

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

КОВАЛЬОВ ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ



УДК 631.372

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ
РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА МОТОБЛОКА**

Спеціальність 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь - 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Назаренко Ігор Петрович,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, декан факультету енергетики
і комп'ютерних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Островерхов Микола Якович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
завідувач кафедри теоретичної електротехніки

кандидат технічних наук, доцент
Сорокін Максим Сергійович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач
кафедри автоматизованих електромеханічних систем

Захист відбудеться «07» травня 2021 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 при Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного за адресою: 72312, Запорізька область, м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18, ауд. 1.111.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного за адресою: 72312, Запорізька область, м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18.

Автореферат та дисертація розмішені в мережі Internet за адресою <http://www.tsatu.edu.ua/nauka/n/specializovani-vcheni-radu/specializovana-vchena-rada-d-18-819-01/>

Автореферат розісланий «05» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Ю. Вовк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні за останні роки значно збільшилась кількість фермерських господарств і приватних землекористувачів. При цьому великий розвиток отримало овочівництво захищеного ґрунту. Для підвищення ефективності виробництва овочів широке застосування отримали малогабаритні мобільні агрегати у вигляді мотоблоків з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) вітчизняного і зарубіжного виробництва. В цілому мотоблоки з ДВЗ характеризуються як ефективні засоби малої механізації трудомістких процесів і особливо - основного процесу обробітку ґрунту. Однак під час роботи мобільних агрегатів з ДВЗ в теплицях і парниках підвищується рівень шуму і загазованість повітря, які негативно впливають не тільки на людей, але й на рослини. 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 відносно невисока надійність ДВЗ.

Проведені попередні дослідження показали, що перспективними 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. Крім того, заміна ДВЗ на нерегульований електропривод з асинхронним двигуном не дозволяє забезпечити необхідний діапазон регулювання швидкості руху агрегату, а також високі енергетичні показники роботи електромоблока.

Дослідження таких енергетичних засобів обробітку ґрунту є актуальним в південному регіоні України.

Такий стан питання створює **народногосподарську проблему**, суть якої полягає в підвищених питомих витратах енергоресурсів при виконанні основних видів обробітку ґрунту та його низькій техніко-економічній ефективності.

Це приводить до необхідності вирішення **науково-технічної задачі** з підвищення енергоефективності основних видів обробітку ґрунту за рахунок обґрунтування параметрів і режимів роботи електропривода ґрунтообробного мотоблока.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дослідження виконувались в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного.

Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетів державної науково-технічної програми (ДНТП 3.12) «Енерго- та ресурсозберігаючі технології в сільськогосподарському виробництві», плану науково-дослідної роботи Таврійського державного агротехнологічного університету на 2005-2010 роки по науково-технічній програмі №1 «Розробка наукових основ, систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України» (підпрограма 1.8 «Розробка електрифікованих машин и установок для фермерських господарств» державний реєстраційний номер 0107U2008953, розділ 1.8.1 «Розробка електрифікованих малогабаритних кормоприготувальних та ґрунтообробних машин з оптимізацією енергетичних витрат»), програмі №1 на 2011-2015 роки «Розробка наукових основ, систем технологій и технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України» підпрограма 1.14 «Розробка електромеханічних систем технологічних процесів сільськогосподарського виробництва», державний реєстраційний номер 0111U2002556, розділ 1.14.1 «Розробка електромеханічної системи обробітку

грунту на основі мобільних електрифікованих машин», програмі №5 на 2016-2020 роки «Ресурсоенергозберігаючі режими передачі і перетворення енергії в агропромисловому комплексі», державний реєстраційний номер 0116U002726, тема 5.1 «Ресурсоенергозберігаючі експлуатаційні режими роботи силового електрообладнання, енергозберігаючі біотехнічні системи», розділ 5.1.3 «Розробка та удосконалення енергозберігаючої електромеханічної системи обробітку ґрунту».

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є підвищення енергоефективності електропривода ґрунтообробного мотоблока за рахунок оптимізації його електричних параметрів і режимів роботи.*

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій електрифікованих малогабаритних ґрунтообробних мотоблоків та способів їх електроживлення.
2. Провести оптимізацію потужності, маси і лінійної швидкості електромоблока з урахування критерію оптимізації – тягового зусилля мотоблока.
3. Дослідити характеристики регулювання та обґрунтувати режими керування тяговим електродвигуном мотоблока.
4. Обґрунтувати систему керування тягового електродвигуна мотоблока.
5. Провести порівняльну техніко-енергетичну та техніко-економічну оцінку роботи електромоблока.

Об'єкт дослідження - процеси електромеханічного перетворення енергії в електроприводі мотоблока при обробітку ґрунту.

Предмет дослідження - закономірності зміни параметрів та режимів роботи електропривода мотоблока, що характеризують технологічний процес обробітку ґрунту.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених у роботі задач теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики та математичної фізики, теорії електричних машин, теорії електропривода, теорії імовірностей і математичної статистики, теорії комутаційних порушень на колекторі, метода порівняльної техніко-енергетичної оцінки технічного рівня технологічного обладнання. Експериментальні дослідження проводилися на спеціально розробленому експериментальному зразку електромоблока з використанням промислового технічного обладнання та засобів вимірювань.

Для розрахунків, обробки даних і побудови графічних залежностей було використано пакет прикладних програм для ПЕОМ «Microsoft Office Excel», «MATLAB 6,5» і «MAPLE».

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше отримано теоретичні та експериментальні залежності корисної потужності тягового двигуна привода електромоблока від лінійної швидкості, в яких на відміну від існуючих враховано вид ґрунту, що обробляється;
- отримані раніше невідомі умови і характеристики оптимальних режимів керування тяговим електродвигуном електромоблока за максимумом ККД на основних інтервалах зміни швидкості, в яких на відміну від існуючих враховано всі види втрат в тяговому електродвигуні;
- вперше отримані оптимальні значення експлуатаційних показників електромоблока на підставі розробленої математичної моделі тягового зусилля.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Запропоновано методика розрахунку потужності і вибору тягового електродвигуна для приводу електромоблока. Для практичного вибору потужності ТЕД в роботі наведені графіки корисної потужності ТЕД при оранці важких, середніх і легких ґрунтів.

2. Для практичного застосування розроблені алгоритми реалізації оптимальних режимів керування тяговим електродвигуном постійного струму електромоблока, що забезпечують необхідний закон регулювання при незмінній споживаній потужності двигуном з мережі.

3. Отримані шляхом багатофакторного експерименту рівняння регресії дозволяють визначити вплив параметрів та режимів роботи електромоблока на якість обробки ґрунту та можуть бути використані при моделюванні і конструюванні малогабаритних ґрунтообробних машин.

4. Визначено гранично-допустимі показники комутаційних умов на колекторі тягового електродвигуна постійного струму електромоблока.

5. Згідно договорів про творчу співпрацю та актів впровадження від 2017-2020 років, представники агрофірми «СНІСЕЙ-7» засвідчують зниження питомих енерговитрат при обробітці ґрунту на 10-12% при дотриманні агротехнічних вимог.

6. Техніко-економічні розрахунки впровадження електромоблока показали річний економічний ефект 20,1 тис. грн., термін окупності додаткових капітальних вкладень склав 1,5 року.

Особистий внесок здобувача.

Основні результати автором отримані самостійно. У дисертації особисто автором розроблена методика розрахунку потужності і вибору типу тягового електродвигуна електромоблока, проведено конструювання та виготовлення дослідного зразка електромоблока з тяговим електродвигуном, а також обґрунтовано параметри керування тяговим електродвигуном мотоблока по максимуму ККД.

У наукових роботах написаних у співавторстві, внесок здобувача полягає в наступному: обґрунтовано і розраховано показники, необхідні для порівняльної оцінки технічного рівня сучасних мотоблоків з електродвигунами і двигунами внутрішнього згорання [1, 20]; обґрунтовано тип та визначено потужність електродвигуна привода електромоблока [5, 12, 17]; отримана математична модель області оптимуму та визначені оптимальні експлуатаційні показники електромоблока [7, 8]; визначено потенційно-комутаційні умови на колекторі тягового електродвигуна електромоблока [10]; отримано струмо-часові та механічні характеристики електродвигуна привода мотоблока [14]; обґрунтовано режими керування та проведено моделювання спостережника швидкості двигуна привода електромоблока [9, 13, 19, 23].

Дослідження проводилися в лабораторії електричних машин ТДАТУ імені Дмитра Моторного, в ТОВ «МАГНІТ», м Мелітополь і у фермерському господарстві «СНІСЕЙ-7», смт Ботієве Мелітопольського району Запорізької області.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи заслуховувалися і отримали позитивну оцінку на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і сту-

дентів (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2005-2020 р.р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК півдня України», (м. Мелітополь, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України», (м. Харків, 2016 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК», (м. Мінськ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення» (м. Бережани, 2018 р.); VII Міжнародній науково-технічній конференції присвяченої 120-річчю НУБіП України «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (м. Київ, 2018 International scientific and practical conference «Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine» (Wloclawek, Republic of Poland, 2018); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання розвитку аграрної науки в Україні» (м. Ніжин, 2019 р.); 11th International Scientific and Practical Internet Conference «Modern Movement of Science» (Dnipro, October 8-9, 2020); XXV-th IEEE International Conference “Problems of automated electric drive. Theory and practice” (Kremenchuk, 2020).

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 23 роботах за період з 2007 по 2020 р., у тому числі в 12 фахових статтях, із них 5 одноосібно, 2 статтях, що мають цитування у наукометричній базі Scopus, 1 патенті на корисну модель (Україна).

