



Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2021-4

Вібрації в техніці та технологіях



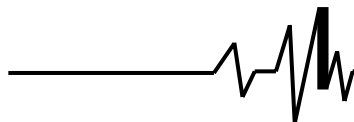
Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 4 (103)

Вінниця 2021

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,
2021. – 4 (103) – 120 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного
університету (протокол № 6 від 24.12.2021 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки
України від 02.07.2020 р. № 886)*

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний науковий
центр “Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства”

Відповідальний секретар

Солона О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Зіньковський А.П. – д.т.н., професор,
Інститут проблем міцності імені Г. С.
Писаренка НАН України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвєєв В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н. доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

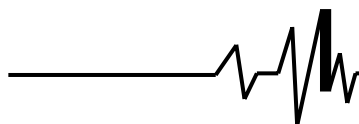
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

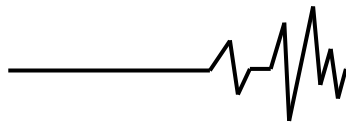
<i>Цуркан О.В.</i> АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СУШІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА.....	5
<i>Булгаков В. М., Адамчук В.В., Кувачов В.П., Солоня О. В.</i> ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОСТІ ШИРОКОКОЛІЙНИХ (ПОРТАЛЬНИХ) ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	15
<i>Коц І. В, Куриленко Ю. П.</i> РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛИБИННИХ ВІБРАТОРІВ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ	26
<i>Савєлов Д. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ВІБРАЦІЙНА ПЛИТА - ПОЛІМЕРНИЙ БЕТОН» ПІД ЧАС ПОВЕРХНЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ	33
<i>Мельник В. М., Косова В. П., Жуковська К. В.</i> АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМ СТАНОМ РОБОЧОЇ РІДИНИ В БІОРЕАКТОРІ НА РЕЗОНАНСНОМУ РІВНІ.....	41
<i>Бабин І. А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ВІБРАЦІЇ ПЕРІОДИЧНО ПРАЦЮЮЧОГО ІНЖЕКТОРА СИСТЕМИ ПРОМИВАННЯ ДОІЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	47
<i>Омельянов О.М.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄМНОЇ ВІБРОСЕПАРАЦІЇ СИПКОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	61

2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Сивак Р.І., Залізняк Р.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗМІННИХ ЕЙЛЕРА І ЛАГРАНЖА.....	68
<i>Дудчак В.М., Пришляк В.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАПОВНЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ СТРУКТУР РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУНКЕРНОГО ТИПУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН МАТЕРІАЛАМИ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ.....	77

3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА

<i>Яремчук О. С., Новгородська Н. В.</i> ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ У ВИРОБНИЦТВІ ФЕРМЕНТОВАНИХ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ.....	90
<i>Берник І. М.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ПРИ ОБРОБЦІ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ.....	99
<i>Спірін А.В., Цуркан О.В., Твердохліб І.В., Омельянов О.М.</i> ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА НАСІННЯ ТРАВ.....	110

**Булгаков В. М.**академік НААН України,
д.т.н., професор**Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України****Адамчук В. В.**академік НААН України,
д.т.н., професор**Національний науковий
центр «Інститут
механізації та
електрифікації сільського
господарства»****Кувачов В. П.**

д.т.н., доцент

**Таврійський державний
агротехнологічний
університет імені Дмитра
Моторного****Солона О. В.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Bulgakov V.**Academician of NAAS of Ukraine,
Doctor of Technical Sciences, Professor**National University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine****Adamchuk V.**Academician of NAAS of Ukraine,
Doctor of Technical Sciences, Professor**National Research Center
"Institute of Mechanization
and Electrification of
Agriculture"****Kuvachov V.**Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor**Dmytro Motornyj Tavria State
Agrotechnological University****Solona O.**

Ph.D., Associate Professor

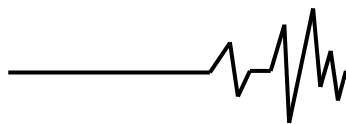
**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-4-2****ОЦІНЮВАННЯ
ЕНЕРГОНАСИЧЕНОСТІ
ШИРОКОКОЛІЙНИХ
(ПОРТАЛЬНИХ)
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

Багаторічними дослідженнями встановлено, що при роботі трактора на м'яких ґрунтах, характерних майже для більшості с.-г. операцій, відбувається глибоке занурення ґрунтозачепів колеса в ґрунтовий шар. Занурюючись в ґрунт, зачепи пресують його в горизонтальному напрямку, протилежному руху трактора. У результаті цього відбувається зниження поступальної швидкості його руху.

Досліджень у цьому напрямку, з урахуванням умов руху ширококолісного агрозасобу по сліду постійної технологічної колії, було проведено вченими вкрай недостатньо. А у розгляді проблеми розробки наукових основ використання мостового трактора деякі вчені вважають [13], що питання їх теорії і технологічних властивостей вимагають подальшої розробки і розвитку.

Одним із шляхів зниження енергоємності виробничих процесів у сільському господарстві є перехід на колійне та мостове землеробство з використанням ширококолісних (портальних) транспортних засобів (або мостових тракторів), які спеціально адаптовані для цього. Оскільки їхній рух слідами постійної технологічної колії характеризується як зростанням тягово-зчіпних якостей, так і значним зниженням опору на їх кочення. Через це мостові трактори здатні розвивати більший рівень тягових зусиль і енергії на відміну від традиційного трактора, який рухається по с.-г. агрофону. Актуальним набуває питання визначення необхідного рівня енергонасиченості ширококолісних (портальних) транспортних засобів з метою можливості створення системи їх агрегування та практичного використання. У результаті проведених досліджень встановлено, що необхідний рівень енергонасиченості мостового трактору має бути на рівні 23,5 кВт/т. За умов достатнього зчеплення рушіїв ширококолісного агрозасобу з опорною поверхнею ґрунтового сліду постійної технологічної колії дозволяє розвивати йому тягове зусилля на рівні 6,37 кН на кожен тону його експлуатаційної маси.

