

Проблеми розподілення потужності між рушіями сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів

Третяк В. М.,

к.т.н., доцент, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,
e-mail: viktor_tretyak@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-7641-7262

Говоров О. Ф.,

к.т.н., с.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,
e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725

Мацкевич Ю. М.,

пров. інж., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»;
ORCID iD 0000-0001-9251-3935

Третяк М. В.,

к.т.н., Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України;
ORCID iD 0000-0002-4605-3840

Оляднічук Р. В.,

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії, Уманський національний університет садівництва;
ORCID iD 0000-0003-3459-1673

Анотація

Мета. Визначення раціонального використання різних видів трансмісій для створення мультирушійних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів (МТА).

Методи. Аналіз технічних характеристик джерел механічної енергії, синтез системи розподілення потужностей за допомогою мотор-колів.

Результати. На підставі проведеного аналізу літературних джерел одержано пропозиції щодо вибору трансмісій для мультирушійних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів. Запропоновано кінематичний синтез електромеханічної трансмісії для індивідуальних рушіїв різного призначення.

Висновки

1. Максимальна транспортна швидкість сучасних сільськогосподарських тракторів знаходиться в діапазоні 40 ÷ 50 км/год, а мінімальна технологічна швидкість за максимальної потужності тягово-транспортного засобу (ТТЗ) може бути в

межах 4 ÷ 5 км/год під час роботи з ґрунторозпушувачем.

2. Сучасний сільськогосподарський ТТЗ повинен мати відношення максимальної швидкості до мінімальної до 10.
3. Номінальний діапазон частот обертання наявних на ринку тягових електричних двигунів не в змозі перекривати співвідношення більше ніж 2 ÷ 2,5.
4. Кінематичне об'єднання частот обертання двох електричних двигунів дозволяє перекривати діапазон робочих швидкостей МТА без механічного перемикачів елементів трансмісії.
5. Запропонований автономний моторно-трансмісійний агрегат дозволяє компонувати МТА з розподіленням електричних потужностей між додатковими рушіями технологічних модулів МТА.

Ключові слова: машино-тракторний агрегат, трансмісія, тягово-приводна концепція, рушії, електричне мотор-колесо.

Problems of power division between the devices of agricultural machine-tractor units

Tretyak V. M.,

Ph.D., Associate Professor, National Scientific Center "Institute of Agricultural Engineering and Electrification",
e-mail: viktor_tretyak@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-7641-7262

Govorov O. F.,

Ph.D., Senior Research Fellow, National Scientific Center "Institute of Agricultural Engineering and Electrification",
e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725

Matskevich Yu. M.,

Lead. eng., National Scientific Center "Institute of Agricultural Engineering and Electrification";
ORCID iD 0000-0001-9251-3935

Tretyak M.V.,

Ph.D., State Research Expert Forensics Center of the Ministers of Internal Affairs of Ukraine;
ORCID iD 0000-0002-4605-3840

Oliadnichuk R. V.,

Ph.D., Associate Professor of Agricultural Engineering, Uman National University of Horticulture;
ORCID iD 0000-0003-3459-1673

Annotation

Purpose. Determination of the rational use of various types of transmissions in the creation of multi-moving agricultural machine-tractor units.

Methods. Analysis of technical characteristics of sources of mechanical energy, synthesis of power distribution system using motor-wheels.

Results. Based on the analysis of literary sources, proposals were received for the choice of transmissions for multi-moving agricultural machine-tractor units. A kinematic synthesis of an electromechanical transmission for individual propellers for various purposes is proposed.

Conclusions

1. The maximum transport speed of modern agricultural tractors is in the range of 40 ÷ 50 km/h, and the minimum technological speed at the maximum power of the traction vehicle (TV) can be within 4 ÷ 5 km/h when working with a soil loosener.
2. Modern agricultural TV should have a ratio of maximum speed to minimum speed up to 10.
3. The nominal range of rotation frequencies of traction electric motors available on the market is not able to overlap the ratio more than 2 ÷ 2.5.
4. The kinematic combination of the rotation frequencies of two electric motors allows you to cover the range of operating speeds of the MTA without mechanical switching of the transmission elements.
5. The proposed autonomous motor-transmission unit allows to compose MTA with the distribution of electrical power between additional engines of technological modules of MTA.

Keywords: machine-tractor unit, transmission, traction concept, mover, electric wheel motor.

Постановка проблеми. За наявної тягової концепції побудови сільськогосподарських МТА підвищення їхньої продуктивності забезпечується підвищенням потужності джерела енергії, яка реалізується через рушії тягово-транспортного засобу (ТТЗ). Для створення необхідної дотичної сили тяги рушіїв необхідно забезпечити відповідну силу нормального тиску на опорну поверхню, що вимагає певну силу ваги від ТТЗ, тиск на опорну поверхню від якої не повинен перевищувати відповідних агротехнічних вимог, які регламентуються нормативними документами. Це призводить до збільшення маси потужних тракторів до 25 т, а площа контакту ходової системи з опорною поверхнею забезпечується збільшенням кількості коліс або застосуванням гусеничних систем [1]. Водночас певні складові МТА мають суттєву масу, рух яких забезпечується розвинутими колісними або навіть гусеничними пасивними ходовими системами. Упровадження МТА тягово-приводної концепції дозволить зменшити їхні сумарні маси, що зменшить не тільки шкідливе ущільнення ґрунту, а й зекономити паливе на їхній рух.