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота містить вступ, 5 розділів, висновки, список літератури з 155 найменувань та додатків. Містить 160 сторінок, 11 таблиць, 35 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано науково-технічну задачу, яка розв'язується в роботі, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; сформульовано мету та завдання досліджень; зазначено наукову новизну і практичне значення результатів дисертації та особистий внесок здобувача; наведено дані про апробацію дисертаційних досліджень.

У **першому розділі** «Аналіз стану питання та задачі досліджень» проведено огляд та аналіз основних технічних характеристик, переваг та недоліків мотоблоків вітчизняного та зарубіжного виробництва з двигунами внутрішнього згорання та електроприводом.

Теоретичним і експериментальним дослідженням в області підвищення ефективності функціонування ґрунтообробної техніки, у тому числі і електрифікованої, займалась велика кількість вітчизняних та іноземних вчених: М.О. Корчемний, Н.Ф. Молоснов, С.О. Гусаков, Т.Т. Кусов, В.Т. Надикто, С.П. Лебедев, А.С. Акімов, В.В. Кацигін, Л.Г. Прищеп, О. Г. Ангилєєв, А.М. Мусін, І.С. Ефремов, А.П. Пролигін, Ю.М. Андрєєв, М.Д. Машихин та ін. Проте відсутність досліджень регульованого електропривода ґрунтообробних мотоблоків при забезпеченні встановленої якості обробітку ґрунту, дала підстави для продовження і поглиблення цих досліджень.

Проведений аналіз конструкцій мотоблоків показав, що використання електропривода в мотоблоках дозволить підвищити ефективність їх функціонування: збільшити продуктивність, знизити питомі енерговитрати на обробіток ґрунту, знизити шум і вібрацію та полегшити роботу оператора. Аналіз існуючих способів електроживлення мобільних електрифікованих агрегатів показав, що найбільш ефективним є кабельний спосіб живлення електромотоблока.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу обґрунтування конструктивних параметрів та режимів роботи електропривода ґрунтообробного мотоблока складає комплексну науково-технічну задачу і є актуальним питанням.

У **другому розділі** «Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів електромотоблока» досліджено вплив експлуатаційних показників та тягових характеристик електромотоблока на параметри регулювання, розрахункову і номінальну потужності приводного електродвигуна.

Для розрахунків і аналізу тягових характеристик електромотоблока використовуємо параметри тягового електродвигуна у відносних одиницях: потужність споживана двигуном з мережі $P_{I^*} = P_1 / P_{1н}$; напруга живлення $U_* = U / U_n$; струм якоря $I_{a^*} = I_a / I_n$; ЕРС $E_* = E / U_n$; кутова швидкість двигуна $\omega_* = \omega / \omega_n$; частота обертання $n_* = n / n_n$; електромагнітний момент $M_* = M / M_n$; корисна потужність на валу $P_{2^*} = P_2 / P_{2н}$; коефіцієнт корисної дії $\eta = P_2 / P_1 = P_{2^*} / P_{I^*}$; магніторушійна сила збудження $F_{зб^*} = F_{зб} / F_{зб,н}$; струм збудження $I_{зб^*} = I_{зб} / I_{зб,н}$; коефіцієнт ослаблення поля двигуна послідовного збудження, $\beta = I_{зб} / I_a = I_{зб^*} / I_{a^*}$; магнітний потік $\Phi_* = \Phi / \Phi_n$, а також наступні співвідношення:

$$I_{max^*} = I_{max} / I_n = k_M \Phi_*; \quad (1)$$

$$M_* = \Phi_* \cdot I_*, \text{ звідки } I_* = M_* / \Phi_*; \quad (2)$$

$$P_{I^*} = U_* \cdot I_* = P_1 / P_{1н}, \text{ звідки } I_* = I / U_* \quad (3)$$

$$P_{розр} = P_n \cdot k_\omega \approx M_n \cdot \omega_{max}. \quad (4)$$

Рівняння (1-4) дозволяють визначити параметри тягового двигуна постійного струму в вузлових точках тягової характеристики $M(\omega)$. Вважаємо, що в якості номінальних значень прийняті напруга $U = U_n$ і струм $I = I_n$. Для режимів роботи тягового електродвигуна отримаємо

$$U_{min} = E_n \omega_{D^*} \Phi_{D^*} + k_M \Delta U_n / \Phi_{D^*}; \quad (5)$$

$$U_{max} = E_n k_\omega \Phi_{D^*} + M_{min^*} \Delta U_n / \Phi_{D^*}, \quad (6)$$

де ΔU_n – падіння напруги в колі якоря електродвигуна при $I = I_n$, В.

k_M – коефіцієнт регулювання моменту електродвигуна, в.о.;

k_ω – коефіцієнт регулювання кутової швидкості електродвигуна, в.о.

Розв'язавши рівняння (5) та (6) відносно параметрів регулювання k_M і k_ω , можна оцінити прийнятні способи керування тяговим електродвигуном для реалізації закону регулювання $M(\omega)$ і, отже, тягової характеристики $F(V)$: регулювання кутової швидкості ω раціонально здійснювати за рахунок зміни напруги на якорі U і магнітного потоку Φ .

Електропривод мотоблока (рис. 1) являє собою послідовне з'єднання елементів в енергетичній частині, що утворюють силовий канал, а також процеси передачі і перетворення енергії.

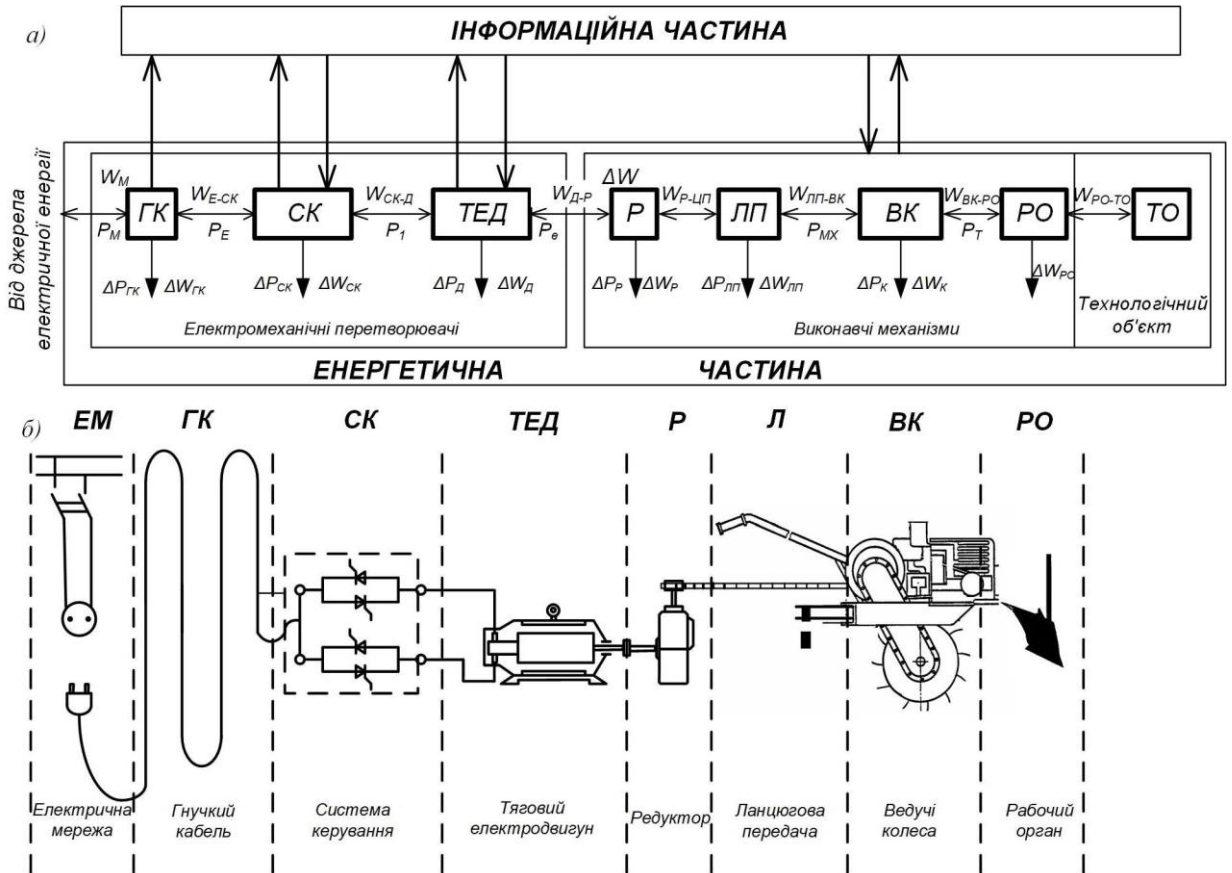


Рис. 1. Структурна (а) і електромеханічна (б) схеми енергетичного силового каналу електроприводу мотоблока

Електропривод мотоблока містить силові елементи, які беруть безпосередню участь в процесі перетворення електричної енергії в механічну, і елементи, що перетворюють інформацію, необхідну для керування процесом перетворення енергії. Інформаційна частина представлена без поділу на блоки і в загальному випадку пов'язана з усіма силовими елементами.

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 ω при обертальному русі, силу тяги F і лінійну швидкість V при поступальному русі робочого органу.

Рівняння балансу потужностей ґрунтообробного електромоблока

$$P_E = \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} + \sum_k \Delta P_k + M\omega + FV, \quad (7)$$

де P_E - потужність потоку електричної енергії, що споживається з мережі, Вт;

$\sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt}$ і $\sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt}$ - потужності пов'язані зі збільшенням або зменшенням мас, що рухаються обертально або лінійно, Вт;

$\sum_k \Delta P_k$ - сумарні втрати потужності у всіх елементах силового кола, Вт;

$M\omega$, FV - потужності механічної енергії, пов'язані з обертальним або поступальним рухом, Вт.