Ключові слова: ширококолісний (портальний) транспортний засіб, мостовий трактор, колійна система землеробства, енергонасиченість, баланс потужностей, теоретичні дослідження.



Постановка проблеми. Багатьма науковцями наголошується, що подальший напрямок розвитку енергетичних засобів с.-г. призначення відбуватиметься через створення принципово нової їхньої компоувальної схеми – wide span vehicle gantry (ширококоліїний (портальний) транспортний засіб) [1-6].

Ширококоліїний транспортний засіб (або мостовий трактор) – це

енерготехнологічний засіб с.-г. призначення з довгою несучою балкою, відмінною рисою якого від інших енергетичних засобів є те, що він рухається по слідах постійної технологічної колії, яка розташована на відстані, що дорівнює його прольоту, в зоні якої і розміщуються с.-г. знаряддя (рис. 1.6) [1-6].



Доулера



Полехід з шириною колії 12м



ETC СТВЕ



ASA-Lift WS 9600 WS



BIOTRAC



Полехіди

Рис. 1. Світові моделі ширококоліїних (мостових) транспортних засобів (wide span vehicle gantry)

По суті мостовий трактор – це також якісно новий енергозасіб тягово-енергетичної концепції. Його рух по слідах постійної технологічної колії дозволяє мати кращі тягово-зчпні властивості порівняно з традиційним трактором, який рухається по с.-г. агрофону [7]. Номінальне тягове зусилля, що розвиває мостовий трактор за умови достатнього зчплення його рушіїв з опорною поверхнею слідів постійної технологічної колії, природно, повинно бути більше, ніж у традиційного трактора при однакових їхніх технічних параметрах. Разом з цим зчплення рушіїв ширококоліїного агрозасобу з опорною поверхнею слідів постійної технологічної колії з лівого та правого його бортів повинно бути достатнім для того, щоб він міг розвивати номінальне тягове зусилля при роботі з певним рівнем буксування. Через це актуальним набуває питання визначення необхідного рівня енергонасиченості ширококоліїних (портальних) транспортних засобів з метою

можливості створення системи їх агрегування та практичного використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Світовою практикою вже накопичений певний досвід щодо вивчення та практичної реалізації ширококоліїних (портальних) транспортних засобів, які функціонують в умовах колійного землеробства. Дослідження в цьому напрямку проводять в США, Ізраїлі, Австралії, Англії, країнах Західної Європи, Росії та України [1-9].

Багато науковців, які працюють в цьому напрямку, переконливо доводять, що агромости дозволяють не тільки виключити негативний вплив ходових систем на ґрунт, але і впровадити у сільське господарство індустріальні методи виробництва продукції, характерні для промисловості.

Відома теорія традиційного колісного трактора свідчить, що тягово-зчпні властивості с.-г. трактора значною мірою залежать від зчпних якостей його ведучих коліс [10].



Зчеплення ведучих коліс трактора з ґрунтом розглядається як прояв двох видів сил: сил тертя, що діють між опорною поверхнею шини і дорожнього фону (як правило – ґрунту), і сил зчеплення, що виникають при упорі елементів (ґрунтозачепів) шини в ґрунті [10]. На дорогах із твердим покриттям велике значення мають сили тертя шини колеса трактора. На м'яких ґрунтах (типовий фон для тракторних робіт) основне значення мають сили зчеплення. На ґрунтах, з перехідною щільністю в зчепленні колеса, сили тертя і зчеплення має майже однакове значення [10].

Відносна втрата швидкості трактора при цьому оцінюється коефіцієнтом буксування [11]. Зазначена горизонтальна деформація ґрунту залежить від питомої тиску на елементи ґрунту, створюваного ґрунтозачепами і залежить від здатності її чинити опір деформації, що оцінюється коефіцієнтом питомого зім'яття [12]. А величина горизонтального питомого тиску визначається величиною і характером зміни дотичної сили тяги [12].

Мета досліджень. Дослідити вплив конструктивних та режимних параметрів ширококолієних транспортних засобів на їх енергетичні і тягово-зчіпні властивості з метою обґрунтування необхідного рівня їхньої енергонасиченості.

Методика досліджень. Для оцінювання енергетичних витрат будь-якого ширококолієного засобу механізації сільськогосподарського призначення (далі ширококолієного агрозасобу), який рухається по слідах постійної технологічної колії, представимо його конструктивно-технологічною схемою (рис. 2), що містить силову енергетичну установку 1, ширококолієне самохідне шасі 2 з керованими колесами 3 та 4, розміщеними на колісних візках 5 і 6 його лівого і правого бортів, трансмісійну систему їх приводу 7 (або мотор-колеса), раму 8 для кріплення робочих органів с.-г. знарядь 9, механічну систему відбору потужності 10 для активного приводу робочих органів, підйомні механізми 11 з електромеханічним або гідравлічним силовим приводом.