Однією з проблем для впровадження активних рушіїв на технологічних складових МТА є передача, розподілення та керування значними потужностями, які передаються до них від джерела енергії. Такі проблеми виникають і в інших галузях використання транспортної техніки. Наприклад, для забезпечення руху наземних транспортних засобів в умовах із низькою несною здатністю опорної поверхні (глибокий сніговий покрив, болотна місцевість, пісочна поверхня, розмита ґрунтова дорога) розробляють багатоколісні, комбіновані та гусеничні ходові системи з активними рушіями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У роботі [10] запропоновано використання декількох джерел енергії для забезпечення функціонування МТА. Але такий підхід не завжди раціональний. Тому, зважаючи на актуальність проблеми передачі потоків енергії до рушіїв технологічних модулів в різних сферах експлуатації [Платонов], є необхідність обґрунтування вимог щодо впровадження автономних електромеханічних рушіїв для роботи в широкому діапазоні робочих швидкостей.

Мета досліджень. Визначення раціонального використання різних видів трансмісій для створення мультирушійних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів (МТА).

Методи досліджень. На підставі аналізу технічних характеристик джерел механічної енергії запропоновано систему розподілення потужностей за допомогою мотор-коліс.

Результати досліджень. Аналіз технічних характеристик сучасних сільськогосподарських тракторів, які рухаються по дорогах загального користування та використовуються на технологічних операціях у складі МТА, показав, що максимальна транспортна швидкість знаходиться в діапазоні 40–50 км/год, а мінімальна технологічна швидкість за максимальної потужності ТТЗ може бути в межах 4–5 км/год (у разі роботи з ґрунторозпушувачем). Тож коефіцієнт пристосованості ТТЗ за швидкістю повинен знаходитися в межах:





$$K_V = \frac{V_{trmax}}{V_{rmax}} = 8 \div 12,5, \quad (1)$$

де V_{trmax} – максимальна довгострокова транспортна швидкість;

V_{rmax} – мінімальна довгострокова робоча швидкість за максимальної сили тяги.

Сучасні джерела механічної енергії – двигуни мають значно менші коефіцієнти пристосованості за частотою обертання [7]. Тому в сільськогосподарських ТТЗ зазвичай використовуються моторно-трансмісійні установки з механічним пристроєм зміни передаточного відношення (коробка передач, варіатор), які збільшують межі коефіцієнтів пристосованості за частотою обертання двигунів до необхідних меж коефіцієнтів пристосованості ТТЗ за швидкістю. Зважаючи на певну складність синхронного керування режимами декількох механічних трансмісій (перехідні режими муфт зчеплення, гальм), у кінематичних схемах повноприводних мультирушійних ТТЗ переважно використовують централізовану моторно-трансмісійну установку (МТУ) з механічними пристроями розподілення та керування потужності між рушійми.

Аналіз кінематичних схем трансмісій поширених ТТЗ показує їхні певні переваги та недоліки [2, 3]. Зазвичай кінематичні схеми ТТЗ складаються з таких модулів:

- джерело механічної енергії – двигун  ;
- механічний пристрій зміни передаточного відношення – коробка передач (варіатор)  ;
- кінематичний пристрій розподілення потоків потужності – роздавальна коробка  ;
- силовий пристрій розподілення потоків потужності – планетарний механізм (диференціал)  .

Приклад поширеної кінематичної схеми 4К4а колісних ТТЗ із переднім мостом, який підключається, наведений на рисунку 1.

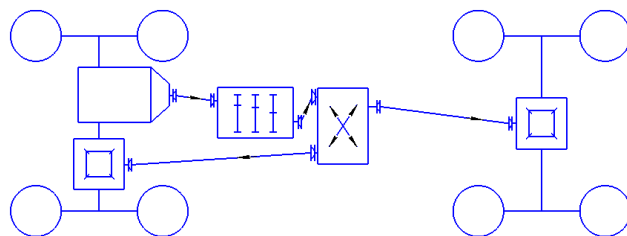


Рис. 1. Кінематична схема тягово-транспортного засобу з двома рушійми, які мають жорсткий кінематичний зв'язок між собою

Fig. 1. Kinematic diagram of a traction vehicle with two engines having a rigid kinematic connection between them

Недолік кінематичної схеми (рис. 1) полягає у виникненні великих шкідливих крутних моментів під час створення паразитної потужності на криволінійних ділянках траєкторії руху та нерівній опорній поверхні з великим коефіцієнтом зчеплення з рушійми. Тому така проста схема добре працює за умови руху всіх рушіїв МТА по одному радіусу повороту. Це підтверджується безвідмовною роботою тракторів типу ХТЗ-170, а в тракторів типу МТЗ-82 на поворотах привод переднього ведучого мосту необхідно відключати. Тож побудова МТА тягово-приводної концепції з активними рушійми технологічних модулів за вказаною схемою можлива тільки за умови забезпечення руху центрів усіх тягових мостів по одному радіусу.

