

УДК 629.114 : 631.3.06

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

В.Г. Мироненко, докт. техн. наук, проф.,

Я.М. Гадзало, академік НААН, віце-президент НААН,

В.М. Третяк, канд. техн. наук, доцент

ННЦ «ІМЕСГ»

Викладено результати досліджень щодо впливу ККД елементів МТА на паливну економічність.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, ККД, система «ДВЗ — трансмісія — ходова система — ґрунт».

Проблема. Ретроспективний аналіз росту цін тракторів та палива до них відносно вартості хліба (рис. 1) показує їх суттєве зростання — особливо вуглеводневого пального.

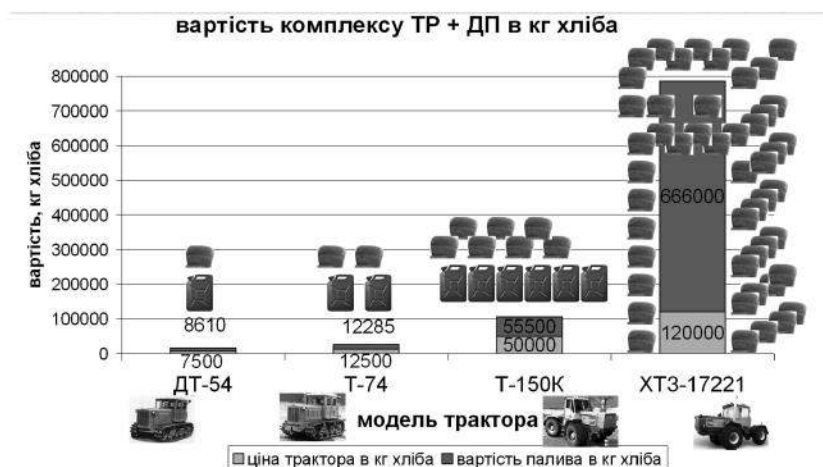


Рис. 1. Суттєве зростання долі вартості дизельного пального

З наведеної гістограми видно, що за умов ринкової економіки, суттєво порушився баланс між вартістю трактора та пального, яке він використовує до капітального ремонту. Тому споживач має рацію щодо придбання більш дорогого, але економічного трактора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Огляд технічних рішень провідних світових тракторобудівних фірм, які було представлено на міжнародному агропромисловому салоні «SIMA 2013» показує, що увага приділяється узгодженню всіх складових елементів тракторів — програмам керування системою подачі дизельного пального «Common rail», комп'ютерним системам узгодження режимів роботи трансмісії з економічним режимом ДВЗ, раціональним баластуванням для підвищення тягового ККД з використанням колісних або гусеничних гумово-армованих рушіїв з метою мінімального витрачання енергії на деформування ґрунту та раціонального формування МТА. На жаль в Україні матеріально-технічна база виробництва тракторів та комплектуючих до них суттєво застаріла. В трансмісії тракторів українського виробництва встановлюють прямозубові шестерні, кількість передач в трансмісії недостатня для оптимізації режимів ДВЗ з навантаженням, вентилятор систем охолодження споживає потужність незалежно від теплових характеристик систем, системи підресорювання відсутні або дуже примітивні, насоси гідравлічних систем постійної продуктивності... Придбання комплектуючих провідних світових фірм суттєво підвищує вартість трактора, що не вписується в цінові сегменти вітчизняних брендів. Наприклад, трактори ТОВ «Укравтозапчастина» типу МТЗ-82 з потужністю двигуна 80 к.с. реалізуються за ціною 160 тис. грн, а трактор виробництва АТ «ХТЗ» з двигуном удвічі більшої потужності продається за ціною близько 600 тис. грн. Ціна однієї кінської сили в першому випадку — 2000 грн, а в другому — 3000 грн. Це значить, що вартість трьох «МТЗ» менше вартості одного «ХТЗ», а їх сумарна потужність більша.

