

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04>

Machinery & Energetics

Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018

[Scientific Herald of National University of Life and Environmental
Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK.
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Vol. 12

№ 4

(October – December)

Kyiv – 2021

Editor-in-Chief

Prof. Vyatseslav Loveykin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Vice-Editor

DS Ivan Rogovskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

PhD Oleksandr Synyavskiy, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Assistants Editor

PhD Viktoria Kyrylyuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Editorial Board

Prof. Andrey Tevyashev, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine

Prof. Andriy Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Andrzej Marczuk, University of Life Sciences in Lublin, Poland

Prof. Dainis Viesturs, Latvia University of Agriculture, Latvia

Prof. Gennadiy Golub, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Georgiy Tayanowski, University of Agriculture in Minsk, Bielarus

Prof. Henryk Sobczuk, Polish Academy of Sciences, Poland

Prof. Igor Bolbot, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Janusz Wojdalski, Warsaw University of Life, Poland

Prof. Larysa Bal-Prylypko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Ludvikas Spokas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Ondrej Savec, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Petro Yevyeh, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Povilas A. Sirvydas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Stanislaw Sosnowski, University of Engineering and Economics in Rzeszów, Poland

Prof. Tadeusz Zloto, Częstochowa University of Technology, Poland

Prof. Valeriy Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Valery Adamchuk, National Scientific Centre «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» in Kyiv, Ukraine

Prof. Vitaliy Lysenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

Prof. Volodymyr Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Bulgakov, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobets, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobetz, National Agrarian University of Moldova, Moldova Republic

Prof. Volodymyr Kozyrskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Kravchuk, State Scientific Organization „Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production”, Ukraine

Prof. Vyatcheslav Adamchuk, University McGill, Canada

Prof. Wacław Romaniuk, Institute of Technology and Life Sciences Branch in Warsaw, Poland

Prof. Wojciech Tanaś, University of Life Sciences in Lublin, Poland

Prof. Yevgen Aftandilyants, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

All the articles are available on the webpage: www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Ivan Rogovskii*

Typeset: *Ivan Rogovskii*

Cover design: *Liudmyla Titova*

Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2021

Editorial Office address

National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine, 03041

e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

Printing

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

Publishing Office address

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

ISSN 2663-1334 (print)

ISSN 2663-1342 (online)

Edition 100+16 vol.

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04>

Техніка та енергетика

*Журнал наукових досліджень
сільськогосподарського виробництва*

з 2010 року до 2018 року

[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і
природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК ISSN
2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Випуск 12

№ 4

(жовтень – грудень)

Київ – 2021

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. :
В. С. Ловейкін (голов. ред.) та ін. Київ. 2021. Вип. 12. № 4. 204 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України та науково-дослідних інститутів НАН України, НААН України, Міністерства агропромислового комплексу України і Міністерства економіки України.

Редакційна колегія: В. С. Ловейкін, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц.; І. Л. Роговський, д-р техн. наук, старший наук. співр. (заступники головного редактора); В. І. Кирилюк, канд. с.-г. наук, доц. (відповідальний секретар); В. І. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтандіянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипка, д-р техн. наук, проф.; І. М. Болбот, д-р техн. наук, доц.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; І. В. Головач, д-р техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, проф.; М. М. Заблюдський, д-р техн. наук, проф.; Н. А. Заєць, д-р техн. наук, проф.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; К. Г. Лопатько, д-р техн. наук, проф.; І. І. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Несвідомін, д-р техн. наук, проф.; С. Ф. Пилипака, д-р техн. наук, проф.; В. М. Поліщук, д-р техн. наук, проф.; В. М. Решетюк, канд. техн. наук, доц.; В. Романюк, д-р техн. наук, проф.; Г. Собчук, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Таширев, д-р техн. наук, проф.; Л. Л. Тітова, канд. техн. наук, доц.; С. П. Циганков, д-р техн. наук, старший наук. співр.; М. Г. Чаусов, д-р техн. наук, проф.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 4 від 24 листопада 2021 р.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» на підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток № 1) внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б» у галузі технічних наук з спеціальностей 131 і 133), який є правонаступником наукового видання «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК», який згідно з наказами Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 та від 07 травня 2019 р. № 612 внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора і кандидата технічних наук.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій внесено до бібліографічних баз даних наукових публікацій CrossRef, РІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2021

УДК 631.312.06

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ В СИСТЕМІ «ҐРУНТ-АГРЕГАТ-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ЗАСІБ» ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Л. П. Серета, Д. А. Ковальчук

Вінницький національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 208 – агроінженерія.