При змінному характері навантаження з часом циклу t_u значення ККД конкретного режиму роботи визначається у вигляді

$$\eta = \int_0^{t_u} P_2 dt / \left(\int_0^{t_u} P_2 dt + \int_0^{t_u} \Delta P_{\Sigma} dt \right). \quad (8)$$

Оскільки потужність втрат містить постійну і змінну складові, перша з яких практично не залежить від навантаження, а друга в загальному випадку пропорційна корисній потужності у ступені $\kappa > 1$, тому рівняння ККД тягового двигуна

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + (aP_2 + bP_2^{\kappa})}, \quad (9)$$

де P_2 - корисна потужність тягового електродвигуна, Вт;

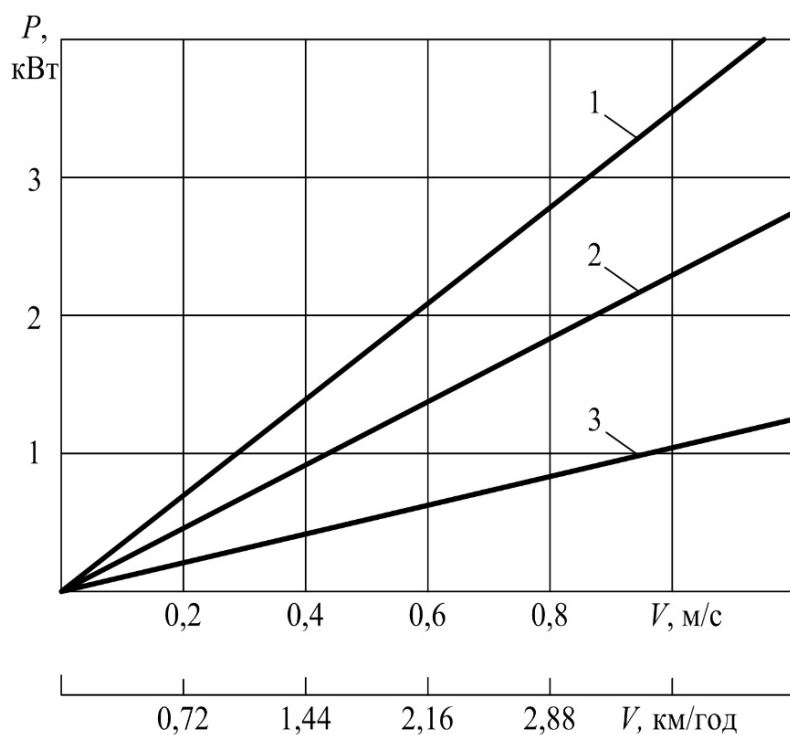


Рис. 2. Графіки потужності тягового електродвигуна мотоблока при оранці ґрунтів: 1 - важких, 2 - середніх, 3 - легких

a, b і κ - коефіцієнти, що визначають вид залежності потужності втрат від корисної потужності.

Залежність $\eta(P_2)$ має максимум, оскільки при $P_2 \rightarrow 0, \eta \rightarrow 0$ і при $P_2 \rightarrow \infty, \eta \rightarrow 0$, тобто залежність $\eta(P_2)$ має класичний вигляд графіка ККД пристрою, для якого справедливо співвідношення (9).

Корисна потужність тягового електродвигуна мотоблока визначається за рівнянням

$$P = \frac{k_3 (F + fG)V}{\eta_p \cdot \eta_b \cdot \eta_{\kappa}}, \quad (10)$$

де $k_3 = 1,05 \dots 1,2$ - коефіцієнт запасу, що враховує динамічні режими ТЕД при роботі з підвищеними моментами;

F - тягове зусилля, кН; G - зчіпна вага, кН; V - швидкість руху мотоблока при оранці ґрунту, м/с; η_p - ККД редуктора; η_b - коефіцієнт, що враховує втрати на буксування; η_{κ} - коефіцієнт, що враховує втрати на подолання кочення коліс.

Швидкість руху мотоблока V при визначенні потужності тягового двигуна приймаємо відповідно з доцільним діапазоном швидкостей: $V = 1,0 \dots 4,0$ км / год. Залежності (рис. 2) потужності $P(V)$ тягового двигуна

електромоблока при незмінному значенні питомого опору ґрунту ($K = const$ та $k_{л} = 1,05$ для легких ґрунтів, $k_{с} = 1,1$ для середніх ґрунтів і $k_{в} = 1,2$ для важких ґрунтів) свідчать, що величина потужності при обробі важких та легких ґрунтів відрізняється в 2,5 рази на всьому діапазоні швидкостей.

Умови регулювання ДПС визначаються вимогами тягової механічної характеристики (рис. 3) $M_*(\omega_*)$ на всіх інтервалах зміни кутової швидкості, наприклад, підтримання $P_{л*} = 1$, забезпечення значення пускового моменту $M_{л*}$ і пускового струму $I_* = I_{max*}$. Механічна характеристика $M_*(\omega_*)$, визначає закон регулювання ТЕД та має три основних ділянки: AB - сталості пускового моменту $M_* = M_{max*} = M_{л*}$; BD - сталості споживаної потужності (робоча ділянка) $P_{л*} = 1$; DE - сталості кутової швидкості $\omega_* \leq \omega_{max*}$.

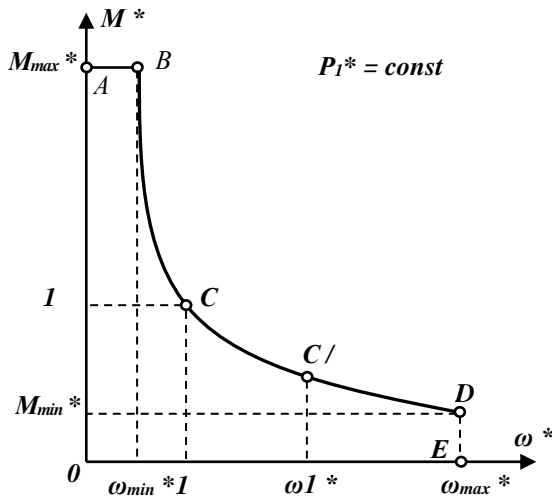


Рис. 3. Механічна характеристика $M_*(\omega_*)$ тягового електродвигуна

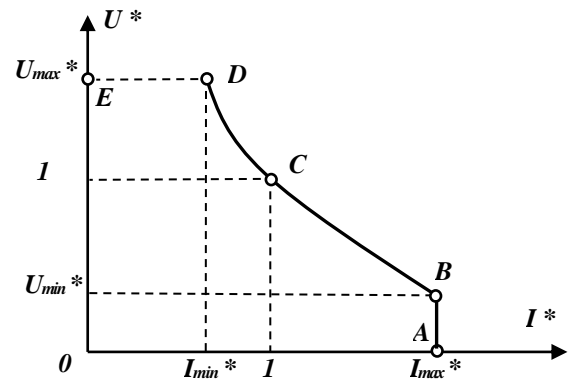


Рис. 4. Регульовальна характеристика $U_*(I_*)$ тягового електродвигуна

Умовою отримання максимального ККД тягового електродвигуна є рівність постійних і змінних втрат

$$\Delta P_{c*} = \beta_m^2 \Delta P_{v*}, \quad (13)$$

де $\Delta P_{c*}, \Delta P_{v*}$ - відповідно, постійні та змінні втрати в ДПС; β_m - коефіцієнт завантаження ДПС, при якому ККД є максимальним.

Отримаємо рівняння коефіцієнту завантаження двигуна при максимальному значенні ККД з урахуванням всіх видів втрат

$$\beta_m^2 = \frac{a_1 \omega^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega^{1,5} + a_3}{a_4 \cdot I / U_*^2 + a_5 \cdot I / U_*^2 \beta_{оп}^2 + a_6 \cdot I / U_*^2}, \quad (14)$$

В рівнянні (14) коефіцієнти $a_1 \dots a_6$ визначають співвідношення окремих видів втрат до сумарних втрат ДПС при номінальному навантаженні:

$$\begin{aligned} \Delta P_{v^*} &= \Delta P_{vH^*} / \Delta P_{\Sigma H^*}; \quad \Delta P_{c^*} = \Delta P_{cH^*} / \Delta P_{\Sigma H^*}; \\ a_1 &= \Delta P_{MX.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_2 = \Delta P_{MG.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_3 = \Delta P_{D.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \\ a_4 &= \Delta P_{a.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_5 = \Delta P_{36.H} / \Delta P_{\Sigma H}; \quad a_6 = \Delta P_{\Sigma.H^*} / \Delta P_{\Sigma H}. \end{aligned} \quad (15)$$

Розглянемо формування режиму керування ДПС привода електромоблока по максимуму ККД на основних ділянках механічної $M_*(\omega_*)$ і регулювальної характеристик $U_*(I_*)$. В інтервалі кутових швидкостей $0 \leq \omega_* \leq \omega_{min^*}$ на ділянці АВ (рис. 3) в режимі пуску ДПС приймаються наступні умови пуску: $M_* = M_{П^*} = 2...3$; $I_* = I_{П^*} = 2...3$; $\beta_{ОП} = 1$.

Характеристика регулювання має вид

$$\begin{aligned} U_{min^*} &= 0,95\Phi_{П^*}\omega_{min^*} - 0,05I_{П^*}; \\ \Phi_{П^*} &= \Phi_{П^*}(I_{П^*}). \end{aligned} \quad (16)$$

В інтервалах швидкостей $\omega_{min^*} \leq \omega_* \leq 1$ (ділянка ВС, рис. 3,4) та $\omega_{min^*} \leq \omega_* \leq 1$ (ділянка СС') характеристик $M_*(\omega_*)$ і $U_*(I_*)$ умови регулювання: $P_{I^*} = 1$; $I_* = I_*(\omega_*)$; $\beta_{ОП} = 1$; $\beta_m = const$.