Мета досліджень полягає у пошуку шляхів оптимізації процесів перетворення теплової енергії у виконану корисну роботу сільськогосподарським МТА.

Результати досліджень. Об'єктом досліджень є динамічні процеси взаємодії складових МТА.

$$\eta_{МТА} = \eta_{ДВЗ} \cdot \eta_{дон} \cdot \eta_{транс} \cdot \eta_{руш} \cdot \eta_{аерез} \quad (1)$$

де $\eta_{МТА}$ — сумарний ККД МТА, $\eta_{ДВЗ}, \eta_{дон}, \eta_{транс}, \eta_{руш}, \eta_{аерез}$ — відповідно ККД ДВЗ, додаткових пристроїв для обслуговування трактора (системи охолодження

агрегатів, електрообладнання, пневмосистема, гідросистема, підсилювачі керування), трансмісії, ходової системи, агрегування.

ККД ДВЗ суттєво залежить від режиму роботи. Наприклад, ККД відомого двигуна СМД-62 є максимальним на коректорній гілці зовнішньої регуляторної характеристики, як показано на рис. 2.

Провідні світові розробники двигунів у технічній документації навіть не завжди приводять характеристики регуляторної гілки. Вони вважають, що двигун повинен працювати в режимі максимального ККД. На рис. 3 наведено залежність ККД від частоти обертання сучасного двигуна з системою живлення «Common rail», фірми Perkins, де видно, що при частоті обертання 1400 хв^{-1} ККД вище на 4 % ніж на частоті 2400 хв^{-1} .

Але дизельні двигуни можуть працювати тільки на дизельному пальному (з нафти чи рослинний біодизель), яке за ринкових умов, суттєво виросло в ціні. Тому спостерігається тенденція збільшення використання альтернативних видів енергії (сक्रапелений пропан-бутан, стиснений метан, криогенний метан, біоетанол, біогаз та електрична енергія). В плані багатопаливності більше підходять двигуни з іскровим запаленням. Сучасні інжекторні системи живлення

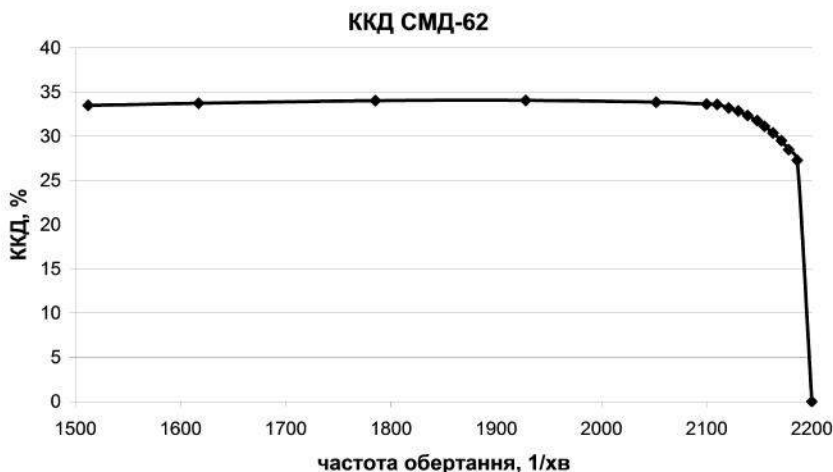


Рис. 2. Залежність ККД від режиму роботи двигуна СМД-62 на зовнішній регуляторній характеристиці