Для усунення недоліків такої схеми замість жорсткого кінематичного зв'язку між тяговими мостами ставлять симетричний (рис. 2) або несиметричний (рис. 3) диференціал (планетарний механізм).

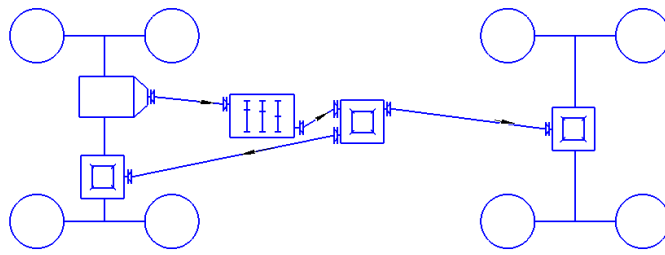


Рис. 2. Кінематична схема із симетричним силовим подільником потужності
Fig. 2. Kinematic scheme with a symmetrical power divider

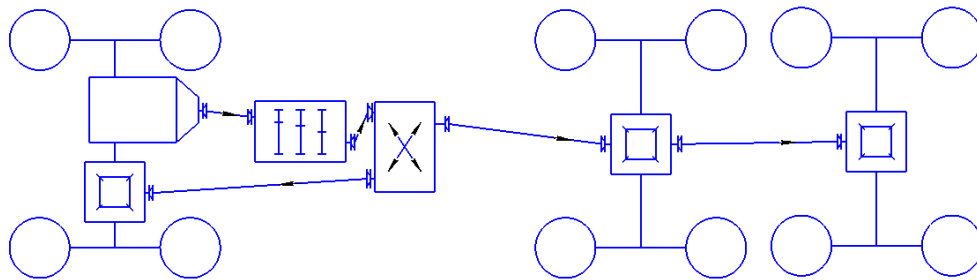


Рис. 3. Кінематична схема з несиметричним силовим подільником потужності
Fig. 3. Kinematic diagram with asymmetric power divider

Як перевагою, так і недоліком таких схем є пропорційне розподілення моментів через планетарні механізми (диференціали) і в разі втрати дотичної сили тяги на одному з рушіїв на всіх інших рушіях дотична сила тяги стає рівною «0» і рух припиняється. Для продовження руху необхідно вмикати блокування диференціалів, що перетворює ці схеми в схему на рисунку 2. Постійний рух із заблокованими диференціалами призводить до перевантаження й руйнування елементів трансмісії. Для попередження постійного руху із заблокованими диференціальними механізмами в автомобілі 6×6 «ТАТРА 148» кнопка блокування не мала фіксації. Використання такої схеми в МТА тягово-приводної концепції з активними рушіями технологічних модулів може призвести до втрати керованості на смугах для розворотів.

Дослідні конструкції активних автомобільних поїздів із механічним приводом напівпричепа через вертикальний карданний вал у зчепному пристрої сідельного типу, як показано на рисунках 4 та 5, мали колісну формулу 10×10.

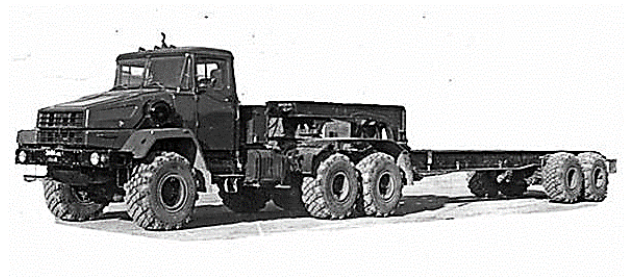


Рис. 4. Повноприводний автопоїзд колісної формули 10×10
Fig. 4. All-wheel drive road train with wheel formula 10×10

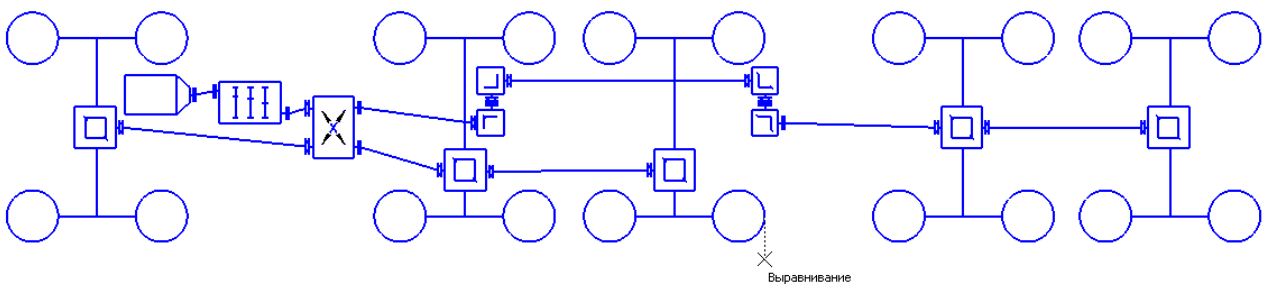


Рис. 5. Кінематична схема повноприводного автопоїзда, розроблення КрАЗ
Fig. 5. Kinematic diagram of an all-wheel drive road train developed by KrAZ

Така кінематична схема мала великі втрати потужності, тому використовувалася тільки для подолання важких ділянок позашляхового руху. Для постійної експлуатації у складі МТА використання її недоцільне.

