

Видається з 1996 року  
Засновник і видавець  
Сумський національний  
аграрний університет

Реєстраційне свідоцтво  
КВ № 23691-13531 Р від 21.11.2018 р.

*Редакційна колегія серії*

**Тарельник В.Б.**, доктор технічних наук,  
професор, редактор, Сумський  
національний аграрний університет  
(Україна)

**Соларьов О.О.**, кандидат технічних  
наук, доцент, заступник редактора,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

**Антошевський Б.**, доктор технічних  
наук, професор, Келецький технічний  
університет (Польща)

**Кундера Чеслав**, доктор технічних наук,  
професор, Келецький технічний  
університет (Польща)

**Кирик Г.В.**, доктор технічних наук,  
доцент, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)

**Лобода В.Б.**, кандидат фізико-  
математичних наук, професор, заступник  
редактора, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)

**Коноплянченко Є.В.**, кандидат  
технічних наук, доцент, Сумський  
національний аграрний університет  
(Україна)

**Довжик М.Я.**, кандидат технічних наук,  
доцент, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)

**Хінек Рубік**, кандидат технічних наук,  
Чеський університет наук про життя  
(Чехія)

**Девід Херак**, кандидат технічних наук,  
Чеський університет наук про життя  
(Чехія)

**Сабадаш С.М.**, кандидат технічних наук,  
доцент, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)

**Думанчук М.Ю.**, технічний редактор,  
Сумський національний аграрний  
університет (Україна)

Міністерство освіти і науки України

# **ВІСНИК**

## **СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО**

### **АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
Видається 4 рази на рік.

СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів»

ВИПУСК 4 (42), 2020

<b>Зубко В.М., Хворост Т.В., Соколік С.П.</b> Обґрунтування методики збору та аналізу цифрових даних для оцінки роботи машинних агрегатів в середовищі Microsoft Office Excel .....	3
<b>Ярошенко П.М.</b> Обґрунтування схеми комбінованого агрегату сівби просапних культур .....	10
<b>Рясна О.В.</b> Сучасні експериментальні дослідження вітроенергетики .....	13
<b>Зубко В.М., Соколік С.П.</b> Фактори, що впливають на подрібнення рослинних решток дисковими боронами .....	17
<b>Ярошенко П.М.</b> Про вдосконалення методики розрахунку тягового зусилля МТА .....	22
<b>Зубко В.М., Комісар Є.О.</b> Твердість ґрунту - огляд сучасних методів та пристроїв .....	26

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ» визнано фаховим виданням Категорії «Б» в галузі технічних наук 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія» (наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188)

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету» індексується в Міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, РИНЦ

Матеріали журналу знаходяться у вільному доступі на сайті <https://snau.edu.ua>

Усі статті проходять процедуру таємного рецензування. До публікації в журналі не допускаються матеріали, якщо є достатньо підстав вважати, що вони є плагіатом.

Відповідальність за точність наведених даних і цитат покладається на авторів. Матеріали друкуються українською та англійською мовами.

У разі цитування посилання на «Вісник Сумського національного аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням вченої ради Сумського національного аграрного університету (Протокол №7 від 25.12.2020 р.).

Адреса видавця та виготовлювача:  
40021, м. Суми,  
вул. Г. Кондратьєва, 160  
Телефон: (0542)70-10-42  
E-mail: [visnyk.snau@gmail.com](mailto:visnyk.snau@gmail.com)  
<https://snau.edu.ua>

Тираж 300 пр.  
Зам. №9

© Сумський національний аграрний університет, 2020

**ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ДАНИХ  
ДЛЯ ОЦІНКИ РОБОТИ МАШИНИХ АГРЕГАТИВ В СЕРЕДОВИЩІ MICROSOFT OFFICE EXCEL****Зубко Владислав Миколайович**кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-2426-2772  
email: zubkovladislav@ukr.net**Хворост Тетяна В'ячеславівна**кандидат економічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8863-8126>  
E-mail: khvorost.t83@gmail.com**Соколік Сергій Петрович**старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-4496-8681  
email: Sokolik1009@gmail.com

*Розроблено методику дослідження експлуатаційно-економічних показників та показників якості роботи для існуючих та проєктованих машинних агрегатів при виконанні механізованих технологічних операцій в реальних природно-кліматичних умовах.*

*Сучасні дослідження показують, що на сьогодні фактично вичерпаний потенціал землі і сортів сільськогосподарських культур (крім генномодифікованих, а вони заборонені на сьогодні у Європі) у зростанні врожаю і сьогодні людство повинно боротись за збільшення врожайності за рахунок забезпечення потреб рослин – якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічної операції – це до 30% формування врожаю. Якість кожної технологічної операції формує загальну якість технологічного процесу та впливає на кінцевий результат – на якість, кількість і собівартість продукції. Неякісно виконану технологічну операцію неможливо ні переробити, ні компенсувати, надолжити високою якістю послідувачих технологічних операцій.*

*Сучасні методи інформаційних технологій дозволяють значно спростити та здешевити результати оцінки роботи машинних агрегатів.*

*Визначальним в цій ситуації є інструмент, завдяки якому отримуються данні для обробки, аналізу та прийняття рішення. Мова йде про методику, яка використовується для отримання інформації. Результат розрахунку, отриманий у лабораторних умовах, повинен відповідати результату хронометражних спостережень у виробничих умовах. Саме такою є розроблена нами математична модель і комп'ютерна програма «Машинний агрегат», алгоритм якої реалізований в середовищі Microsoft Office Excel. Дана програму проходить польові випробування спільно з ЛКМЗ та Елворти.*

*Основною умовою для проведення розрахунків повинна бути достовірна база даних.*

*Розроблена методика дозволяє виконати глибокий аналіз експлуатаційно-економічних та якісних показників використання машинного агрегату в будь-яких природно-кліматичних умовах як для існуючих так і проєктованих агрегатів.*

**Ключові слова:** машинний агрегат, технологічна операція, експлуатаційно-економічні показники, якісні показники, енергетичний засіб.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.1>

**Постановка проблеми.** Аналіз останніх досліджень і публікацій, спілкування з аграріями свідчать про те, що при існуючій різноманітності машин на ринку аграрної техніки, при сьогоднішньому формуванні господарств з певних площ (складових частин), розташованих в різних природно-кліматичних зонах, різному рельєфі полів, їх розмірах та площах оцінка експлуатаційно-економічних та якісних показників використання машинних агрегатів на механізованих технологічних операціях повинна враховувати велику кількість факторів (групи машин, ґрунтово-кліматичні умови, вимоги культур для максимальної реалізації селекційного потенціалу та ін.), результати розрахунку повинні забезпечувати достовірність та відповідність тим умовам, для яких проведений розрахунок.

Результати досліджень, з використанням даної методики, повинні мати кінцевий результат за мінімальний проміжок часу.

Існуючі методики розрахунку експлуатаційно-економічних показників та оцінки якості роботи машин були розроблені в основному на початку минулого століття і застосовувалися до машин і технологій того часу.

Застосування сучасних технологій виробництва продукції рослинництва у поєднанні з новітніми конструкціями машин та їх робочих органів вимагають удосконалення методики оцінки якості їх роботи з використанням сучасних засобів математичної обробки.

Об'єктом дослідження є методика оцінки ефективності використання машинного агрегату за експлуатаційно-економічними та якісними показниками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В умовах інтенсифікації землеробства, впровадження нової техніки і прогресивних технологій важливим резервом підвищення врожайності агрокультур і зниження втрат продукції є ефективне використання машин та поліпшення якості виконання механізованих польових робіт [0].

При інтенсивних технологіях вирощування агрокультур особливу увагу слід приділяти економічному обґрунтуванню кожного машинного агрегату в технології, дотриманню технологічної дисципліни, проведення польових робіт в оптимальні агротехнічні терміни в суворій відповідності з існуючими нормативами і технологічними допусками, а також регулюванню машин на заданий режим роботи [0].

У технологіях виробництва агрокультур механізація технологічних процесів займає особливе місце. У наукових працях Мельника І.І. [0], Погорілого Л.В. [0], Натанзона І.Й. [0], Фінна Е.А. [0, 0], Діденка М.К. [0] та інших були глибоко досліджені питання комплектування машинних агрегатів для обґрунтування раціональних комплексів машин та машинного парку, розроблені методики обґрунтування раціонального складу комплексу машин для виробництва агрокультур з урахуванням різних критеріїв оптимізації.

Вартість сучасних засобів механізації є досить високою, а за умови того, що машини у господарстві будуть працювати не один рік, обробляти не один гектар ріллі, враховуючі потреби рослин, які вирощуються в агроформуванні та відповідність конструкційних особливостей машини ґрунтово-кліматичним умовам місцевості, де вона буде використовуватись, актуальним є питання дослідження та обґрунтування ефективності та доцільності вибору машини для кожної операції. Від того, наскільки вдало будуть вибрані енергетичні засоби та агромашини, залежить і ефективність ведення господарювання, і вплив на екологію, і спадок майбутньому поколінню.

**Мета досліджень** – застосування математичної моделі і комп'ютерної програми «Машинний агрегат», алгоритм якої реалізований в середовищі Microsoft Office Excel, для оцінки ефективності використання машинного агрегату за експлуатаційно-економічними та якісними показниками.

**Результати досліджень.** Сучасні методи інформаційних технологій дозволяють значно спростити та здешевити результати оцінки роботи машинних агрегатів. Оперативне отримання інформації завжди дає нам можливість працювати «на випередження».

Визначальним в цій ситуації є інструмент, завдяки якому отримуються дані для обробки, аналізу та прийняття рішення. Мова йде про методику, яка використовується для отримання інформації. Результат розрахунку, отриманий у лабораторних умовах, повинен відповідати результату хронометражних спостережень у виробничих умовах. Саме такою є розроблена нами математична модель і комп'ютерна програма «Машинний агрегат», алгоритм якої реалізований в середовищі Microsoft Office Excel.

Основною умовою для проведення розрахунків повинна бути достовірна база даних. ар

Вхідними параметрами комп'ютерної програми «Машинний агрегат» є конструктивні параметри енергетичних засобів і агромашин, а також агрокліматичні та фізико-механічні умови їх роботи при виконанні тих чи інших механізованих операцій за умови забезпечення агротехнічних вимог.

Основними вихідними параметрами реалізації програми є результати роботи машинних агрегатів з урахуванням вартості та якості виконання механізованих робіт.

*Дослідження енергетичного засобу.*

Вхідні параметри: марка енергетичного засобу, визначена виробником, тип енергетичного засобу, основний технологічний параметр енергетичного засобу, потужність двигуна, питома витрата палива, експлуатаційна маса, балансова вартість енергетичного засобу, нормативне річне завантаження, система ТОР, коефіцієнт надійності енергетичного засобу.

Вихідні параметри: гакове зусилля, витрати паливо-мастильних матеріалів, амортизаційні відрахування, коефіцієнт забезпечення агроімвог.

На рис. 1 представлена схема щодо дослідження (розрахунку) енергетичного засобу.

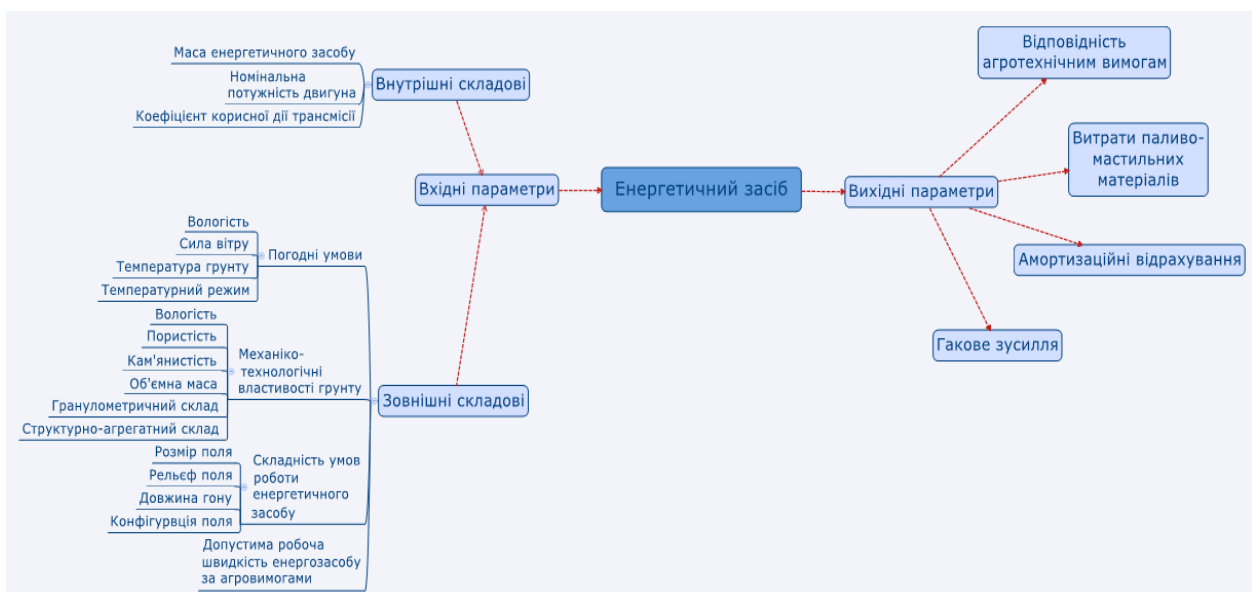


Рис. 1 – Схема дослідження енергетичного засобу

Результати підготовки бази даних по енергетичних засобах для використання їх у зазначеній програмі «Машинний агрегат» наведено на рис. 2.

*Дослідження агромашини.*

Вхідні параметри: марка агромашини визначена виробником, тип агромашини, основний технологічний параметр, максимальна дозволена агровимогами швидкість, потужність на ВВП, експлуатаційна маса агромашини, балансова вартість агромашини, нормативне річне завантаження агромашини, система ТОР, кількість обслуговуючого персоналу, кінематична довжина машини, коефіцієнт надійності машини.

Вихідні параметри: загальний опір машини, амортизаційні відрахування, коефіцієнт відповідності агротехнічним вимогам.

Схема дослідження агромашини представлена на рис. 3. Результати підготовки бази даних по агромашинах для використання їх у зазначеній програмі «Машинний агрегат» наведено на рис. 4.