Характеристика регулювання має вид

$$U_{ОПТ^*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5\beta_{ОПТ^*}^2 + a_6}{a_2\sqrt{\omega_*}}}; \quad (17)$$

$$\Phi_{ОПТ^*} = U_{ОПТ^*} / \omega_*; \quad I_{В.ОПТ^*} = U_{ОПТ^*} / (K_\mu \cdot \omega_*).$$

В інтервалі швидкостей $\omega_{I^*} \leq \omega_* \leq \omega_{max^*}$ (ділянка С'D, рис. 3) характеристики $M_*(\omega_*)$ умови регулювання: $P_{I^*} = 1$; $\beta_{ОП} \geq 0,4$; $\beta_m = const$.

Характеристика регулювання має вид

$$\begin{aligned} \Phi_* &= \frac{U_{max^*}^2 - e}{a - \omega_{max^*} U_{max^*}}; \\ U_* &= U_{max^*}. \end{aligned} \quad (18)$$

Характеристики регулювання (16)-(18) забезпечують керування ДПС по максимуму ККД при заданій величині коефіцієнта завантаження β_m .

Двигун постійного струму приводу електромоблока отримує живлення від тиристорного перетворювача. Останній має систему керування з класичним підлеглим принципом регулювання: зовнішній контур - регулювання швидкості, внутрішній контур - регулювання струму.

Об'єктом керування системи (рис. 5) є двигун постійного струму послідовного збудження. Отримаємо рівняння спостережника швидкості обертання двигуна

$$p^3 + p^2 \left(\frac{1}{T_e} + q_1 \right) + p \frac{C_e \Phi}{L_a} \left(\frac{C_M \Phi}{J} - q_2 \right) + q_3 \frac{C_e \Phi}{L_a J} = 0. \quad (19)$$

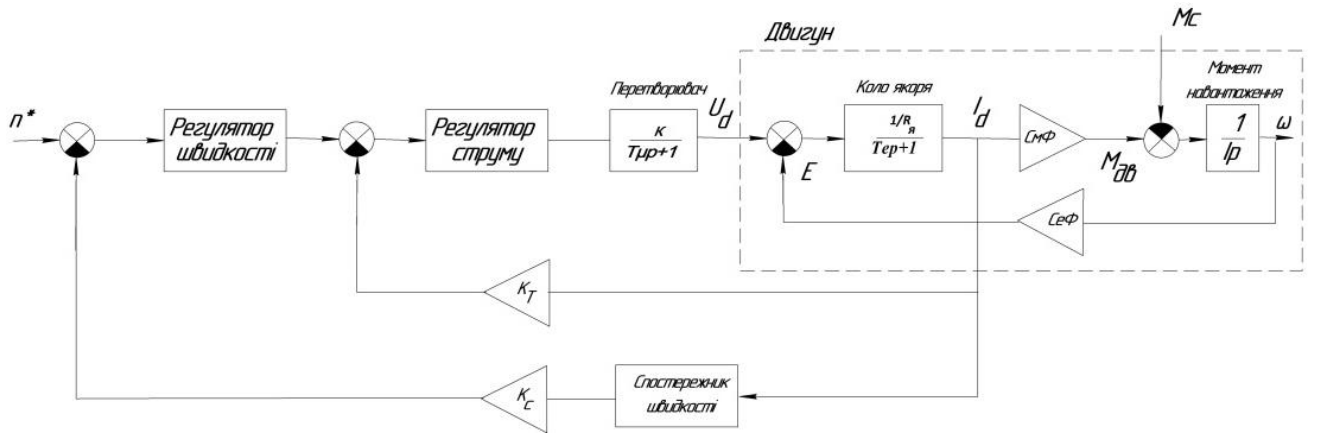


Рис. 5. Структурно-функційна схема керування електродвигуном привода електромобіля

Використавши модальне керування розподілимо корні поліному по Батерворту

$$p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p + \omega_0^3 = 0. \quad (20)$$

Для цього порівнюємо коефіцієнти при відповідних ступенях оператора диференціювання

$$2\omega_0 = \frac{1}{T_e} + q_1. \quad (21)$$

$$2\omega_0^2 = \frac{C_e \Phi}{L_a} \left(\frac{C_M \Phi}{J} - q_2 \right). \quad (22)$$

$$\omega_0^3 = q_3 \frac{C_e \Phi}{L_a J}. \quad (23)$$

З рівнянь (21)-(23) визначимо коефіцієнти спостережника

$$q_1 = 2\omega_0 - \frac{1}{T_e}; \quad q_2 = \frac{C_M \Phi}{J} - \frac{2\omega_0^2 L_a}{C_e \Phi}; \quad q_3 = \frac{\omega_0^3 L_a J}{C_e \Phi}. \quad (24)$$

Враховуючи, що ступень стійкості $\eta = 0,707\omega_0$, а час перехідного процесу $t = 3\eta^{-1}$, визначимо ω_0

$$\omega_0 = \frac{4,24}{t}. \quad (25)$$

Отримаємо рівняння спостережника швидкості в скалярному виді

$$\dot{\hat{I}}_d = -\frac{1}{T_e} \hat{I}_d - \frac{C_e \Phi}{L_a} \hat{\omega} + \frac{k}{L_a} u - q_1 (\hat{I}_d - I_d). \quad (26)$$

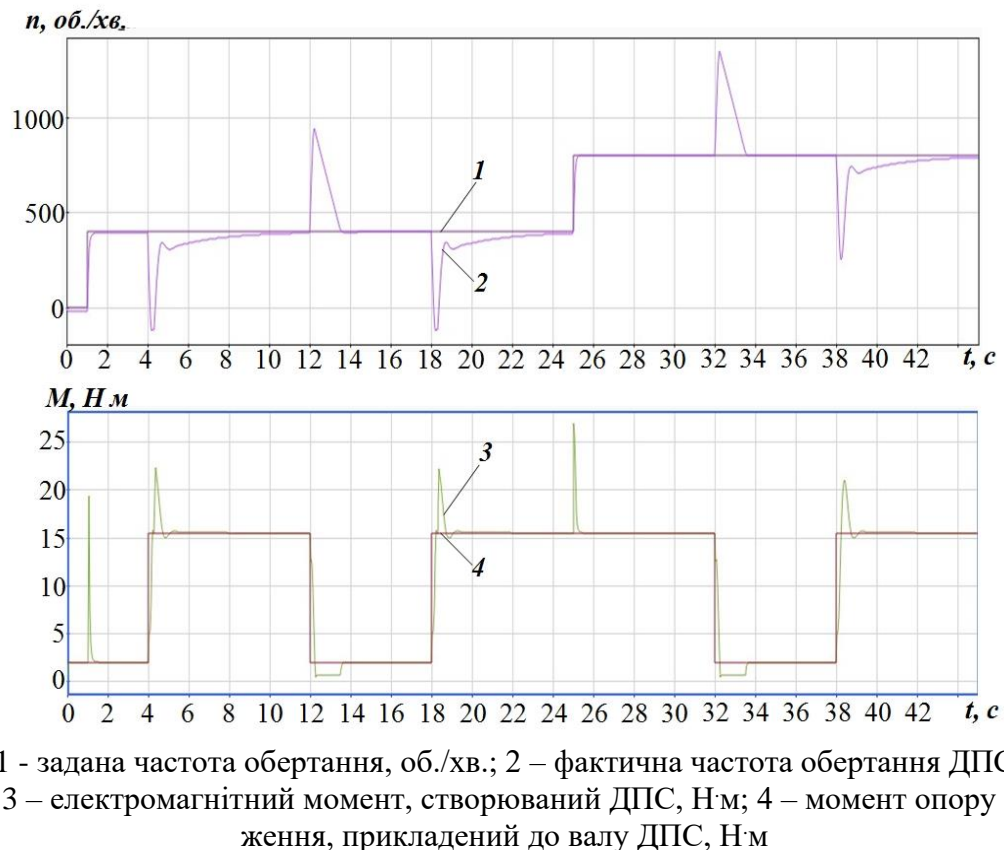
$$\dot{\hat{\omega}} = \frac{C_M \Phi}{J} \hat{I}_d - \frac{\hat{M}_c}{J} - q_2 (\hat{I}_d - I_d). \quad (27)$$

$$\dot{\hat{M}}_c = -q_3 (\hat{I}_d - I_d). \quad (28)$$

Таким чином, отримано спостережник (26)-(28) з коефіцієнтами (24) з розподіленням коренів характеристичного рівняння по Батерворту.

Проведено дослідження спостережника швидкості електродвигуна привода електромобіля шляхом моделювання в програмі Matlab/Simulink. Параметри регуляторів

швидкості і струму визначені використовуючи вбудований тюнер в блок PID Controller. В регуляторах були використані обмеження по мінімальному і максимальному значенню виходу. Проводилось моделювання роботи системи, показаної на рис. 5.



1 - задана частота обертання, об./хв.; 2 – фактична частота обертання ДПС, об./хв.;
3 – електромагнітний момент, створюваний ДПС, Нм; 4 – момент опору навантаження, прикладений до валу ДПС, Нм

Рис. 6. Залежності заданої та фактичної частоти обертання, електромагнітного моменту, створюваного ДПС та моменту опору навантаження від часу

В момент часу 1 секунда (рис. 6) подавалось завдання на швидкість рівну 50% від номінальної (400 об./хв.). Відбувався розгін двигуна і в момент часу 4 секунди до двигуна прикладався номінальний момент навантаження. В період с 12 по 18 секунду проводилась імітація пробуксовування (величина моменту зменшувалась до величини моменту тертя), потім момент навантаження відновлювався. В момент часу 25 секунд завдання на швидкість змінювалось на 100%, при наявності моменту опору. В період с 32 по 38 секунду знову проводилась імітація пробуксовування с подальшим відновленням моменту навантаження.