Для забезпечення руху ТТЗ з вимогами щодо низького тиску на опорну поверхню використовують МТА зчленованого компоновання з гусеничними рушіями. На рисунку 6 наведено фрагмент випробувань зчленованого ТТЗ на базі гусеничного трактора Т-150 в умовах глибокого снігового покриву [9]. Кінематичну схему такого ТТЗ наведено на рисунку 7.



Рис. 6. Рух гусеничного повноприводного транспортного машинно-тракторного агрегату з механічною трансмісією для передачі потужності на технологічний модуль

Fig. 6. Movement of a caterpillar all-wheel drive transport machine-tractor unit with a mechanical transmission for power transmission to a technological module

Недоліками такої схеми є необхідність забезпечення розташування осі повертання модулів у вертикальній площині симетрично між рушіями та велика кількість зубчастих передач, що впливає на зменшення загального тягового ККД.

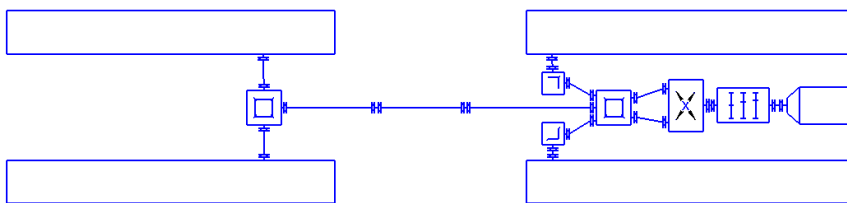


Рис. 7. Кінематична схема гусеничного машинно-тракторного агрегату зчленованого компоновання на базі трактора Т-150

Fig. 7. Kinematic diagram of an articulated caterpillar machine-tractor unit based on the T-150 tractor

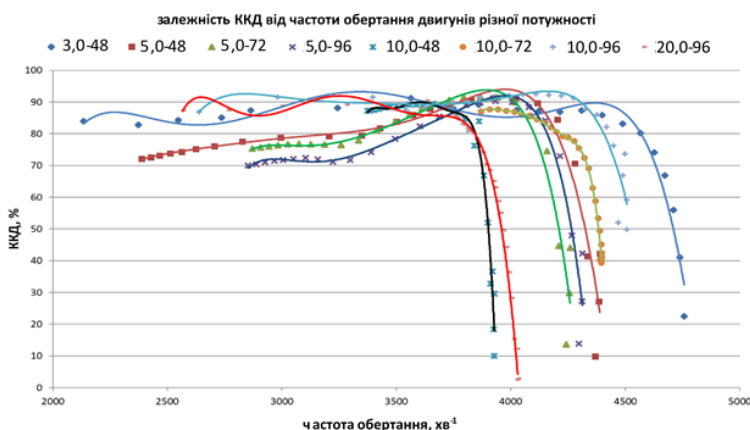


Рис. 8. Зони максимального ККД сімейства електродвигунів Golden Moto

Fig. 8. Maximum efficiency zones of the Golden Moto family of electric motors

З наведених прикладів можна зробити висновок, що розподілення механічних потужностей від централізованої моторно-трансмісійної установки зменшує загальний ККД та суттєво ускладнює кінематичні схеми й відповідно компоновання всього МТА.

Розосереджені гідростатичні трансмісії для сільськогосподарських МТА з постійною потужністю понад 50 кВт не використовуються з причини суттєвих втрат у гідравлічних магістралях.

Електромеханічні моторно-трансмісійні установки. Суттєві зміни в силовій електротехнічній елементній базі дозволили створювати ТТЗ із гібридними, плагін-гібридними та акумуляторними енергетичними установками з високими показниками загального ККД [7, 8]. Аналіз зовнішніх характеристик сучасних тягових синхронних електромашин із векторним керуванням можна здійснювати за коефіцієнтом пристосованості за частотою обертання, який визначається як відношення максимальної частоти обертання за номінальної потужності до частоти обертання під час її зменшення:

$$k_{\omega ed} = \frac{n_{maxN}}{n_{minN}}, \quad (2)$$

де n_{maxN} – максимальна частота обертання електромашини за номінальної потужності,

n_{minN} – мінімальна частота обертання електромашини при номінальній потужності.