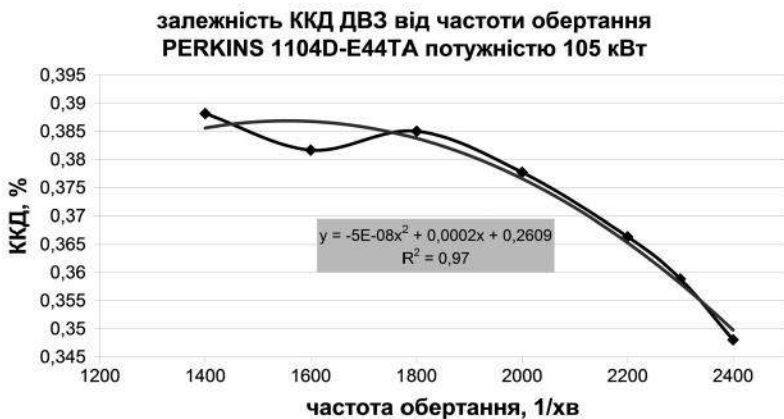


Рис. 3. ККД сучасного тракторного двигуна Perkins 1104D-E44TA

за допомогою зворотних зв'язків та комп'ютерного керування автоматично налаштовуються на пальне з різними властивостями. Автомобільні електронні блоки керування можуть мати декілька програм, які автоматично вибираються в залежності від кількості біоетанолу в безоетаноловій суміші (від 5 до 95 %) або калорійності газового пального. Але максимальний ККД двигунів з іскровим запаленням також знаходиться в обмеженій зоні, як показано на рис. 4.

Провідні тракторобудівні фірми суттєву увагу приділяють узгодженню роботи ДВЗ з споживачем енергії за допомогою трансмісій різних типів. На рис. 5 показано, як змінюється ККД поширеного трактора Т-150К від вибору передачі.

Розвиток трансмісій тракторів залежить від розвитку елементної бази в інших галузях техніки. Механічні ступінчасті трансмісії мають високий ККД, але є певні складнощі із зміною передаточного відношення в процесі зміни навантаження при роботі МТА. Особливо це стосується тягово-транспортних засобів (ТТЗ) при передачі потужностей понад 300...500 кВт.

Для реалізації безступінчастої зміни передаточного відношення в процесі роботи широко поширені гідродинамічні трансмісії (гідротрансформатори). Але ККД гідротрансформаторів знаходиться в межах 75...85 %, що значно впливає на витрати пального. Тому провідні фірми відходять від послідовного включення гідротрансформаторів в трансмісії ТТЗ. Поширюються двохпоточні

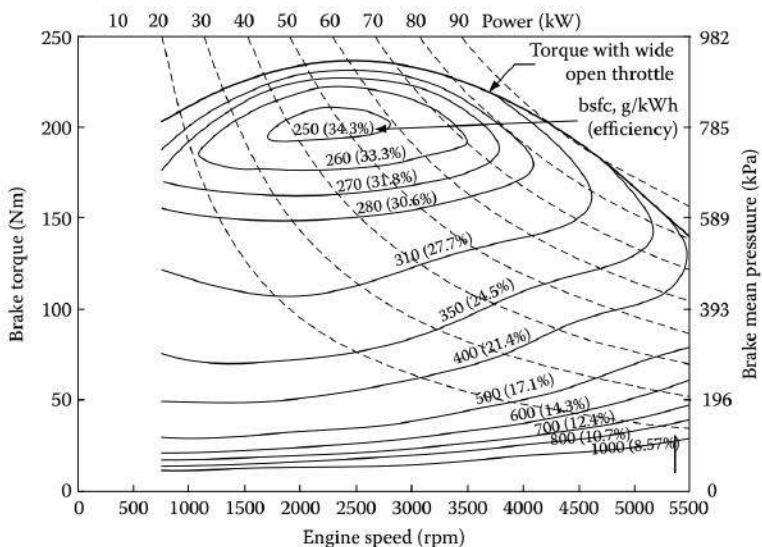


Рис. 4. Типова характеристика залежності ККД від частоти обертання та крутного моменту ДВЗ з іскровим запаленням

