

УДК 62-83:621.33

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ  
НА БАЗІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО МОТОБЛОКУ**

*І. П. Назаренко, доктор технічних наук, професор*

*О. В. Ковальов, старший викладач*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*e-mail: alekstdaty1979@gmail.com*

*В.П. Герасименко, асистент*

*ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"*

**Анотація.** Метою дослідження було обґрунтування та розробка структурної і електромеханічної схеми енергозберігаючої системи обробітку ґрунту на базі електрифікованої мотоблока, отримання балансу потужностей та формування режимів керування двигуном постійного струму послідовного збудження по максимуму ККД на основних ділянках його механічної характеристики. На основі проведених аналітичних досліджень встановлено основні залежності між окремими елементами інформаційної та енергетичної частин електромеханічної системи обробки ґрунту. Отримані аналітичні залежності, що визначають умови зміни основних параметрів керування електродвигуном постійного струму послідовного збудження для реалізації енергозберігаючих режимів роботи електрифікованого мотоблоку.

**Ключові слова:** *ґрунт, мотоблок, баланс потужностей, двигун постійного струму, алгоритм керування, енергозбереження*

**Актуальність.** Для підвищення ефективності виробництва овочів в спорудах захищеного ґрунту широке застосування отримали малогабаритні мобільні агрегати у вигляді мотоблоків з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) потужністю 1-7 кВт вітчизняного і зарубіжного виробництва. Під час роботи мобільних агрегатів з ДВЗ в теплицях і парниках підвищується рівень шуму і загазованості повітря, які негативно впливають не тільки на людей, але й на рослини. Причина цього - продукти неповного згорання рідкого палива, які осідаючи на заклею або плівкову поверхню даху і стін зменшують їх світлопроникність і, як наслідок, знижують ріст і розвиток рослин. До недоліків мотоблоків з ДВЗ також відносяться досить високі питомі витрати рідкого палива,

що має високу вартість, труднощі при пуску і зупинці агрегату, а також невисока надійність ДВЗ.