Наведені на рисунках 8, 9, 10 характеристики електромашин різної потужності показують, що коефіцієнт пристосованості за частотою обертання $k_{\omega ed}$ знаходиться в межах від 1,4 до 2,5, що значно

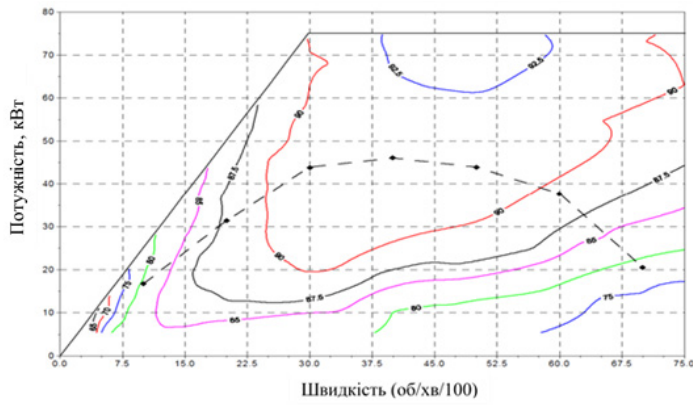


Рис. 9. Діаграма параметрів тягового електричного двигуна потужністю 75 кВт
Fig. 9. 75 kW electric traction motor parameter diagram

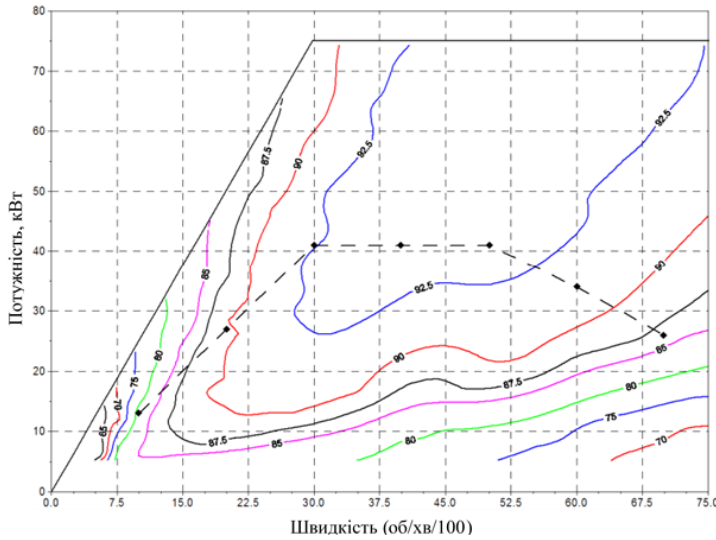


Рис. 10. Діаграма параметрів тягового електричного двигуна потужністю 75 кВт у режимі рекуперації
Fig. 10. Diagram of parameters of the traction electric motor with a power of 75 kW in the recuperation mode

менше від необхідних показників, які наведено в залежності (1).

Зважаючи на викладене, можна зробити висновки, що сільськогосподарський ТТЗ із тяговим електричним двигуном без трансмісії зі змінним передаточним відношенням розробляти нерационально. Транспортні засоби з електроприводом за обмежений час проходять перехідні режими, які характеризуються низьким ККД, та виходять на крейсерську експлуатаційну швидкість.

Для покращення характеристик із витрати енергії моторно-трансмійних установок пропонують двопотокові трансмісії, що працюють від різних джерел механічної енергії, в яких потужність поєднується планетарними механізмами. Поєднанням в одному автономному блоці моторно-трансмійної установки, яка складається з 2-х електричних електромашин, та механічного суматора, можна створювати МТА раціонального компонування з електричним передаванням потоків енергії та їх дистанційним керуванням.

Для кінематичного аналізу такої моторно-трансмійної установки обмежувемося двома реверсивними електричними двигунами з оптимальною частотою обертання від 2000 до 4000 хв⁻¹. Задаємо максимальну швидкість ТТЗ, що дорівнює: $V_{maxTTZ} = 40$ км/год. Тоді

$$V_{maxTTZ} = k_v \cdot n_{maxD}, \quad (3)$$

де V_{maxTTZ} – максимальна транспортна швидкість ТТЗ;

n_{maxD} – максимальна частота обертання джерела механічної енергії;

k_v – коефіцієнт швидкості.

У нашому разі

$$k_v = \frac{V_{maxTTZ}}{n_{maxD}} = \frac{40}{4000} = 0,01. \quad (4)$$

Мінімальна швидкість ТТЗ у межах номінальної частоти обертання електродвигуна буде

$$V_{minTTZ} = k_v \cdot n_{minD} = 0,01 \cdot 2000 = 20 \text{ (км/год)}, \quad (5)$$

що не відповідає робочим швидкостям МТА для виконання технологічних операцій.

Для підсумовування та поділення механічних потоків енергії використовують планетарні механізми, зокрема шестеренні диференціали як із внутрішнім, так і зовнішнім зачепленням. Розглянувши диференціал із шестернями зовнішнього зачеплення (рис. 11), можна під'єднати півосьові шестерні з електродвигунами і з волила знімати сумарну частоту обертання.