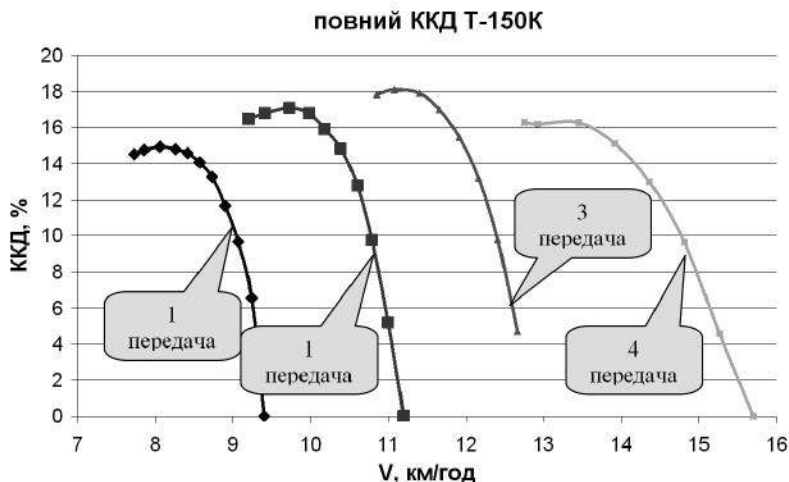


Рис. 5. Залежність повного ККД трактора від вибору передачі

планетарні трансмісії, в яких тільки частина потужності передається через гідротрансформатор. Такі схеми використовуються фірмою Caterpillar в транспортних машинах та промислових тракторах. Світовий досвід не підтвердив використання гідродинамічних трансмісій в сільськогосподарських тракторах (трактор ДТ-175С також не набув масового виробництва).

Гідростатичні трансмісії досить широко використовуються в спеціалізованих мобільних сільськогосподарських агрегатах, де на рушії приходиться незначна потужність. Це висококліренсні обприскувачі, міні-техніка, зернозбиральні комбайни. Таке вибіркове розповсюдження пояснюється досить низьким ККД (0,75...0,85), яке суттєво зменшується із збільшенням довжини трубопроводів та умовами компоновання. Тому на тракторах набувають поширення комбіновані двохпотокові трансмісії типу «Fendt Vario», «DynaVT Massey-Ferguson». В такій трансмісії значна частина потужності передається механічним шляхом, а інша частина передається через гідрооб'ємні машини, які розташовано в одному корпусі з метою скорочення втрат в гідравлічних магістралях. Таке схемне рішення суттєво підвищує ККД безступінчастої трансмісії.

Поєднання безступінчастих трансмісій з ДВЗ, який працює в найбільш економічному фіксованому режимі, приводить до силового агрегату постійної потужності. Вихідні характеристики такого агрегату (величина крутного моменту — частота обертання або сила тяги — швидкість руху) характеризуються гіперболічними залежностями (рис. 6).

З наведених гіперболічних залежностей видно, що для ґрунтообробних МТА найбільш поширених тягових класів, моторно-трансмісійні установки постійної потужності не забезпечують допустимі діапазони робочих швидкостей. Тому виникає задача створення вторинного джерела енергії змінної потужності при первинному джерелі (ДВЗ) — постійної потужності. Такі схеми гібридних енергетичних установок почали широко використовуватись в автомобілях, автобусах, будівельній техніці та інших ТТЗ. В якості накопичувача енергії, в залежності від виду трансмісії, використовують іоністори (суперконденсатори), електричні акумулятори, маховики та пневматичні акумулятори.

Слід зауважити, що максимальний ККД типового електричного двигуна постійного струму також має обмежену зону, як показано на рис. 7. Тому виробництво автобусів з електричною трансмісією (ЗІС-154) було припинено з причини їх низької економічності, навіть з використанням дизельного двигуна