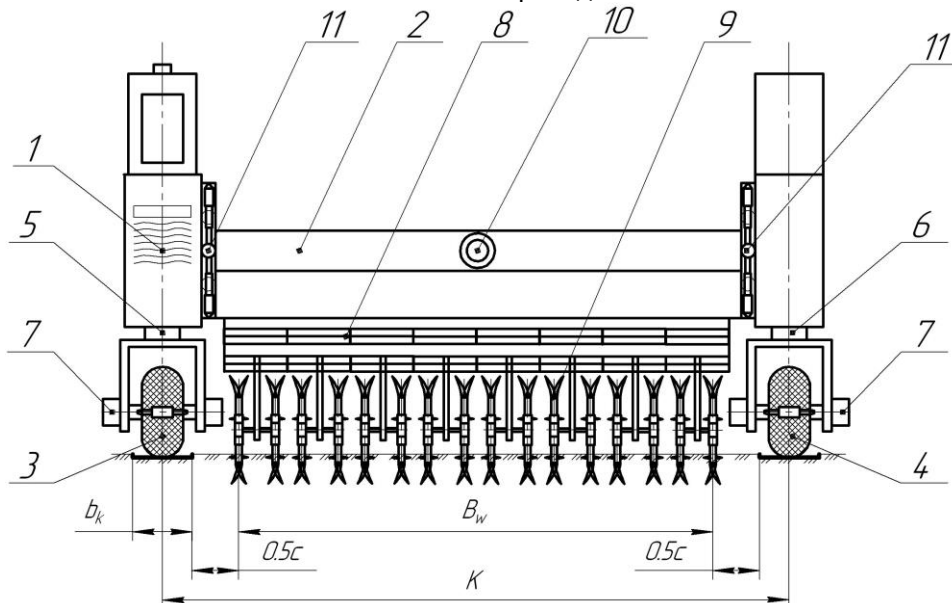


Рис. 2. Схема ширококолієного агрозасобу, що рухається по слідах постійної технологічної колії

Ширококолієний агрозасіб з шириною K і робочою шириною захвату B_w рухається по слідах постійної технологічної колії, ширина якої на рис 2, з урахуванням ширини захисної зони c , дорівнює b_k .

Гіпотетично залежно від конструктивного виконання ширококолієного агрозасобу величина його колії K може бути

різною. Для світових зразків ширококолієних агрозасобів вона коливається в межах 3...21 м.

Сутність визначення номінальної ефективної потужності енергетичної установки ширококолієного агрозасобу за балансом його потужностей зводиться до підсумовування корисної потужності і витрат енергії на тертя в трансмісії, буксування рушіїв і додання опору кочення (рис. 3).

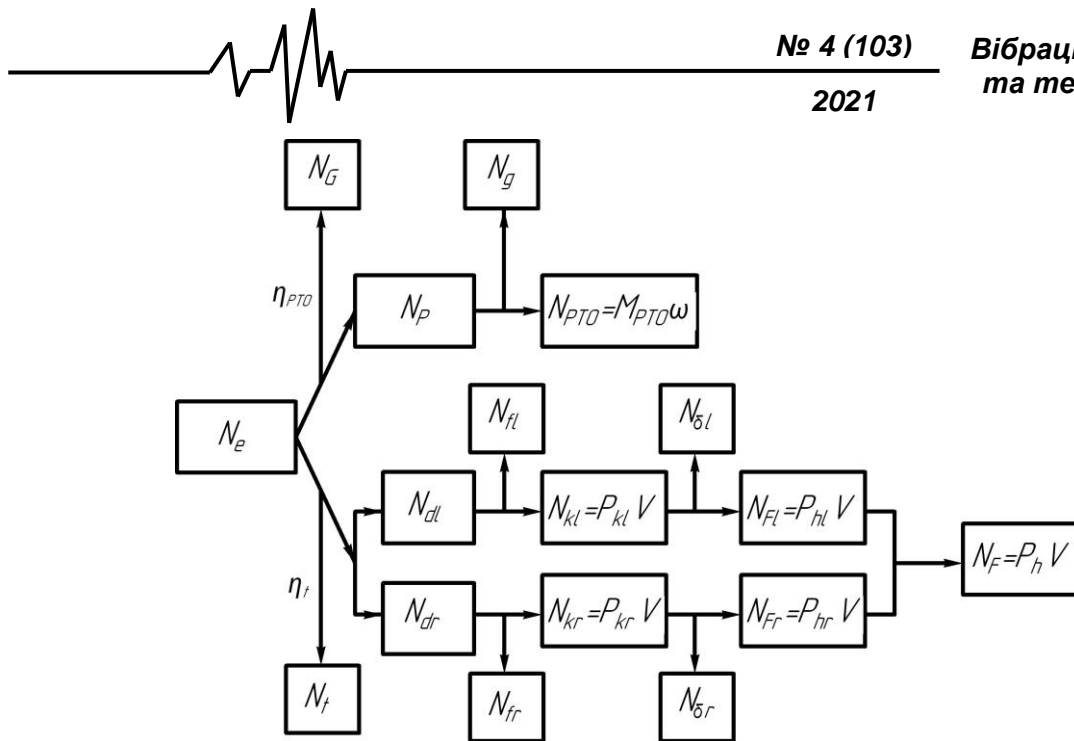


Рис. 3. Структурна схема потоку потужностей ширококолієного агрозасобу з додатковим відбором потужності

Відповідно до приведеної структурної схеми (див. рис. 3) ефективна потужність N_e енергетичної установки ширококолієного агрозасобу реалізується на корисно затрачену роботу – передачу енергії через трансмісію на привід рушіїв її лівого і правого бортів і через систему відбору потужності – на привід активних робочих органів с.-г. машин/знарядь або привід технологічного обладнання. Унаслідок передачі потоку потужності через трансмісію в ній виникають втрати N_t , які оцінюються коефіцієнтом корисної дії η_i . Частина потужності на провідних колесах лівого і правого бортів (N_{dl} , N_{dr}) ширококолієного агрозасобу витрачається на додання опору їх перекошування (N_{fl} , N_{fr}). Отримані після цього потужності на шинах ведучих коліс лівого і правого бортів (N_{kl} , N_{kr}) витрачаються на буксування ($N_{\delta l}$, $N_{\delta r}$), а також на корисну тягову потужність N_F , яка визначається силою тяги на гаку P_h і швидкістю руху агрозасобу V .

У процесі передачі потужності через систему відбору потужності N_p до активних робочих органів с.-г. знарядь N_{PTO} , яка визначається крутним моментом M_{PTO} і

кутовою швидкістю ω вихідного валу приводу, враховуються втрати потужності в редукторі N_G і приводі N_g , що оцінюються коефіцієнтом корисної дії η_{PTO} .