*Дослідження машинного агрегату.*

Вхідні параметри: коефіцієнт опору руху, допустима робоча швидкість агрегату за агровимогами, коефіцієнт зчеплення ведучого апарату, дотична сила тяги, сила зчеплення, сила опору перекочування, рушійна сила (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	Джон Дір 8420	181	2	60.0	198	200	10.00	195000	1600	1	2.20	0.98	0.98			Трактор колісний 4К4 клас 6
3	Джор Дір 9430	220	2	60.0	316	200	20.10	442000	1600	3	2.20	0.98	1.00			Трактор колісний 4К4 клас 6
4	Джон Дір 9530	221	2	65.0	351	200	20.30	480000	1600	3	2.20	0.98	1.00			Трактор колісний 4К4 клас 6
5	К-701	1	2	65.0	220	245	13.00	86435	1500	1	2.70	0.92	1.00			Трактор колісний 4К4 клас 5
6	К-700А	2	2	60.0	158	245	12.30	59800	1500	1	2.20	0.80	1.00			Трактор колісний 4К4 клас 5
7	Умовні позначення колонок:															
8	1 - Марка енергетичної машини;						4 - Основний технологічний параметр(максимальне тягове зусилля для тракторів, кН; вантажопідйомність для автомобілів, т; пропускна здатність для комбайнів, кг/с);									
9	2 - Шифр енергетичного засобу;						5 - Потужність двигуна, кВт;									
10	3 - Тип енергетичної машини:						6 - Питома витрата палива, г/кВт*год (г/км);									
11	0 - людина;						7 - Експлуатаційна маса, т;									
12	1 - гусеничні трактори;						8 - Світова ціна, \$;									
13	2 - колісні трактори 4К4;						9 - Нормативне річне завантаження, год;									
14	3 - колісні трактори 4К2;						10 - Система ТОР (визначає ресурс енергетичного засобу до 1-го капітального ремонту: 1- стара система; 2 - нова система; 3 - система для іноземної техніки.									
15	4 - самохідні комбайни;						11 - Виріток енергомашини в умовних гектарах за годину (для гусеничних - K=0.06G+0.01Ne; решти - K=0.05G+0.01Ne);									
16	5 - автомобілі-самоскиди (бензинові);						12 - Коефіцієнт надійності енергозасобів;									
17	6 - автомобілі-самоскиди (дизельні);						13 - Коефіцієнт забезпечення агровимог.									
18	7 - автомобілі бортові (бензинові);						14 - Знаком (+) відмічаються енергетичні засоби, які необхідно включити у розрахунок.									
19	8 - автомобілі бортові (дизельні);															
20	9 - електродвигун;															
21																

Рис. 2 – Загальний вигляд бази даних по енергетичних засобах

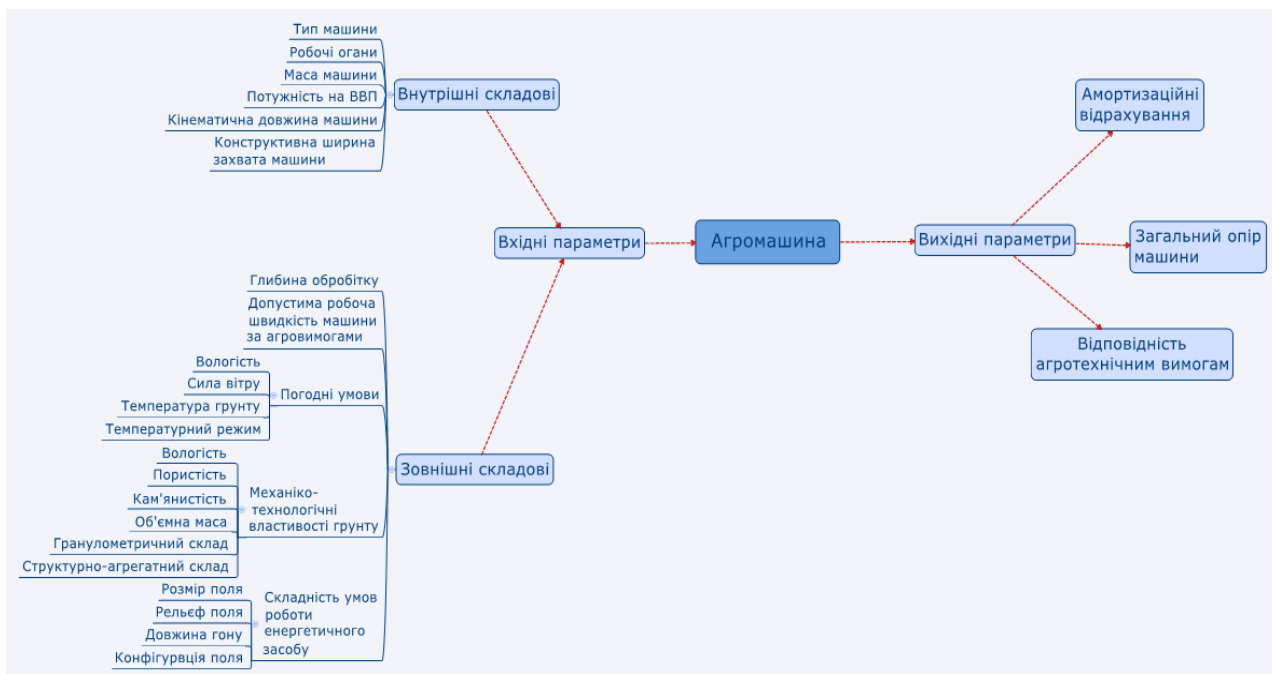


Рис. 3 – Схема дослідження агромашини

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y			
1																												
2	ПТК-9-35	1	1	3,20	10	0,0	2,80	4175	240	1	0	7,5	0,92	0,98														
3	ПНТК-10-35	365	1	3,50	10	0,0	3,00	7702	480	2	0	7,7	0,92	0,98														
4	ПТК-6/7-40	7	1	2,80	9	0,0	1,50	3737	240	1	0	7,0	0,92	0,98														
5	ПНЛ-8-40	2	1	3,20	10	0,0	2,15	4100	240	1	0	7,0	0,92	0,98														
6	ПНН-10-35Д	537	1	3,50	10	0,0	2,80	5628	240	2	0	7,5	0,92	0,98														
7	МФ 720	374	1	2,70	10	0,0	1,60	15000	300	3	0	6,5	0,98	0,98														
8																												
9	Умовні позначення колонок:																											
10	1 - Марка сільськогосподарської машини;														4 - Максимальна ширина захвату для машин типу 1,2,3,4,9,10,11,12 м;													
11	2 - Шифр сільськогосподарської машини;														Вантажопідйомність (т) для машин типу 6,7,8;													
12	3 - Тип сільськогосподарської машини														Продуктивність, т/год, для машин типу 5;													
13	1 - тягово звичайні (4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність=0);														5 - Максимальна робоча швидкість, км/год. Ширина захвату для машин типу 6, м;													
14	2 - зчіпки (4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність=0);														Максимальна пропусна здатність для машин типу 11,12 кг/с;													
15	3 - тягово-приводні (4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність ВВП, кВт);														6 - Потужність на ВВП,кВт(питома потужність для типу машин 9 і 12 кВт/кг*с);													
16	4 - начліпи без робочих органів для ґрунту (4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність ВВП, кВт);														7 - Експлуатаційна маса, т;													
17	5 - навантажувачі і стаціонарні (4 - продуктивність, т/год; 5 - швидкість=0; 6 - потужність ВВП, кВт);														8 - Балансова вартість, ум. од.;													
18	6 - причіпи та начліпи розсади доборів (4 - вантажопідйомність, т; 5 - ширина захвату, м; 6 - потужність ВВП, кВт);														9 - Нормативне річне завантаження, год;													
19	7 - тракторні транспортні машини (4 - вантажопідйомність, т; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність ВВП, кВт);														10 - Система ТОР (визначає ресурс сільськогосподарської машини до 1-го ремонту													
20	8 - автомобільні причіпи і транспортні машини (4 - вантажопідйомність, т; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність=0);														1 - стара система, 2 - нова система, 3 - система для іноземної техніки).													
21	9 - жалти і хедери для сатомідиких комбайнів (4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність ВВП														11 - Кількість обслуговуючого персоналу;													
22	на одиницю пропусної здатності, кВт/кг*с); 10 - причіпи комбайнів із змінними живарками і хедерами														12 - Кінематична довжина машин, м;													
23	4 - ширина захвату; 5 - максимальна швидкість; 6 - потужність ВВП, кВт); може працювати як тип 3;														13 - Коефіцієнт надійності машини;													
24	11 - живарки і хедери для причіпних комбайнів типу 10 (4 - ширина захвату; 5 - пропусна здатність, кг/с;														14 - Коефіцієнт забезпечення агровиомог.													
25	6 - потужність ВВП на одиницю пропусної здатності, кВт/кг*с);																											
26	12 - причіпні комбайни з пропусною здатністю із постійними хедерами (4 - ширина захвату; 5 - пропусна здатність, кг/с;																											
27	6 - потужність ВВП на одиницю пропусної здатності, кВт/кг*с);																											
28	13 - засоби і інструменти для ручних робіт (4 - продуктивність, т/год);																											

Рис. 4 – Загальний вигляд бази даних по агромашинам

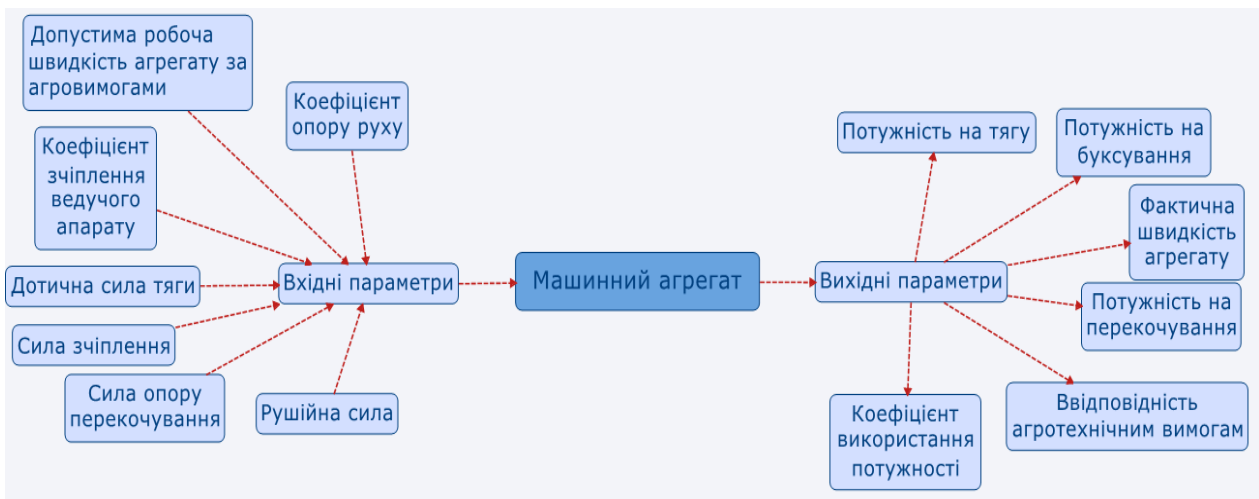


Рис. 5 – Схема формування досліджень машинного агрегату

Вихідні параметри: потужність на тягу, потужність на буксування, фактична швидкість агрегату, потужність на перекочування, коефіцієнт використання потужності, коефіцієнт відповідності агротехнічним вимогам.

Для отримання економічних показників необхідно мати додаткову інформацію. З цією метою методика доповнена наступними довідковими даними: оплата праці, довідник цін, вартість послуг, погодинні тарифні ставки, швидкості руху та витрати палива на переїздах, клас ґрунтів за питомим опором та інші (рис. 6).

Вирощування агрокультур супроводжується певними технологічними операціями. В свою чергу робота кожної окремої механізованої технологічної операції якісно забезпечується машинним агрегатом.

Слід зауважити, що кожний машинний агрегат, за умовами роботи, має свої як технологічні так і технічні показники. Наприклад, на експлуатаційно-економічні показники роботи орного агрегату істотно буде впливати фізико-механічний склад ґрунту, натомість при збиранні на показники комбайна

істотний вплив буде мати механіко-технологічні властивості культури. Враховуючи цей факт розроблено декілька підходів для визначення показників роботи машинних агрегатів. В методиці ці групи машин розбиті на категорії: орний агрегат, протий агрегат, багатомашинний агрегат, самохідний збиральний агрегат, причіпний збиральний агрегат, автомобілі.

За результатами проведених досліджень отримуємо результат, який поділяється на дві складові: експлуатаційно-економічні показники та показники якості роботи машинного агрегату на механізованій технологічній операції. Кожен результат включає технічні та технологічні показники, обумовлені конструктивними особливостями машин, технологічними вимогами та умовами роботи машинного агрегату (рис. 7 та 8). На основі відповідних даних формується результат досліджень за відповідними показниками.

При розрахунку будь-якого агрегату вікно умовно поділяється на три частини: перша – вхідні данні (рис. 9), експлуатаційно-економічні показники розрахунків (рис. 10) та показники якості (рис. 11).

**1. Структурні підрозділи підприємства**

Найменування	Скорочено	Курс долара	27
Сумський НАУ	СНАУ		

**2. Оплата праці: тарифна сітка**

мінімальна заробітна плата:	1218	грн.
рідний фонд робочого часу:	2011	год
місячна норма робочих годин:	168	год

**3. Довідник цін**

вантажи	для легкових та спеціальних		
важ.	до 10 т	до 15 т	
Планова собівартість автопарку	Т-км	км	год
СНАУ	0.96	1.19	21.21

**4. Базові планові показники**

важ.	до 10 т	до 15 т
Планова собівартість 1 ум.т.га (без прямої оплати праці і ПММ)	з тваринництвом	з тваринництвом
СНАУ	32.51	32.51

**Клас ґрунтів за питомим опором, кН/м<sup>2</sup>:**

1 - (27..34)	
2 - (35..39)	
3 - (40..48)	
4 - (49..55)	
5 - (56..62)	
6 - (63..67)	
7 - (68..75)	
8 - (76..82)	
9 - (83..90)	

**Категорія працівників**

Категорія працівників	Розряд роботи						Коефіцієнт співвідношення між категоріями
	1	2	3	4	5	6	
Мікрозраді коефіцієнти	1.00	1.09	1.20	1.35	1.55	1.80	X
Трактористи-машинисти	65.63	71.54	78.76	88.60	101.73	118.13	1.29
На ручних роботах у тваринництві	59.02	64.33	70.82	79.67	91.48	106.23	1.16
На ручних роботах у рослинництві	50.88	55.46	61.05	68.68	78.86	91.58	1.00
На ремонтних роботах	53.93	58.78	64.71	72.80	83.59	97.07	1.06
На верстатних роботах	60.54	65.99	72.65	81.73	93.84	108.98	1.19
На ремонтно-будівельних роботах	63.60	69.32	76.31	85.85	98.57	114.47	1.25

Рис. 6 – Загальний вигляд бази даних з довідковою інформацією



Рис. 7 – Схема формування результату досліджень машинного агрегату за експлуатаційно-економічними показниками

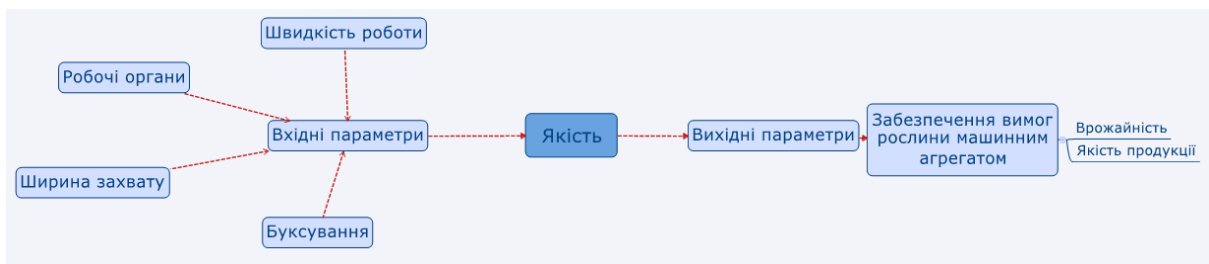


Рис. 8 – Схема формування досліджень машинного агрегату за показником якості

**1. Склад орного машинного агрегату**

Енергетичний засіб	Тип	Рдоп	N	q	G	C	t	Кп	Кн	Кя			
ХТЗ-150-05	206	1	37.0	129	220	8.15	52000	2000	2	1.85	0.80	1.00	Трактор гусеничний клас 3 ХТЗ-150-05-09

**4. Агромашини**

ПЛН-5-35	Тип	V	V	G	C	t	n	Кд	Кн	Кя				
ПЛН-5-35	4	1	1.80	7	0.0	0.90	1700	240	1	0	4.2	0.98	0.93	Плуг лемішний 5-корпусний

**Вхідні дані**

Фон поверхні ґрунту	3	Спосіб руху агрегату	1
Питомий опір ґрунту, кН/м <sup>2</sup>	7	Віддаль від парку до поля, км	1
Умови роботи машинного агрегату	3		
Рельєф, %	3		
Глибина обробки ґрунту, см	25		
Довжина гонів, м	1200		