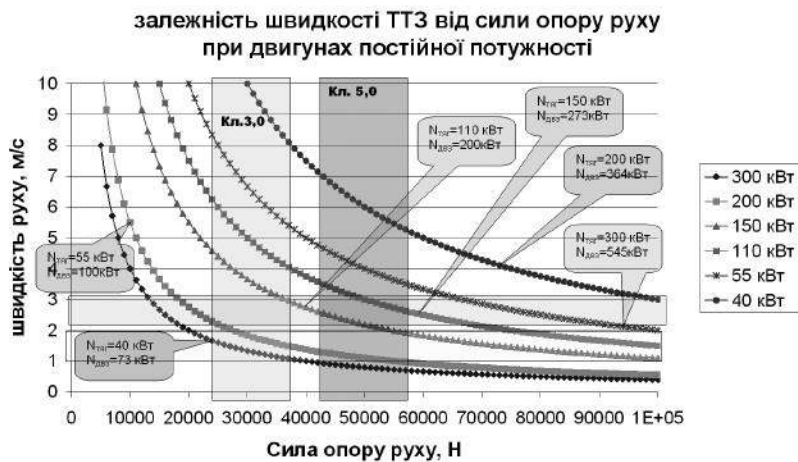


Рис. 6. Тягові характеристики тракторів з моторно-трансмісійними установками постійної потужності

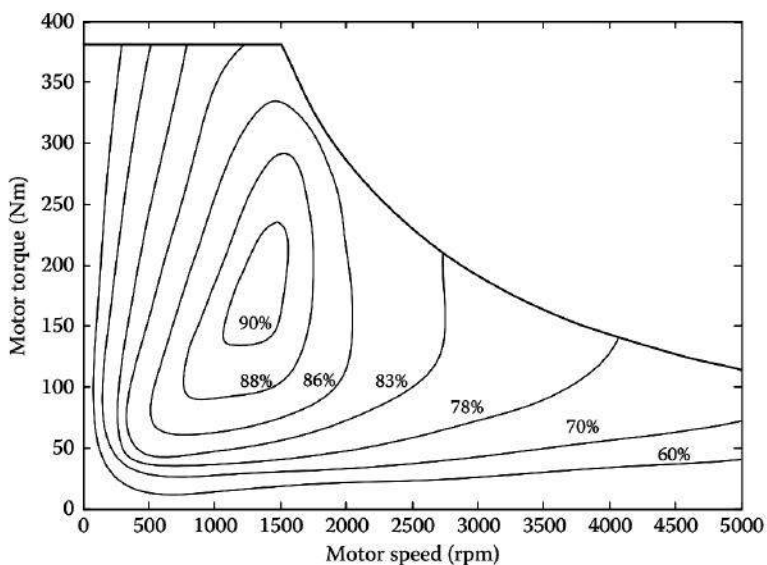


Рис. 7. Типова характеристика електричного двигуна постійного струму

ЯАЗ-204. Але промислові трактори ДЕТ-250 (Челябінського тракторного заводу) з електричною трансмісією на машинах постійного струму мали досить високі економічні показники в експлуатації.

Сучасні вентиляльні двигуни, які використовуються в ТТЗ різного призначення, мають вищі показники ККД (рис. 8), але також в досить обмеженій зоні характеристики. Тому в залежності від потужності, яку споживає ТТЗ, доцільно використовувати еквівалентну кількість тягових електричних двигунів, що підвищить ККД системи.

Таким чином, побудова трактора з гібридною енергетичною установкою повинна складатись з перетворювача первинної енергії постійної потужності в енергію трансмісії (ДВЗ + електричний генератор), накопичувача енергії (суперконденсатор, акумулятор) та декількох тягових електричних двигунів, активізація яких відповідає потужності яку споживає МТА.