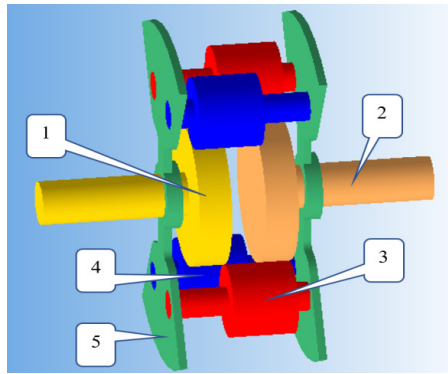


Рис. 11. Диференціал із шестернями зовнішнього зачеплення:

1 – привод лівого двигуна; 2 – привод правого двигуна;
3, 4 – сателіти; 5 – водило

Fig. 11. Differential with external gears:

1 – left engine drive; 2 – right engine drive;
3, 4 – satellites; 5 – carrier

За результатами обчислень з'ясовано, що в разі обертання двох електродвигунів в одну сторону поле частот обертання дозволяє одержати швидкість ТТЗ від 20 до 40 км/год, а в разі обертання в різні сторони – відповідно від -10 до +10 км/год, що видно з графіків рисунка 12.

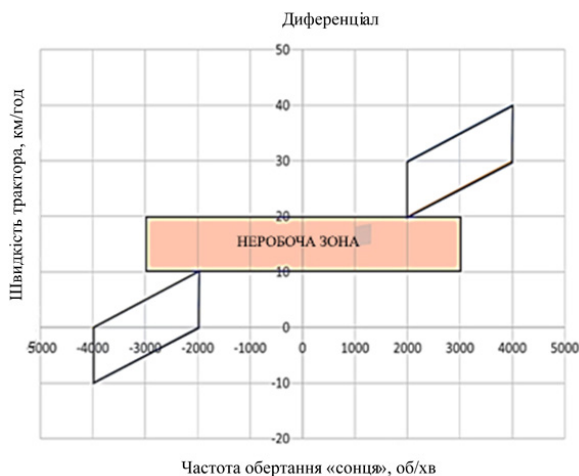


Рис. 12. Залежність швидкості рушіїв трактора від діапазонів частот обертання тягових електродвигунів у складі симетричної двопотокової трансмісії (диференціал)

Fig. 12. Dependence of the speed of the tractor propellers on the rotational speed ranges of the traction motors as part of a symmetrical two-line transmission (differential)

З такою трансмісією діапазон швидкостей від 10 до 20 км/год не перекривається оптимальними діапазонами частот обертання тягових електродвигунів.

Кінематичний аналіз двопотокових трансмісій на основі планетарних передач показав, що планетарний ряд з умовними радіусами діляльних кіл відповідно до епіциклічної шестерні – 10 одиниць, сонячної шестерні – 5 одиниць, сателітів – 2,5 одиниці та рухомих осей водила – 7,5 одиниць дозволяє

одержати поля швидкостей рушіїв МТА в межах від 0 до 40 км/год без механічного перемикавання елементів трансмісії в діапазоні частот обертання тягових електродвигунів із максимальним ККД, як показано на рисунку 13.

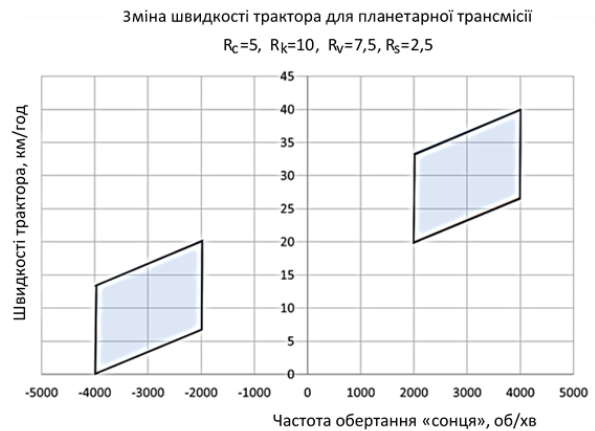


Рис. 13. Залежність швидкості рушіїв трактора від діапазонів частот обертання тягових електродвигунів у складі несиметричної симетричної двопотокової трансмісії (планетарний механізм із внутрішнім зачепленням)

Fig. 13. Dependence of the speed of the tractor propellers on the frequency ranges of rotation of the traction motors as part of an asymmetric symmetrical two-line transmission (planetary mechanism with internal gearing)

Практична реалізація запропонованого планетарного механізму може здійснитися у вигляді планетарного ряду з «плавучим сонцем» та 3-ма сателітами. При модулі шестерень $m_{ш} = 4$ мм кількість зубців становить: в епіциклічній шестерні – $Z_k = 60$, сонячної – $Z_c = 30$, сателіта – $Z_s = 15$.

Умови співвісності – $Z_c + Z_s = Z_k - Z_s \rightarrow 30 + 15 = 60 - 15$. Умови сусідства та умови складання також виконуються. 3-D моделювання в середовищі «Soled Works» такого планетарного ряду показано на рисунку 14.