Складена в такий спосіб структурна схема потоку потужностей ширококолієного агрозасобу (див. рис. 3) дозволяє записати таке рівняння балансу його потужностей, за допомогою якого можливо оцінити витрати потужності при його функціонуванні, згідно з яким потужність його енергоустановки (або енергоустановок) розподіляється між двома бортами і, за необхідністю, можливий додатковий відбір потужності (через систему відбору потужності):

$$N_e = \frac{N_{dl} + N_{dr}}{\eta_i} + \frac{N_{PTO}}{\eta_{PTO}}. \quad (1)$$

Для визначення витрат потужності на функціонування ширококолієного агрозасобу розглянемо схему сил, які діють на нього (рис. 4). При цьому приймаємо, що зчіпна маса ширококолієного агрозасобу перерозподіляється на лівий і правий його борти M_l і M_r ($M = M_l + M_r$), прикладена в їх центрах мас, відповідно в точках L і R .

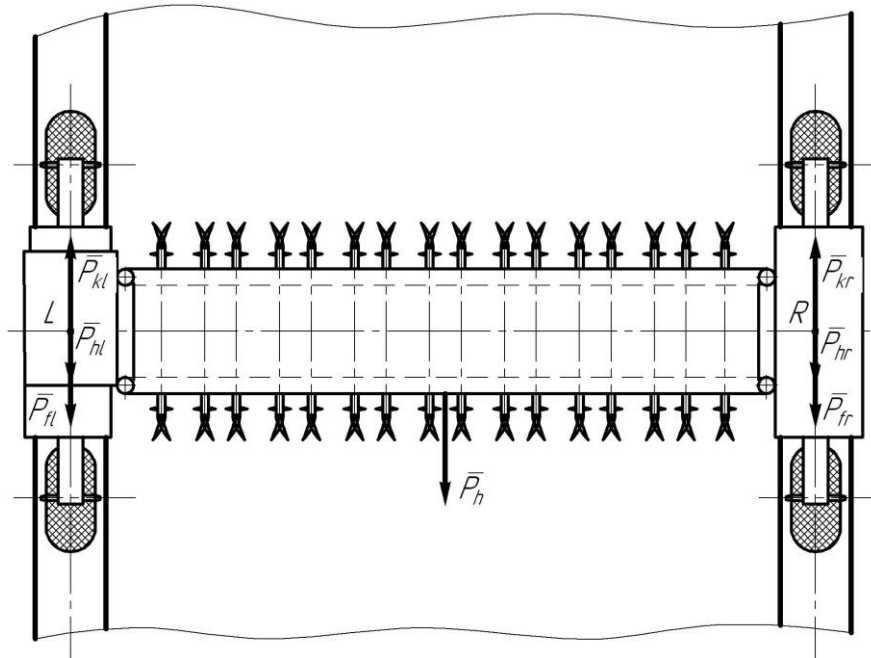


Рис. 4. Схема сил, які діють на ширококоліїний агрозасіб, що рухається по слідах постійної технологічної колії

З рис. 4 випливає, що на ширококоліїний агрозасіб діють дотичні P_{kl} , P_{kr} і крутки сили тяги P_{hl} , P_{hr} , які розвивають рушії лівого і правого його бортов, і сили опору кочення P_{fl} і P_{fr} .

Для усталеного режиму руху ширококоліїного агрозасобу зі швидкістю V необхідна потужність для рушіїв лівого і правого його бортов визначається:

$$\begin{aligned} N_{dl} &= P_{fl}V_l + P_{kl}V_l\delta_l + P_{hl}V_l, \\ N_{dr} &= P_{fr}V_r + P_{kr}V_r\delta_r + P_{hr}V_r, \end{aligned} \quad (2)$$

де V_l , V_r , δ_l , δ_r – теоретичні швидкості руху і буксування рушіїв лівого і правого бортов ширококоліїного агрозасобу.

Ураховуючи приблизну рівність зчпних і експлуатаційних мас ширококоліїного агрозасобу, дотичні сили тяги, сили опору перекочування і теоретичні швидкості руху можна визначити у такий спосіб:

$$\begin{aligned} P_{kl} &= P_{fl} + P_{hl}; & P_{fl} &= fM_l g; \\ P_{kr} &= P_{fr} + P_{hr}; & P_{fr} &= fM_r g; \end{aligned} \quad (3)$$

$$V_l = \frac{V}{1 - \delta_l}; \quad V_r = \frac{V}{1 - \delta_r},$$

де f – коефіцієнт опору кочення;
 g – прискорення вільного падіння.

Виходячи з умови достатнього зчеплення рушіїв ширококоліїного агрозасобу з опорною поверхнею слідів постійної технологічної колії, тягове зусилля, яке він може розвивати можна визначити:

$$P_h = P_{hl} + P_{hr} = M \cdot g (\lambda \cdot \varphi - f), \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт навантаження ведучих коліс;

φ – коефіцієнт зчеплення рушіїв ширококоліїного агрозасобу з опорною поверхнею слідів постійної технологічної колії.

Після підстановки залежностей (2–4) в (1) рівняння балансу потужності має такий вигляд:

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{f \cdot g \cdot V}{\eta_t} \left[\frac{M_l}{1 - \delta_l} + \frac{M_r}{1 - \delta_r} \right] + \frac{\lambda \cdot \varphi \cdot g \cdot V}{\eta_t} \left[\frac{M_l \cdot \delta_l}{1 - \delta_l} + \frac{M_r \cdot \delta_r}{1 - \delta_r} \right] + \\ &+ \frac{g \cdot V (\lambda \cdot \varphi - f)}{\eta_t} \left[\frac{M_l}{1 - \delta_l} + \frac{M_r}{1 - \delta_r} \right] + \frac{N_{PTO}}{\eta_{PTO}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Отримане рівняння балансу потужності тільки вплив його тягового навантаження, (5) ширококоліїного агрозасобу враховує не додатковий відбір потужності і умови його



функціонування, але і зчипну вагу, яка припадає на його лівий і правий борт.