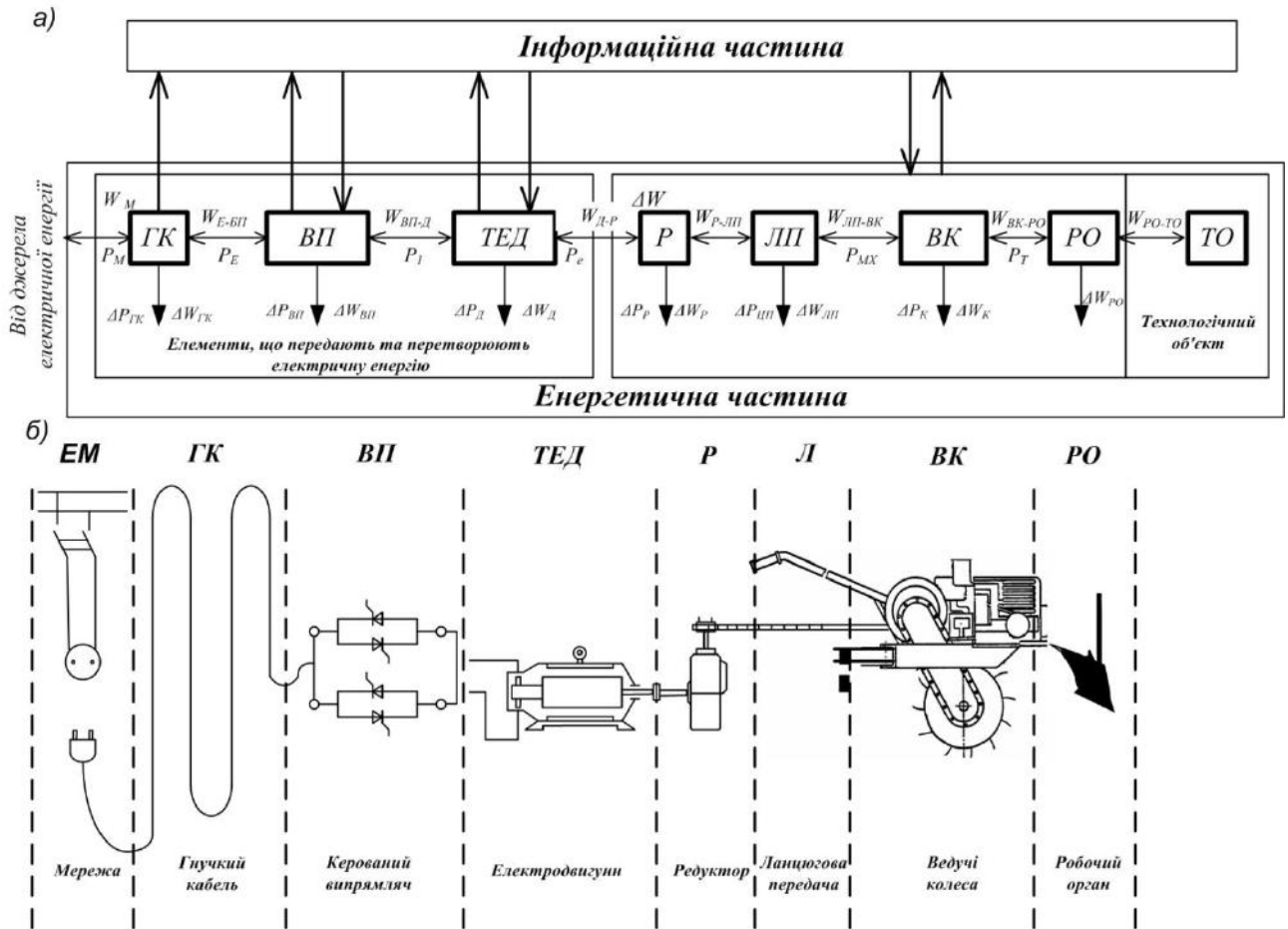
Перспективнішими для роботи в спорудах захищеного ґрунту є мобільні агрегати з тяговими електродвигунами (ТЕД), що отримали назву електромоблоків, як екологічно чисті агрегати, що не мають названих недоліків [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У роботі [2] обґрунтовано аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків, доведена перспективність створення електрифікованих ґрунтообробних машин в умовах фермерських господарств. В статті [3] представлено методику розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока, згідно якої обґрунтовано застосування електродвигуна постійного струму послідовного збудження для електромоблоку, а також визначені потужності приводного двигуна. В роботі [3] обґрунтовано способи керування двигуном приводу мотоблоку.

**Мета дослідження** – обґрунтування та розробка структурної і електромеханічної схеми енергозберігаючої системи обробітку ґрунту на базі електрифікованої мотоблока, отримання балансу потужностей та формування режиму керування двигуном постійного струму послідовного збудження по максимуму ККД на основних ділянках його механічної характеристики.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Електропривод мотоблока являє собою послідовне з'єднання елементів в енергетичній частині, що утворюють силовий канал, який показує процеси передачі та перетворення енергії. Структура такого електроприводу наведена на рис. 1, а. В його складі - силові елементи, які беруть безпосередню участь в процесі перетворення електричної енергії в механічну, і елементи, що перетворюють інформацію, необхідну для управління процесом перетворення енергії. Інформаційна частина представлена без поділу на блоки і в загальному випадку вона може бути пов'язана з усіма силовими елементами. На рис. 1, б зображено приклад фізичної реалізації послідовного

силового каналу електроприводу мотоблока. Розглянемо «зліва-направо» елементи силового каналу, які беруть участь в перетворенні енергії.