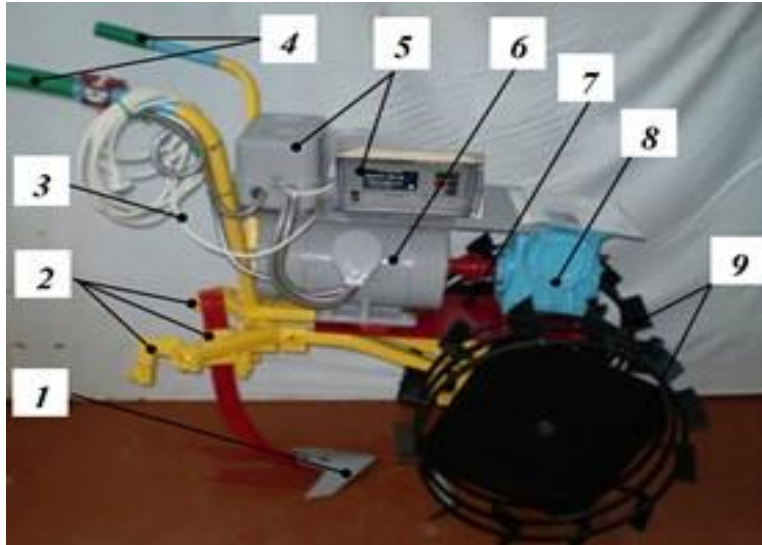
У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» наведена програма експериментальних досліджень, якою передбачалося:

- визначити область раціональних значень основних конструктивних параметрів та режимів роботи електродвигуна приводу електромоблока;
- провести повнофакторний експеримент з використанням методики планування експерименту для визначення діапазонів значень: тягового зусилля мотоблока, маси електромоблока, потужності двигуна електромоблока, лінійної швидкості пересування електромоблока;
- провести дослідження спостережника швидкості обертання тягового двигуна привода електромоблока.

Програмою передбачено визначення впливу параметрів електропривода мотоблока на кількісні і якісні показники обробітку ґрунту: залежність питомої

енергоємності обробітку ґрунту від лінійної швидкості руху при заданій твердості ґрунту.

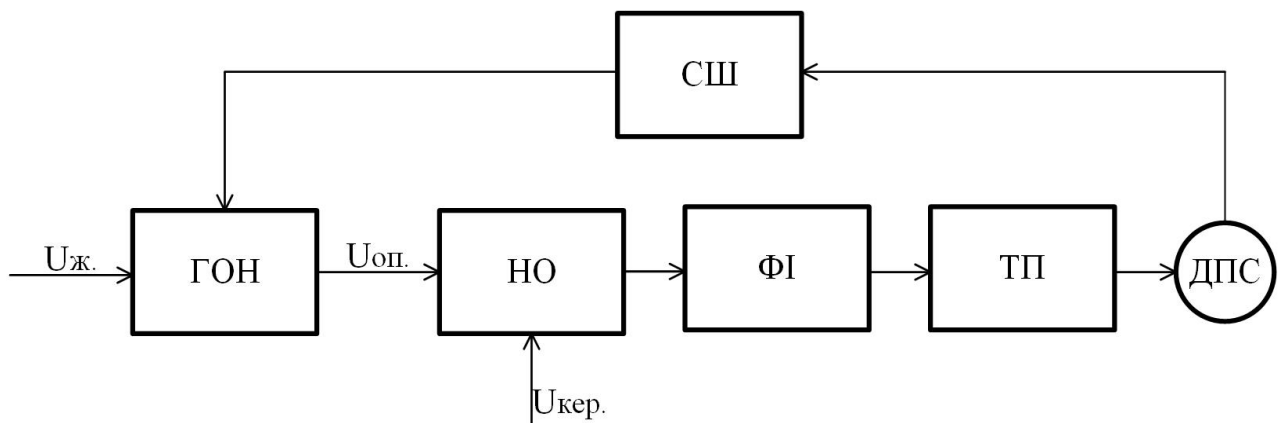
Дослідний зразок електромоблока (рис. 7) з тяговим електродвигуном був виготовлений в лабораторії кафедри ЕТЕМ ТДАТУ і передбачає централізоване електроживлення від однофазної мережі змінного струму через гнучкий кабель і керований вентиляльний перетворювач.



- 1 – робочий орган;
- 2 – обойми для кріплення робочих органів;
- 3 – гнучкий кабель;
- 4 – важелі (рукоятки) керування;
- 5 – система керування і захисту;
- 6 – тяговий електродвигун;
- 7 – корпус (рама);
- 8 – редуктор;
- 9 – ходові колеса.

Рис. 7. Загальний вигляд дослідного зразка електромоблока

Запропонована система керування електродвигуном привода моблока (рис. 8) працює за принципом вертикального керування.



- ГОН – генератор опорної напруги; НО – нуль-орган;
- ФІ – формувач і розподільник імпульсів; ТП – тиристорний перетворювач;
- ДПС – двигун постійного струму послідовного збудження;
- СШ – спостережник швидкості обертання ДПС

Рис. 8. Структурна схема системи керування електродвигуном привода електромоблока

В розділі наведено методику статистичної оцінки достовірності результатів експериментальних досліджень процесу обробітку ґрунту електромоблоком.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» представлено результати досліджень електроприводу ґрунтообробного моблока.

Досліджено систему імпульсно-фазового керування, де при напівкеруваному перетворювачі (рис. 9) струм якоря безперервний практично у всій області регулювання, за винятком зони низьких моментів. При повністю керуваному перетворювачі (рис. 10) зони переривчастих струмів займають великі області регулювання. Механічні характеристики мають форму подібну гіперболі. Двигун розвиває великий момент при низьких швидкостях і малий - при високих, що типово для двигуна послідовного збудження. Однак, механічні характеристики не збігаються з гіперболами у всьому діапазоні регулювання швидкості. Для підтримання сталості потужності $P_1 = const$ з високою точністю, необхідно застосовувати спеціальні системи регулювання при використанні однофазних ТП, що дозволяє зробити висновок про доцільність використання напівкеруваного перетворювача.

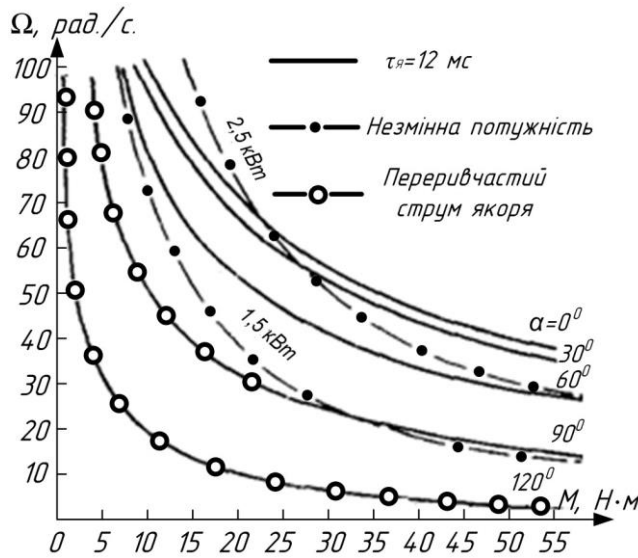


Рис. 9. Механічні характеристики двигуна послідовного збудження (2,5 кВт, 220 В, 1100 об./хв.) з однофазним напівкеруванним перетворювачем

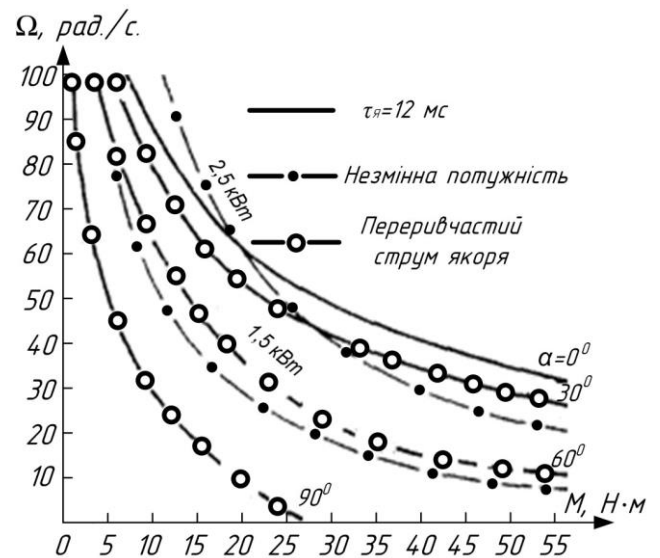


Рис. 10. Механічні характеристики двигуна послідовного збудження (2,5 кВт, 220 В, 1100 об./хв.) з однофазним повністю керуванним перетворювачем

Для визначення раціональних параметрів електромоблока проведено дослідження впливу потужності приводного двигуна а також маси і лінійної швидкості мотоблока на критерій оптимізації – тягове зусилля мотоблока, отримано рівняння регресії з урахуванням співвідношень між факторами в фізичних одиницях

$$F = 1,531 + 1,517P - 0,965V - 0,145G - 1,56PV + 0,25P^2 + 0,75V^2 + 0,27G^2. \quad (29)$$