Кореспонденція авторів: dimasikkovalchuk2008@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 8, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Агропромисловий комплекс України є галуззю народного господарства, покликаною забезпечити виробництво в достатній кількості продуктів харчування для населення при високій якості. В основі сільськогосподарського виробництва є землеробство, основним предметом праці якого є земля. Сьогодні землеробство в країні переживає досить серйозну проблему, пов'язану із швидкими темпами зниження потенційної родючості ґрунтів.

Основним матеріальним багатством країни є родючі ґрунти – чорноземи, які складають значну частину площі країни. Чорноземи є надзвичайно родючими та багатими на органічну речовину як гумус, завдяки якому створюються агротехнічні умови для вирощування досить широкого спектру культур рослинного походження.

В останні роки у світі зароджується новий напрямок формування землеробства, фактично це нова стратегія, заснована на застосуванні сучасних інноваційних технологій обробітку ґрунту та розробкою комбінованих агрегатів для їх реалізації. За таких новітніх тенденцій у землеробстві світу, відповідних змін повинні набути і дії в Україні, зокрема впровадженням ґрунтозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту.

Роботу присвячено розробці математичної моделі процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології обробітку ґрунту як Strip-till. З метою досягнення зменшення енергозатрат на обробітку ґрунту, збереження основного показника родючості ґрунту – гумусу та раціонального агрегування енергетичних засобів із ґрунтообробними агрегатами було встановлено перспективні шляхи зниження на основі математичного моделювання та аналізу зв'язків між елементами.

Розроблено та обґрунтовано математичну модель процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till в технологічній системі «Ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» та аналіз її внутрішньо-системних залежностей та зв'язків.

Ключові слова: теоретичні дослідження, агротехнічно-допустимі показники, зберігаючі технології, родючість, ґрунтообробний агрегат.

Постановка проблеми

На сьогодні виробники сільськогосподарських агрегатів мають достатньо широкий спектр продукції, виходячи з цього, виникає необхідність у теоретичному дослідженні параметрів енергетичних засобів та ґрунтообробних агрегатів, в аспекті оптимальних умов експлуатації та раціонального агрегування [4, 5].

Враховуючи стратегічно важливий напрямок формування матеріально-технічної бази землеробства агропромислового комплексу України для забезпечення високоефективного та ґрунтозберігаючого обробітку ґрунту, а також високі енергозатрати, які затрачаються на обробітку ґрунту за традиційною технологією, виникає потреба в проведенні досліджень спрямованих на вирішення проблеми енергоефективного обробітку ґрунту, у тому числі з раціональним агрегування енергетичних засобів із ґрунтообробними агрегатами, при цьому, зберігаючи потенційну родючість ґрунту країни, що і обумовлює **актуальність** даної статті.

Аналіз останніх досліджень

Основною метою теоретичних досліджень процесу роботи ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту є встановлення закономірностей його руху та визначення на цій основі параметрів технологічного процесу, які забезпечують оптимальні показники обробітку ґрунту. З точки зору раціонального підходу при виборі параметрів ґрунтообробних агрегатів в складі машинно-тракторних агрегатів є комплексний ймовірно-статистичний метод [1,2,8].

В загальному, функціонування машинно-тракторних агрегатів (МТА) розглядається як реакція на зовнішні впливи, що має вигляд складної динамічної системи, яка здійснює перетворення змінних за типом «вхід-вихід». Вхідна змінна величина приймається як характеристика умов роботи ґрунтообробного агрегату, а вихідна величина –

сукупність параметрів, які визначають безпосередньо агротехнічні, енергетичні та техніко-економічні показники.