**Рис. 1. Структурна (а) і електромеханічна (б) схеми енергозберігаючої системи обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблока**

Першим показаний елемент силового каналу, який представляє собою гнучкий кабель (ГК), за яким здійснюється підведення електроенергії з мережі змінного струму (ЕМ). Будемо вважати, що з ГК пов'язані характеристики напруги живлення - частота, величина падіння напруги при зміні споживаного струму і т. ін. Вентильний перетворювач (ВП) перетворює електричну енергію змінного струму в електричну енергію постійного струму, необхідну для подальшого електромеханічного перетворювання в ТЕД, крім того, ВП виконує роль пристрою управління рівнів потоків енергії до ТЕД. У ВП в процесі перетворення електричної енергії виникають втрати енергії  $\Delta W_{ВП}$ .

Тяговий електродвигун перетворюючи електричну енергію в механічну, задає з урахуванням параметрів і навантажень механічної частини, характер механічного руху і змінні, що визначають цей рух: електромагнітний момент  $M$  і кутову швидкість  $\omega$  при обертальному русі, силу тяги  $F$  і лінійну швидкість  $V$  при поступальному русі робочого органу (РО). При електромеханічному перетворенні енергії в ТЕД виникають втрати енергії  $\Delta W_D$ . Стосовно до електромоблоку, змінні, задані ТЕД, перетворюються до вигляду і параметрів, необхідних на робочому органі при оранці ґрунту. Тому в складі силової частини енергетичного каналу передбачається передавальний механізм (ПМ), що зв'язує ТЕД з виконавчим механізмом (ВМ). У розглянутому прикладі в якості ПМ використовується редуктор, що знижує швидкість і збільшує момент, отриманий на виході ТЕД до величини, необхідної виконавчого механізму. Цю роль виконують ведучі колеса (ВК), що обертаються на осі і переміщаються по ґрунту з необхідною швидкістю  $V$ . При цьому в ПМ, ВК і РО в робочому режимі виникають втрати  $\Delta W_{ПМ}$ ,  $\Delta W_{ВК}$  та  $\Delta W_{РО}$  (рис. 1, а). Таким чином, процес передачі і перетворення енергії в силовому каналі супроводжується її частковою втратою в кожному з елементів. Всі елементи силового каналу електроприводу мотоблоку здатні накопичувати енергію в тому чи іншому вигляді в залежності від типу елемента. Ця здатність визначається наявністю в силовому каналі індуктивних елементів-накопичувачів електричної енергії і магнітного поля, і ємностей-накопичувачів енергії електричного поля, пружних елементів, що накопичують потенційну механічну енергію, обертових і рухомих лінійних мас, здатних акумулювати кінетичну енергію. Тому складаючи баланс потужностей потоків енергії для силового каналу електроприводу мотоблоку, обмежимося урахуванням кінетичної енергії рухомих мас, вважаючи, що зміна потенційної енергії в системі не відбувається. Тоді в загальному випадку вказаний баланс потужностей можна записати у вигляді

$$P_e = \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} + \sum_k \Delta P_k + M\omega + FV, \quad (1)$$

де  $P_e$  – потужність потоку електричної енергії, споживаної з мережі;

$$\sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} \text{ та } \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} \quad (2)$$

– потужності, пов'язані із збільшенням або зменшенням мас, що обертаються або лінійно переміщуються;  $\sum_k \Delta P_k$  – сумарні втрати потужності у всіх елементах силового кола;  $M\omega$ ,  $FV$  – потужності механічної енергії, пов'язані з обертовим або лінійним рухом.

При цьому сумарна потужність втрат в силовому каналі складає

$$\sum_k P_k = \Delta P_{ГК} + \Delta P_{ВП} + \Delta P_{Д} + \Delta P_{МП} + \Delta P_{К}. \quad (3)$$

У зв'язку з цим є дуже важливим формування таких режимів керування тяговим двигуном мотоблоку, які забезпечують оптимальне регулювання стосовно кожного інтервалу кутових швидкостей характеристики  $M_* \omega_*$  по мінімуму втрат двигуна за допомогою порівняно простих по конструкції і керуванню вентильних перетворювачів (ВП) при централізованому електропостачанні [4].