Рис. 9 – Загальний вигляд вікна з відображенням вхідних даних

Результати розрахунків									
Енергетичний засіб			Агромашина			Машинний агрегат			
Коефіцієнт опору руху	0.066		Коефіцієнт опору руху	0.076		Коефіцієнт використання тягового зусилля	0.69		
Коефіцієнт зчеплення ведучого апарату	1.019		Сила опору перекошування, кН	0.97		Коефіцієнт RO	0.42		
Дотична сила тяги, кН	58.39		Сила опору підйому, кН	0.27		Буксування, %	2.45		
Сила зчеплення, кН	80.55		Сила опору виконання процесу, кН	33.18		Фактична швидкість агрегату, км/год	6.83		
Сила опору перекошування, кН	5.34		Загальний опір агрегату, кН	33.52		Потужність на перекошування, кВт	10.13		
Сила опору підйому, кН	2.45					Потужність на підйом, кВт	4.64		
Рухлива сила, кН	48.58					Потужність на буксування, кВт	2.69		
						Потужність на тягу, кВт	63.58		
						Ефективна потужність, кВт	102.97		
						Коефіцієнт використання потужності	0.80		
Кінематика машинного агрегату			Баланс часу зміни			Техніко-економічні показники			
Радіус повороту агрегату, м	2.88		Час зміни, год	7.00		Продуктивність агрегату, га/год	0.90		
Довжина виходу агрегату, м	5.85		Час на переїзду до поля, год	0.11		Затрати праці, люд-год/га	1.11		
Ширина поворотної смуги, м	10.17		Час, витрачений на ТО енергомашини, год	0.40		Витрата палива, кг/га	25.25		
Робоча довжина гону, м	1179.68		Час, витрачений на ТО агромашини, год	0.04		Вартість палива, грн/га	478.28		
Довжина холостого ходу, м	15.24		Втрати часу на повороти, год	0.19		Вартість оливи, грн/га	10.11		
Ширина захвату агрегату, м	1.98		Час на фізіологічні потреби, год	0.90		Оплата праці, грн/га	126.97		
			Основний час, год	4.65		Амортизація, грн/га	149.32		
						Витрати на ТО, грн/га	160.73		
Коефіцієнт робочих ходів	0.84		Коефіцієнт використання часу зміни	0.66		Прямі експлуатаційні затрати, грн/га	925.41		
Зведені показники агрегату			Енергозасіб			Надійність			
Склад МА	Продуктивність, га/год	Затрати праці, люд-год/га	Витрата палива, кг/га	Прямі експлуатаційні затрати	Час роботи машини на рік, год	1600	Час роботи машини на рік, год	235	
					Час на відновлення в рік, год	400	Час на відновлення в рік, год	5	
					Кількість відмов на рік	1.33	Кількість відмов на рік	2	
ХТЗ-150-05	0.90	1.11	25.25	925.41	Наробіток на вимову, год	15	Наробіток на вимову, год	150	
ПЛН-5-35					Періодичність проведення ТО, год	14	Періодичність проведення ТО, год	147	

Рис. 10 – Загальний вигляд вікна з відображенням результатів розрахунку – експлуатаційно-економічні показники

Коефіцієнт якості (відповідність агротехнічним вимогам) машинного агрегату									
Енергозасіб					Агромашина				
Коефіцієнт якості (відповідність агротехнічним вимогам) машинного агрегату					0.27				
Енергозасіб					0.86				
Агромашина					0.3116				

Рис. 11 – Загальний вигляд вікна з відображенням результатів розрахунку – показник якості виконання механізованої технологічної операції машинним агрегатом

**Висновки.** Розроблена методика дозволяє виконати глибокий аналіз експлуатаційно-економічних та якісних показників використання машинного агрегату в будь-яких природно-кліматичних умовах як для існуючих так і проєктованих агрегатів.

зників використання машинного агрегату в будь-яких природно-кліматичних умовах як для існуючих так і проєктованих агрегатів.

#### Список використаної літератури.

- Орманджи К. С. Контроль качества полевых работ. / К.С. Орманджи / Справочник. –М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.
- Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу : навчальний посібник / [І. І. Мельник, В. Д. Гречкосій, В. В. Марченко та ін.]. – К. : ВВЦ НАУ, 2004.– 151с.
- Погорельий Л. В. Применение методов системного анализа при испытаниях сельскохозяйственной техники / Л. В. Погорельий, В. В. Брей // Обзорная информация ЦНИИТЭИ В/О "Сельхозтехника". – М. : ЦНИИТЭИ В/О "Сельхозтехника", 1976. – 68 с.
- Натанзон І. Й. Комплектування машинно-тракторного парку колгоспів і радгоспів різних зон УРСР. / Натанзон І. Й. – К. : Вид-во Укр. акад. с.г. наук, 1961. – 104с.
- Губко В. Р. Питання методики і результати розрахунків машинно-тракторного парку на ЕОМ / В. Р. Губко, Е. А. Фінн, Л. М. Козакова ; голов. ред. В. С. Крамаров // Застосування математичних методів у дослідженнях складних процесів сільськогосподарського виробництва. – К. : Урожай, 1972. – С. 10–17.
- Губко В. Р. Определение состава машинно-тракторного парка для хозяйств основных зон Украинской ССР / Губко В. Р., Фінн Э. А., Варшавский М. Л. – К. : УкрНИИТИ, 1972. – 44с.
- Диденко Н. К. Обоснование состава комплексов машин для растениеводства / Н. К. Диденко, В. Д. Гречкосей, И. И. Мельник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980.– № 9. – С. 4–5.



**Zubko V.M.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)  
**Khvorost T.V.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)  
**Sokolik S.P.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Substantiation of methods of collection and analysis of digital data for evaluation of machine aggregate operation in Microsoft Office Excel**

Current research shows that the potential of land and varieties of crops (except GMOs, which are now banned in Europe) has actually been exhausted. Therefore, today the main way to increase the yield is to meet the needs of the plants due to the quality of technological operations. The quality of the technological operation is up to 30% of the future harvest. The quality of each technological operation shapes the overall quality and influences the final result - the quality, quantity and cost of production. A badly executed technological operation cannot be re-performed or offset by a qualitative performance of a subsequent technological operation.

Modern information technology methods can significantly simplify and reduce the cost of evaluating the performance of machine aggregates. Crucial in this situation is the tool by which data is obtained for processing, analysis and decision making. It is a technique that was used to obtain information. The result of the calculation obtained in the laboratory must be consistent with the results of the observation of the terms in the production conditions. To do this, we have developed a mathematical model and a computer program "Machine aggregate", whose algorithm is written in Microsoft Office Excel. This program is being field-tested with LCMZ and Elvorty. The basic condition of the calculations should be a reliable database.df

The input parameters of the computer program "Machine aggregate" are design parameters of tractors and machines as well as agroclimatic and physical-mechanical conditions of their work. The main output parameters of the program implementation are the results of machine aggregates work such as cost and quality of work.

The developed technique allows to perform a deep analysis of the operational-economic and quality indicators of use of machine aggregate in any the natural and climatic conditions for both existing and projected aggregates.

**Key words:** machine aggregate, technological operation, operational and economic indicators, quality indicators, tractor.

Дата надходження до редакції: 28.11.2020

## ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМИ КОМБІНОВАНОГО АГРЕГАТУ СІВБИ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Ярошенко Павло Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID 0000-0003-3815-1579

e-mail: [pashajarosh@i.ua](mailto:pashajarosh@i.ua)

*В статті розглянуто питання комплектування комбінованого агрегату для сівби просапних культур та розглянуті продуктивності окремих агрегатів, що створюють комбінований.*

*Застосування комбінованих агрегатів для обробки ґрунту та посіву для одночасного виконання кількох операцій дозволяє підвищити якість робіт, забезпечує дружність сходів та знижує вартість операцій.*

*Розрахунки підтвердили можливість комплектації агрегату шириною 8,1 та додаткового агрегату для внесення добрив. Це зменшить витрати на посів цукрових буряків.*

*Розрахунки комбінованого агрегату підтвердили, що при ретельному підборі машин в агрегаті його продуктивність буде однаковою для всіх машин з одноразовою експлуатацією. Тобто твердження, що один із блоків знизить продуктивність іншого, є дещо надуманим. Зрозуміло, що існують інші типи комбінованих агрегатів, в яких не все так однозначно, але можна стверджувати, що вибираючи машини в агрегаті, можна виконувати серію послідовних операцій без зниження продуктивності кожного.*

**Ключові слова** – комбінований агрегат, просапні культури, сівба, продуктивність, агрегування, швидкість.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.2>

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Як відомо, комбіновані агрегати створюються на основі декількох одноопераційних агрегатів. Кожен із цих агрегатів має свою технологічну операцію, свою швидкість, продуктивність і відповідно опір.

Серед деяких вчених і практиків існує думка, що з'єднання одноопераційних машин в один агрегат буде або перевищувати тягові можливості енергетичного засобу, або недовантажувати його. При цьому частина машин, що входять в комбінований агрегат, буде мати меншу продуктивність ніж ту, яку вона могла б мати, будучи одноопераційним агрегатом.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Агротехнічною наукою доведено, що застосування комбінованих машин, виконуючих за один прохід агрегату декілька технологічних операцій, дає змогу зберегти вологу, зменшити кількість проходів агрегату, а також ущільнення ґрунту, підвищити врожайність вирощуваних культур [1,2].

За даними [1], продуктивність комбінованих агрегатів на базі колісного трактора з передньою і задньою навісними системами на передпосівному обробітку ґрунту та сівбі збільшується на 30 %, а витрати палива на одиницю площі майже в два рази нижчі в порівнянні з агрегатами традиційної схеми.

Доцільність використання широкозахватних комбінованих агрегатів на сьогоднішній день є очевидною. Однак ряд сільськогосподарських підприємств, які користуються старими (як вони кажуть «перевіреними») технологіями не застосовують енергетичних засобів, що мають передні навісні системи. Відповідно і створювати агрегати із застосуванням двох і більше сільськогосподарських машин вони не можуть. Для подолання недовіри до складних агрегатів проведемо теоретичні розрахунки можливості їх використання на підприємствах.

**Формулювання цілей досліджень.** Проведені дослідження ставили за мету визначити ступені завантаження енергетичних засобів під час виконання технологічних операцій та підтвердити можливість агрегування однооперацій-

них сільськогосподарських машин на різних навісних системах.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити величину завантаження двигуна енергетичного засобу під час проведення сільськогосподарської операції;

- шляхом розрахунку визначити продуктивності агрегатів, що мають різні масогеометричні показники.

**Виклад основного матеріалу.** Сівба цукрових буряків – одна з найвідповідальніших операцій при вирощуванні цієї культури. Від своєчасної і високоякісної сівби залежить одержання рівномірних з заданою густиною сходів буряків, а також якість механізованого догляду за посівами та збирання врожаю.

Починати сівбу буряків необхідно в період, коли середньодобова температура ґрунту на глибині 8-10 см досягне +5-6°, слідом за передпосівним обробітком ґрунту і закінчувати її на одному полі за 1-2 робочих дні.

Розрив у часі між передпосівним обробітком і сівбою цукрових буряків не повинен перевищувати трьох-чотирьох проходів культиватора (0,5 год.). Забезпечити такий інтервал часу між двома технологічними операціями можна або двома різними агрегатами, або одним комбінованим.

На сьогоднішній день комбіновані багатофункціональні агрегати, які суміщають в одному технологічному процесі декілька технологічних операцій, набувають все більшого поширення. При використанні таких агрегатів скорочується кількість проходів по полю, знижуються витрати палива, праці та строки виконання технологічних операцій, зберігається в ґрунті необхідний запас вологи [1, 2].

На сівбі цукрових буряків використовували, в основному, трактори класу 14 кН з 12-рядними сівалками. Враховуючи те, що середній розмір полів на Сумщині складає до 80 га, а засівати їх необхідно за два дні згідно агротехнічних вимог, на сьогоднішній день бажано використовувати на сівбі просапних культур трактори тягового класу 30 кН з 18-рядними сівалками (робоча ширина захвату  $B_p = 8,1$  м) [1, 3].

Підвищення якості сівби і дружності сходів можливе при використанні комбінованого агрегату у складі культиватора для передпосівного обробітку ґрунту та просапної сівалки. Поєднання цих двох знарядь в одному агрегаті можливе при наявності на енергетичному засобі переднього начіпного механізму.

На території України Харківським тракторним заводом випускались орно-просапні трактори типу ХТЗ-120/121. В Сумській області їх налічується 19 одиниць. Даний енергетичний засіб має передній начіпний механізм і на базі цього трактора можна комплектувати комбінований ґрунтообробно-посівний агрегат.

Розглянемо, як впливає на завантаження двигуна трактора типу ХТЗ-120/121 використання сільськогосподарських машин на передній і задній начіпних системах.

Для комбінованого агрегату питомий тяговий опір визначають як суму складових машин агрегату, приведених до 1 м ширини захвату [4]. Загальний опір агрегату складає:

$$R_a = \sum kV, \text{ кН} \quad (1)$$

де  $\sum k$  – сума питомого опору машин, що складають агрегат, кН;

$V$  – ширина захвату машини, м.

Сума питомого опору комбінованого агрегату у складі трактора, культиватора і сівалки:

$$\sum k = k_1 + k_2, \quad (2)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  – питомий опір відповідно культиватора і сівалки.

Питомі тягові опори відповідно культиватора і сівалки знайдемо із формули:

$$k = k_0 [1 + \Delta_0/100 (u - u_0)], \text{ кН/м} \quad (3)$$

де  $k_0$  – питомий тяговий опір сільськогосподарських машин під час руху зі швидкістю  $u_0 = 5$  км/год., кН/м;

$\Delta_0$  – темп наростання питомого тягового опору робочих машин при збільшенні швидкості руху агрегату, %;

$u$  – швидкість руху машини в даний момент, км/год.

Тоді для культиватора будемо мати:

$$k_1 = 1,6 [1 + 7,7/100 (7,2 - 5)] = 1,87 \text{ кН/м},$$

а для бурячної сівалки:

$$k_2 = 1,2 [1 + 3,08/100 (7,2 - 5)] = 1,27 \text{ кН/м}.$$

В сумі маємо:

$$R_a = (1,87 + 1,27) \cdot 8,1 = 25,44 \text{ кН}.$$

Орієнтовний відсоток завантаження трактора знайдемо з виразу:

$$\xi = (R_a \cdot 100 \%) / P_T = (25,44 \cdot 100) / 30 = 84,8 \%$$

Проведені розрахунки показали, що ступінь завантаження двигуна трактора в складі комбінованого агрегату для

передпосівної культивуації та сівби просапної культури, складає майже 85 %. Це говорить про доцільність використання такого роду агрегатів при вирощуванні просапних культур.

Порівняємо годинні продуктивності зазначених агрегатів згідно формули:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot V_p \cdot v_p, \text{ га/год.} \quad (4)$$

Для комбінованого посівного агрегату з шириною захвату 8,1 м:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot 8,1 \cdot 7,2 = 5,8 \text{ га/год.}$$

Тобто, комбінований посівний агрегат в якому сівалка займає ведуче місце, має продуктивність 40,6 га за зміну, при умові що всі інші учасники агрегату будуть працювати без забивань і поломок.

Наступний учасник посівного агрегату – культиватор на передній навісній системі. Його задача – підготувати ґрунт на глибину сівби основної культури. Культиватор працює в режимі суцільної культивуації і його швидкість повинна бути такою ж, як і сівалки.

Що стосується технології передпосівного обробітку ґрунту, то тут слід дотримуватися принципу – потрібно проводити стільки агрозаходів, скільки вимагають сукупні обставини, тобто від потреби. Передпосівний обробіток, як правило, проводять у стані фізичної сплоскості ґрунту і в найбільш стислі строки, не допускаючи розриву між передпосівним обробітком та сівбою, оскільки це призводить до втрат ґрунтової вологи та зниження врожайності. З метою захисту ґрунту від надмірного руйнування та ущільнення (а відтак, і збереження у ньому вологи), оптимальним рішенням є проведення лише одного робочого проходу техніки безпосередньо перед сівбою.

Основна вимога, яка ставиться перед передпосівними агрегатами у рамках підготовки ґрунту до сівби сільськогосподарських культур, – це здатність підтримувати неглибоку і рівномірну робочу глибину, відповідно глибині посіву.

Таким вимогам якраз відповідає розпушувальна секція, розташована між двома валами (культиватор із вузькими стрілочастими лапами). Ці знаряддя допомагають досягти рівномірного та неглибокого розпушування ґрунту. На важких ґрунтах, де потрібна глибша культивуація, використовують культиватори із розпушувальними лапами. Найчастіше на практиці використовуються струнні вали, у деяких агрегатах присутні спіральні або трубчасті вали. Зміна положення розпушувального сегмента відносно валів одночасно змінює робочу глибину.