Отримано у відповідності до рівняння регресії три варіанти двовимірних перерізів поверхні відгуку з побудовою та аналізом сімейства контурних кривих. З аналізу контурних кривих (рис. 11) можна визначити зміну величини критерію оптимізації (F) в залежності від кодованих і натуральних значень розглянутих факторів. Виконання всіх можливих двовимірних перерізів поверхонь відгуку дає наочне уявлення про значення критерію оптимізації при варіюванні рівнів кожної пари факторів. Для даного класу електромоблоків експлуатаційні показники близькі до оптимальних з урахуванням реальних умов

роботи агрегатів можуть бути визначені в наступних межах: $F = 1,5...3,0 \text{ кН}$;
 $P = 1,0...3,0 \text{ кВт}$; $V = 0,6...1,0 \text{ м/с}$; $G = 0,5...1,1 \text{ кН}$

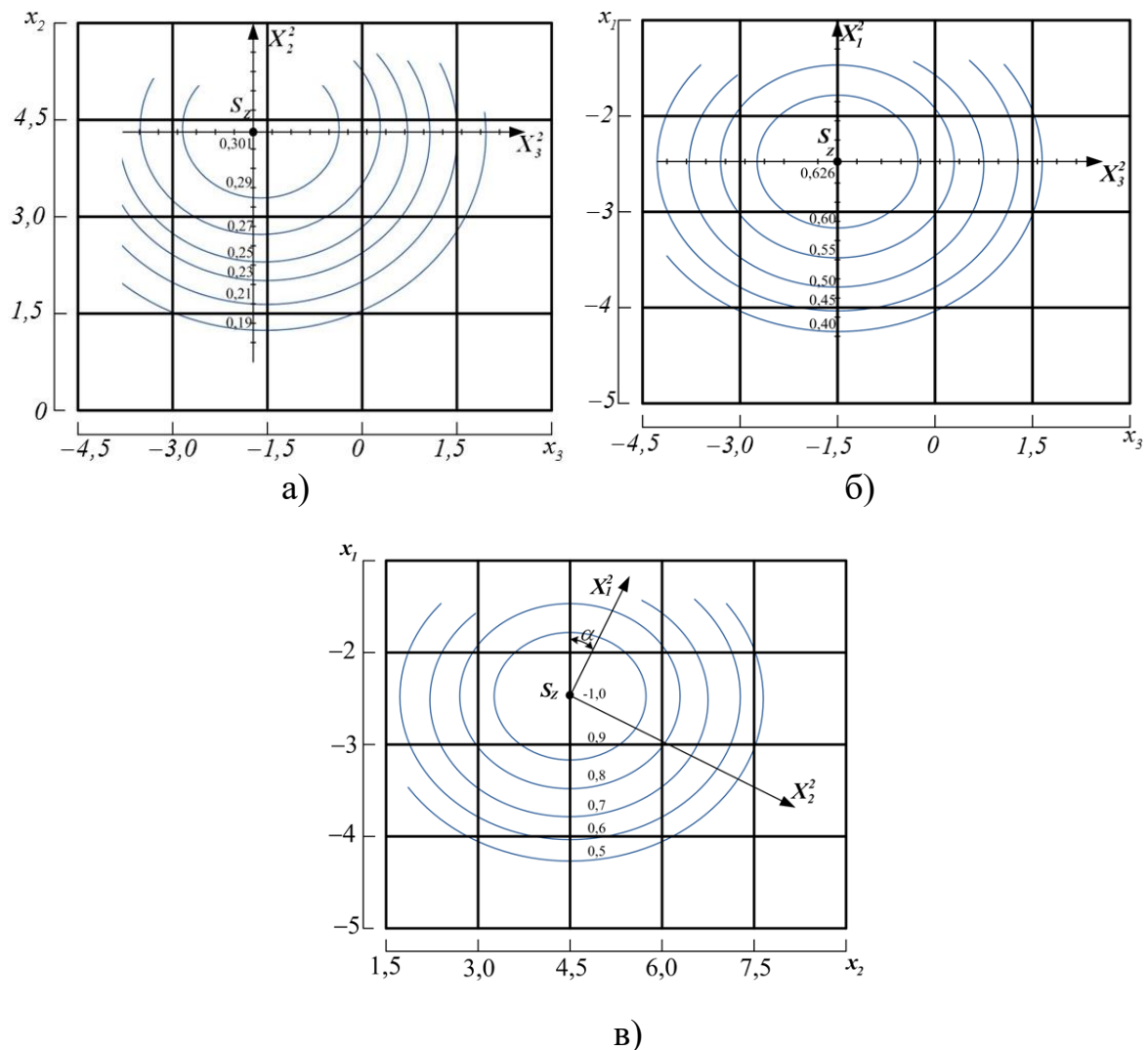
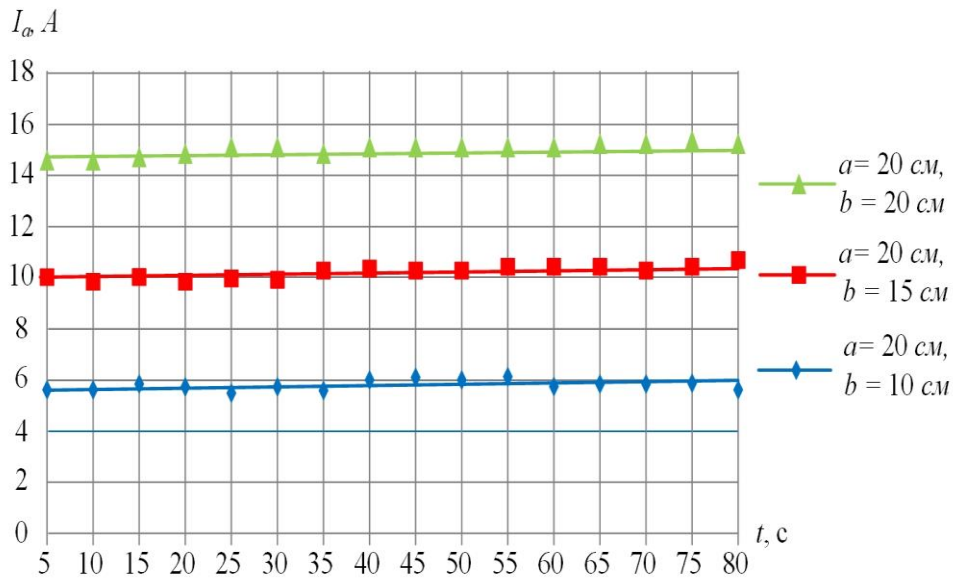


Рис. 11. Контурні криві перетинів поверхні відгуку при:
 а) $x_1 = 0, P = 1,8 \text{ кВт}$ і значеннях $Y_s = 0,301; 0,29; 0,27; 0,25; 0,23; 0,21; 0,19$;
 б) $x_2 = 0, V = 0,8 \text{ м/с}$ і значеннях $Y_s = 0,626; 0,6; 0,55; 0,5; 0,45; 0,4$;
 в) $x_3 = 0, G = 1,2 \text{ кН}$ і значеннях $Y_s = 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5$

Польові випробування дослідного зразку електромоблока, оснащеного тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження, було проведено на контрольних ділянках ФГ «ЄНІСЕЙ-7» (с. Ботієве Мелітопольського району Запорізької області) при оранці ґрунту. Значення швидкості обмежувались виходячи із значення твердості ґрунту. Проведення польових випробувань виконувалось на різних швидкостях пересування агрегату та глибинах обробітку ґрунту (заглибленнях плуга). Мінімальна швидкість при оранці регламентувалась Керівництвом по експлуатації мотоблока при роботі з плугом П1-20/2, та склала 2 км/год. Максимальне значення струму якоря ДПС потужністю 2,5 кВт становить 15 А (рис.12), що не перевищує номінального значення.

Отримано струмо-часові характеристики тягового електродвигуна при різних значеннях глибин обробки ґрунту (рис.12). З характеристик видно, що при гли-



бині обробки 10, 15 і 20 см, середні значення струму якоря відповідно становлять: 5,9, 10,1 і 14,8 А, що свідчить про значення коефіцієнта завантаження тягового двигуна в діапазоні від 0,37 до 0,93, тобто двигун працює без перевантаження.

Рис. 12. Струмо-часова характеристики електродвигуна приводу ґрунтообробного електромоблока

Отримані залежності необхідної потужності електродвигуна приводу електромоблока для оранки ґрунту від швидкості руху (рис. 13), що характеризують умови польових випробувань.