При розгляді ККД тягового електродвигуна [3] були приведені розрахункові рівняння для визначення складових постійних та змінних втрат. З урахуванням цих рівнянь втрати можна представити у вигляді

$$\Delta P_c = \Delta P_{МХ.Н} \cdot \omega_*^n + \Delta P_{МГ.Н} \cdot \omega_*^b \cdot \Phi^2 + \Delta P_{Д.Н}; \quad (4)$$

$$\Delta P_v = \Delta P_{а.Н} \cdot I_*^2 + \Delta P_{Зб.Н} \cdot I_{Зб*}^2 + \Delta P_{Щ.Н} \cdot I_*^2, \quad (5)$$

де  $\Delta P_{МХ.Н}$ ;  $\Delta P_{МГ.Н}$ ;  $\Delta P_{Д.Н}$ ;  $\Delta P_{а.Н}$ ;  $\Delta P_{Зб.Н}$ ;  $\Delta P_{Щ.Н}$  – потужності окремих видів втрат при номінальному навантаженні.

Для оцінки сумарних втрат  $\Delta P_c$  і  $\Delta P_v$ , а також окремих видів втрат в тяговому двигуні доцільно їх представити у вигляді відношення до сумарних номінальних втрат  $\Delta P_{\Sigma Н}$

$$\begin{aligned} \Delta P_{v^*} &= \Delta P_{vH^*} / \Delta P_{\Sigma H^*}; \quad \Delta P_{c^*} = \Delta P_{cH^*} / \Delta P_{\Sigma H^*}; \\ a_1 &= \Delta P_{MX.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_2 = \Delta P_{MG.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_3 = \Delta P_{D.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \\ a_4 &= \Delta P_{a.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_5 = \Delta P_{36.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_6 = \Delta P_{\Sigma.H^*} / \Delta P_{\Sigma H}. \end{aligned} \quad (6)$$

При цьому

$$\Delta P_{\Sigma H} = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H}, \quad (7)$$

визначається за паспортними даними.

Рівняння втрат  $\Delta P_c$  (4) та  $\Delta P_v$  (5) з урахуванням (6) приймуть вид

$$\Delta P_{c^*} = a_1 \cdot \omega_*^n + a_2 \cdot \omega_*^\beta \cdot \Phi_*^2 + a_3; \quad (8)$$

$$\Delta P_{v^*} = a_4 \cdot I_*^2 + a_5 \cdot I_{36_*}^2 + a_6 \cdot I_*^2. \quad (9)$$

З урахуванням того, що  $I_* = M_* / \Phi_*$ ;  $I_* = 1 / U_*$ , то змінні втрати в тяговому двигуні можна представити в функції потоку і напруги

$$\Delta P_{v^*} = a_4 \cdot M_*^2 / \Phi_*^2 + a_5 \cdot \beta_{оп}^2 M_*^2 / \Phi_*^2 + a_6 M_*^2 / \Phi_*^2; \quad (10)$$

$$\Delta P_{v^*} = a_4 \cdot 1 / U_*^2 + a_5 \cdot 1 / U_*^2 + a_6 \cdot 1 / U_*^2. \quad (11)$$

При роботі електроприводу необхідно задати координати механічного руху  $M$  і  $\omega$ , тому параметрами, що дозволяють змінити величину втрат в ТЕД є напруга живлення  $U_*$  та магнітний потік  $\Phi_*$ , створюваний струмом  $I_{36_*}$  в обмотці збудження двигуна.

Зв'язок між магнітним потоком  $\Phi_*$  та струмом збудження  $I_{36_*}$  визначається кривою намагнічування магнітного кола двигуна  $\Phi_* = f F_{36_*}$ , наведеною на рис.