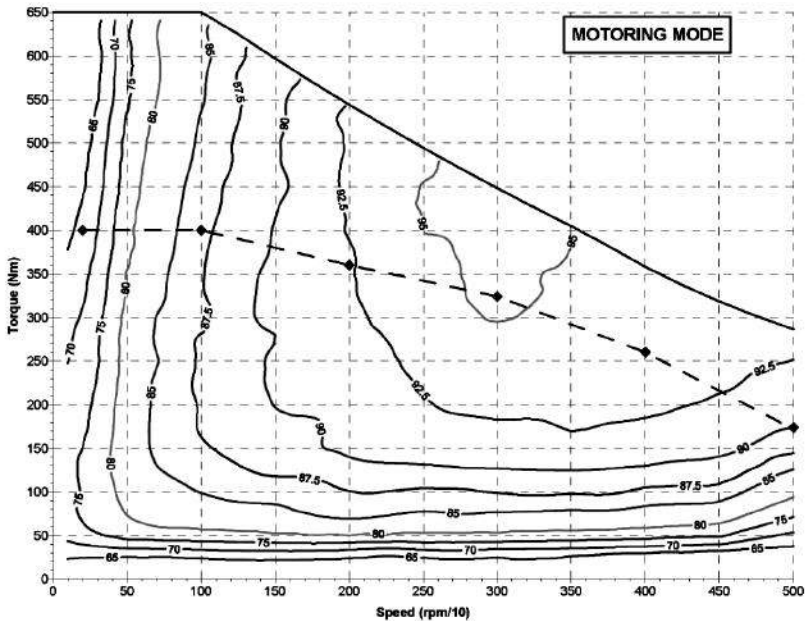


Рис. 8. ККД сучасного вентиляльного електричного двигуна з максимальною потужністю 100 кВт

ККД ходової системи ТТЗ сільськогосподарського призначення залежить від стану опорної поверхні. Тому провідні світові фірми працюють над системами зміни тиску (площі опорної поверхні) в колесах тракторів в процесі руху. Конструкційні рішення, які використовуються у ТТЗ військового призначення не завжди можна використати в традиційних компонуваннях тракторів (півосі з плаваючими сонячними шестернями планетарних передач складно ущільнювати для пневматичних магістралей підкачки коліс). Крім того широко впроваджується баластування для вирівнювання тиску рушіїв ТТЗ в процесі роботи МТА.

Відомо, що популярні в свій час трактори Т-74 тягового класу 3,0 з двигуном потужністю 74 к. с. витрачали по 16 л/га дизельного пального на орних роботах. Трактори типу МТЗ-82 з двигуном потужністю 80 к. с. майже не використовуються на орних роботах тому, що їх клас тяги в два рази нижче — 1,4. Додатковий технологічний модуль суттєво підвищує тяговий ККД завдяки підвищенню зчіпної маси, збереженню тиску на ґрунт та узгодженню силових факторів комплектуючих МТА, що дозволяє виконувати оранку 5-ти корпусним плугом (рис. 9). Такі модулі в умовах нестабільних величин площ землекористування можуть мати попит.

Слід звернути увагу на тенденцію використання в ТТЗ декількох джерел первинної енергії (ДВЗ). Наприклад, на останній розробці кар'єрному самоскиді БелАЗ-75710 встановлено два дизельних двигуни MTU DD 6V4000 потужністю по 2330 к.с., кожний з яких працює на свій ведучий міст. Це дозволяє рухатись без вантажу при роботі одного двигуна. На тракторі «Fendt Vario Trisix»



Рис. 9. Орний агрегат з МТЗ-100 та плугом ПЛН5-35

встановлено дві трансмісії Fendt Vario. Одна забезпечує потужністю передній та середній ведучі мости, а друга — задній. На самохідних скреперах моделі CAT-675G відомої фірми Caterpillar (рис. 10) встановлено дві окремі моторно-трансмісійні установки на кожному модулі різної потужності. А при завантаженні твердого ґрунту у випадках недостатньої тягової потужності, скрепери мають пристрої для з'єднання без зупинки двох — трьох машин з метою використання всіх чотирьох — шести моторно-трансмісійних установок для почергового завантаження ковшів.

Модульна концепція тракторів фірми «Valtra», в разі потреби у великій потужності, передбачає об'єднання двох окремих модулів потужністю 100 та 200 кВт в один сільськогосподарський МТА.