У подальшому передпосівну культивуацію ґрунту на глибину 3-5 см необхідно здійснювати без будь-якого розриву в часі з посівом цукрових буряків. Для передпосівної культивуації ґрунту із середньою щільністю та недостатньою вологістю доцільно використовувати культиватор КОЗР-8,1. Цей агрегат забезпечує високоякісне розпушування ґрунту на задану глибину і загортання насіння на 3-4 см без перемішування шарів ґрунту.

Продуктивність цього культиватора буде аналогічна продуктивності сівалки. Даний агрегат використовують для міжрядного обробітку ґрунту різних технічних культур. При цьому його технологічна швидкість становить 6...8 км/год.

Навісні комбіновані агрегати мають ще деякі переваги перед причіпними. Внаслідок перенесення частини ваги начіпної машини на трактор їх питомий опір на 10...15 % нижчий від однотипних причіпних машин. Це призводить до зменшення витрат на експлуатацію машин, полегшує технічне та технологічне обслуговування агрегатів.

Часто при виконанні технологічної операції сівби вносять і мінеральні добрива. Добрива вносять поряд з насінням, рідше в той же самий рядок. Для цього використовують або обприскувачі, або прості технологічні ємності для рідини з насосом, що приводиться в рух від ВВП трактора. Опір такого агрегату у 7,11 кВт [5] є незначним для даного типу трактора, непотрібно навіть переходити на інший режим роботи двигуна. Однак для здійснення такої операції необхідно переходити на інші несучі колеса.

Справа в тому, що орно-просапний трактор ХТЗ-120/121 комплектується шинами 16,9R38. Аналогічними шинами комплектуються трактори класу 14 кН. При збільшенні маси агрегату, відповідно буде збільшуватися і навантаження на ведучі колеса, що призведе до їх швидкого зношування. Однак трактор можна укомплектувати і шинами 21,3R24, але

тоді трактор ХТЗ-120/121 стане трактором загального використання і не буде просапним через надмірну ширину колеса (51,1 мм проти 42,9 мм).

#### **Висновки**

Використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів для одночасного виконання декількох операцій дозволяє підвищити якість проведення робіт, забезпечує дружність сходів і знижує затрати на виконання операцій.

Проведеними розрахунками підтверджено можливість комплектування агрегату з шириною захвату 8,1 додатковим агрегатом для внесення добрив. Це дасть можливість зменшити витрати на проведення сівби цукрових буряків.

Виконані розрахунки комбінованого агрегату підтвердили, що при ретельному відборі машин в агрегат, його продуктивність буде незмінною для всіх одноопераційних машин. Тобто, твердження про те, що якийсь із агрегатів буде знижувати продуктивність іншого дещо надумане. Зрозуміло, що існують і інші види комбінованих агрегатів у яких не все так однозначно, але можна стверджувати, що підбираючи машини в агрегат, можливо виконувати ряд послідовних операцій без зниження продуктивності кожного.

#### **Список використаної літератури:**

1. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: Навчальний посібник / В.Т.Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула. – Мелітополь: ММД, 2006. – 228 с.
2. Кабаков Н.С., Мордухович А.И. Комбинированные почвообрабатывающие и посевные агрегаты и машины. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 80 с.
3. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / В.І. Паламарчук, О.О. Проценко, А.М. Козачук та ін.; За ред. О.О.Проценка. – К.: Урожай, 1981. – 232 с.
4. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П.Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
5. Бехов Т.Д. Комбинированные машины и агрегаты для возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / Т.Д. Бехов, В.Д. Дяченко. – Минск: Урожай, 1980. – 200 с.

**Yaroshenko P.N., Sumy National Agrarian University (Ukraine)**

#### **Justification of the scheme of the combined unit of sowing of row crops**

*The article considers the issue of completing the combined unit for sowing row crops and considers the performance of individual units that create the combined.*

*The use of combined tillage and seeding units for the simultaneous performance of several operations allows to improve the quality of work, ensures the friendliness of the stairs and reduces the cost of operations.*

*The calculations confirmed the possibility of completing the unit with a width of 8.1 additional unit for fertilizer application. This will reduce the cost of sowing sugar beets.*

*The calculations of the combined unit confirmed that with careful selection of machines in the unit, its performance will be the same for all single-operation machines. That is, the statement that one of the units will reduce the performance of another is somewhat far-fetched. It is clear that there are other types of combined units in which not everything is so clear, but it can be argued that selecting machines in the unit, it is possible to perform a series of sequential operations without reducing the productivity of each.*

**Key words:** combined unit, row crops, sowing, productivity, aggregation, speed.

Дата надходження до редакції: 30.11.2020

Рясна Ольга Василівна

старший викладач

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-6917-6950

email: olgar5062017@gmail.com

На даний час необхідно прийняти ключові рішення, які мають безпосередній вплив на енергетичне майбутнє України. УВЕА буде прагнути до того, щоб вітроенергетика стала повноправною технологією в енергетичному балансі країни. Створення енергопостачання, що сприяє досягненню справді сталого майбутнього, заснованого на необмежених, що не забруднюють навколишнє середовище і конкурентоспроможних технологіях використання відновлюваних джерел є завданням, що стоїть не тільки перед Україною, але всією світовою спільнотою. Вітроенергетика - це шлях до миру.

На підставі вивчення дисциплін електричні машини і основи електроприводу та проведення експериментальних даних і новітніх досліджень науки в лабораторних умовах кафедри був виготовлений генератор для тихохідних вітроустановок. В результаті теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування вітросилової установки при достатньо низьких обертах вітроколеса, де вимоги до електрогенератора будуть значно нижчі, ніж в звичайних електричних генераторах з більш високою навантажкою.

**Ключові слова:** тихохідні вітроустановки, вітряні генератори, вертикальні вітрогенератори, традиційні джерела електроенергії, вітряні електростанції, мультиплікатор, мережева енергія.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.3>

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Енергія вітру протягом тривалого часу розглядається в якості екологічно чистого невичерпного джерела енергії. Перш ніж енергія вітру зможе принести значну користь, повинні бути вирішені багато проблем, головні з яких: висока вартість вітроенергетичних установок, їх здатність надійно працювати в автоматичному режимі протягом багатьох років і забезпечувати безперебійне електропостачання. Тому, сьогодні найбільш важливим завданням стоїть перед вітроенергетикою - зниження питомої вартості електрообладнання ВЕУ. Одним із шляхів зниження вартості є застосування більш економічних структур електрообладнання ВЕУ.

Вітряні генератори - пристрої для перетворення енергії вітру в електричну. Безумовними перевагами вітряної енергії є її доступність та невичерпність, а також відсутність необхідності в транспортуванні. Вітряні електростанції не забруднюють навколишнє середовище шкідливими викидами, що дозволяє говорити про екологічність даного обладнання. Крім того, вони здатні значно знизити витрати на енергетичний комплекс у порівнянні з традиційними джерелами електроенергії. Сучасні вертикальні вітрогенератори дозволяють ефективно використовувати енергію вітру. З їх допомогою сьогодні можна вирішувати завдання електропостачання будь-яких об'єктів.

Вітрогенератор призначений для забезпечення електроенергією невеликих об'єктів. Застосовується як в місцях де відсутня мережева енергія (польові фермерські бази, дачні ділянки, живлення автономних комплексів), так і в якості резервного джерела електроенергії для приватних будинків, котеджів.

Як правило вітроустановка середньої і великої потужності працюють при низьких обертах. Щоб виробити електроенергію такою вітроустановкою потрібно мати або низькообертовий генератор або мультиплікатор з великим передаточним числом. Застосовуються на вітроустановках синхронні або асинхронні генератори з великим числом пар полю-

сів. Враховуючи те, що вітрові потоки дуже нерівномірні генератор виробляє електроенергію нерівномірно за частотою і величиною напруги [1].

А значить основними вимогами, які стоять перед генераторами вітроустановок є:

- підтримувати постійну за величиною напругу в мережі за змінних швидкісних навантажувальних режимів роботи генератора;
- надійно працювати в широкому діапазоні частоти обертання вала вітроустановки;
- здатність витримувати перевантаження;
- мінімальна маса і вартість за достатньо тривалого терміну експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні вітросилові агрегати комплектуються з індукторними генераторними установками змінного струму з електромагнітним збудженням. При цьому вони бувають: з рухомою і нерухомою обмоткою збудження, а відповідно з контактними щітками і кільцями і безконтактні; трифазні і однофазні; зі з'єднанням фазових обмоток статора за схемою «зірка» або «трикутник».

Генератори постійного струму застосовують нині досить рідко, особливо в вітроустановках середньої і великої потужності.

Для підтримання заданої величини напруга за різної частоти обертання вітроколеса і навантаження генератора широко використовуються різні види регуляторів напруги.

**Формування цілей статті та постановка задач досліджень.** Як відомо існують генератори з рухомою обмоткою збудження і безконтактні індукторні генератори.

Трифазна напруга в генераторі з рухомою обмоткою збудження індуктується у фазових обмотках статора при перетинанні їх змінним магнітним полем, що створюється електромагнітним ротором.

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пари вкладають котушки фазових обмоток, які розподіляються на трифазні і з'єднуються між собою за схемою

«зірка» (рис. 1). У трифазних генераторів число пазів статора обов'язково повинно бути числом, яке ділиться на «3».



Рис. 1 Статорна обмотка генератора

Ротором являється вал, на який напресовані два магнітопроводи з дзьобоподібними наконечниками та втулкою з обмоткою збудження, що утворюють багатополісний магніт. Число полюсів магніта ротора повинно бути в три рази менше, ніж пазів статора.

Обмотка збудження ротора підключена до незалежного джерела струму і намагнічує його. При цьому сусідні полюсні наконечники ротора намагнічуються різномісними полюсами. Під час обертання ротора мимо кожного виступу статора по чергові проходить північний і південний полюси електромагніта. Нерухомі фазові обмотки перетинаються змінним магнітним потоком як за величиною, так і за напрямом, і у витках обмоток індукуються змінна електрорушійна сила.

Часто змінний струм генератора перетворюють на постійний. Для цього застосовують випрямляч. Як правило випрямляч складений за трифазною двопівперіодною схемою на шести силіциєвих (кремнієвих) діодах (вентилях) прямої зворотної полярності.

Електрорушійна сила, що індукуються у фазових обмотках генератора змінного струму, прямо пропорційна частоті обертання ротора і величині магнітного потоку збудження, що перетинає котушки статора [2,3].

При мінімальних обертах вітроколеса для самозбудження генератора він збуджується від незалежного (стороннього) джерела струму. Тоді його напруга дорівнює ЕРС зовнішнього джерела збудження і становить

$$U = E = C_e \cdot \omega \cdot \Phi, \quad (1)$$

де  $C_e$  - сталий коефіцієнт для даного типу генератора;

$\omega$  - кутова швидкість обертання ротора;

$\Phi$  - магнітний потік збудження.

Зі збільшенням електронавантаження напруга генератора зменшується на величину спаду напруги в статорі:

$$U = E - IR_{cm} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi - IR_{cm} \quad (2)$$

Оскільки в процесі роботи генератора оберти ротора залежать від частоти обертання вітроколеса, підтримувати

постійну напругу генератора на різних режимах його роботи можна, змінюючи магнітний потік в обмотці збудження ( $\Phi$ ) включенням у мережу живлення на короткий проміжок часу додаткових резисторів, а також збільшуючи частоту обертання чи зменшуючи навантаження.

На рис. 2 наведено графік, що характеризує залежність величини струму від частоти обертання ротора генератора  $I_r = f(\omega)$  за сталої напруги. Зі швидкісної характеристики, зображеної на графіку видно, що за початкової частоти обертання  $n_0$  генератор починає виробляти номінальну напругу без навантаження ( $I_r = 0$ ) при живленні обмотки збудження від зовнішнього джерела з поступовим збільшенням частоти обертання і навантаження, але за незмінної напруги на клеммах генератора ( $U_{ном}$ ).

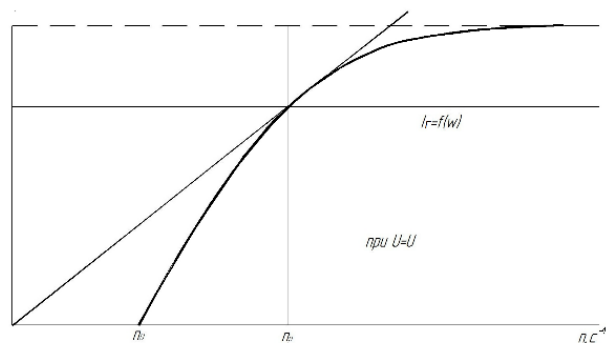


Рис. 2 Швидкісна характеристика генератора змінного струму

За такою швидкісною характеристикою визначають технічні дані конкретного генератора:

- початкова частота обертання на холостому ходу, яка повинна відповідати заданій напрузі без навантаження,  $n_0$ ;
- максимальна сила струму самообмеження  $I_{г.макс}$ ;
- номінальна потужність генератора ( $P_e = I_{г.макс} \cdot U_{н}$ );
- частота обертання ротора  $n_{р.н}$  і струм  $I_{р.н}$  (у контрольному режимі).

З вище наведеної теорії видно, що для тихохідних вітроустановок такі генератори можна прилаштувати, але з великим передаточним числом мультиплікатори, а значить зменшувати ККД самої вітроустановки.

#### Викладення основного матеріалу дослідження.

Поставлена задача досягається виготовленням дослідного екземпляра електрогенератора для вітросилової установки. Як відомо вітросилова установка працює при достатньо низьких обертах вітроколеса, а значить і вимоги до електрогенератора повинні бути особливі.

Як правило вітроустановка працює при дуже низьких обертах вітроколеса (до 100 об/хв).

Для самозбудження генератора, який встановлений на тракторах і автомобілях потрібно щонайменше 1500 об/хв. Значить, щоб електрогенератор працював на вітроустановку потрібно встановити мультиплікатор з передаточним числом щонайменше 1/20, а це додаткові енергозатрати і звичайно фінансові. Потрібно йти іншим шляхом. збільшувати число пар полюсів статора електрогенератора [4,5].

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пази вкладені 54 фазові обмотки, які розподілені на

три фази і з'єднані між собою за схемою «зірка». На кожен фазу припадає:  $N = \frac{54 \text{ фази}}{3 \text{ фази}} = 18 \text{ котушок}$ .

Статорна обмотка розрахована на фазну напругу в 220 В, а значить пропорційно зменшується струм на виході.

Практика і досліди показали, що на одну фазу потрібно вкласти 18 котушок загальною кількістю 1440 витків, а значить кожна котушка буде мати:

$$W = \frac{W_{\text{фази}}}{n_{\text{к1}}}, \quad (3)$$

де  $W$  - кількість витків у котушці;  
 $W_{\text{фази}}$  - загальна кількість витків фазної обмотки;  
 $n_{\text{к1}}$  - кількість котушок у фазній обмотці.

$$W = \frac{1440 \text{ вит.}}{18 \text{ котушок}} = 80 \text{ вит./котушок} \quad (4)$$

Статорні електротехнічні пластини (пакет) взяті із статора асинхронного електродвигуна серії 4А, висота пакета 40 мм.

Маючи 9 пар полюсів (18 котушок в одній фазній обмотці) знаходимо оберти генератора при умові, що він буде працювати з частотою струму в 50 Гц за формулою:

$$n = \frac{60 \cdot F}{P}; \quad (5)$$

де  $F$  - частота струму (50 Гц);  
 $P$  - число пар полюсів статора.

$$n = \frac{60 \cdot 50}{9} = 333,3 \text{ об/хв.} \quad (6)$$

Це означає, що ротор електрогенератора при 333,3 об/хв виробляє напругу з частотою 50 Гц. Якщо вітроколесо працює стабільно при 60 об/хв., то за допомогою шків-пасової передачі легко досягти цих обертів на генераторі.

Маючи розміри пакета активної сталі статора з наружним діаметром  $D_e=290$  мм, внутрішнім діаметром  $d_e=207$  мм, довжиною пакета сталі  $l=40$  мм розраховуємо зовнішній діаметр ротора за формулою:

$$D_p = d_e - 2\delta, \quad (7)$$

де  $\delta$  - повітряний проміжок між залізного простору 0,35...0,45 мм.

$$D_p = 207 - (2 \cdot 0,4) = 206,2 \text{ мм} \quad (8)$$

Досліди і розрахунки показують, що котушка ротора повинна мати приблизно 1200 витків проводу ПЭВ-2 діаметр якого 0,8 мм.