2. Якщо ТЕД працює на лінійні ділянці кривої намагнічування, то  $I_{36_*} = \Phi_*$ , і потік, при якому втрати мінімальні визначається за умовою

$$d\Delta P_{\Sigma^*} / d\Phi_* = 0 \text{ або } d\Delta P_{c^*} / d\Phi_* = d\Delta P_{v^*} / d\Phi_*. \quad (12)$$

Зазначимо, що в загальному випадку згідно рис. 2 магнітний потік  $\Phi_*$  є нелінійною функцією струму збудження

$$I_{36_*} = \Phi_* / K_\mu, \quad (13)$$

де  $K_\mu$  – коефіцієнт насичення магнітного кола ДПС.

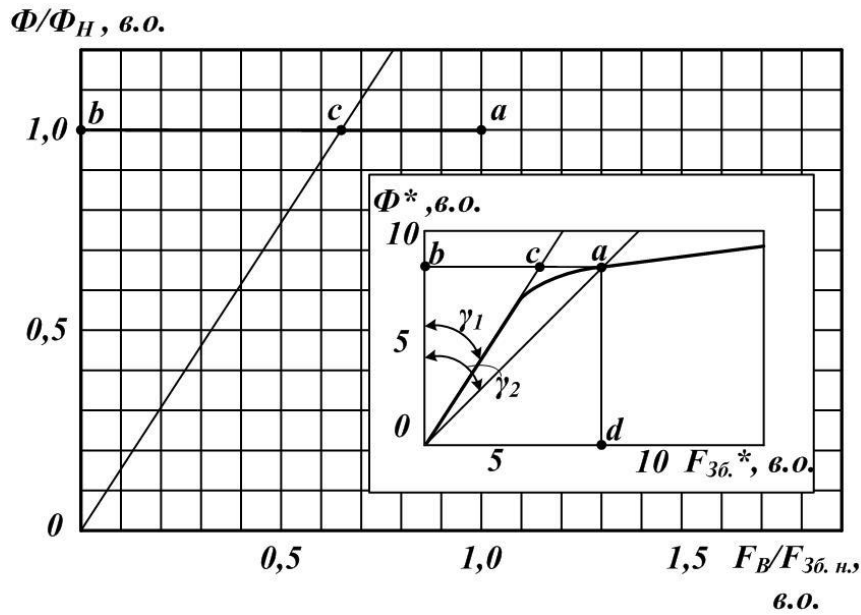


Рис. 2. Універсальна магнітна характеристика ДПС

Згідно кривої намагнічування в точці  $a$  коефіцієнт  $K_\mu$  визначається як відношення відрізків або магніторушійних сил

$$K_\mu = \frac{\overline{ab}}{\overline{bc}} = \frac{F_{ax}}{F_{c*}}. \quad (14)$$

У відповідності з (12) визначимо мінімальні сумарні втрати в ТЕД при припущенні, що магнітний потік  $\Phi_*$  лінійно залежать від струму збудження  $I_{3б.*}$ . Похідні по потоку від сумарних постійних втрат  $\Delta P_{c*}$  (8) і змінних втрат  $\Delta P_{v*}$  (10) дорівнюють

$$d\Delta P_{c*} / d\Phi_* = -2a_2\Phi_*\omega^3; \quad (15)$$

$$d\Delta P_{v*} / d\Phi_* = 2a_4M_*^2 / \Phi_*^3 + 2a_5\beta_{оп}^2M_*^2 / \Phi_*^3 + 2a_6M_*^2 / \Phi_*^3. \quad (16)$$

При сумісному рішенні рівнянь (12), (15) та (16) отримуємо значення потоку, при якому втрати в двигуні мінімальні для заданих значень  $M_*$  і  $\omega_*$

$$\Phi_{опт*}^2 = M_* \sqrt{\frac{a_4 + a_5\beta_{оп}^2 + a_6}{a_2\omega_*^3}}. \quad (17)$$