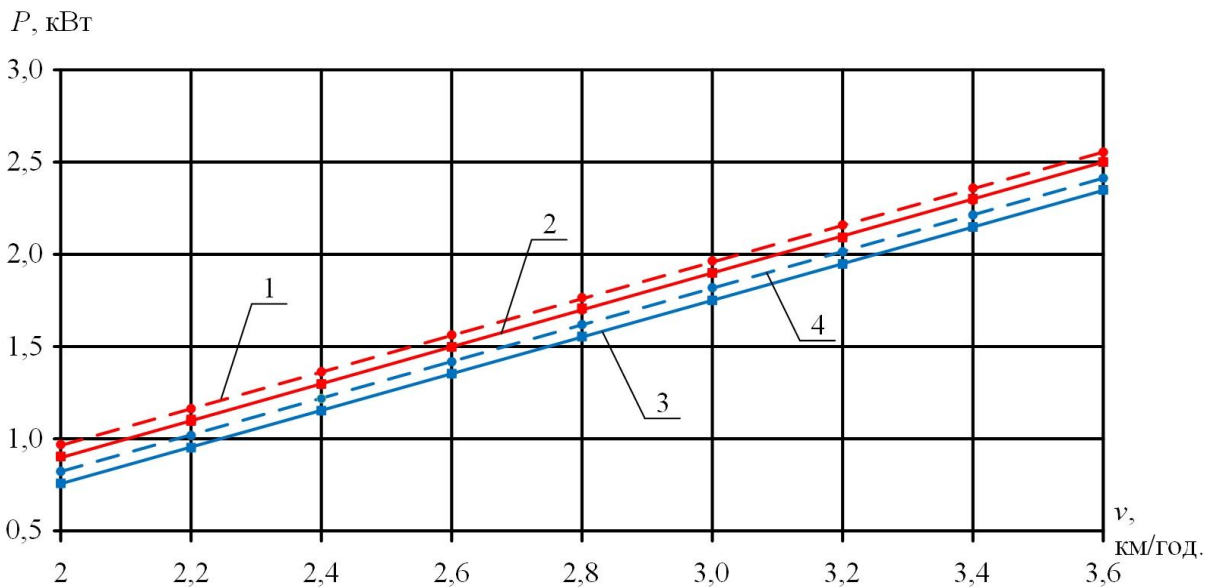


Рис. 13. Залежність потужності оранки ґрунту P від швидкості руху v електромоблока масою 100 кг при твердості ґрунту $H=1,0$ МПа: експериментальна (1) і розрахункова (2); при твердості ґрунту $H=0,8$ МПа: розрахункова (3) і експериментальна (4)

Аналіз залежностей потужності свідчить про зростання її значень при збільшенні швидкості руху. При твердості ґрунту $H=1,0$ (0,8) МПа при зростанні швидкості від 2,0 до 3,6 км/год. (у 1,8 рази), потужність збільшується у 2,6 рази з 1,0 (0,9) кВт до 2,6 (2,4) кВт за лінійною залежністю. Інтенсивність зростання потужності перевищує інтенсивність зростання швидкості пересування електромоблока в 1,44 рази.

Аналіз залежностей питомої енергоємності E_{nut} оранки ґрунту від швидкості руху v електромоблока (рис. 14) свідчить про зростання енергоємності за лінійним законом. При твердості ґрунту $H=1,0$ (0,8) МПа при зростанні швидкості від 2,0 до 3,6 км/год., питома енергоємність збільшується у 1,2 рази: з $45 \cdot 10^{-3}$ ($42 \cdot 10^{-3}$) до $54 \cdot 10^{-3}$ ($51 \cdot 10^{-3}$) кВт год./м³, що складає $(9 \cdot 10^{-3})$ кВт год./м³.

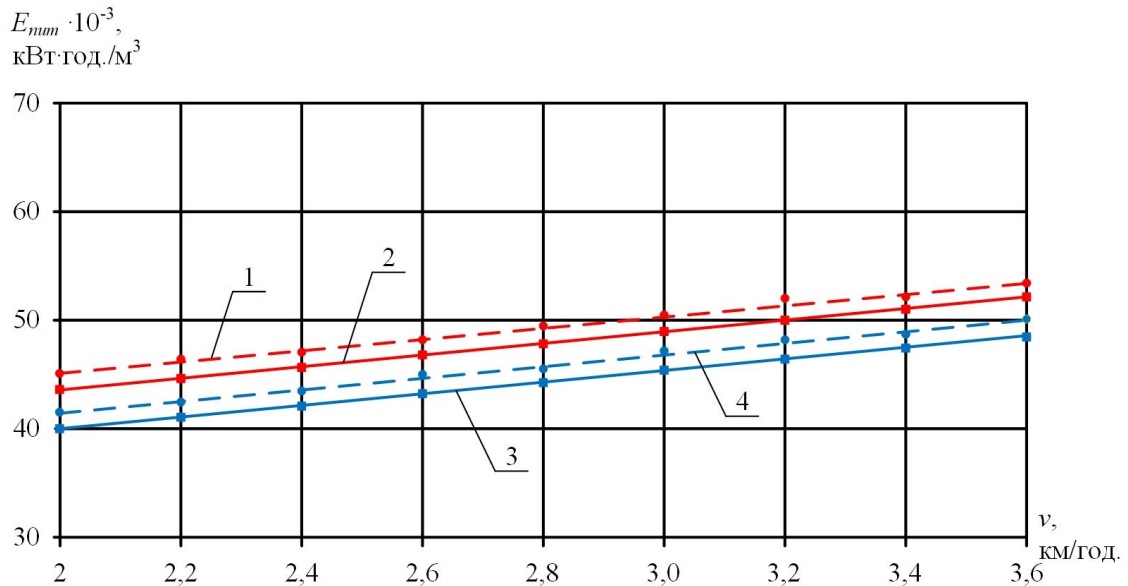


Рис. 14. Залежність питомої енергоємності E_{nut} оранки ґрунту від швидкості руху v електромоблока масою 100 кг при твердості ґрунту $H=1,0$ МПа: експериментальна (1) і розрахункова (2); при твердості ґрунту $H=0,8$ МПа: розрахункова (3) і експериментальна (4)

У п'ятому розділі «Техніко-економічна оцінка» наведена техніко-економічна ефективність застосування розробленого електромоблока. Встановлено, що при продуктивності моблока до 0,1 Га/год., енергоємність обробітку ґрунту зменшується на 10-12%. Річний економічний ефект від впровадження ґрунтообробного електромоблока складає 20,1 тис. грн. при терміні окупності 1,5 року.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та вирішення науково-технічної задачі, яка полягає в підвищенні енергоефективності основних видів обробітку ґрунту за рахунок обґрунтування параметрів і режимів роботи електромоблока.

Отримані теоретичні і експериментальні результати дозволяють зробити наступні загальні висновки.

1. Проведеним аналізом відомих досліджень встановлено, що існуючі конструкції ґрунтообробних моблоків не можуть в достатній мірі задовільнити вимогам енергоефективного обробітку ґрунту. Для забезпечення необхідної енергоефективності запропоновано моблок з електроприводом постійного струму, який забезпечує зниження питомих енерговитрат на обробіток ґрунту. Для забезпечення електроживлення моблока ефективним є спосіб, який передбачає застосування гнучкого кабелю.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено раціональні параметри моблока: потужність приводного електродвигуна $P = 1,0 \dots 3,0$ кВт; лінійна швид-

кість руху $V = 0,6...1,0 \text{ м / с}$; зчіпна вага $G = 0,5...1,1 \text{ кН}$. Це дозволило отримати критерій оптимізації - тягове зусилля на рівні $F = 1,5...3,0 \text{ кН}$.

3. Для формування режиму керування двигуна постійного струму привода електромоблока в режимі пуску необхідне значення напруги живлення обмотки якоря становить $0,05U_n$, що дає можливість забезпечити кратність пускового струму і моменту $M_* = M_{II*} = 2...3$; $I_* = I_{II*} = 2...3$ при коефіцієнті ослаблення магнітного потоку $\beta_{оп} = 1$. Для керування ДПС в режимі незмінності споживаної потужності необхідне значення напруги живлення обмотки якоря становить $U_{омт.} = 0,75...0,9U_n$, що дасть можливість забезпечити керування по максимуму ККД ($\beta_m = const$) при коефіцієнті ослаблення магнітного потоку $\beta_{оп} = 1$. Для керування ДПС в режимі максимальної швидкості необхідне значення напруги живлення обмотки якоря становить U_n , при коефіцієнті ослаблення магнітного потоку $\beta_{оп} \geq 0,4$.

4. Розроблена система імпульсно-фазового керування забезпечує діапазон регулювання кута α до 210° , асиметрію не більше $1,5^\circ$, тривалість імпульсу не менше 450 мкс , амплітуду імпульсів 20 В , а тривалість переднього фронту імпульсу не більше 15 мкс . Коефіцієнт передачі системи імпульсно-фазового керування становить $9^\circ / \text{В}$, тобто при зміні напруги керування на 1 В кут α змінюється на 9° , що забезпечує виконання умов і характеристик регулювання тягового електродвигуна по максимуму ККД.

При дослідженні спостережника швидкості обертання ДПС привода електромоблока встановлено, що тривалість перехідного процесу не перевищує $1,5 \text{ с.}$, перерегулювання оцінки моменту навантаження складає $4,3\%$, що відповідає заданому розподілу коренів поліному по Батерворту, похибки величин, що регулюються, асимптотично прагнуть до нуля. Відповідно, розроблена система є асимптотично стійкою.

5. Встановлено, що сумарний інтегральний техніко-енергетичний коефіцієнт електромоблока, який враховує питомі експлуатаційні показники, складає $K_z = 6,9$, що в $1,4...2,5$ разів вищий, ніж у мотоблоків аналогічного класу. Річний економічний ефект від впровадження розробленого електромоблока складає $20,1 \text{ тис. грн.}$ при терміні окупності $1,5$ року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Ковальов О.В., Катюха А.А., Назар'ян Г.Н. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків. *Праці ТДАТА*. 2007. Вип. 7, т.3. С. 93-99. (Здобувачем обґрунтовано питомі показники мотоблоків)

2. Ковальов О.В. Енергетичний баланс та закон оптимального керування мотоблоком з тяговим електродвигуном постійного струму. *Праці ТДАТУ*. 2008. Вип. 8, т. 5. С. 138-148.

3. Ковальов О.В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД. *Науковий вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут»*. 2008. №30. С. 509-510.