З огляду на те, що експлуатаційна вага ширококоліїного агрозасобу дорівнює сумі його зчипної ваги, що припадає на лівий і правий борт, отримане рівняння (5) дозволяє розрахувати його енергонасиченість за відомою залежністю [12]:

$$E = \frac{N_e}{M}, \quad (6)$$

де E – енергонасиченість ширококоліїного агрозасобу, кВт/т.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як показали проведені нами лабораторно-польові випробування ширококоліїного агрозасобу конструкції ТДАТУ при його русі по ущільненому вирівняному ґрунтовому сліду постійної технологічної колії значення його показників для розрахунку можна прийняти наступні: $f = 0.05$, $\varphi = 0.7$, $\lambda = 1$, $\delta_l = \delta_r = (0.15 - 0.17)$ [14]. Також припустимо, що сучасні системи трансмісії мобільних енергетичних засобів мають величину коефіцієнту корисної дії не менше за $\eta_i = 0.941$.

Після підстановки (5) в (6) розраховану величину енергонасиченості ширококоліїного агрозасобу, який рухається по ґрунтових слідах постійної технологічної колії представимо в функції від його робочої швидкості руху $E = f(V)$ (рис. 5).

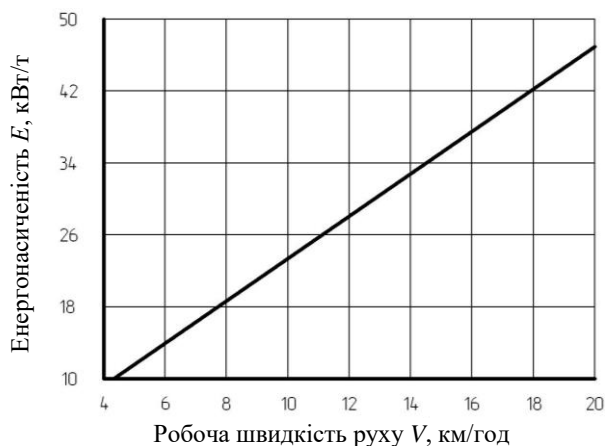


Рис. 5. Енергонасиченість ширококоліїного агрозасобу без урахування додаткового відбору потужності залежно від швидкості його руху

З рис. 5 випливає, що не збільшення, а навпаки – зменшення робочих швидкостей руху ширококоліїних агрозасобів дозволяє зменшувати енерговитрати на технологічні процеси. Зменшена продуктивність роботи при

цьому не є суттєвим недоліком, оскільки ширококоліїний агрозасіб може і напевно здатний працювати в автоматичному режимі, що передбачає велике його завантаження у часі. Це означає те, що потрібне створення нової концепції робочих органів, які відрізняються від традиційних. Наприклад, перспективними в цьому плані є робочі органи активної дії з вертикальним різанням ґрунту (типу «копач») [8]. При вертикальному різанні ґрунту вага ширококоліїного агрозасобу використовується для створення сили різання, внаслідок цього реакції опору на ґрунт зменшуються, а за рахунок відхилення лінії копача від вертикалі можна отримати складову реакції ґрунту, спрямовану в бік руху (с.-г. знаряддя реактивного типу) [8].

За нашою прогноною оцінкою практична реалізація ширококоліїних агрозасобів в колійній системі землеробства буде відбуватися поетапно. На першому початковому етапі, з енергетичної точки зору, робочі швидкості таких агрозасобів будуть не вище 5 км/год, а рівень їхньої енергонасиченості при цьому сягатиме 12,5 кВт/т. На другому етапі робочі швидкості їхнього руху зрівняються з сучасними традиційними сільськогосподарськими агрегатами і сягатимуть до 10 км/год. Рівень енергонасиченості ширококоліїних агрозасобів при цьому, без урахування додаткового відбору потужності, становитиме 23,5 кВт/т (див. рис. 5).

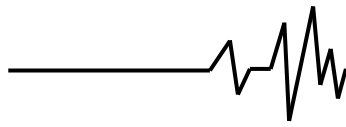
У недалекому майбутньому реальна можливість заміни робочих органів с.-г. знарядь/знарядь принципово новими, які здатні працювати на більш високих швидкостях, що вимагає пропорційного збільшення енергонасиченості ширококоліїних агрозасобів. З цією метою залежність їх енергонасиченості від швидкості за рис. 5 апроксимована нами лінійною функціональною залежністю:

$$E = 2,35 \cdot V + \frac{N'_{PTO}}{M}, \quad (7)$$

де $N'_{PTO} = N_{PTO} / \eta_{PTO}$ – додатковий відбір потужності, який витрачається на активний привід робочих органів машин/знарядь або роботу технологічного обладнання агрозасобу.

Прикінцеве значення енергонасиченості по (7) буде залежати від рівня додаткового відбору потужності, значення якого залежить від функціонального призначення того чи іншого ширококоліїного агрозасобу.

Згідно розрахованої аналітичної залежності енергонасиченості від питомої величини додаткового відбору потужності на 1 т експлуатаційної маси ширококоліїного агрозасобу (рис. 6) впливає, що зі збільшенням відбору потужності на 1 кВт/т



енергонасиченість прямо пропорційно збільшується на 0,9 кВт/т.

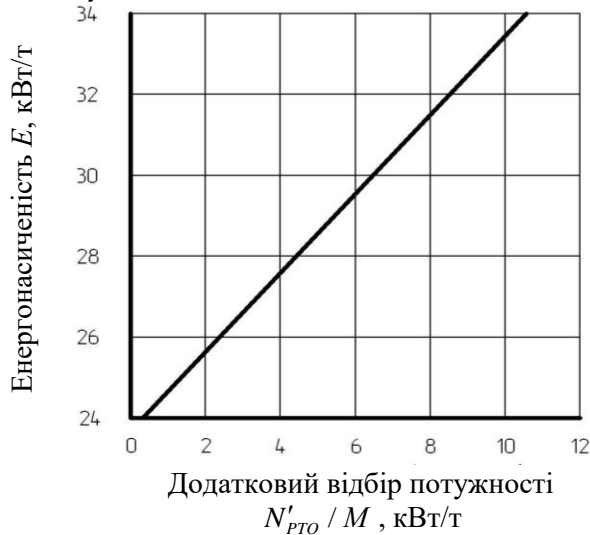


Рис. 6. Залежність енергонасиченості E ширококолієного агрозасобу від величини додаткового відбору потужності на 1 т його експлуатаційної маси N'_{PTO} / M

Номинальне тягове зусилля, яке при цьому розвиває ширококолієний агрозасіб при його русі по вирівняних ущільнених слідах постійної технологічної колії, у функції від експлуатаційної маси представлено на рис. 7.