Сумарні втрати в двигуні для оптимального значення потоку збудження отримуємо з (10) та (11) при виконанні умови (17)

$$\Delta P_{\Sigma min^*} = 2M_* \sqrt{a_4 + a_6 a_5 + a_2 \omega_*^{\beta}} + a_1 \omega_*^n. \quad (18)$$

Розглянемо формування режиму керування двигуном постійного струму послідовного збудження по максимуму ККД на основних ділянках механічної характеристики  $M_* \omega_*$  та характеристик регулювання  $U_* I_*$ , наведених в [4]. В інтервалі кутових швидкостей  $0 \leq \omega_* \leq \omega_{min^*}$  на ділянці АВ в режимі пуску ДПС приймаємо наступні умови пуску:  $M_* = M_{П*} = 2...3$ ;  $I_* = I_{П*} = 2...3$ ;  $\beta_{ОП} = 1$ . Характеристика регулювання прийме вид

$$U_{min^*} = a \Phi_{П*} \omega_{min^*} + v I_{П*}; \quad (19)$$

$$\Phi_{П*} = \Phi_{П*} I_{П*}.$$

Характеристика регулювання має вигляд

$$U_{ОП*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{ОП*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}; \quad (20)$$

$$\Phi_{ОП*} = U_{ОП*} / \omega_*; I_{в.ОП*} = U_{ОП*} / K_{\mu} \cdot \omega_*.$$

В інтервалі швидкостей  $1 \leq \omega_* \leq \omega_{1*}$  на ділянці СС'  $\omega_{1*}$  – гранична швидкість, до значення якої забезпечується раціональне економічне регулювання і припустимі потенційно-комутаційні умови при  $U_* > 1$ . При кратності швидкості  $K_{\omega} \geq 3$  значення  $\omega_{1*}$  приймається рівним  $\omega_{1*} = 2$ , а умови регулювання:  $P_{1*} = 1$ ;  $I_* = I_* \omega_*$ ;  $\beta_{ОП} = 1$ ;  $\beta_m = const$ . Характеристика регулювання

$$U_{ОП*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{ОП*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}; \quad (21)$$

$$\Phi_{ОП*} = U_{ОП*} / \omega_*; I_{зб.ОП*} = U_{ОП*} / K_{\mu} \cdot \omega_*.$$

Для полегшення розрахунків  $U_{ОП*}$  і  $\Phi_{ОП*}$  необхідно встановити зв'язок між коефіцієнтом насичення  $K_{\mu}$  та відносною кутовою швидкістю  $\omega_*$ , що досягається побудовою залежностей  $U_{ОП*} \omega_*$  і  $\Phi_{ОП*} K_{\mu}$  на основі сумісного розгляду залежностей  $K_{\mu} I_{зб.*}$  і  $I_{зб.*} \omega_*$ , побудованих на основі характеристик намагнічування і співвідношень для відповідних значень  $K_{\mu}$ .



**Висновки і перспективи.** Обґрунтовано структурну і електромеханічної схеми енергозберігаючої системи обробітку ґрунту на базі електрифікованої мотоблока. Отримані характеристики регулювання забезпечують керування ДПС за максимумом ККД і заданою величиною  $\beta_m$ . Згідно графіку ККД ДПС, значення максимального ККД не відрізняється критичністю, тобто при порівняно великій зоні зміни коефіцієнту завантаження  $\beta$ , ККД двигуна близький до значення  $\eta_{max}$  при  $\beta_m = 0,7 \dots 0,9$ . Це істотно спрощує практичну реалізацію режимів керування ДПС з застосуванням простих за конструкцією вентиляльних перетворювачів у вигляді тиристорних регуляторів напруги.