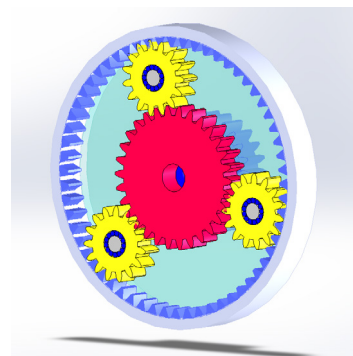


Рис. 14. Ескіз планетарного ряду для двопотокової трансмісії з електричними тяговими двигунами

Fig. 14. Sketch of a planetary gear set for a two-line transmission with electric traction motors

Запропоновані кінематичні дослідження дозволяють проектувати електричні автономні моторно-трансмійні установки, які вирішують проблеми розподілення потужності між рушіями сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів довільного компонування.

Висновки

1. Максимальна транспортна швидкість сучасних сільськогосподарських тракторів знаходиться в діапазоні 40 ÷ 50 км/год, а мінімальна технологічна швидкість за максимальної потужності тягово-транспортного засобу (ТТЗ) може бути в межах 4 ÷ 5 км/год під час роботи з ґрунторозпушувачем.
2. Сучасний сільськогосподарський ТТЗ повинен мати відношення максимальної швидкості до мінімальної до 10.
3. Номінальний діапазон частот обертання наявних на ринку тягових електричних двигунів не в змозі перекивати співвідношення більше ніж 2 ÷ 2,5.
4. Кінематичне об'єднання частот обертання двох електричних двигунів дозволяє перекивати діапазон робочих швидкостей МТА без механічного перемикачів елементів трансмісії.
5. Запропонований автономний моторно-трансмійний агрегат дозволяє конструювати МТА з розподіленням електричних потужностей між додатковими рушіями технологічних модулів МТА.

Бібліографія

1. Львовский К. Я., Черпак Ф. А., Серебряков И. Н., Щельцын Н. А. Трансмиссии тракторов. Москва : Машиностроение, 1976, 280 с.
2. Ефремов С. И., Пролыгин А. П., Андреев Ю. М., Миндлин А. Б. Электрические трансмиссии пневмоколёсных транспортных средств. Москва : Энергия, 1976. 256 с.
3. Платонов В. Ф. Полноприводные автомобили. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1989. 312 с.
4. Проектирование трансмиссий автомобилей : справочник / А. И. Гришкевич, Б. У. Бусел, Г. Ф. Бутусов и др.; под общ. ред. А. И. Гришкевича. М. : Машиностроение, 1984. 272 с.
5. Лебедев С. П. Электропередачи в самоходных машинах. М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. 224 с.
6. Красеньков В. И., Вашец А. Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. М. : Машиностроение, 1986. 272 с.

7. Бажинов О. В., Двадненко В. Я. Автомобильні гібридні силові установки. Х. : ФОП Бровін О. В., 2016. 186 с.
8. Daisuke Gunji (Fujisawa-Shi, JP), Yasuyuki Matsuda (Fujisawa-Shi, JP), Gen Kimura (Fujisawa-Shi, JP). (2012). Planetary gear transmission systems or components input from independent power sources including electric motor input. Patent 20120190491 JP, NSK LTD. AB60K700FI. Retrieved from: <https://www.patentsencyclopedia.com/app/20120190491>.
9. Сочлененное полноприводное гусеничное транспортное средство : авторское свидетельство СССР 1391983, кл. В 62D 59/02. 1986 / Л. И. Нечуйвистер, М. Н. Коденко, В. М. Третьак, Б. Г. Деговцов, Э. Э. Забельшенский, В. Н. Никитин; Харьковский политехнический институт и Минусинская опытно-методическая экспедиция Производственного геологического объединения «Енисейгеофизика».
10. Кондаков С. В., Ларин А. Е., Уланов А. Г. Разработка планетарного редуктора для мотор-колеса электроботида. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. 2019. Т. 19. № 2. С. 45–54. doi: 10.14529/engin190204.
11. Доцільність використання мультиенергетичних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів / В. М. Третьак, О. Ф. Говоров, С. П. Погорілий, О. А. Гриненко, Р. В. Оляднічук, Ю. М. Мацкевич. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний зб.* / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2021. Вип. № 14 (113). С. 151–160. doi: <https://doi.org/10.37204/0131-2189>.

Bibliografia

1. L'vovskij K. YA., SCherpak F. A., Serebryakov I. N., SHChel'cyn N. A. (1976). Transmissii traktorov. Moskva : Mashinostroenie. 280 s.
2. Efremov S. I., Prolygin A. P., Andreev YU. M., Mindlin A. B. (1976). Elektricheskie transmissii pnevmokolesnyh transportnyh sredstv. Moskva : Energiya. 256 s.
3. Platonov V. F. (1989). Polnoprivodnye avtomobili. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva : Mashinostroenie. 312 s.
4. Grishkevich A. I., Busel B. U., Butusov G. F., Vavulo V. A., Kanonik L. A., Moliboshko L. A., Rukteshel' O. S., Taubes L. E. (1984). Proektirovanie transmissij avtomobilej : spravochnik / pod obshch. red. A. I. Grishkevicha. Moskva : Mashinostroenie. 272 s.
5. Lebedev S. P. (1961). Elektroperedachi v samohodnyh mashinah. Moskva : Gosudarstvennoe nauch-