Науково-практична цінність функціональної залежності, яка представлена на рис. 7 показує, що на кожен тону експлуатаційної маси ширококолієний агрозасіб може розвивати тягове зусилля в 6,37 кН.

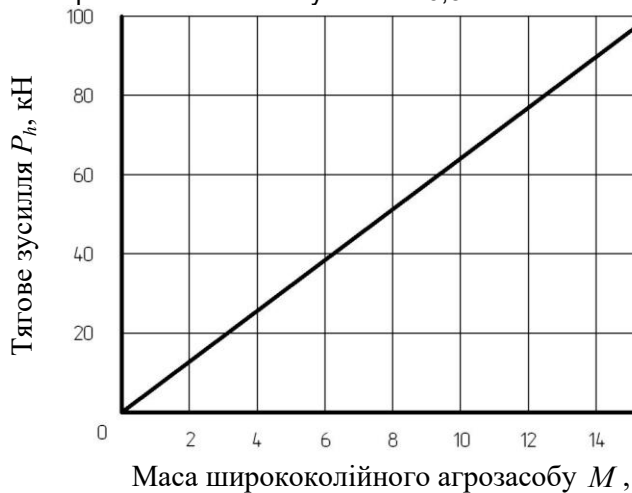


Рис. 7. Номинальне тягове зусилля P_h , яке розвиває ширококолієний агрозасіб при достатньому зчепленні його рушіїв з ґрунтом

Тягове зусилля P_h , яке розвиває ширококолієний агрозасіб, зумовлено питомим

тяговим опором конкретного с.-г. знаряддя та його шириною захвату:

$$P_h = k_0 \cdot \left(1 + \frac{c_v}{100} (V - V_0) \right) \cdot B_w, \quad (8)$$

де k_0 – питомий тяговий опір сільськогосподарських знаряддя при швидкості руху V_0 , км/год;

V_0 – номінальна швидкість руху, км/год;

c_v – темп збільшення питомої тягового опору від підвищення швидкості руху, %;

B_w – робоча ширина захвату ширококолієного агрозасобу, яка згідно рис. 2 дорівнює:

$$B_w = K - b_k - c. \quad (9)$$

Згідно рівняння (8) впливає, що підвищення швидкості руху ширококолієних агрозасобів високої енергонасиченості не вирішує проблему ефективного їх використання. Оскільки в цьому випадку при підвищенні темпу наростання питомих тягових опорів робочих органів с.-г. знарядь зростають енергетичні витрати на виконання технологічного процесу.

У результаті вивчення тягово-енергетичних властивостей ширококолієних засобів механізації сільськогосподарського виробництва в колійній системі землеробства встановлено, що величина їхньої енергонасиченості для робочих швидкостей руху не більше 5 км/год дорівнює 12,5 кВт/т, а на швидкостях 10 км/год становить 23,5 кВт/т. Отриманий результат енергонасиченості ширококолієних агрозасобів без урахування додаткового відбору потужності перевищує рівень енергонасиченості традиційних тракторів тягової концепції, який, як відомо, становить не більше за 15 кВт/т [15]. Пояснити це можна тим, що ширококолієний агрозасіб при русі по вирівняних ущільнених слідах постійної технологічної колії має кращі тягово-зчпні властивості, порівняно з традиційним трактором при його русі по с.-г. агрофонах. Зокрема встановлено, що на кожен тону експлуатаційної маси ширококолієний агрозасіб розвиває тягове зусилля в 6,37 кН за умови достатнього зчеплення його рушіїв з опорною поверхнею слідів постійної технологічної колії. Через це для реалізації більших тягових зусиль необхідна і більша тягова потужність, що збільшує необхідну номінальну потужність енергоустановок ширококолієного агрозасобу. До того ж, особливістю руху ширококолієного агрозасобу по слідах постійної технологічної колії є можливість збільшити коефіцієнт



буксування його рушіїв до $\delta = (0,15 - 0,17)$, що також збільшує витрати потужності на цей процес.

Висновки.

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що для повної реалізації тягово-енергетичних властивостей ширококоліїних агрозасобів при робочих швидкостях їх руху до 5 км/год їхня енергонасиченість має дорівнювати 12,5 кВт/т, а в межах до 10 км/год – 23,5 кВт/т. У зв'язку з цим в реальних умовах експлуатації зменшення робочих швидкостей руху вказаних агрозасобів є шлях до скорочення енерговитрат на технологічні процеси в колійному землеробстві.

2. За умов достатнього зчеплення рушіїв ширококоліїного агрозасобу з опорною поверхнею ґрунтового сліду постійної технологічної колії дозволяє розвивати йому тягове зусилля на рівні 6,37 кН на кожну тонну його експлуатаційної маси. А це в 1,4 разів більше, ніж здатний розвивати традиційний колісний трактор при його русі по стерньовому агрофону.

Список використаних джерел

1. Chamen W.C.T. Wide Span CTF. 2013. URL: <http://ctfeurope.co.uk/WhatIs/Wide-Span-CTF.aspx>.

2. Bulgakov Volodymyr, Olt Jüri, Kuvachov Volodymyr, Smolynski Stanislaw. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *AGRAARTEADUS: Journal of Agricultural Science*. 2020. 1. XXXI. P.10–16. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

3. Pedersen, H.H., Sørensen C.G., Oudshoorn, F.W. User requirements for a wide span tractor for controlled traffic farming: *CIOSTA XXXV Conference «From effective to intelligent agriculture and forestry»*. International commission of agricultural and biological engineers (3–5 July 2013, Section V). Billund, Denmark, 2013. P. 134–136.

4. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. et al. Study of effectiveness of controlled traffic farming system and wide span self-propelled gantry-type machine. *Research in Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 64(1). P. 1–7. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

5. Onal I. Controlled traffic farming and wide span tractors. *Agricultural Machinery Science*. 2012. Vol. 8, No 4. P. 353–364.

6. Кувачов В.П. Механіко-технологічні основи використання спеціалізованих ширококоліїних агрозасобів. *Техніка*,

енергетика, транспорт АПК. 2017. Вип. 2 (97). С. 161–166. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

7. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства: монографія. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. 270 с.

8. Улексин В.А. Мостовое земледелие: монография. Днепропетровск: Пороги, 2008. 224 с.

9. Bulgakov V., Ivanovs S., Kuvachov V. et al. Study of specialized wide-rail agriculture unit for rail farming. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2020. Year LXVI, Issue 2, P. 59–62. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

10. Гуськов А.В. Определение тягово-сцепных качеств шин ведущих колес тракторов. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2007. Вып. № 37. С. 19–21.

11. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учебник. Москва: НИЦ ИНФРА, 2015. 506 с.

12. Чигарев Ю.В. Определение плотности почвы между почвозацепами. *Агропанорама*. 2013. №6(100). С. 37 – 41.

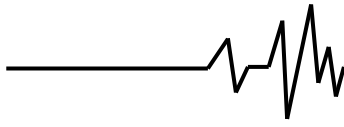
13. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. et al. Investigation of technological properties of wide span tractors for controlled traffic farming. *Proceedings 16 International Scientific Conference «Engineering For Rural Development»* (24 – 26 May 2017, Jelgava, Latvia), 2017. Vol. 16. P. 303–308. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

14. Bulgakov Volodymyr, Nikolaenko Stanislaw, Beloev Hristo, Kuvachov Volodymyr, Dr. Adamchuk Valerii, Ruzhylo Zinovi, Ivanovs Semjons. Theoretical and experimental research of technological properties of the agricultural bridge aggregates. *Proceedings of University of Ruse*. 2020. Volume 59, book 1.1. P. 38-39. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv/>.

15. Adamchuk V., Bulgakov V., Nadykto V. Theoretical research into the power and energy performance of agricultural tractors. *Agronomy Research*. 2016. №14(5). P. 1511–1518.

References

1. Volodymyr K., Serhii K., Tomasz N., Tetiana C., Vasyly M., Yevhen I., Szymon G., Taras H., Sergii S., Oleksandr D. (2021). Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power



means. Monograph – Warszawa. 136 p. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>. [in English].

2. Kut'kov G.M. (2015). Traktory i avtomobili: teoriya i tekhnologicheskie svoystva: uchebnik. Moskva: NIC INFRA, 506 s. [in English].

3. GOST ISO 10326-1. (2002). Vibraciya. Ocenka vibracii sidenij transportnyh sredstv po rezul'tatam laboratornyh ispytaniy. Moskva: Izd. standartov. 8 s. [in English].

4. GOST 12.4.012-75. (1975). Sistema standartov bezopasnosti truda (CCBT). Vibraciya. Sredstva izmereniya i kontrolya vibracii na robochih mestah. Tekhnicheskie trebovaniya. Moskva: Izd. standartov. 5 s. [in English].

5. GOST 12.4.025-76. (1976). Sistema standartov bezopasnosti truda. Vibraciya. Metody rascheta vibroizolyacii rabocheho mesta operatorov samohodnyh mashin. Osnovnye polozhennya. M.: Izd. Standartov. 57 s. [in English].

6. Otrasleyaya normal' avtomobilestroeniya ON 25332-69. (1976). Avtomobil'nyj podvizhnoj sostav. Plavnost' hoda. Metody ispytaniy. M.: Izd. standartov. 57 s. [in Ukraine].

7. OST 37.001.291-84. (1984). Avtotransportnye sredstva. Tekhnicheskie normy plavnosti hoda. Moskva.: Izd. standartov. 8 s. [in Ukraine].

8. DSTU EN ISO 5349-1. (2005). Vibraciya mekhanichna. Vimiryuvannya ta ocinyuvannya vplivu na lyudinu vibracii. CHastina 1: Zagal'ni vimogi (EN ISO 5349-1:2001, IDT). [in English].

9. DSTU EN ISO 5349-1.(2005). Vibraciya mekhanichna. Vimiryuvannya ta ocinyuvannya vplivu na lyudinu vibracii. CHastina 2: Praktichna nastanova z vimiryuvannya na robochomu misci. (EN ISO 5349-1:2001, IDT). [in English].

10. ISO 10056 (2001). Mechanical vibration – Measurement and analysis of whole – body vibration to which passengers and crew are exposed in vehicles.

11. EN 1032 (2003). Mechanical vibration – Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value. , [in Russian].

12. Avtotransportnye sredstva. Metody ispytaniy na plavnost' hoda : OST 37.001.275. Moskva : NAMI, 1985. 12 s. , [in Russian].

13. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. et al.(2020). A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. Agraarteadus: Journal of Agricultural Science. № XXXI (1). P. 10–16. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>. [in English].

14. Nadikto V.T. (2017). Osnovi naukovih doslidzen': pidruchnik. Herson: OLDI–PLYUS, 268 s. [in English].

15. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. (2017). Study into movement of wide span tractors (vehicles) used in controlled traffic farming. Proceedings 28th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing And Automation» (08 – 11th November 2017, Zadar, Croatia) / DAAAM International. Vienna, Austria, 2017. P. 0199–0208. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>. [in English].

16. ZHil'cov O.B.(2015). Teoriya jmovirnostej ta matematichna statistika u prikladah i zadachah: navch. posib. Kiiv: Universitet im. B. Grinchenka, 336 s. [in English].

ОЦЕНИВАНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТИ ШИРОКОКОЛЕЙНЫХ (ПОРТАЛЬНЫХ) ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Многолетними исследованиями установлено, что при работе трактора на мягких почвах, характерных почти для большинства с.-х. операций, происходит глубокое погружение грунтозацепов колеса в грунтовый слой. Погружаясь в грунт, зацепы прессуют его в горизонтальном направлении, противоположном движению трактора. В результате этого происходит понижение поступательной скорости его движения.

Исследований в этом направлении, с учетом условий движения широкопутного агросредства по следу постоянного технологического пути, было проведено учёными крайне недостаточно. А в рассмотрении проблемы разработки научных основ использования мостового трактора некоторые ученые считают, что вопросы их теории и технологических свойств требуют дальнейшей разработки и развития.

Одним из путей снижения энергоёмкости производственных процессов в сельском хозяйстве является переход на путевое и мостовое земледелие с использованием широкопутных (портальных) транспортных средств (или мостовых тракторов), специально адаптированных для этого. Поскольку их движение по следам постоянного технологического пути характеризуется как ростом тягово-сцепных качеств, так и значительным снижением сопротивления их качению. Поэтому мостовые тракторы способны развивать больший уровень тяговых усилий и энергии в отличие от традиционного трактора, который двигается по с.-х. агрофона. Актуальным становится вопрос определения



необходимого уровня энергонасыщенности широкопутных (портальных) транспортных средств с целью возможности создания системы их агрегатирования и практического использования. В результате проведенных исследований установлено, что необходимый уровень энергонасыщенности мостового трактора должен быть на уровне 23,5 кВт/т. При достаточном сцеплении движителей широкопутного агросредства с опорной поверхностью грунтового следа постоянного технологического пути позволяет развивать ему тяговое усилие на уровне 6,37 кН на каждую тонну его эксплуатационной массы.

Ключевые слова: широкопутное (портальное) транспортное средство, мостовой трактор, путевая система земледелия, энергонасыщенность, баланс мощностей, теоретические исследования.

ASSESSMENT OF ENERGY SATURATION OF WIDE-TRACK (PORTAL) VEHICLES FOR AGRICULTURAL PURPOSES

Many years of research have shown that when working on a tractor on soft soils, characteristic of almost most farmers' operations, there is a deep immersion of the wheel hooks in the soil layer. Immersed in the ground, the hooks press it in the horizontal direction opposite to the movement of the tractor. As a result, there is a decrease in the translational speed of its movement.

Research in this direction, taking into account the conditions of movement of wide-track

agricultural equipment in the wake of a constant technological track, has been conducted by scientists is extremely insufficient. And in considering the problem of developing the scientific basis for the use of a bridge tractor, some scientists believe [13] that the issues of their theory and technological properties require further development and development.

One of the ways to reduce the energy intensity of production processes in agriculture is the transition to track and bridge agriculture using wide-track (portal) vehicles (or bridge tractors), which are specially adapted for this purpose. Since their movement in the footsteps of a constant technological track is characterized by both an increase in traction and coupling qualities, and a significant decrease in resistance to their rolling. Because of this, bridge tractors are able to develop a higher level of traction and energy in contrast to a traditional tractor, which moves on agricultural land. The issue of determining the required level of energy saturation of wide-gauge (portal) vehicles becomes relevant in order to create a system of their aggregation and practical use. As a result of the conducted researches it is established that the required level of energy saturation of the bridge tractor should be at the level of 23.5 kW / t. Under conditions of sufficient adhesion of the engines of a wide-track agricultural vehicle with the supporting surface of the soil trace of a constant technological track allows it to develop traction at the level of 6.37 kN per ton of its operating weight.

Key words: wide-track (portal) vehicle, bridge tractor, track system of agriculture, energy saturation, power balance, theoretical researches.

Відомості про авторів

Булгаков Володимир Михайлович – академік НААН, д.т.н., професор, завідувач кафедри механіки Національного університету біоресурсів і природокористування України (15, вул. Героїв Оборони, м. Київ, 03041; e-mail: bulgakov@meta.ua)

Адамчук Валерій Васильович – академік НААН, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, директор Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, Головний вчений секретар Національної академії аграрних наук України (08631, вул. Вокзальна, 11, смт. Глеваха, Фастівського району, Київської області. vvadamchuk@gmail.com);

Кувачов Володимир Петрович – д.т.н., доцент, завідувач кафедри машиновикористання в землеробстві Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Солоня Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)



Булгаков Владимир Михайлович – академик НААН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой механики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Обороны, 15, г. Киев, 03041 e-mail: vbulgakov@meta.ua)

Адамчук Валерий Васильевич - академик НААН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, Лауреат государственной премии Украины в области науки и техники, директор Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Национальной академии аграрных наук Украины, Главный ученый секретарь Национальной академии аграрных наук Украины (08631, ул. Вокзальная, 11, пгт. Глеваха, Фастовского района Киевской области. vvadamchuk@gmail.com)

Кувачов Владимир Петрович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиноиспользования в земледелии Таврического государственного агротехнологического университета имени Дмитрия Моторного (пр. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Запорожская обл., 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Солона Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент заведующая кафедрой общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Bulgakov Volodymyr – Academician of NAAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanics of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, (15, Heroyiv Oborony Str., Kyiv, 03041, e-mail: vbulgakov@meta.ua)

Adamchuk Valeriy - Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Director of the National Scientific Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture" of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Chief Scientist Secretary of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (08631, Vokzalna str., 11, urban settlement Glevakha, Fastovsky district, Kiev region.vvadamchuk@gmail.com)

Kuvachov Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Machine Use in Agriculture of the Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (18, Khmelnytsky Ave., Zaporozhye Region, Melitopol, 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Solona Olena – Candidate of Technical Sciences, (Ph. D in Engineering), Associate Professor, Head of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety, Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna Str., Vinnytsia, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)