Характер коливань зовнішніх впливів є головною причиною, що обумовлює зміни вихідних величин роботи ґрунтообробного агрегату в період експлуатації. Під час експлуатації в різних умовах при агрегуванні енергетичного засобу виникає необхідність оцінки вихідних величин ґрунтообробних агрегатів у всьому робочому діапазоні завантаження по тязі, який визначається не тільки змінною агрофізичних властивостей ґрунту, але й параметрами агрегату із режимами його роботи [2,8].

Мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень є розробка математичної моделі, яка дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту.

Результати досліджень

Механічний вплив на ґрунт за промисловою технологією із значною кількістю внесення мінеральних добрив призводить не лише до погіршення агрогідрологічних властивостей ґрунту та ущільнення кореневмісного шару, а й, втрати продуктивності земель.

Стратегічно важливим напрямком розвитку землеробства в Україні є формування матеріально-технічної бази для збереження основного показника ґрунту під час обробітку. Сьогодні необхідно проводити дослідження ґрунтообробних агрегатів, які спрямовані на реалізацію інноваційних ґрунтозберігаючих технологій обробітку, які одночасно зберігають родючість ґрунту [4,6,7].

Все більшого застосування в АПК України набувають комбіновані ґрунтообробні агрегати для обробітку ґрунту, застосування яких дає позитивні результати роботи. Перевагами яких є розширення функціональних можливостей використання, висока продуктивність, економія паливних ресурсів, але саме головне – зниження техногенного впливу на ґрунт [6].

Тензометричні вимірювання ґрунтообробних агрегатів із різними тяговими класами енергетичних засобів показують зміну енергетичних параметрів в умовах їх функціонування. На основі математичної моделі ґрунтообробного агрегату, можна визначити математичні очікування вихідних величин, та режимів роботи із врахуванням вимог технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till, які можна оптимізувати [5,7].

Для збереження потенційної родючості ґрунтів країни, пропонуємо конструкцію ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту, яка має наступні конструктивні особливості:

1) Ґрунтообробна лапа конструктивно виконана

таким чином, що дозволить одночасно за один прохід підрізати бур'яни так і вносити органічні добрива до кореневої системи рослин, тим самим покращуючи доступ поживних речовин;

2) На стійку ґрунтообробної лапи вмонтований верхній поверхневий леміш, який зрізає наземну частину бур'янів та використовується для стабілізації руху лапи, на потрібну глибину обробітку ґрунту;

3) Внесення органічних добрив відбувається внутрішньоґрунтово та проводиться перед фрезеруванням ґрунту, що дає можливість якісно та інтенсивніше перемішувати його з органічним добривом, а також розпушувати ґрунт, що є важливим при впровадженні технології Strip-till.

Загальний вигляд конструкції комбінованого ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till зображено на рисунку 1.

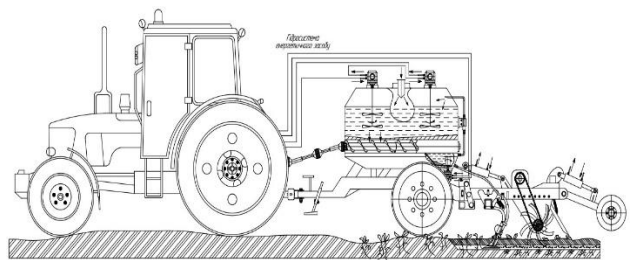


Рис. 1. Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату для технології Strip-till

Fig. 1. General view of the machine-tractor unit for Strip-till technology

Рациональні параметри та режими роботи агрегату залежать від визначення необхідної маси та потужності енергетичного засобу і ґрунтообробного агрегату, що забезпечить по можливості більше механічної енергії по відношенню до необхідних енергозатрат ґрунту конкретними робочими органами для створення необхідної структури оброблюваної поверхні ґрунту.

В загальному енергетична потужність агрегату пропорційна добутку тяговому зусиллю енергетичного засобу на робочу швидкість руху. Маса агрегату, яка бере участь в процесі обробітку ґрунту, змінюється, тим самим впливає на завантаження робочих органів та визначає величину опору [5].