Щоб знайти площу вікна потрібно знайти площу, яку займає котушка (її поперечний переріз) за формулою:

$$S_{\text{кот.}} = W_{\text{кот.}} \cdot K_{\text{зан.}} \cdot d_{\text{пр.}}, \quad (9)$$

де  $W_{\text{кот.}}$  - число витків в котушці збудження (з ізоляцією);

$K_{\text{зан.}}$  - коефіцієнт заповнення котушки;

$d_{\text{пр.}}$  - діаметр пр оводу в котушці збудження.

$$S_{\text{кот.}} = 1200 \text{ вит} \cdot 0,65 \text{ вит} \cdot 0,8 \text{ мм} = 670,8 \text{ мм}^2 \quad (10)$$

Якщо ширина каркаса котушки збудження дорівнює 25 мм, то його висота буде:

$$h_{\text{кар.}} = \frac{670,8 \text{ мм}^2}{25 \text{ мм}} = 26,8 \text{ мм} \quad (11)$$

На рис. 3 приведена принципова електрична схема генератора. Однонапівперіодний блок вмикається паралельно трифазній обмотці генератора і навантаження. В точку С через щітки і кільця включається котушка збудження. За рахунок остаткового магнетизму генератор легко збуджується (рис. 4).

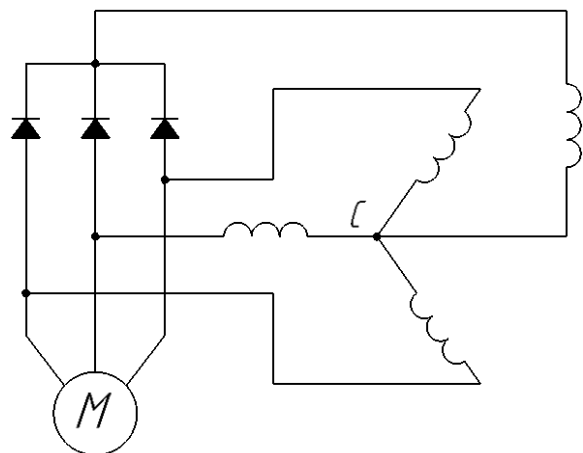


Рис. 3 Принципова електрична схема генератора

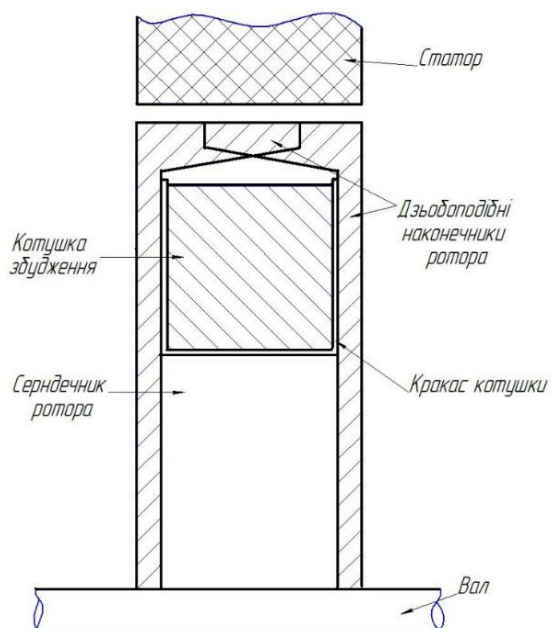


Рис. 4 Магнітний ланцюг генератора для вітросилової установки з дзьобоподібними наконечниками

**Висновок.** В останні роки енергія вітру все ширше використовується для одержання електроенергії. Створюються вітряки і встановлюються на місцевості, де дмуть часті й сильні вітри. Кількість і якість таких двигунів зростає щорічно, налагоджене серійне виробництво. Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо враховувати добові та сезонні зміни вітру, розподіл швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу. Сучасна технологія дозволяє використовувати

тільки горизонтальні вітри, що розташовані близько до поверхні землі та мають швидкість від 12 до 65 км/год.

В результаті розрахунків і лабораторних досліджень був випробуваний тихохідний генератор, який добре зарекомендував себе в роботі вітросиловою установкою з такими показниками (рис. 5):



Рис. 5. Випробування спроектованого генератора

Номинальна трифазна напруга – «У»	- 220 В.
Номинальний струм	- 6,4 А.
Частота струму при 333,3 об/хв	- 50 Гц.
Зовнішній діаметр статора	- 290 мм.
Внутрішній діаметр статора	- 207 мм.
Зовнішній діаметр ротора	- 206,2 мм.
Внутрішній діаметр розточки ротора	- 190 мм.
Висота пакета сталі статора	- 40 мм.
Діаметр сердечника ротора	- 110 мм.

#### Список використаної літератури:

1. Ю.П. Чижков, С.В. Акимов «Электрооборудование автомобилей для ВУЗов» Изд. «За рулем», М. 1999 г.
2. В.А. Балагуров «Проектирование автомобильных генераторов переменного тока с клювообразными полюсами». М.1980 г.
3. А.А. Дружков, Г.И. Цопов, Р.А. Гайнуллин «Расчет автотракторных генераторов. Методические указания» Сам. ГТУ – С. 2004 г.
4. И.П. Копылова «Проектирование электрических машин» Изд. Энергия М. 1980 г.
5. М.Ф. Бойко «Тракторы та автомобілі» Частина 2 Електрообладнання. Київ «Вища школа», 2001 р.

**Ryasnaya O. V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)**

#### Modern experimental research of wind energy

*At present, it is necessary to make key decisions that have a direct impact on Ukraine's energy future. UVEA will strive to make wind energy a full-fledged technology in the country's energy balance. Creating an energy supply that contributes to a truly sustainable future based on unlimited, non-polluting and competitive renewable energy technologies is a challenge not only for Ukraine but for the entire world community. Wind energy is the path to peace.*

*On the basis of studying the disciplines of electric machines and the basics of electric drive and conducting experimental data and the latest research in science in the laboratory of the department was made a generator for low-speed wind turbines. As a result of theoretical analysis, the possibility of using a wind turbine at a sufficiently low speed of the wind wheel, where the requirements for the generator will be much lower than in conventional electric generators with a higher load.*

**Key words:** low-speed wind turbines, wind generators, vertical wind generators, traditional sources of electricity, wind power plants, multiplier, grid energy.

Дата надходження до редакції: 01.12.2020



## ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ РЕШТОК ДИСКОВИМИ БОРОНАМИ

Зубко Владислав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-2426-2772  
email: zubkovladislav@ukr.net

Соколік Сергій Петрович

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-4496-8681  
email: Sokolik1009@gmail.com

*В статті досліджено вплив на подрібнення пожнивних решток кукурудзи дисковими знаряддями таких параметрів, як: швидкість руху агрегату, встановлена глибина обробітку ґрунту, спосіб руху агрегату. Аналіз даних польового дослідження дав можливість визначити оптимальні параметри швидкості руху ґрунтообробного агрегату, глибини обробітку та способу руху по полю, при яких забезпечується найменший середній розмір подрібнених рослинних решток. Для всіх глибин обробітку (7см, 10см, 14см) та напрямків руху відносно рядка найменша середня довжина решток була зафіксована при швидкості руху агрегату в діапазоні 14 – 16км/год, а найбільша – в діапазоні 8 – 10км/год.*

*При порівнянні напрямків руху відносно рядка в більшості випадків кращі результати отримані при руху під кутом 35° до рядка.*

**Ключові слова:** дискова борона, подрібнення, швидкість руху, глибина обробітку, довжина рослинних решток.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.4>

**Постановка проблеми.** Аналіз наукових досліджень свідчить, що одним з головних резервів підвищення родючості ґрунту є відтворення гумусу за рахунок заробляння в ґрунт подрібнених рослинних решток та використання сидератів. На сьогодні технологія мульчування ґрунту подрібненими рослинними рештками через роздільну підготовку ґрунту до сівби є доволі енерговитратною. Однак, від ефективності використання машини буде залежати як кінцева врожайність, за рахунок забезпечення машиною потреб культури в цілому, так і собівартість виробництва продукції рослинництва (витрати паливно-мастильних матеріалів, продуктивність, затрати робочого часу) [1 - 3].

Актуальним постає питання: як зменшити собівартість виконання механізованої технологічної операції, при цьому, зберегти продуктивність роботи агромашини та не втратити у якості виконання операції. Тому актуальною є проблема проведення відповідних досліджень і розробка рекомендацій для ефективного подрібнення пожнивних решток.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна частина наукових досліджень дискових робочих органів спрямовані на обґрунтування їх раціональних технологічних параметрів а також на визначення впливу дискових знарядь на якісні показники обробітку ґрунту і, в кінцевому рахунку, урожайність сільськогосподарських культур.

Вивченню ефективності різних типів дискових робочих органів при поверхневому обробітку ґрунту приділяється значна увага в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Запропоновано і визначено комплексний показник оцінки якості роботи дискових і лапових знарядь по адаптивності типу робочого органу для роботи при наявності на поверхні значної кількості рослинних залишків або сидеральних культур [4]. В роботі Давидюка В. [5] наведено дані мульчування ґрунту стеблами кукурудзи та функціональних випробувань ґрунтообробного агрегату з лижним пристроєм для звалювання стебел рослин та

часткової їх деформації. Показано, що за експлуатаційними і технологічними показниками роботи агрегату дискова борона БДВП-3,0 з лижним пристроєм виконує мульчування ґрунту зі швидкістю до 9,0 км/год. Збільшення кількості органічної речовини в ґрунті дозволило досягти підвищення врожайності озимої пшениці на 7,0 ц/га та зменшення внесення органічних та мінеральних добрив на 12,3 ц/га.

В роботі [6] встановлено математичну залежність, яка на етапах проектування дозволяє використати моделювання для аналізу структури машин для обробітку рослинних матеріалів (стерні кукурудзи, ріпаку, сидеральних залишків). Подрібнення і зароблення рослинних решток запропоновано проводити контролюючі такі показники: кількість непошкоджених частин стебел кукурудзи довжиною понад 5 см та глибина зароблення подрібнених стебел понад 10 см.

**Мета досліджень** – встановити вплив на середній розмір подрібнених дисковою бороною пожнивних залишків кукурудзи таких параметрів, як: швидкість руху агрегату, встановлена глибина обробітку ґрунту та напрямку руху агрегату відносно рядка.

**Результати досліджень.** Дослідження були проведені в північно-східній частині України на чорноземі в Інституті сільського господарства північного сходу НААН восени 2019 року. Обробіток проводили по стерні кукурудзи в той же день після збирання кукурудзи. Перед експериментом оцінювали стан ґрунту. Пенетрометр Рп-10 використовувався для вимірювання опору проникненню. Середній опір проникненню на 10 см становив 1,35 МПа та 1,9 МПа на 15 см. Вміст води у ґрунті визначали гравіметричним методом. Дослідження проводили на тракторі середньої потужності МТЗ-1025 у поєднанні з дисковою бороною Дука-2,5 наданою виробником «Лозівські машини».

Коротка дискова борона-луцильник Дука-2,5 (Рис. 1)

- це навісна машина з цільною рамою, яка проста в транспортуванні і не вимагає додаткового налаштування [7].



Рис. 1 – Загальний вигляд дискової борони-луцильника ДукаТ-2,5

Агрегат не вимагає обслуговування (не має жодної точки змащення), що дуже зручно для невеликих господарств. Технічні характеристики ДукаТ-2,5 наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічні характеристики борони-луцильника ДукаТ-2,5

Параметр	Значення
Конструктивна ширина захвату, м	2,5
Необхідна потужність трактора, к.с.	від 80
Агрегування з трактором	начіпне
Маса в базовій комплектації, кг	1051
Кількість дисків, шт	20
Діаметр дисків, мм	566
Глибина обробітку, см	3 - 12
Робоча швидкість, км/год	10...17
Продуктивність, га/год	до 3,09
Витрата палива, л/га	4,5...5,5
Габаритні розміри в транспортному положенні (довжина x ширина x висота).	2456x2691 x1450

Програма досліджень передбачала оцінку роботи «ДукаТ-2,5» при різних напрямленнях руху відносно розташування рядка: вздовж рядка та під кутом 35°. Глибину обробітку регулювали за допомогою зміни положення катка борони (7 см, 10 см та 14 см). Швидкість руху змінювалась в таких діапазонах: 8–10 км/год, 10–12 км/год, 12–14 км/год та 14–16 км/год. Показники, що характеризують стан поля, представлені в табл. 2.

Таблиця 2 - Умови роботи борони-луцильника «ДукаТ-2,5» при дослідженнях

Показники умов	Фон (після збирання кукурудзи на зерно)
Вологість повітря, %	82
Швидкість вітру, м/с	0,6
Вологість (%) ґрунту в шарах:	
0 - 5 см	17,75
5 -10 см	17,14
10-15 см	17,47
Забур'яненість поля до проходу агрегату: шт./м <sup>2</sup>	6,0
Висота стерні, см	31,0
Вологість матеріалу, %	61,16
Маса рослинних залишків, г/1 м <sup>2</sup>	2864

Визначення показників проводилось у відповідності до стандартних методик [8 - 10]:

- Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань: КНД 46.16.02.08-95. Держстандарт України;

- РД.10.4.2-89. Випробування сільськогосподарської техніки. Машина і знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту. Програма та методи випробувань. Держстандарт України;

- КНД.46.16.02.-96. Техніка сільськогосподарська. Номенклатура показників якості.

Середній розмір рослинних залишків після проходу агрегату визначали за допомогою квадратних рамок зі стороною 0,25 м, які накладалися на поверхні кожної ділянки в кількості 10 шт. Після чого рослинні залишки з кожної рамки збирались в окремий пакет, до якого також вкладався аркуш з номером ділянки. Зібрані матеріали відвозились до лабораторії Сумського НАУ де і проводилось визначення середнього розміру рослинних решток кукурудзи за допомогою лінійки. Отримані результати фіксували в робочих матеріалах.

Для обробки отриманих даних та побудови графіків викиристовували графічний редактор Microsoft Office Excel.

Як видно з графіків на рис. 2, при напрямку руху агрегату вздовж рядка середня довжина рослинних залишків зменшувалась зі збільшенням глибини обробітку. Також з даного рисунку можна побачити, що середня довжина рослинних залишків зменшується при зростанні швидкості руху. Для всіх глибин обробітку (7 см, 10 см, 14 см) найменші середні розміри стеблових решток (21 см, 20,25 см, 17,25 см) були зафіксовані при швидкості руху агрегату в діапазоні 14–16 км/год, а найбільші при швидкості руху в межах 8–10 км/год.

При напрямку руху агрегату під кутом 35° до рядка (рис. 3) середня довжина рослинних залишків також зменшувалась зі збільшенням глибини обробітку та збільшенні швидкості руху агрегату. Для всіх глибин обробітку (7см, 10см, 14см) найменша середня довжина решток (21,75см, 21,55, 18,7см) була зафіксована при швидкості руху агрегату в діапазоні 14 – 16км/год.