Розроблено нову оригінальну методику проведення тягових розрахунків модульних ТТЗ з двома моторно-трансмісійними установками різної потужності. Проведені тягові розрахунки модульного ТТЗ (рис. 11) показали підвищення тягового ККД і відповідно економію пального при роботі більш потужного ДВЗ на коректорній гілці зовнішньої регуляторної характеристики, а менш потужно-го — на регуляторній гілці.



Рис. 10. Скрепер з двома незалежними моторно-трансмісійними установками

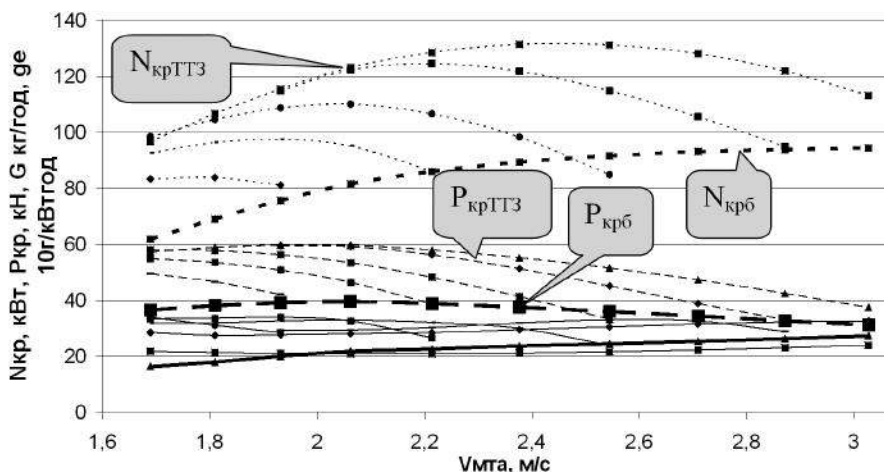


Рис. 11. Залежності, одержані з тягового розрахунку ТТЗ у складі трактора типу МТЗ-82 та колісного «бустера» з двигуном потужністю 180 к.с.

Висновки.

1. Основним критерієм при розробленні перспективних тракторів сільськогосподарського призначення повинно бути одержання максимального сумарного ККД МТА.
2. Сучасна елементна база побудови трансмісій з накопичуванням енергії дозволяє забезпечити роботу ДВЗ в режимі максимального ККД.
3. Для підвищення загального ККД при роботі МТА із значним коливанням тягової потужності доцільно регулювання потужності кількістю задіяних ДВЗ.
4. Розроблена нова методика проведення тягових розрахунків ТТЗ з декількома джерелами первинної енергії дозволяє оцінювати паливну економічність (ККД) МТА модульної побудови.

Бібліографія

1. *Надыкто В.Т.* Основы агрегатирования модульных энергетических средств. — Мелитополь: КП «ММД», 2003. — 240 с.

2. *Третьяк В.М.* Проблемы створення потужних мобільних енергетичних засобів для впровадження сучасних технологій у рослинництві. Вісник аграрної науки. — 2010. — Спеціальний випуск, травень, — С. 88-93.
3. *Рославцев А.В., Третьяк В.М., Хаустов В.А.* Модульные энерготехнологические средства на базе гусеничных тракторов класса 3. Тракторы и сельхозмашины. — 1996. — № 8. — С. 17-18.
4. *Рославцев А.В., Быков А.А., В.М. Третьяк, А.В. Грибовский.* Комплектование машинно-тракторного агрегата и динамика его движения. Приводная техника. Техничко-аналитический информационный журнал. М. — 2003. — № 3 (43). — С. 43-46.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Приведено результати досліджень по підвищенню суммарного КПД сільськогосподарських тракторів.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, КПД, система «ДВС — трансмиссия — ходовая система — почва».*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL TRATKOROV

The results of studies to improve the overall efficiency of agricultural tractors.

Key words: *tractor units, the efficiency of the system «ICE — transmission — suspension system — the soil».*