Для стійкого виконання технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till відповідно до визначено тягового класу енергетичного засобу необхідно визначитись з оптимальною шириною захвату ґрунтообробного агрегату.

Визначення оптимальної ширини захвату ґрунтообробного агрегату, яка залежить від питомого опору, відбувається, як правило, лише під час сталого режиму роботи. При цьому, велика кількість ґрунтообробних агрегатів мають декілька робочих органів, пов'язаних між собою, що свідчить про значну інерційність механічної системи, тому, для визначення оптимальної ширини захвату агрегату розглядають динамічну систему механічного руху [1].

При рівномірному русі спроектованого ґрунтообробного агрегату по горизонтальній поверхні на нього діють наступні сили (рис. 2) [6, 7]:

- сила тяжіння агрегату, (G_{ap}), Н;
- тягове зусилля трактора, ($P_{тр}$), Н;
- опір ґрунту переміщення стрілкової лапи, ($P_{л}$), Н;
- опір ґрунту переміщення ґрунтообробної фрези, ($P_{фр}$), Н.

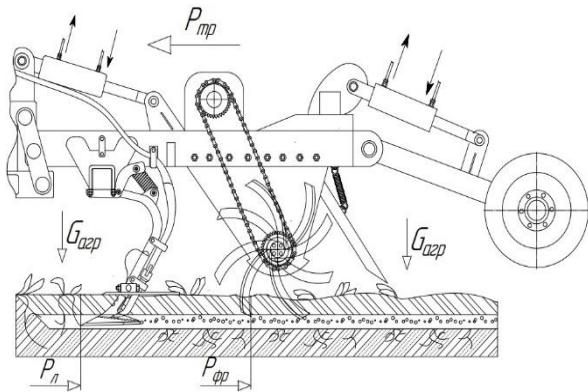


Рис. 2. Схема дії сил на ґрунтообробний агрегат для технології Strip-till.

Fig. 2. Scheme of action of forces on the tillage unit for Strip-till technology.

Виходячи з цього, кінематична енергія ґрунтообробного агрегату визначається з формули:

$$T_A = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2} + \frac{I_a \cdot \omega^2}{2}, \quad (1)$$

де m_a – маса комбінованого агрегату, кг; V_a – швидкість руху комбінованого агрегату, м/с; I_a – момент інерції обертючих частин комбінованого агрегату, кг·м²; ω^2 – кутова швидкість обертання відносно центру мас, с⁻¹.

Для забезпечення рівноваги у вертикальній площині дія вертикальних складових реакцій ґрунту на робочі органи компенсується вагою ґрунтообробного агрегату, окрім цього питомий опір ґрунту та глибина обробітку ґрунту – постійні.

Математична розрахункова модель ґрунтообробного агрегату має наступний вигляд:

$$F = \{f_1(t), \dots, f_j(t), \dots, f_n(t)\}, \quad (2)$$

$$Y = \{y_1(t), \dots, y_j(t), \dots, y_m(t)\}, \quad (3)$$

де F – вектор вхідних змінних; Y – вектор вихідних змінних; n, m – число сукупності експлуатаційних факторів.

Вхідною величиною в систему «ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» прийнята величина, яка приведена до постійної робочої швидкості руху та тяговому опору ґрунтообробного агрегату, закон розподілу прийнято нормальним на підставі чисельних реалізацій процесів. При великій кількості вхідних та вихідних значень, змінність їх в часі або не стаціонарність є відмінною особливістю функціонування ґрунтообробного агрегату [1,2,8].

Оцінка законів розподілу вхідних та вихідних змінних проводиться за допомогою числових характеристик: математичні очікування та дисперсія:

$$m_y = \int y \cdot \varphi(y) dy = \int f(x) \cdot \varphi(x) dx, \quad (4)$$

$$D_y = \int [f(x) - m_y]^2 \cdot \varphi(x) dx, \quad (5)$$

де $\varphi(y), \varphi(x)$ – ймовірність щільності розподілу відповідного вхідного та вихідного показника; $y = f(x)$ – детермінована функція зв'язку.

