шунтування деяким опором обмотки послідовного збудження $\beta_{он} = I_{зб*} / I_{збн*}$.

Потужність, що споживає ТЕД

$$P_{I*} = U_* \cdot I_*, \quad (25)$$

З урахуванням того, що $P_{I*} = \frac{P}{P_{Iн}} = I$, то

$$I_* = \frac{I}{U_*} \quad (26)$$

Згідно з (17) потужність на валу ТЕД

$$P_{2*} = \frac{\eta \cdot P_{2*}}{\eta_n}. \quad (27)$$

Згідно з (14) електромагнітний момент

$$M_* = \Phi_{я} \cdot I_*. \quad (28)$$

Корисний момент на валу ТЕД

$$M_{2*} = \frac{P_{2*}}{\omega_*}. \quad (29)$$

Струм паралельної обмотки збудження ДПС

$$I_{зб*} = \frac{I_{зб}}{I_{збн}}.$$

Зупинимося більш докладніше на умові керування ТЕД в приводі МБ по максимуму ККД. Принцип регулювання електричних машин по мінімуму електромагнітних втрат було обґрунтовано в [7]. У відповідності з цим принципом магнітний потік при його регулюванні визначається виразом

$$\Phi_* = \frac{E_*}{\omega_*} = \sqrt{M_*}. \quad (30)$$

Як показано в [2] стосовно до ТЕД постійного струму принцип регулювання магнітного потоку можна використовувати тільки в обмеженому інтервалі швидкостей АД, а саме $I \leq \omega_* \leq \omega_{I*}$, де кутова швидкість, що відповідає виходу ТЕД на режим постійного значення напруги U_{max*} . В інших діапазонах швидкостей його застосування не забезпечує формування механічної характеристики $M(\omega)$ при високому електромагнітному ККД. Заслужовує увагу принцип керування ТЕД в приводі електромобілів, запропонований в [1]. Однак через складність запропонованих залежностей U_* в функції втрат, практична реалізація запропонованого закону керування стосовно МБ з електроприводом постійного струму є досить ускладнена. Співвідношення (22) дозволяє отримати легкий для реалізації на практиці закон керування ТЕД по максимуму ККД. Згідно з (22) коефіцієнт завантаження, що забезпечує максимум ККД буде дорівнювати

$$K_{зм}^2 = \frac{\Delta P_{mx} + \Delta P_{me} + \Delta P_{\partial}}{\Delta P_{ea} + \Delta P_{зб} + \Delta P_{ц}}. \quad (31)$$

Окремі види втрат в (31) можна представити в вигляді

$$K_{зм}^2 = \frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{I*}}{a_4 I_*^2 + a_5 \beta_{он}^2 I_*^2 + a_6 I_*}, \quad (32)$$

де $a_1 \dots a_6$ – представляють собою співвідношення складових втрат в ДПС в номінальному режимі до сумарних номінальних втрат двигуна

$$\begin{aligned}
a_1 &= \frac{\Delta P_{\text{мхн}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}}; & a_2 &= \frac{\Delta P_{\text{м2н}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}}; & a_3 &= \frac{\Delta P_{\text{дн}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}}; \\
a_4 &= \frac{\Delta P_{\text{еан}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}}; & a_5 &= \frac{\Delta P_{\text{е3бн}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}}; & a_6 &= \frac{\Delta P_{\text{цн}}}{\Sigma \Delta P_{\text{н}}};
\end{aligned}
\tag{33}$$

При цьому

$$\Sigma \Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \frac{1-\eta}{\eta}
\tag{34}$$

З урахуванням згідно з (26) $I_* = 1/U_*$, то після підстановки в (31), будемо мати

$$U_* = \kappa_{\text{з.м}} \cdot \sqrt{\frac{a_1 \omega_* + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{1*}}{a_4 P_{1*}^2 + a_5 \beta_{\text{он}}^2 P_{1*}^2 + a_6 P_{1*}}}
\tag{35}$$

Рівняння (35) визначає закон оптимального керування ТЕД постійного струму з умовою забезпечення максимального ККД двигуна при $P_{1*} = \text{const}$ при зміні швидкості від ω_{min} до ω_{max} згідно механічної характеристики на рисунку 3.

За даними [1,3] коефіцієнти $a_1 \dots a_6$ ТЕД постійного струму малої та середньої потужності відрізняються не значно. З цієї причини в попередніх розрахунках при виборі ТЕД для привода МБ можна використовувати середні значення $a_1 \dots a_6$.

Слід ввести поняття закону керування ТЕД в приводі МБ. Стосовно до ДПС закон керування представляє собою сукупність умов зміни параметрів в вигляді напруги (U_*) та магнітного потоку (Φ_*) в визначеному інтервалі зміни швидкості обертання (ω_*), що забезпечує реалізацію механічної характеристики двигуна $M(\omega)$ з урахуванням вимог до неї. Згідно таблиці 2, всі діапазони зміни кутової характеристики можуть бути реалізовані сполученням конкретних умов зміни параметрів керування двигуна (U_* , Φ_*). Пусковий режим двигуна з метою зниження величини пускового струму забезпечується значенням живлячої напруги $U_* = 0,1$ та пускового струму $I_{\text{n.max}} = 2$ при $\beta_{\text{он}} = 1$. Також слід підкреслити важливу обставину, що в таблиці 2 наведена програма зміни параметрів керування (U_* ; Φ_* ; $\beta_{\text{он}}$) в діапазоні зміни кутової швидкості $\omega_{\text{min}*} \leq \omega_* \leq \omega_{\text{max}*}$ при потужності $P_{1*} = 1$, що забезпечує закон керування ТЕД по максимуму ККД.