4. Ковальов О.В. Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока. *Вісник ДДАУ*. 2010. Вип. 2. С 80-84.
5. Ковальов О.В., Куценко Ю.М., Назар'ян Г.Н. Розрахунок потужності та вибір тягового електродвигуна приводу мотоблока. *Праці ТДАТУ*. 2010. Вип. 10, т.8. С. 228-238. (Здобувачем обґрунтовано тип та визначена потужність електродвигуна приводу електромоблока)
6. Ковальов О.В. Обґрунтування оптимального режиму керування тяговим двигуном постійного струму мотоблоку. *Праці ТДАТУ*. 2011. Вип. 11, т.3. С. 155-164.
7. Ковальов О.В., Куценко Ю.М., Рубцов М.О. та ін. Оптимізація експлуатаційних показників електромоблоку методом планування експерименту. *Праці ТДАТУ*. 2011. Вип. 11, т.4. С. 187-200. (Здобувачем отримана математична модель області оптимуму параметру оптимізації).
8. Ковальов О.В., Назар'ян Г.Н., Куценко Ю.М. Аналітичне визначення оптимальних експлуатаційних показників електрифікованого ґрунтообробного мотоблоку. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2011. Вип. 116. С. 108-111. (Здобувачем визначено оптимальні експлуатаційні показники електромоблока).
9. Ковальов О.В., Квітка С.О. Обґрунтування способу керування ДПС приводу мотоблоку. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2011. Вип. 175. С. 146-147. (Здобувачем обґрунтовано режими керування електродвигуном проводу електромоблока).
10. Ковальов О.В., Хандола Ю.М. Комутація в ДПС електропривода ґрунтообробного мотоблоку. *Науково-технічний журнал «Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК»*. 2014. Вип. №1 (1). С. 42-44. (Здобувачем визначено потенційно-комутаційні умови на колекторі тягового електродвигуна мотоблока).
11. Квітка С.О., Ковальов О.В. Обґрунтування системи керування електроприводом ґрунтообробного мотоблоку. *Вісник СНАУ*. 2016. Вип. 10/1 (29). –С. 183-186. (Здобувачем розроблено функційну схему керування електродвигуном мотоблока)
12. Назаренко І.П., Ковальов О.В., Герасименко В.П. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблоку. *Збірник наукових праць «Енергетика і автоматика»*. 2018. № 5(39). С. 48-58. (Здобувачем обґрунтовано структурну та електромеханічну схеми електромоблока).
Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:
13. Kovalov O., Kvitka S., Solomakha O. et al. Development of a Motor Speed Observer for a Electrified Soil-Cultivating Motoblock. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Springer International Publishing, 2019. P. 365-374. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_38. (Здобувачем проведено моделювання спостережника швидкості обертання електродвигуна приводу мотоблока).
14. Kovalov O., Nazarenko I., Kvitka S. et al. "Electric Drive of Small-Sized Soil-Cultivating Motoblock," *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*. 2020, pp. 1-4, <https://doi:10.1109/PAEP49887.2020.9240884>. (Здобувачем отримано струмо-часові та механічні характеристики електродвигуна привода мотоблока).

15. Ковальов О.В. Шляхи реалізації енергозбереження засобами агропромислового електропривода. *Сучасні тенденції та перспективи розвитку збалансованого природокористування в агропромисловому виробництві*: матер. Міжнар. наук.-практ. конф./ Ніжин, 2015. С. 217-221.

16. Ковальов О.В. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку. *Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК півдня України»*/ Мелітополь, 2015. С. 112-113

17. Ковальов О.В., Гулевський В.Б. Електротехнологічна система обробітку ґрунту на базі малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)*: матер. Міжнар. наук.-техн. конф./ НУБіП. Київ, 2016. С. 21-23. (Здобувачем обґрунтовано структурну схему силового енергетичного каналу електромоблока).

18. Ковалев А.В. Обоснование способа электропитания мотоблока с тяговым электродвигателем. *Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК*: матер. Междунар. науч.-техн. конф./ БГАТУ. Минск, 2017. С. 50-52.

19. Ковальов О.В., Постнікова М.В. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблоку. *Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: мат. міжнар. наук.-практ. конф./ ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 2018. С. 356-357. (Здобувачем отримано рівняння балансу потужностей електромоблока).

20. Ковальов О.В., Журавель Д.П., Постол Ю.О. та ін. Оцінка ефективності технічного рівня ґрунтообробних мотоблоків. *Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine: International scientific and practical conference. (December 21-22, 2018)*/ Wloclawek, Republic of Poland, 2018. P.117-120. (Здобувачем проведено розрахунки сумарного інтегрального коефіцієнта ефективності мотоблоків)

21. Ковальов О.В. Комутаційні режими роботи ДПС приводу ґрунтообробного мотоблоку. *Тendenції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*: матер. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф./ Переяслав-Хмельницький, 2018. С. 673-675.

22. Ковальов О.В. Режими роботи електродвигуна приводу ґрунтообробного мотоблоку. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)*: Мат. VII Міжнар. наук.-техн. конф. /НУБіП України. Київ, 2018. С. 96-98.

Праці, які додатково відображають результати дисертації

23. Ґрунтообробний мотоблок: пат. на кор. мод. 35352, Україна, МПК (2006, 51) B60K1/008. № u 200805379. Опубл. 10.09.2008 р., Бюл. №17. (Здобувачем отримано формулу винаходу, обґрунтовано схему пристрою керування).

АНОТАЦІЯ

Ковальов О.В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи регульованого електропривода мотоблока – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси і системи» (14 – електрична інженерія). – Міністерство освіти і науки України – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, 2021.

Проведено огляд існуючих конструкцій ґрунтообробних мотоблоків. Обґрунтовано спосіб електроживлення мотоблока.

Визначені параметри регулювання, що впливають на енергетичні та техніко-економічні показники мотоблока, а також на конструктивне виконання та параметри тягового електродвигуна.

Обґрунтовано та розроблено систему керування електродвигуном привода ґрунтообробного мотоблока. Отримано структурно-функційну схему керування та виконано синтез спостережника швидкості електродвигуна приводу електромотоблока.

Теоретично і експериментально досліджено параметри і режими роботи ґрунтообробного мотоблока. Проведено багатофакторний експеримент. Отримані рівняння регресії дають можливість оцінити вплив параметрів електрифікованого мотоблока на енерговитрати при основних видах обробітку ґрунту.

Приведено техніко-економічні показники ефективності впровадження електрифікованого ґрунтообробного мотоблока.

Ключові слова: обробіток ґрунту, електромотоблок, тягова характеристика, система керування, параметри регулювання, тяговий двигун.

АННОТАЦИЯ

Ковалев А.В. Обоснование параметров и режимов работы регулируемого электропривода мотоблока - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы» (14 - электрическая инженерия). - Министерство образования и науки Украины – Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, 2021.

Диссертационная работа посвящена снижению удельных энергозатрат на обработку почвы путем обоснования параметров и режимов работы электропривода почвообрабатывающего мотоблока.

Проведен обзор существующих конструкций мотоблоков с двигателями внутреннего сгорания и с электроприводом. Проведен анализ способов электропитания мотоблоков с тяговыми электродвигателями. Обосновано использование гибкого кабеля для электропитания мотоблока.

На основании анализа тяговых характеристик и эксплуатационных показателей мотоблока определены параметры регулирования, влияющие на энергетические и технико-экономические показатели мотоблока, а также на конструктивное исполнение, номинальные данные и параметры тягового электродвигателя.

Разработана методика расчета мощности и выбора тягового электродвигателя привода электромотоблока, проведена проверка двигателя по условиям нагрева и перегрузочной способности, а также выполнена оценка потенциально-коммутационных условий на коллекторе.

Обоснованы параметры и характеристики регулирования, определяющие режимы управления тягового двигателя на основных участках изменения угловой скорости. Полученный алгоритм реализации закона управления тяговым электродвигателем по максимуму коэффициента полезного действия позволяет обеспечить реализацию заданной тяговой характеристики с высокими технико-энергетическими показателями.

Обоснована и разработана система управления электродвигателем привода почвообрабатывающего мотоблока. Представлена структурно-функциональная схема управления и выполнен синтез наблюдателя скорости электродвигателя привода мотоблока. Проведены исследования полученного наблюдателя скорости путем моделирования в программе Matlab / Simulink.

Обоснованы параметры и режимы работы почвообрабатывающего мотоблока. Проведен многофакторный эксперимент. Полученные уравнения регрессии позволяют оценить влияние параметров электрифицированного мотоблока на энергозатраты при основных видах обработки почвы.

Проведенные теоретические исследования и сравнительная технико-энергетическая оценка мотоблоков показали высокий технический уровень мотоблока с электроприводом. Приведены технико-экономические показатели эффективности внедрения электромотоблока.

Ключевые слова: обработка почвы, электромотоблок, тяговая характеристика, система управления, параметры регулирования, тяговый двигатель.

SUMMARY

Kovalov O.V. Justification of the parameters and operating modes of the regulated electric drive of motoblock - Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.09.03 - "Electrotechnical complexes and systems" (14 - electric engineering). - The Ministry of Education and Science of Ukraine - the Tavriya State Agrotechnological University Name for Dmitry Motorny, Melitopol, 2021.

The review of existing designs of tillage motoblocks is carried out. The method of power supply of the motoblock is substantiated.

The control parameters that affect the energy and technical and economic performance of the motoblock, as well as the design and parameters of the traction motor are determined.

The control system of the electric motor of the drive of the tillage motoblock is substantiated and developed. The structural-functional control scheme is obtained and the synthesis of the speed monitor of the electric motor of the motoblock drive is performed.

The parameters and modes of operation of the tillage motoblock are theoretically and experimentally investigated. A multifactorial experiment was performed. The obtained regression equations make it possible to estimate the influence of the parameters of the electrified motoblock on energy consumption in the main types of tillage.

The technical and economic indicators of efficiency of introduction of the electrified tillage motoblock are resulted.

Keywords: tillage, electrified motoblock, traction characteristics, control system, control parameters, traction engine.

Підписано до друку 25.03.2021 р. Замовл. № 1348
Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1,0. Наклад 100 прим.

Віддруковано в Таврійському державному агротехнологічному університеті
імені Дмитра Моторного.

Адреса: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18