Особливо важливою умовою ефективної експлуатації машинно-тракторного агрегату є оптимально-правильний підбір агротехнічних допустимих швидкостей руху для вибраного прийому обробітку та із врахуванням стану ґрунту і найбільш повної реалізації номінальної потужності двигуна енергетичного засобу [8].

Визначення діапазону математичних очікувань робочих швидкостей руху машинно-тракторних агрегатів визначається із результатів агротехнічної оцінки враховуючи вимоги якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту.

Робоча швидкість руху енергетичного засобу залежить від коефіцієнту використання зчіпної ваги та інших показників, з високим ступенем точності, які визначається шляхом апроксимації експлуатаційних значень швидкості енергетичного засобу по передачам.

Виходячи з цього швидкість руху машинно-тракторного агрегату визначається з формули:

$$V_p = \frac{N_n \cdot \lambda_N \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{\delta}}{G_{тр} \cdot (\varphi + f)}, \text{ км/год} \quad (6)$$

де N_n, λ_N – відповідно номінальна потужність двигуна трактора і коефіцієнта використання; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії трактора; φ – математичне очікування коефіцієнта використання зчіпної ваги трактора, яка визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{P_{гк}}{G_{тр}}, \text{ кг} \quad (7)$$

$G_{тр}$ – експлуатаційна вага трактора, кг; η_{δ} – коефіцієнт опору кочення трактора.

Для висвітлення зміни поточних математичних очікувань тягового зусилля на гаку енергетичного засобу в залежності від робочої швидкості руху при агрегуванні із різними агрегатами застосовуємо рівняння другого порядку:

$$P_{гк} = P_0 \cdot [1 + \varepsilon_0 \cdot (V_p^2 + V_0^2)], \text{ Н} \quad (8)$$

де $P_{гк}, P_0$ – відповідно математичне очікування тягового зусилля на гаку енергетичного засобу при швидкості руху V_p і V_0 ; ε_0 – коефіцієнт, що враховує приріст тягового опору при збільшенні робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату.

Динамічний вплив P робочих органів агрегату із ґрунтом та його кінцевою масою m_n за час t повідомляє про швидкість руху V :

$$P \cdot \Delta t = \Delta m_n \cdot V, \quad (9)$$

Виходячи з рівняння (9) середня величина тягового опору P буде пропорційна квадрату швидкості руху агрегату, так як маса ґрунту, яка піддається впливу робочого органу в одиницю часу, пропорційна швидкості руху. Рівняння руху при умові сталої роботи агрегату, із зміною швидкості руху від 0 до V поступово, при цьому забезпечуючи неперервний прохід робочого органу через ґрунту:

$$P = \Delta m_n \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (10)$$

Основним оцінюючим показником використовується математична величина очікування витрати пального двигуном енергетичного засобу, яка

визначає потрібну потужність для заданого технологічного процесу обробітку.

При цьому, виходячи із рівняння (10) витрати потужності на обробіток ґрунт, визначається з формули:

$$N = P \cdot V = \Delta m_n \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} = \Delta m_n \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (11)$$

Виходячи з цього, поєднуючи рівняння (1-11) буде описуватись фізична сутність процесу обробітку ґрунту.

Результати випробування агрегатів показали, що застосовуючи до реальних умов роботи машинно-тракторного агрегату витрата палива двигуна енергетичним засобом є взаємозв'язок між ширини захвату агрегату, глибини агрегату та швидкості руху [5, 8]. Апроксимація цього має наступний вигляд:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{тo}} + E_o \cdot B_p \cdot h \cdot V_p^2, \text{ г/с} \quad (12)$$

де $G_{\text{тo}}$ – математичне очікування витрати палива на самопересування агрегату та витрати в передавальних механізмах системи, г/с; h – математичне очікування глибини обробітку ґрунту, м; E_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив стану ґрунту, параметрів трактора та типу робочих органів ґрунтообробного агрегату при інтенсивності приросту витрати палива двигуном енергетичного засобу від збільшення B_p , V_p і h .