### Список літератури

1. Ангилеев О. Г. Повышение эффективности электрифицированного оборудования в фермерских и крестьянских хозяйствах / О. Г. Ангилеев // Механиз. и электриф. сел. х-ва. – 2002. – №10. – С. 30-33.
2. Ковальов О. В. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків / О. В. Ковальов, А. А. Катюха, Г. Н. Назар`ян // Праці ТДАТА. – Випуск 7. – Том 3. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 93-99.
3. Ковальов О. В. Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока / О. В. Ковальов // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету – Вип. 2. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2010. – С. 80-84.
4. Ковальов О. В. Обґрунтування способу керування ДПС приводу мотоблоку / О. В. Ковальов, С. О. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Вип. 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 146-147.
5. Корчемний М. Електропривод мобільного агрегату / М. Корчемний, І. Савченко, Н. Юсупов, С. Гусаков // Електрифікація. – 1997. – №8. – С. 30-31.

### References

1. Angileev, O. G. (2002). Povyshenie jeffektivnosti jelektrificirovannogo oborudovaniya v fermerskih i krest'janskih hozjajstv [Improving the efficiency of electrified equipment in farms and peasant farms]. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*, 10, 30-33 [in Russian].
2. Kovalov, O. V., Katiukha, A. A., Nazar`ian, H. N. (2007). Analitychnyi metod porivnialnoi tekhniko-enerhetychnoi otsinky efektyvnosti i tekhnichnoho rivnia motoblokov [Analytical method of comparative technical and energy estimation of efficiency and technical level of motor blocks]. *Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrotekhnichnoi akademii*, 7(3), 93-99 [in Ukrainian].

3. Kovalov, O. V. (2010). Metodyka rozrakhunku ta vyboru tiahovoho elektrodvyhuna v pryvodi motobloka [Method of calculation and selection of a traction electric motor in the motor-block drive]. Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu, 2, 80-84 [in Ukrainian].

4. Kovalov, O. V., Kvitka, S. O. (2016). Obgruntuvannia sposobu keruvannia DPS pryvodu motobloku [Substantiation of the method of control of the DPS of the drive motor block]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva, 175, 146-147 [in Ukrainian].

5. Korchemnyi, M., Savchenko, I., Yusupov, N., Husakov, S. (1997). Elektropryvod mobilnoho ahrehatu [Electric drive of the mobile unit]. Elektryfikatsiia, 8, 30-31 [in Ukrainian].

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО МОТОБЛОКА**

*И. П. Назаренко, А. В. Ковальов, В.А. Герасименко*

**Аннотация.** *Целью исследования было обоснование и разработка структурной и электромеханической схемы энергосберегающей системы обработки почвы на базе электрифицированного мотоблока, получение баланса мощностей и формирование режимов управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения по максимуму КПД на основных участках его механической характеристики.*

*На основании проведенных аналитических исследований установлены основные функциональные зависимости между отдельными элементами информационной и энергетической частей электромеханической системы обработки почвы.*

*Получены функциональные зависимости, определяющие условия изменения основных параметров управления электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения для реализации энергосберегающих режимов работы электрифицированного мотоблока.*

**Ключевые слова:** *почва, мотоблок, баланс мощностей, двигатель постоянного тока, алгоритм управления, энергосбережение*

## **ENERGY SAVING SYSTEM TREATMENT SOIL ON THE BASIS OF ELECTRICATED MOTOBLOCK**

*I. Nazarenko, O. Kovalov, V. Gerasymenko*

**Abstract.** *The aim of the study was to substantiate and develop the structural and electromechanical scheme of an energy-saving tillage system based on an electrified motoblock, to obtain a balance of power and the formation of control modes for a DC motor of sequential excitation according to maximum efficiency in the main areas of its mechanical characteristics.*

*On the basis of the conducted analytical studies, the main functional dependencies between the individual elements of the information and energy parts of the electro-mechanical tillage system were established.*

*Functional dependences are obtained that determine the conditions for changing the basic parameters of control of a DC motor of sequential excitation to implement energy-saving operating modes of an electrified motoblock.*

**Key words:** *soil, tiller, power balance, DC motor, control algorithm, energy-saving*