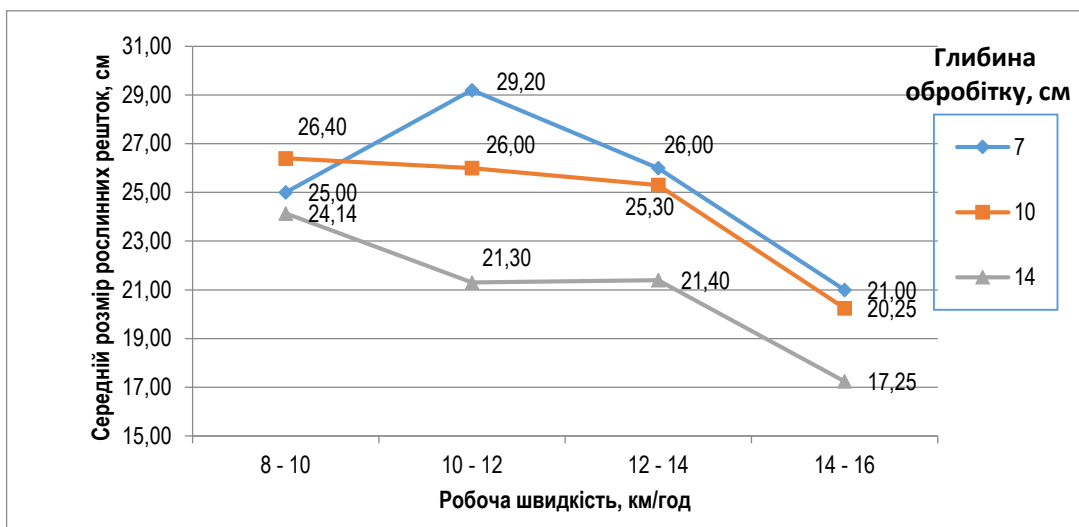


Рис. 2 – Залежність середнього розміру рослинних решток від робочої швидкості агрегату (напрямок руху вздовж рядка)

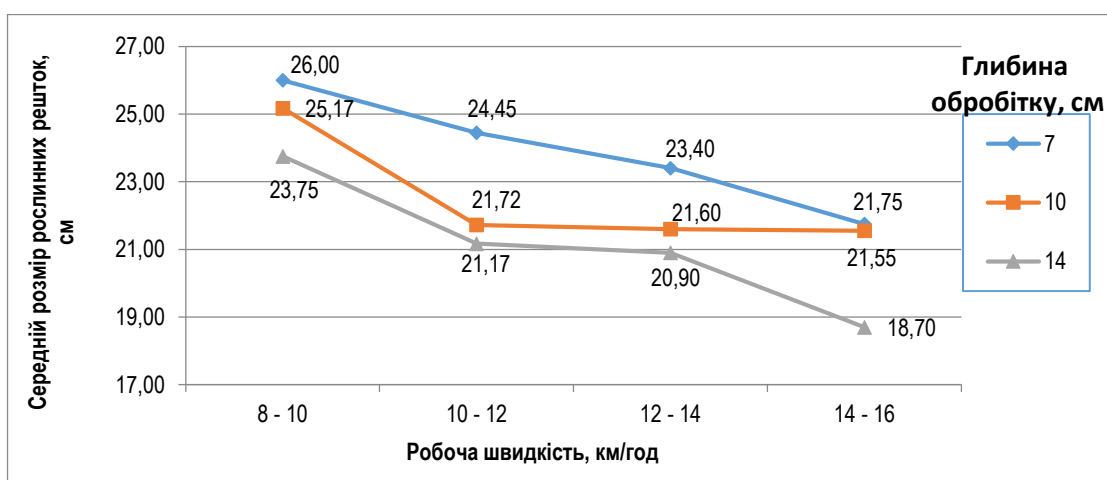


Рис. 3 – Залежність середнього розміру рослинних решток від робочої швидкості агрегату (напрямок руху під кутом 35° до рядка)

На рис. 4, 5 та 6 наведено порівняння показників відхилення від заданої глибини обробки для обох способів руху при встановлених глибинах у 7, 10 та 14 см відповідно.

З рис. 4 видно, що при встановленій глибині обробки у 7 см в діапазонах швидкостей руху 8–10 км/год та 14–16

км/год краще подрібнення решток спостерігалось при руху вздовж рядка, хоча різниця і небула великою. А в діапазоні швидкості від 10 км/год до 14 км/год значно кращі результати були отримані при руху під кутом 35° до рядка.

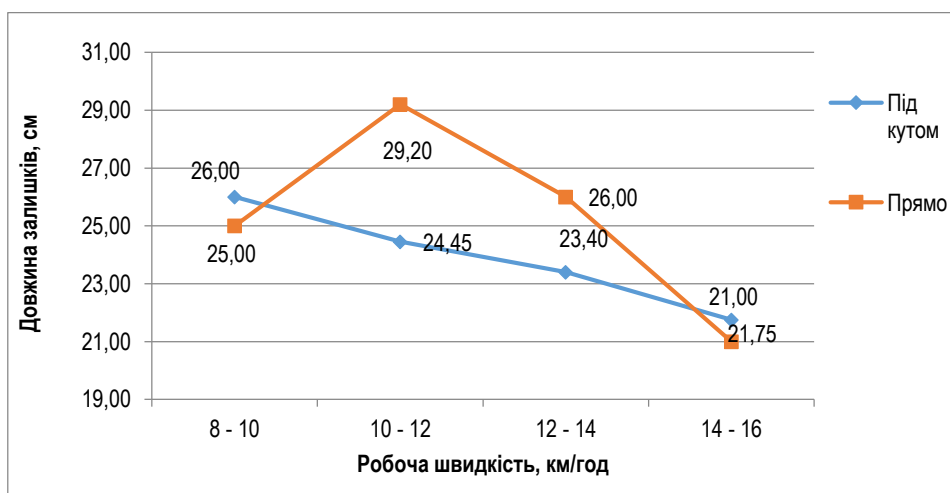


Рис. 4 – Середня довжина залишків при різних способах руху (встановлена глибина 7 см)

При встановленій глибині обробітку у 10 см (рис. 5) кращі результати агрегат продемонстрував при руху під кутом 35° до рядка, окрім діапазону швидкості в 14–16 км/год.

При встановленій глибині обробітку у 14 см (рис. 6) меншу середню довжину рослинних залишків отримали при

руху агрегату під кутом 35° до рядка, окрім діапазону швидкості 14–16 км/год. При цьому варто зазначити, на всіх швидкостях руху агрегату від 8 до 16 км/год значення середньої довжини рештків відрізнялись несуттєво.

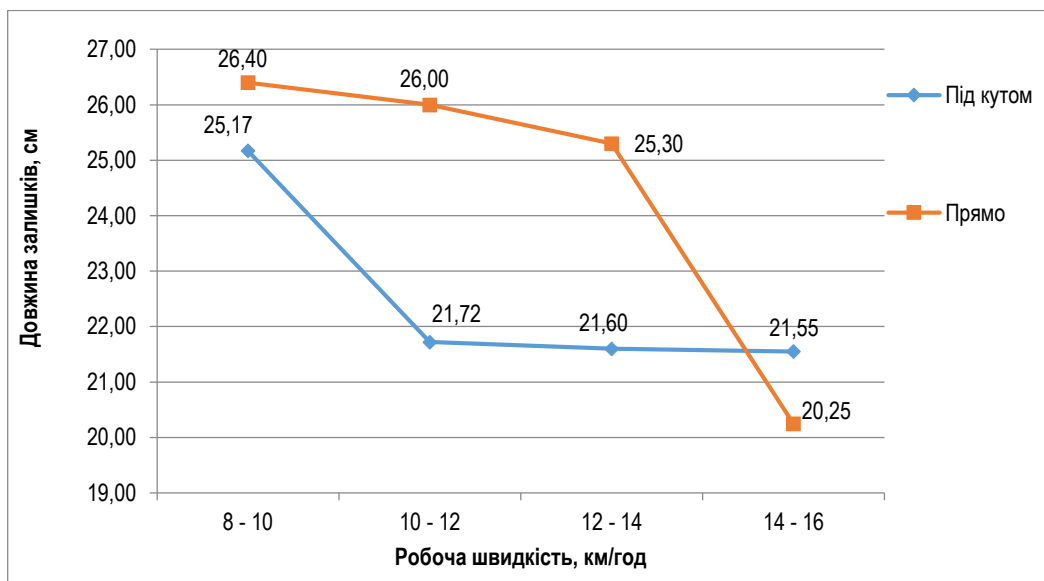


Рис. 5 – Середня довжина залишків при різних способах руху (встановлена глибина 10см)

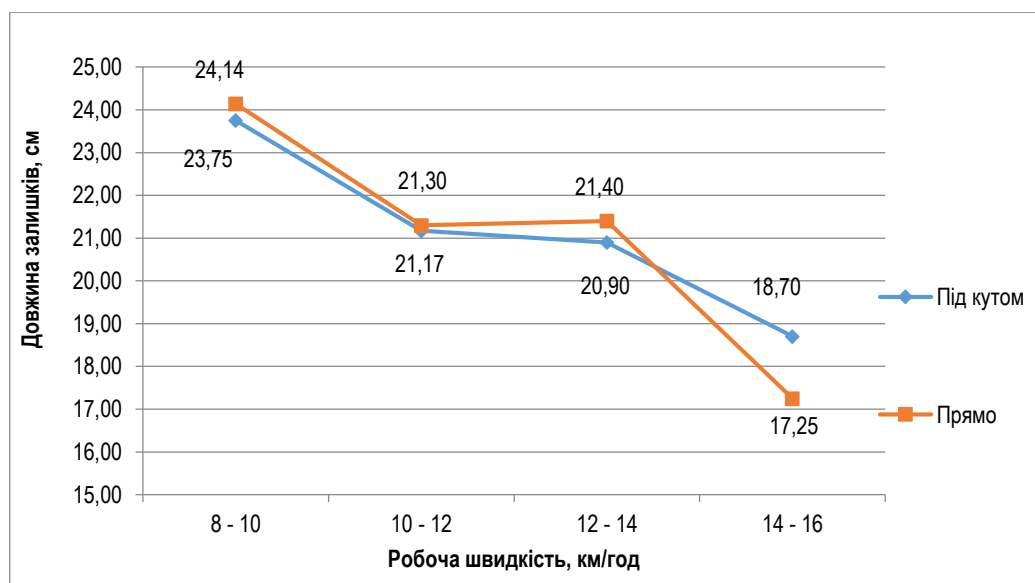


Рис. 6 – Середня довжина залишків при різних способах руху (встановлена глибина 14см)

**Висновки.** Встановлено, що на середню довжину рослинних залишків після обробітку ґрунту дисковою бороною впливають такі параметри як швидкість руху, глибина обробітку та напрямок руху. Зі збільшенням швидкості руху на всіх встановлених глибинах обробітку спостерігалось зменшення середньої довжини рослинних залишків кукурудзи. Така тенденція є закономірною, адже повторюється в багатьох дослідженнях інших машинних агрегатів.

Для всіх глибин обробітку (7см, 10см, 14см) та напрямків руху відносно рядка найменша середня довжина решток була зафіксована при швидкості руху агрегату в діапазоні 14 – 16км/год, а найбільша – в діапазоні 8 – 10км/год.

При порівнянні напрямків руху відносно рядка в більшості випадків кращі результати отримані при руху під кутом 35° до рядка.

**Список використаної літератури:**

1. Дегусаров А. Вітчизняна техніка для загортання рослинних решток [Електронний ресурс] / А. Дегусаров, А. Мазуренко, К. Дорошенко // Аграрний сектор України. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:

<http://agroua.net/technics/articles/index.php?aid=33>

2. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / [Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.]. – Київ: Вища освіта, 2004. – 544 с.

3. Смолінський С. Фактори, що визначають якість роботи дискових знарядь [Електронний ресурс] / С. Смолінський, В. Марченко // AGROEXPERT. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agroexpert.ua/ru/faktori-so-viznacaut-akist-roboti-diskovih-znarah>.

4. Погорілий В. Дослідження ефективності різних типів дискових робочих органів при поверхневому обробітку ґрунту [Електронний ресурс] / В. Погорілий // Велес-Агро. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.velesagro.com/company/articles/2015/07/21/19/>.

5. Давидюк В. Експериментальні дослідження мульчування ґрунту фрагментами стебел кукурудзи дисковим знаряддям [Електронний ресурс] / В. Давидюк // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. пр.- Дослідницьке. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://ndipvt.com.ua/oldsite/konf7/2/daviduk.htm>.

6. Лінник М. К. Системний підхід до обґрунтування технологічної схеми та структури комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні / М. К. Лінник, В. А. Вольський, Р. В. Коцюбанський. // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2019. – №4. – С. 99 – 105. DOI: 10.31521/2313-092X/2019-4(104)-11

7. Дукат – короткі дискові борони-лушпильники [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://lozovamachinery.com/ua/products/513/5412/>.

8. КНД 46.16.02.08 – 95 Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 1994. – 50 с.

9. РД.10.4.2-89. Випробування сільськогосподарської техніки. Машини і знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту. Програма та методи випробувань. Державний стандарт України, 1990, 75 с.

10. КНД.46.16.02.-96. Техніка сільськогосподарська. Номенклатура показників якості. Дослідницьке, 1997, 58 с.

**Zubko V.M.,** Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Sokolik S.P.,** Sumy National Agrarian University (Ukraine)

#### **Factors affecting the chopping of plant residues with a disc harrow**

*The article investigates the effect of such parameters as the speed of the aggregate movement, the set depth of tillage, the method of movement of the aggregate on the grinding of plant residues of corn with disk tools. The analysis of the data of the field experiment made it possible to determine the optimal parameters of the speed of the soil-cultivating machine, the depth of cultivation and the direction of movement relative to the row, at which the smallest average size of the crushed plant residues is provided. For all setting depths (7 cm, 10 cm, 14 cm) and directions of movement, the smallest average length of residues was recorded at a speed of the harrow in the range of 14–16 km/h, and the maximum - in the range of 8–10 km/h.*

*When comparing directions of movement relative to the row, in most cases the best results was obtained when moving at an angle of 35° to the row.*

**Key words:** disc harrow, chopping, speed, working depth, length of crop residues.

Дата надходження до редакції: 04.12.2020

## ПРО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТЯГОВОГО ЗУСИЛЛЯ МТА

Ярошенко Павло Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID 0000-0003-3815-1579

e-mail: [pashajarosh@i.ua](mailto:pashajarosh@i.ua)

В статті розглянуто питання вдосконалення методики розрахунку раціонального складу машинно-тракторного агрегату.

Дослідження залежностей для визначення тягової сили сучасних тракторів показали, що ряд дослідників вирішували цю проблему завдяки до її появи. У технічній літературі для сучасних тракторів дедалі менше інформації про продуктивність. В основному це рекламна інформація, але навіть на її основі можна визначити необхідні параметри. Як видно з цієї публікації, тягову силу необхідно визначити принаймні двічі з урахуванням умов експлуатації агрегатів. Необхідно знати вагу агрегатів, значення їх технологічних швидкостей і те, якою трансмісією користується цей агрегат. Це особливо важливо, коли МТА складається із зарубіжного трактора та вітчизняної сільськогосподарської машини, оскільки можливості енергетичних продуктів відомих марок мають значний асортимент, а можливості вітчизняного обладнання обмежені агрономічними вимогами.

**Ключові слова:** тягове зусилля, трактор, сила зчеплення, машинно-тракторний агрегат, буксування, рушійна сила.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.5>

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Вивчаючи такі дисципліни як «Експлуатація машин та обладнання» або «Машиновикористання в рослинництві» студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» доволі часто приходиться розраховувати раціональний склад різних машинно-тракторних агрегатів (МТА). Це доводиться робити як на практичних заняттях, так і під час виконання курсового проєкту або випускної бакалаврської роботи. Однак технічні характеристики сучасних енергетичних засобів, що використовуються в аграрному виробництві, особливо закордонних, не дають необхідних даних для проведення таких розрахунків. Це є доволі значною проблемою для визначення тягового зусилля МТА існуючими методиками розрахунку.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Що стосується виведення аналітичних залежностей, то практично всі вчені як далекого минулого, так і сьогодення [1,2,3] цим займаються безпосередньо. Однак формули і рівняння, виведені в основному в 90-х роках ХХ сторіччя, мають суттєвий недолік – для розрахунку тягового зусилля трактора на певній передачі необхідно знати передаточне число трансмісії на цій передачі. Цей показник наводився в інструкціях по експлуатації вітчизняних тракторів. Він інколи приводиться і зараз, але в інструкціях закордонних тракторів такого значення не знайти ніколи. Тим більше, що сучасні трактори країн СНД подекуди отримують гідростатичну трансмісію. Як бути в такому випадку при виконанні розрахунків?