Виходячи з цього, отриманий вираз представляє собою енергетичну характеристику ґрунтообробного агрегату в цілому при впливі його на ґрунт.

Аналіз рівняння говорить про те, що величина пропорційна затратам палива на корисну роботу ґрунтообробного агрегату і обернено пропорційна коефіцієнту приросту витрати пального, глибини обробітку ґрунту та квадрату робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату [6].

Відповідно до цього, робоча ширина захвату ґрунтообробного агрегату для агрегаткування із енергетичним засобом визначається за формулою:

$$B_p = \frac{G_{\text{т max}} - G_{\text{п}}}{E_o \cdot h \cdot V_p^2}, \quad (13)$$

Виходячи з цього, після перетворення рівняння (15), отримуємо рівняння для визначення продуктивності ґрунтообробного агрегату:

$$W = \frac{G_{\text{т max}} - G_{\text{п}}}{E_o \cdot h \cdot V_p}, \quad (14)$$

Витрати пального двигуна енергетичного засобу можна розділити на дві складові: продуктивна складова – витрачаються на корисну роботу руху ґрунтообробного агрегату; не продуктивні – втрати, на самопересування ґрунтообробного агрегату та втрати в передавальних механізмах системи [6].

Витрати пального двигуном по першій складовій, на переміщення ґрунту і пропорційній величині її обсягу та отриманому прискоренню, отримуємо вираз:

$$G_{\text{пс}} = E_o \cdot B_p \cdot h \cdot S \cdot \frac{V_p}{t} = E_o \cdot V_n \cdot a_n = E_o \cdot P \cdot \frac{V_n}{m_n}, \text{ г} \quad (15)$$

де V_n , m_n – відповідно величина обсягу та маси обробного ґрунту; a_n – величина прискорення, одержуваного ґрунтом під час обробітку.

Витрати пального двигуна по другій складовій, визначаються із виразу:

$$G_2 = C_o \cdot f_a \cdot (G_{\text{тп}} + G_a), \text{ г/с} \quad (16)$$

де C_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив сили опору кочення агрегату на величину витрат палива для його переміщення; f_a – коефіцієнт опору кочення агрегату; G_a – експлуатаційна вага ґрунтообробного агрегату, кг.

Виходячи з аналізу виразів (13) і (14) бачимо, що величина непродуктивних енерговитрат на ґрунт пропорційна експлуатаційній масі ґрунтообробного агрегату в цілому, а витрати палива на корисну роботу пропорційні тяговому опору, по відношенню до щільності ґрунту.

Витрата палива, ґрунтообробного агрегату на одиницю площі, яка піддається обробітку визначається за формулою:

$$g_{\text{га}} = \frac{G_{\text{п}}}{B_p + V_p} + E_o \cdot h \cdot V_p, \quad (17)$$

Виходячи з рівнянь (13-17) слідує, що пріоритетним шляхом підняття продуктивності, відповідно і зниження витрат палива є зменшення витрат пального на пересування ґрунтообробного агрегату, глибини обробітку ґрунту і застосування робочих органів агрегату з меншим питомий тяговим опором, а також не менш важливим є збільшення завантаження енергетичного засобу по тязі, за допомогою збільшенні ширини захвату ґрунтообробного агрегату при зниженні робочої швидкості руху ґрунтообробного агрегату.

В якості головного показника машинно-тракторного агрегату пропонуємо використати значення коефіцієнта корисної дії ґрунтообробного агрегату, що характеризує частку енерговитрат, затрачену агрегатом на корисну роботу, від загальної величини. Коефіцієнт корисної дії ґрунтообробного агрегату визначається згідно із рівнянням:

$$\eta_a = \frac{G_g - G_2}{G_{\text{тн}}} = \frac{E_o \cdot B_p \cdot h \cdot V_p}{G_{\text{тн}}}, \quad (18)$$

Моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату може бути успішна реалізована при обґрунтуванні раціонального складу та режимів роботи причіпних машинно-тракторних агрегатів, так як на вході приймається величина наведеного тягового опору ґрунтообробного агрегату.