- no-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noj literatury. 224 s.
6. Krasnen'kov V. I., Vashec A. D. (1986). Proektirovanie planetarnykh mekhanizmov transportnykh mashin. Moskva : Mashinostroenie. 272 s.
 7. Bazhynov O. V., Dvadnenko V. Ya. (2016). Avtomobilni hibrydni sylovi ustanovky. Kharkiv : FOP Brovin O. V. 186 s.
 8. Daisuke Gunji (Fujisawa-Shi, JP), Yasuyuki Matsuda (Fujisawa-Shi, JP), Gen Kimura (Fujisawa-Shi, JP). (2012). Planetary gear transmission systems or components input from independent power sources including electric motor input. Patent 20120190491 JP, NSK LTD. AB60K700FI. Retrieved from: <https://www.patentsencyclopedia.com/app/20120190491>.
 9. Sochlenennoe polnoprivodnoye gusenichnoye transportnoye sredstvo : avtorskoye svidetel'stvo SSSR 1391983, kl. V 62D 59/02. 1986 / L. I. Nechujviter, M. N. Kodenko, V. M. Tretyak, B. G. Degovcov, E. E. Zabel'shenskij, V. N. Nikitin; Har'kovskij politekhnicheskij institut i Minusinskaya opytno-metodicheskaya ekspeditsiya Proizvodstvennogo geologicheskogo ob'edineniya «Enisejgeofizika».
 10. Kondakov S. V., Larin A. E., Ulanov A. G. (2019). Razrabotka planetarnogo reduktora dlya motor-kolesa elektrobolida. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie»*, t. 19, 2, 45–54. doi: 10.14529/eng190204.
 11. Tretyak V. M., Hovorov O. F., Pohorilyi S. P., Hrynenko O. A., Oliadnichuk R. V., Matskevych Yu. M. (2021). Dotsilnist vykorystannia multyenerhetychnykh silskohospodarskykh mashynno-traktornykh ahrehativ. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia silskoho hospodarstva : zahalnodержavnii zb.*, 14 (113), 151–160 / NNTs «IMESH». Hlevakha. doi: <https://doi.org/10.37204/0131-2189>.
 3. Platonov, V. F. (1989). All-wheel drive vehicles. (2nd ed.). Moscow : Engineering [in Russian].
 4. Grishkevich, A. I., Busel, B. U., Butusov, G. F., Vavulov, V. A., Kanonik, L. A., Moliboshko, L. A., Rukteshel, O. S., & Taubes, L. E. (1984). Design of car transmissions. Grishkevich, A. I. (Ed.). Moscow : Engineering [in Russian].
 5. Lebedev, S. P. (1961). Power transmission in self-propelled machines. Moscow : State scientific and technical publishing house of machine-building literature [in Russian].
 6. Krasnenkov, V. I., & Vashets, A. D. (1986). Design of planetary mechanisms of transport vehicles. Moscow : Engineering [in Russian].
 7. Bazhinov, O. V., & Dvadnenko, V. Ya. (2016). Automobile hybrid power plants. Kharkiv : FOP Brovin O. V. [in Ukrainian].
 8. Daisuke Gunji (Fujisawa-Shi, JP), Yasuyuki Matsuda (Fujisawa-Shi, JP), Gen Kimura (Fujisawa-Shi, JP). (2012). Planetary gear transmission systems or components input from independent power sources including electric motor input. Patent 20120190491 JP, NSK LTD. AB60K700FI. Retrieved from: <https://www.patentsencyclopedia.com/app/20120190491> [in English].
 9. Nechujviter, L. I., Kodenko, M. N., Tretyak, V. M., Dugovtsov, B. G., Zabeleshensky, E. E., & Nikitin, V. N. (1986). The articulated all-wheel drive caterpillar vehicle. Copyright certificate of the USSR 1391983, cl. In 62d 59/02 / The Kharkov Polytechnic Institute and the Minusinsk experimental and methodological expedition of the production geological unit "Yenisejgeophysic" [in Russian].
 10. Kondakov, S. V., Larin, A. E., & Ulanov, A. G. (2019). Development of a planetary gearbox for the motor-wheel of an electric car. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mechanical Engineering"*, vol. 19, no. 2, 45–54. doi: 10.14529/eng190204 [in Russian].
 11. Tretyak, V. M., Hovorov, O. F., Pogorilyy, S. P., Hrynenko, O. A., Oliadnichuk, R. V., & Matskevich, Yu. M. (2022). The expediency of using multi-powerful agricultural machine-tractor units. *Mechanization and electrification of agriculture*, 14 (113), 151-160. Hlevakha : NSC "IAEE". doi: <https://doi.org/10.37204/0131-2189> [in Ukrainian].

References

1. Lvovsky, K. Ya., Cherpak, F. A., Serebryakov, I. N., & Shchel'tsyn, N. A. (1976). Tractor transmissions. Moscow : Engineering [in Russian].
2. Efremov, S. I., Prolygin, A. P., Andreev, Yu. M., & Mindlin, A. B. (1976). Electric transmissions of pneumatic wheeled vehicles. Moscow : Energia [in Russian].