**Формулювання цілей досліджень.** Аналітичні дослідження показують, що можна знайти наближене значення передаточного числа трансмісії. Однак для цього необхідно мати велику кількість інших значень, які теж необхідно знайти самостійно, або через якісь показники виразити. Це доволі довго і непродуктивно, а такий спосіб є доволі не точний і нерациональний. Тому ряд дослідників [2,4] пропонують вдосконалити існуючу формулу для визначення тягового зусилля трактора ввівши в неї декілька теоретичних значень

Основна мета даної роботи – розібратись в пропонуваніх методах розрахунку тягового зусилля сучасних енергетичних засобів, що мають як механічну, так і гідростатичну трансмісію.

**Виклад основного матеріалу.** Під час дипломного або курсового проєктування при обґрунтуванні раціонального складу МТА необхідно на базі заданого трактора зкомплектувати агрегат для виконання відповідної операції, забезпечивши раціональне використання тягово-швидкісних можливостей енергетичного засобу [1]. Для цього використовують аналітичний спосіб, який і пропонується в більшості навчальної літератури.

Тягове зусилля, що створюється трактором на певній передачі, в навчальній літературі пропонується визначати за формулою [1]:

$$P_T = \frac{10 \cdot N_{\text{ен}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot i_{\text{тр}}}{n_n \cdot r_k} - G_{\text{тр}}(f \pm i), \quad (1)$$

де  $N_{\text{ен}}$  – ефективна потужність двигуна трактора, кВт;  $n_n$  – номінальні оберти колінчастого валу двигуна, об/хв.;  $r_k$  – радіус ведучого колеса чи початкове коло ведучої зірочки ходового апарату енергетичного засобу, м;  $\eta_{\text{тр}}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора;  $i_{\text{тр}}$  – передаточне число трансмісії на певній передачі;  $G_{\text{тр}}$  – вага трактора, кН;  $f$  – коефіцієнт опору коченню;  $i$  – величина підйому (схил місцевості в долгах).

Автор [2] пропонує вдосконалити формулу (1), ввівши з неї змінну «передаточне число трансмісії» і ввівши змінну «теоретична швидкість руху трактора». Достовірне значення швидкості руху трактора на усіх передачах трансмісії можна легко знайти практично для будь-якого трактора. Робочу швидкість (із врахуванням буксування) трактора можна виразити формулою:

$$v_p = 0,377 \frac{n_n \cdot r_k}{i_{\text{тр}}} (1 - \delta), \quad (2)$$

де  $\delta$  – величина буксування ходової частини трактора. Також робочу швидкість трактора можна виразити іншою формулою [1]:

$$v_p = v_t (1 - \delta), \quad (3)$$

де  $u_t$  – теоретична швидкість трактора на передачі, км/год.

Далі автор [2] з формул 2 і 3 виражає робочу швидкість трактора і підставляє отриманий вираз у формулу (1), отримуючи при цьому вираз для знаходження тягового зусилля трактора:

$$P_T = \frac{3,77 \cdot N_{ен} \cdot \eta_{тр}}{v_p} - G_{тр}(f \pm i). \quad (4)$$

Спробуємо перевірити отриманий вираз, визначивши тягове зусилля всім відомого трактора МТЗ-80 на сівбі ярової пшениці. Візьмемо наступні показники: ефективна потужність двигуна трактора  $N_{ен} = 55$  кВт; коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора  $\eta_{тр} = 0,85$ ; вага трактора  $G_{тр} = 30,4$  кН; коефіцієнт опору коченню трактора по закультивованому полю  $f=0,2$ ;  $i = 0$ , а в якості робочої швидкості приймемо технологічну швидкість руху агрегату при сівбі  $v_p = 12$  км/год. Підставимо дані у формулу (4) і отримуємо:

$$P_T = \frac{3,77 \cdot 55 \cdot 0,85}{12} - 30,4 \cdot 0,2 = 8,61 \text{ кН.}$$

Інші дослідники [3] спочатку визначали максимальне значення дотичної сили на ободі колеса, вважаючи при цьому, що створювана двигуном трактора дотична сила  $P_{об}$  може бути перетворена в рушійну силу  $P_{руш}$  (повністю або частково) тільки за умови контакту (зчеплення) коліс або гусениць (рушіїв) трактора з ґрунтом, оскільки тільки за таких умов виникає реактивна сила, яка рухає агрегат.

Якщо зчеплення коліс трактора з ґрунтом недостатнє, сила зчеплення  $P_{зч}$  буде обмежувати максимальне значення рушійної сили  $P_{руш}$  що можна записати так [3]:

$$P_{руш} = P_{зч} = \mu G_{зч}^{тр} < P_{об}, \quad (5)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт зчеплення коліс трактора з ґрунтом;  $G_{зч}^{тр}$  – зчіпна вага трактора, кН.

В умовах достатнього зчеплення, наприклад для гусеничних тракторів, рушійна сила обмежується максимальним значенням дотичної ободової сили [3]:

$$P_{руш} = P_{об} < P_{зч}. \quad (6)$$

Отже, рушійна (або тягова) сила обмежується або максимальним значенням дотичної сили, тобто потужністю двигуна, коли зчеплення забезпечене, або силою зчеплення при допустимому буксуванні коліс ( $\delta = 3...5$  % для гусеничних тракторів і  $\delta = 10...18$  % для колісних тракторів).

При рівномірному русі агрегату силу тяги трактора, кН, можна визначити з рівняння тягового балансу:

$$P_{руш} = P_{гак} + P_f \pm P_i, \quad (7)$$

де  $P_f$  – сила опору руху агрегату;  $P_i$  – сила опору підйому;

$P_{гак}$  – сила тяги трактора.

Підставивши значення рушійної сили із виведених ра-

ніше рівнянь (5, 6), можна визначити тягове зусилля трактора.

При достатньому зчепленні коліс з ґрунтом:

$$P_{гак} \approx \frac{10N_{ен}\eta_{тр}i_{тр}}{r_k n_{дв}} - fG_{тр} \pm iG_{тр}, \quad (8)$$

або

$$P_{гак} = \frac{3,6N_{ен}\eta_{тр}}{v_p} - G_{тр}(f \pm i). \quad (9)$$

При недостатньому зчепленні:

$$P_{гак} = \mu G_{зч}^{тр} - fG_{тр} \pm iG_{тр} = \mu G_{зч}^{тр} - G_{тр}(f \pm i). \quad (10)$$

Оптимальне завантаження трактора досягається тому випадку, коли поєднання тягового зусилля і швидкості забезпечує максимальну тягову потужність. Правильно скомплектований агрегат повинен забезпечити завантаження по тяговому зусиллю гусеничних тракторів на 82-96 % ( $\eta_{тяг} = 0,82-0,96$ ), а колісних – на 78-90 % [3]:

$$\eta_{тяг} = \frac{R_a}{P_{гак}}, \quad (11)$$

де  $\eta_{тяг}$  – коефіцієнт використання тягового зусилля трактора;  $R_a$  – опір агрегату;  $P_{гак}$  – тягове зусилля трактора на даній передачі..

Як бачимо формула (9) абсолютно нагадує формулу (4). Перевіримо тягове зусилля трактора МТЗ-80 за умов недостатнього зчеплення згідно формули (10):

$$P_{гак} = 0,7 \cdot 0,67 \cdot 30,4 - 30,4 \cdot 0,2 = 8,2 \text{ кН.}$$

де  $G_{зч}^{тр} \approx 0,67 \cdot G_{тр}$  – зчіпна вага трактора, кН.

Тобто, завдяки формулі (10) було знайдено тягове зусилля трактора при недостатньому зчепленні, що практично є аналогічним розрахованому значенню, отриманому за формулою (4). Різниця складає 0,4 кН. Становиться зрозумілим, що дані формули можна використовувати при розрахунку тягових зусиль колісних тракторів при достатньому чи недостатньому зчепленні коліс трактора з опорною поверхнею.

Здійснимо перевірку гусеничного трактора, що має гідростатичну трансмісію (ГСТ), та визначимо його тягові зусилля за умов достатнього чи недостатнього зчеплення рушіїв з ґрунтом. Візьмемо трактор ДТ-175С з умовами роботи: оранка по стерні зі швидкістю  $v_p = 8$  км/год.;  $\mu = 0,9$ ;  $f = 0,1$ ;  $\eta_{тр} = 0,85$ . Потужність двигуна  $N_{ен} = 125$  кВт, вага трактора  $G_{тр} = 74,2$  кН, рельєф поля рівний  $i = 0$ .

За умов достатнього зчеплення тягове зусилля гусеничного трактора з ГСТ згідно формули (9) буде становити:

$$P_{гак} = \frac{3,6 \cdot 125 \cdot 0,85}{8} - 74,2 \cdot 0,1 = 40,4 \text{ кН.}$$

За умов недостатнього зчеплення, враховуючи що  $G_{зч}^{тр} \approx G_{тр}$ , тягове зусилля гусеничного трактора, згідно формули (10) становитиме:

$$P_{\text{так}} = 0,9 \cdot 74,2 - 74,2 \cdot 0,1 = 59,4 \text{ кН.}$$

Значить, тягове зусилля гусеничного трактора з ГСТ буде визначатися потужністю його двигуна за умов достатнього зчеплення з опорною поверхнею.

Деякі інші дослідники спочатку вирішили, що необхідно спочатку знати найбільшу силу зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом при допустимому буксуванні на основі формули дотичної сили, а потім визначити передаточне число трансмісії.

Дотична сила машини – це активна сила, дотична до кола її ведучих органів (ведучих коліс, зірочок). Вона дорівнює відношенню крутного моменту на осі рушіїв до радіусу перекошування [4]:

$$P_d = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M_d \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k} \quad (12)$$

$$M_d = \frac{10^4 \cdot N_e}{n^H}, \quad (13)$$

де  $n^H$  – номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна,  $\text{хв}^{-1}$ , тому:

$$P_d = \frac{10^4 \cdot N_e \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}}{n^H \cdot r_k}, \text{ Н.} \quad (14)$$

Таким чином, величина дотичного зусилля залежить від ефективної потужності двигуна і частоти обертання колінчастого валу, конструктивних параметрів трансмісії  $i_0$ ,  $r_k$  і її коефіцієнта корисної дії  $\eta_{\text{тр}}$ . Отже, першим стримуючим фактором, що обмежує величину дотичної сили, а при русі агрегату – рушійної сили, є крутий момент двигуна.

Найбільша сила зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом (як і будь-який самохідний машини) при допустимому буксуванні визначається по формулі:

$$P_{\text{зч}} = G_{\text{зч}} \mu_d = G_{\text{тр}} \lambda \mu_d = 10^{-3} m_{\text{тр}} g \lambda \mu_d, \text{ кН} \quad (15)$$

де  $G_{\text{зч}}$  – зчїпна вага трактора, кН;  $\mu_d$  – коефіцієнт зчеплення при допустимому буксуванні;  $G_{\text{тр}}$  – експлуатаційна вага трактора,  $G_{\text{тр}} \cong 1,1 G_{\text{зч}}$ , кН;  $\lambda$  – частка експлуатаційної ваги, що приходить на ведучі органи. Для колісних тракторів 4К2  $\lambda = \frac{2}{3}$ , для колісних 4К4 і гусеничних  $\lambda = 1,0$ , тобто у цих тракторів експлуатаційна вага є зчїпною вагою  $G_{\text{зч}}$ .

Реальне значення рушійної сили  $P_{\text{руш}}$  залежить від співвідношення між дотичною  $P_d$  і силою зчеплення  $P_{\text{зч}}$ . Якщо  $P_{\text{зч}} < P_d$ , то  $P_{\text{руш}} \leq P_{\text{зч}}$ , зчеплення недостатнє і буксування  $\delta$  може перевищувати допустимі межі. При  $P_{\text{зч}} > P_d$  зчеплення рушіїв з ґрунтом достатнє і  $P_{\text{руш}} \leq P_d$  у відповідності з формулами (12, 15).

Щоб трактор завжди працював в зоні достатнього зчеплення, повинна дотримуватися умова  $P_{\text{кр}} \leq P_{\text{сц}}$ . На основі рівнянь (12) і (15) з деякими перетвореннями цю умову можна записати у вигляді

$$\frac{N_e^H \xi_{Ne} i_0 \eta_{\text{тр}}}{105 r_k n} \leq 10^{-3} m g \lambda \mu_d; \quad (16)$$

відповідне передатне число трансмісії визначається співвідношенням:

$$i_{\text{тр}} = \frac{0,105 m r_k n g \lambda \mu_d}{N_e^H \xi_{Ne} \eta_{\text{тр}}}; \quad (17)$$

де  $N_e^H$  – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт;

$\xi_{Ne}$  – коефіцієнт використання потужності,  $\xi_{Ne} = \frac{N_e^{\Phi}}{N_e^H}$ .

В практичних розрахунках наближено можна прийняти  $n = n^H$  у відповідності з характеристикою двигуна. Співвідношення (17) дозволяє забезпечити раціональний режим роботи агрегату в допустимих по агровимогах межах буксування рушіїв при  $P_{\text{руш}} = P_d$ .

В подальших розрахунках передбачається дотримання умови (17), тому без додаткових пояснень приймемо  $P_{\text{руш}} = P_d$ , маючи на увазі під  $P_d$  у формулі (16) значення рушійної сили  $P_{\text{руш}}$ .

**Приклад.** Для трактора Т-150К з двигуном СМД-62:  $N_e^H = 121$  кВт;  $\xi_{Ne} = 0,90$ ;  $r_k = r_0 + \beta h = 0,305 + 0,75 \cdot 0,395 = 0,65$  м;  $n = n^H = 2100$   $\text{хв}^{-1}$ ;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $\lambda = 1$ ;  $\mu_d = 0,72$ ;  $\eta_{\text{тр}} = 0,88$ ;  $m = 8092$  кг при роботі на стерні отримаємо:

$$i_{\text{тр}} \leq \frac{0,105 \cdot 8092 \cdot 0,65 \cdot 2100 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 0,72}{\frac{121,5 \cdot 0,90 \cdot 0,88 \cdot 10^3}{8191799,76888}} = \frac{121,5 \cdot 0,90 \cdot 0,88 \cdot 85,13}{143,325} = 57,16$$

При цьому найбільше допустиме значення дотичної сили тяги:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{кд}} = \frac{N_e^H \xi_{Ne} \eta_{\text{тр}} i_{\text{тр}}}{0,105 r_k n^H} = \frac{121,5 \cdot 0,90 \cdot 0,88 \cdot 85,13}{0,105 \cdot 0,65 \cdot 2100} = \frac{8191,88964}{143,325} = 57,16$$

При практичних розрахунках, використовуючи розрахункове значення  $i_0$ , за характеристиками трактори знаходять фактичне значення передатного числа (визначають передачу КПП), близьке за величиною розрахунковому  $i_{\text{тр}}$ . Його значення і підставляють у формулу (17) для обчислення можливої величини рушійної агрегат сили.

Як бачимо, це дещо складніший спосіб знаходження передаточного числа трансмісії, а на його основі і значення дотичної сили тяги. Але при цьому ми не знаємо напевно для яких умов виконано даний розрахунок – достатнього чи недостатнього зчеплення рушіїв трактора з опорною поверхнею. Судячи із величини значень, розрахунок виконано для умов недостатнього зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом. Такий спосіб розрахунку можна рекомендувати у випускних магістерських роботах.

#### Висновки

Проведені дослідження по знаходженню залежностей для визначення тягових зусиль сучасними тракторами показали, що ряд дослідників звертались до цієї проблеми задовго до її виникнення. В технічній літературі для сучасних тракторів знаходиться все менше інформації по експлуатаційних показниках. В основному це інформація рекламного характеру, але навіть на її основі можна визначити необхідні параметри. Як видно із даної публікації, визначити тягові зусилля



необхідно як мінімум двічі, зважаючи на умови роботи агрегатів. При цьому необхідно знати вагу агрегатів, значення їх технологічних швидкостей і яку трансмісію використовує даний агрегат. Особливо це становиться важливим, коли МТА

складається із закордонного трактора і вітчизняної сільськогосподарської машини, тому що можливості енергетичних засобів відомих брендів мають значний діапазон, а можливості вітчизняної техніки обмежені агротехнічними вимогами.