Висновки

1. Підводячи підсумки, можна сказати, що конструкція запропонованого ґрунтообробного агрегату в загальному за один робочий прохід виконує всі необхідні операції для передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till: формує смуги для посіву та розпушує ґрунт з одночасним змішуванням рослинних залишків із ґрунтом; локально вносить органічні добрива до кореневої системи рослини, тим самим покращуючи доступ поживних речовин; створює якісне насінневе "ложе" на потрібну глибину обробітку; обробляє ґрунт без перевертання пласту, тим сам зберігаючи вологу та гумус у ґрунті.

2. Окрім цього, математична модель дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи

ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till. Математичні залежності, дозволяють проаналізувати застосування тягових агрегатів на базі енергетичних засобів із різними параметрами під час виконання обробітку ґрунту стосовно до реальних умов експлуатації.

Список літератури

1. *Войтюк Д. Г., Барановський В. М.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник. Київ. Вища освіта. 2005. 464 с.
2. *Заїка П. М.* Теорія сільськогосподарських машин. Харків. Око. 2001. Том 1. Частина 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. 444 с.
3. *Бендера І. М., Рудь А. В., Козій Я. В.* Проектування сільськогосподарських машин: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський. 2010. 640 с.
4. *Середа Л. П.* Технологія Strip-till в рослинництві. Перспективність впровадження в Україні. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали ХХ міжнародної наукової конференції, присвяченої 119 - й річниці з дня народження академіка П.М. Василенка, 17-19 жовтня 2019 року. Миколаїв. МНАУ. 2019. С. 70-74.
5. *Середа Л. П., Ковальчук Д. А.* Розробка комбінованого ґрунтообробного пристрою для ресурсощадних технологій обробітку ґрунту, Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК». Луцьк. 20-21 травня 2021 року. С. 116-118.
6. *Середа Л. П., Купчук І. М., Ковальчук Д. А., Замрій М. А.* Розробка пристрою для фрезерного обробітку ґрунту з одночасним внесенням добрив. Техніка, енергетика, транспорт в АПК. 2021. С. 152-161.
7. *Середа Л. П., Труханська О. О., Швець Л. В.* Розробка і дослідження ґрунтообробної машини для технології Strip-till з активними робочими органами, Вібрації в техніці і технологіях. 2019. С. 65-71.
8. *Тищенко С. С., Дубровін В. О., Теслюк В. В., Волянський М. С.* Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту: навчальний посібник. Київ. Компанія «Аграр Медіа Груп». 2014. 162 с.

References

1. *Voytiuk D. G., Baranovsky V. M.* (2005) Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation: textbook. Kyiv. Higher education. 464.
2. *Zaika P. M.* (2001) Theory of agricultural machinery. Kharkov. Oco. 1(1). Machines and tools for tillage. 444.
3. *Bendera I. M., Rud A. W., Koziy Ya. V.* (2010). Design of agricultural machinery. Tutorial. Kamianets-Podilskyi. 640.
4. *Sereda L. P.* (2019). Strip-till technology in crop production. Prospects for implementation in Ukraine. Modern problems of agricultural mechanics: materials of

the XX international scientific conference dedicated to the 119th anniversary of the birth of Academician P.M. Vasylenko. October 17-19. Mykolaiv. MNAU. 70-74.

5. *Sereda L. P., Kovalchuk D. A.* (2021). Development of a combined tillage device for resource-saving tillage technologies. Proceedings of the VIII All-Ukrainian scientific-practical conference "Innovative technologies in agriculture". Lutsk, May 20-21. 116-118.

6. *Sereda L. P., Kupchuk I. M., Kovalchuk D. A., Zamriy M. A.* (2021) Development of a device for milling tillage with simultaneous application of fertilizers. Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Serii: Engineering, energy, transport in agriculture. Vinnytsia. 152-161.

7. *Sereda L. P., Trukhanskaya O. O., Shvets L. V.* (2019). Development and research of a tillage machine for Strip-till technology with active working bodies. Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Serii: Vibrations in equipment and technologies. Vinnytsia. 65-71.