В таблиці 2 наведено програму реалізації закону оптимального керування по максимуму ККД ТЕД постійного струму в приводі МБ.

Таблиця 2 – Програма реалізації закону оптимального керування по умові максимуму ККД тягового ДПС в приводі МБ

Інтервал кутової швидкості	Вимоги заданої механічної характеристики	ДПС послідовного збудження		ДПС змішаного збудження	
		Закон керування	Варіант керування	Закон керування	Варіант керування
$0 \leq \omega_* \leq \omega_{min}^*$	$M_* = M_{max}^*$ $I_* = I_{max}^* = 2$ $U_{min}^* = 0,1$	$\Phi_* = 1; \beta_{o.n.} = 1$ $U_{min}^* = (1 - \Delta U_{H^*}) \cdot \omega_{min}^* \cdot \Phi_* + I_{max}^* \cdot \Delta U_{H^*}$	1	$\Phi_* = \Phi_{max}^*; \beta_{o.n.} = 1; I_{3\sigma}^* = 1$ $U_{min}^* = (1 - \Delta U_{H^*}) \cdot \omega_{min}^* \cdot \Phi_* + I_{max}^* \cdot \Delta U_{H^*}$	4
$\omega_{min}^* \leq \omega_* \leq 1$	$P_{I^*} = 1$ $I_* = \frac{1}{U_*}$	$\Phi_* = \Phi(I_*); \beta_{o.n.} = 1; \kappa_{3M} = 0,7 \dots 0,8$ $U_* = \kappa_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{I^*}}{a_4 P_{I^*}^2 + a_5 \beta_{on}^2 P_{I^*}^2 + a_6 P_{I^*}} \right)^{0,5}$	2	$\Phi_* = \Phi(I_*, I_{3\sigma}^*); \beta_{o.n.} = 1; \kappa_{3M} = 0,7 \dots 0,8$ $U_* = \frac{1}{I_*}$ $U_* = \kappa_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{I^*}}{a_4 P_{I^*}^2 + a_5 \beta_{on}^2 P_{I^*}^2 + a_6 P_{I^*}} \right)^{0,5}$	5
$1 \leq \omega_* \leq \omega_{max}^*$	$P_{I^*} = 1$ $I_* = \frac{1}{U_*}$	$\Phi_* = \Phi(\beta_{o.n.}, I_*); \beta_{o.n.} = 0,9$ $U_* = \kappa_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{I^*}}{a_4 P_{I^*}^2 + a_5 \beta_{on}^2 P_{I^*}^2 + a_6 P_{I^*}} \right)^{0,5}$	3	$\Phi_* = \Phi(I_*, I_{3\sigma}^*); \beta_{o.n.} = 1;$ $I_{3\sigma}^* = I_{3\sigma}^*(I_*); U_* = \frac{1}{I_*}$ $U_* = \kappa_{3M} \cdot \left(\frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3 P_{I^*}}{a_4 P_{I^*}^2 + a_5 \beta_{on}^2 P_{I^*}^2 + a_6 P_{I^*}} \right)^{0,5}$	6

Висновки. 1 Запропоновано структурну схему енергетичного каналу МБ з електроприводом, що наочно представляє процеси перетворення енергії при роботі МБ.

2 Отримано рівняння енергетичного балансу МБ з електроприводом та основні енергетичні співвідношення, що визначають властивості ТЕД в приводі МБ.

3 Обґрунтовано закон оптимального керування ТЕД постійного струму по максимуму ККД. Запропоновано програму реалізації закону оптимального керування ДПС послідовного та змішаного збудження.

Література.

1. Электрические машины в тяговом автономном электроприводе / Андреев Ю.М., Исаакян К.Г., Машихин А.Д. и др., Под ред. А.П. Пролыгина.- М. : Энергия, 1979. – 240 с.

2. Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств / И.Е. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев и др. – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

3. Проектирование тяговых электрических машин. / Находкин М.Д., Василенко Т.В., Багирова В.И. и др., Под ред. М.Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

4. Кусов Т.Т. Создание энергетических средств с электромеханическим приводом // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1988, № 10. с. 12-17.

5. Корчемный М., Савченко І., Юсупов Н., Гусаков С. Электропривод мобільного агрегату // Електрифікація, 1997, № 8. – с. 30-31.

6. Ковальов О.В., Катюха А.А., Назар'ян Г.Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків // Праці ТДАТА. Вип. 7. Том 3. Наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. - с. 93-99.

7. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.

POWER BALANCE AND LAW OF OPTIMUM MANAGEMENT A MOTOR-BLOCK IS WITH HAULING ELECTRIC MOTOR OF DIRECT CURRENT

A. Kovalyov

Summary

Work is devoted the receipt of equalization of power balance of motor-block with electric motor, basic power correlations which determine properties of hauling electric motor and traction law of optimum management of hauling electric motor of direct current .