8. *Tishchenko S. S., Dubrovin V. O., Teslyuk V. V., Volyansky M. S.* (2014). Agricultural machinery. Theory and calculation of working bodies of machines for surface tillage: textbook. way. Kyiv. Agrar Media Group Company. 162.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТУ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-АГРЕГАТ- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО» ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Л. П. Середа, Д. А. Ковальчук

Аннотация. Агропромышленный комплекс Украины является отраслью народного хозяйства, призванной обеспечить производство в достаточном количестве продуктов питания для населения при высоком качестве. В основе сельскохозяйственного производства является земледелие, основным предметом труда которого является земля. Сегодня земледелие в стране переживает достаточно серьезную проблему, связанную с быстрыми темпами снижения потенциального плодородия почв.

Основным материальным богатством страны являются плодородные почвы - черноземы, которые составляют значительную часть площади страны. Черноземы чрезвычайно плодородными и богатыми органическим веществом как гумус, благодаря которому создаются агротехнические условия для выращивания достаточно широкого спектра культур растительного происхождения.

В последние годы в мире зарождается новое направление формирования земледелия, фактически это новая стратегия, основанная на применении современных инновационных технологий обработки и разработкой комбинированных агрегатов для их реализации. При таких новейших тенденциях в земледелии мира, соответствующих изменений должны приобрести и действия в Украине, в частности внедрением почвосберегающих и ресурсосберегающих технологий обработки почвы.

Работа посвящена разработке математической модели процесса работы почвообрабатывающего агрегата для технологии обработки как Strip-till. Для достижения уменьшения энергозатрат на обработку

почвы, сохранение основного показателя плодородия почвы - гумуса и рационально агрегированные энергетических средств с почвообрабатывающими агрегатами было установлено перспективные пути снижения на основе математического моделирования и анализа связей между элементами.

Разработан и обоснована математическая модель процесса работы почвообрабатывающего агрегата для технологии Strip-till в технологической системе «Почва-агрегат-энергетическое средство» и анализ ее внутренне системных зависимостей и связей.

Ключевые слова: теоретические исследования, агротехнических допустимые показатели, сохраняющие технологии, плодородие, почвообрабатывающий агрегат.

MATHEMATICAL MODELING SOIL TILLING UNIT IN THE SYSTEM "SOIL-AGGREGATE-ENERGY MEANS" FOR STRIP-TILL TECHNOLOGY SOIL TREATMENT

L. P. Sereda, D. A. Kovalchuk

Abstract. The agro-industrial complex of Ukraine is a branch of the national economy designed to ensure the production of sufficient food for the population at high quality. The basis of agricultural production is agriculture, the main subject of which is land. Today, agriculture in the country is experiencing a very serious problem associated with the rapid decline in potential soil fertility.

The main material wealth of the country is fertile soils - chernozems, which make up a significant part of the country. Chernozems are extremely fertile and rich in organic matter such as humus, which creates agronomic conditions for growing a wide range of crops of plant origin.

In recent years, a new direction in the formation of agriculture is emerging in the world, in fact, it is a new strategy based on the use of modern innovative tillage technologies and the development of combined units for their implementation. With such the latest trends in agriculture in the world, appropriate changes should be made in Ukraine, in particular the introduction of soil-saving and resource-saving tillage technologies.

The work is devoted to the development of a mathematical model of the process of operation of the tillage unit for tillage technology as Strip-till. In order to reduce energy consumption for tillage, preserve the main indicator of soil fertility - humus and rational aggregation of energy products with tillage units, promising ways to reduce based on mathematical modeling and analysis of relationships between elements.

The mathematical model of the process of operation of the tillage unit for the Strip-till technology in the technological system "Soil-unit-energy means" and the analysis of its intra-system dependences and connections are developed and substantiated.

Key words: theoretical researches, agrotechnical-admissible indicators, preserving technologies, fertility, tillage unit.

Л. П. Серeda ORCID 0000-0003-0866-2503.

Д. А. Ковальчук ORCID 0000-0002-5946-4673.