#### **Список використаної літератури:**

1. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; за ред. В.Ю.Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
2. Бойко С.М. Вдосконалення методики розрахунку раціонального складу машинно-тракторного агрегату / С.М. Бойко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПК. Інноваційні розробки в аграрній сфері. Том 2. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 240-242 с.
3. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві: підручник / М.Г. Бондаренко, В.А. Демещук. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.: іл.
4. Плаксин А.М. Энергетика машинно-тракторных агрегатов: учебное пособие. / А.М. Плаксин. – Челябинск: ЧГАУ, 2005. – 216 с.
5. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. / І.І. Водяник. – К.: Урожай, 1994. – 224 с.

**Yaroshenko P.N., Sumy National Agrarian University (Ukraine)**

#### **On improvement of method of calculation of traction force of ait**

*The article considers the issue of improving the method of calculating the rational composition of the machine-tractor unit.*

*Studies on the dependences for determining the traction force of modern tractors have shown that a number of researchers addressed this problem long before its occurrence. In the technical literature for modern tractors there is less and less information on performance. Basically, this is advertising information, but even on its basis you can determine the necessary parameters. As can be seen from this publication, the traction force must be determined at least twice, taking into account the operating conditions of the units. It is necessary to know the weight of the units, the value of their technological speeds and what transmission this unit uses. This is especially important when the AIT consists of a foreign tractor and a domestic agricultural machine, because the capabilities of energy products of well-known brands have a significant range, and the capabilities of domestic equipment are limited by agronomic requirements.*

**Key words:** traction force, tractor, traction force, machine-tractor unit, towing, driving force.

Дата надходження до редакції: 07.12.2020

## ТВЕРДІСТЬ ҐРУНТУ - ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ

Комісар Євгеній Олександрович

аспірант

Сумський національний аграрний університет

ORCID ID: 0000-0002-1535-9564

email: komisar.jeka@gmail.com

Зубко Владислав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0002-2426-2772

email: zubkovladislav@ukr.net

*В статті описано вплив твердості ґрунту на розвиток аграрних культур починаючи від проростання та до формування врожаю. Названо основні чинники, які впливають на формування не бажаного явища в ґрунті, так званої плужної підшоши. Викладено аналіз вітчизняних та іноземних сучасних методів і засобів визначення та вимірювання твердості ґрунту, починаючи від пенетрометрів і закінчуючи сканерами ґрунту.*

*Питання твердості ґрунту було і є актуальним, тому що від цього залежить формування врожайності і відповідно прибуток фермерів. Таким чином, існує актуальне завдання вдосконалення методів і засобів вимірювання твердості ґрунту.*

*Піднято питання про розробку більш дешевого методу, на відміну від ґрунтових сканерів, для визначення плужної підшоши, але ж не менш ефективних від них.*

**Ключові слова:** ущільнення, твердомір, плужна підшоша, сканер, пенетрометр, пенетрація, ґрунт.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.6>

**Постановка проблеми.** Важливою технологічною характеристикою поля, яка створює механічний опір розвитку кореневої системи рослин, що впливає на схожість насіння та їх розвиток, визначає водний, повітряний і тепловий режим ґрунту є його твердість. Отримання достовірних інформаційних відомостей про твердість ґрунту має особливе значення тому, що на ущільнення ґрунту значний вплив мають багаторазові проходи по полю тракторів, комбайнів і іншої мобільної сучасної техніки. Функціонування такої техніки призводить до розпорощення верхнього і ущільнення нижнього шарів ґрунту, що негативно впливає на її родючість, знижує врожайність культур.

Плужна підшоша – це ущільнення під орним шаром ґрунту, яке утворюється у результаті тиску площини плужних агрегатів на ґрунт при оранці постійно на одну глибину. Плужною її називають, оскільки раніше акцент в обробці ґрунту робився на оранку, проте дослідження показують, що аналогічну проблему може створювати будь-який робочий орган, зокрема диски, лапи плоскоріза або культиватор. У той же час тиск леза робочого органу на ґрунт у точці контакту може досягати 1000 кг/см<sup>2</sup>. Слід зазначити, що лапа культиватора при такому тиску також істотно ущільнює ґрунт у зоні насінневого ложа, що в подальшому негативно впливає на водно-повітряний ґрунтовий режим.

Правильним буде трактування, що плужною підшошою є ущільнення в орному шарі ґрунту або під ним, яке утворюється внаслідок тиску площини робочих органів ґрунтообробних агрегатів з обробки на одну і ту ж глибину.

**Мета.** Провести огляд сучасних методів та пристроїв для вимірювання твердості ґрунту, як вітчизняного так і іноземного виробництва, від пенетрометрів і до безпосереднього визначення під час проведення обробки ґрунту, та проаналізувати їх переваги і недоліки.

**Результати досліджень.** Ущільнення ґрунту є про-

блемою, переважно, техногенного характеру і пов'язана, головним чином, з впливом сільськогосподарської техніки і транспортних засобів. Так, її формування може відбуватися як при впливі на ґрунт безпосередньо робочих органів ґрунтообробних агрегатів, а також внаслідок систематичного переущільнення ґрунту рушійними системами машинних агрегатів (МА). Останні, маючи масу до 20 т (а збиральна техніка з повним завантаженням - більше 30 т), створюють значне навантаження на ґрунт в процесі руху при виконанні технологічних операцій. Це явище повторюється з року в рік на 40-80% площі поля, тому має накопичувальний характер, викликаючи ущільнення ґрунту до глибини 80-100 см, а в окремих випадках і більше. Істотно прискорюється цей процес при порушенні вимог щодо проведення польових робіт, коли техніка заходить в поле при вологості ґрунту понад 90% польової вологоємності [1].

Спричинене сільськогосподарською технікою ущільнення ґрунту, а також природне ущільнення є проблемою для рослинництва та навколишнього середовища. Це пояснюється негативною зміною важливих функцій ґрунту. У практичному точному землеробстві великий інтерес представляє швидкий, зручний та доступний прилад для вимірювання цього показника.

На ґрунті, призначені для сільського господарства, зазвичай впливають різні фактори. Двома найважливіми з них є монокультура та використання важкої сільськогосподарської техніки [2]. Наслідком впливу вищезазначених причин є утворення та збільшення ущільнення ґрунту, що негативно впливає на розвиток рослин. Зазвичай ущільнення ґрунту призводить до зменшення виробництва продукції рослинництва.

На жаль, ще й досі не всі розуміють, як згубно діють процеси переущільнення і на саму ріллю, і при вирощуванні культури. Проте, наслідки переущільнення важко ігнорувати, адже вони по-справжньому серйозні.

Висока твердість ґрунту обмежує рослини [3] та подальший розвиток коренів [4]. Збільшення міцності в поверхневих шарах ґрунту призводить до обмеження поширення коренів [5] та відставання в рості [6]. Незважаючи на важливість твердості ґрунту в загальній структурі управління, підходи до її постійного визначення залишаються відносно нерозвиненими. Як правило, пенетрометри використовують для оцінки тиску, необхідного для проходження сталевого конуса вниз через профіль ґрунту. Емпірично показано, що пенетрометр (Q) підтримує подовження кореня, що перевищує 2,5 МПа [7].

Як бачимо, наслідки переущільнення ґрунтів можуть стати фатальними як для вирощуваної культури, так, у майбутньому, і для самої ріплі.

Проблема поступово загострюється й набуває велетенських масштабів. Фактично, уже сьогодні можна говорити, що ущільнення ґрунтів – явище всеукраїнське. Незалежно від типу ґрунтів – чорноземи це чи суглинки – недосконалі агротехнології стають причиною переущільнення.

Важливим чинником, у формуванні плужної підшови, також постають погодні умови взимку (кількість опадів і температура). Про це свідчать спільні досліді науковців інженерно-технологічного факультету та факультету агротехнологій та природокористування проведені на полях Сумського національного аграрного університету (СНАУ) у 2020 році. Не було виявлено ущільнень, в порівнянні з минулим роком, враховуючи той фактор, що не було проведено ніяких заходів для їх розпушування.

Для вимірювання твердості ґрунту існує велика кількість приладів. Найбільш поширені з них твердоміри Горячкіна, Качинського, Голубєва, Рєвякіна, Висоцького, Оганєсяна. Більшість твердомірів описано в широко відомих посібниках [8].

Для визначення профілів міцності ґрунту використовували різні методи випробувань. Для отримання індексу конусів для ґрунтів під дорогами та аеродромами був введений конусний пенетрометр з пропускнуою здатністю [9]. Так як конусоподібний конус пенетрометра повинен рухатись лише людиною, його застосовність є швидкою та простою, але не продуктивною. Однак конічний пенетрометр має недолік, так як швидкість проникнення конуса може змінюватися і впливати на індекс конуса. Для характеристики ґрунту на різних невеликих глибинах була розроблена мініатюрна система конічних пенетрометрів [10,11,12]. Хоча мініатюрне випробування на проникнення конуса може створити надійні та постійні профілі міцності, система конусного пенетрометра вимагає великих зусиль для забивання конуса в землю. Для усунення цієї причини, вченими були розроблені різні типи систем проникнення легких конусів для визначення твердості ґрунту не тільки в сільському господарстві, але і в залізничних підструктурах [13,14,15,16].

В іноземній практиці також є велика кількість твердомірів (пенетрометри) різноманітних конструкцій, особливо в тих країнах, де дослідження фізико механічних властивостей ґрунтів, досить популярні (США, Великобританія, Німеччина, Японія). У США використовується переважно конічний наконечник, параметри якого (кут атаки і площа перетину) стандартизовані. Вважається, що стандартизація дозволяє зіставити дані твердості, отримані на різних об'єктах і різними авторами. На думку П.В. Горохова (1990), найбільш досконалий

твердомір запропонували J.-F. Billot. Як реєструючий елемент в ньому використовується тензоланка, а занурення плунжера в ґрунт здійснюється за допомогою направляючої, що підвищує точність вимірювань [17].

З досягненнями точного землеробства багато дослідників зосередили увагу на просторових варіаціях ущільнення ґрунту [18]. Було визнано, що рекомендовані методи безпосереднього вимірювання ущільнення ґрунту вимагають великих зусиль і витрат на широкомасштабне картографування полів. Тому більш привабливою альтернативою стало визначення непрямих заходів разом з їх місцем знаходження (географічними координатами) [19]. У попередні роки були розроблені різні прототипи датчиків ущільнення ґрунту для відображення певних ущільнення ґрунту. Сучасні системи датчиків ущільнення ґрунту базуються на датчиках міцності ґрунту [18], датчиках проникності рідини [20], датчиках вмісту води [21] або на комбінованих [22].

У дослідницькій практиці східно-європейських країн також використовували велику кількість пенетрометрів (Кіріце, Кунце, Флореску-Зелінгера, Гетко, Боріша та інших). Відмінною їх особливістю було використання не тільки плоских і клиноподібних плунжерів, а й багатьох інших форм. Це розширювало можливості дослідження різних видів опорів ґрунтів. [23].

Польові вимірювання міцності структури (твердості) проводять за допомогою приладів кількох конструкцій: твердоміра Горячкіна, ВІСХОМа (Весесоюзного інституту сільськогосподарського машинобудування), Голубєва, Качинського, мікропенетрометрів і ін. В основу всіх твердомірів покладено принцип пропорційної залежності ступеня деформації пружини від опору ґрунту [24].

У сільському господарстві широко поширений твердомір системи акад. **В.П. Горячкіна**, що має основу, в отвір якої вставлений шток з наконечником, вкрученим в отвір для гвинта в торці штока. Верхній кінець штока пов'язаний з циліндричною пружиною, на яку спирається натискна планка з ручками, що має можливість переміщення вздовж направляючих штанг. Твердомір забезпечений пишучим механізмом, що фіксує зміну довжини пружини і переміщення штока. Визначення твердості ґрунту здійснюється шляхом реєстрації пишучого механізму величини стиснення пружини під впливом опору, сприйманого наконечником при вдавлюванні його в ґрунт [25].

**Твердомір ВІСХОМ.** Він складний у будові та в використанні, але дозволяє отримати дані про твердість ґрунту на різних глибинах. Прилад складається з трубчастої стійки, укріпленої на опорній плиті, рухомої каретки, механізму протягування стрічки з самозаписуючим пристроєм і штока зі змінними плунжерами. До приладу додаються три пари змінних пружин зусиллям 25, 50 і 100 кг. Кожна з пружин має свою тарувальну таблицю, по якій тарують криву твердоміра для відповідної пари пружин, і в процесі експлуатації приладу періодично проводять перевірку [25].

Одним з найбільш широко використовуваних є **твердомір Ю.Ю. Рєвякіна** (рис. 1), що складається з двох напрямних штанг 1, телескопічної штанги 2 зі змінним наконечником 3, пружини 4, планки 8 для кріплення паперу, записуючого пристрою 5, натискних тримачів 6, і папір з графіком [25].

Твердомір має плоский плунжер з робочою поверх-

нею 1 см<sup>2</sup>., також можна використовувати інші форми плунжерів. Глибина занурення плунжера в ґрунт становить до 40 см, охоплюючи орний і верхню частину підорного шарів, включаючи плужну підшву [25].

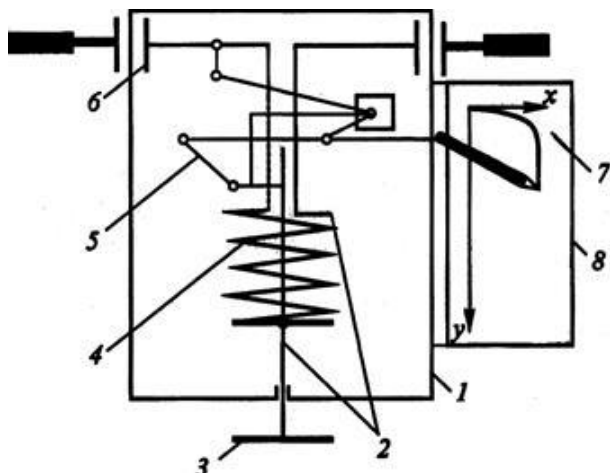


Рис. 1. Конструктивна схема твердоміра Ю.Ю.Ревякіна:

- 1 – напрямні штанги; 2 – телескопічна штанга;
- 3 – змінний наконечник; 4 – пружина;
- 5 – записувальний пристрій; 6 – натискні тримачі;
- 7 – папір з графіком; 8 – планка для закріплення паперу.

Записуючий пристрій пов'язано з пружиною 4. Ланки цього пристрою розраховані таким чином, що олівець переміщається в напрямку осі ОХ на величину занурення штампа і осі ОУ на величину стиснення пружини. Таким чином, на одержуваних за допомогою твердоміра діаграмах по осі ОХ відкладається глибина занурення штампа, а на осі ОУ деформація пружини, пропорційна величині прикладеного зусилля [25].

**Твердомір І. Ф. Голубєва.** Має конусоподібний плунжер довжиною 10 см з площею перетину біля основи 2 см<sup>2</sup>. Плунжер з'єднаний зі штоком, поміщеним в порожнистий корпус з кришками. У нижній частині штока нанесена шкала і змонтовано сигнальний пристрій. На верхню частину штока надіті три пружини різної пружності [26].

Твердість ґрунту визначають в такій послідовності. Показник на штоку пересувають в нижнє положення так, щоб його відмітка збіглася з нульовим діленням, одночасно штифт-показчик всувають до клацання. Прилад ставлять вертикально на поверхню ґрунту і плавно вдавлюють конус в ґрунт. При зануренні конуса на 10 см відбувається клацання - визначення закінчено.

При визначенні твердості ґрунту приладом І. Ф. Голубєва необхідно уникати різких натисків і ударів, щоб не отримати випадкових величин [26].

**Твердомір Алексєєва.** У цьому приладі опір ґрунту розклинюванню вимірюють гідравлічним динамометром (манометром). Прилад складається з корпусу циліндра, в нижню частину якого нагвинчують металевий стрижень з конусом. Зверху в корпус входить і пересувається в ньому поршень з рукою і манометром. В якості робочої рідини, якою заповнюють прилад, використовують гальмівну рідину [26].

Прилад встановлюють перпендикулярно поверхні ґрунту і натисканням рук на ручки вдавлюють конус в ґрунт. Тиск, необхідний для подолання опору ґрунту проникненню в неї

конуса, передається через поршень і робочу рідину і вимірюється манометром [26].

**Твердомір Качинського** влаштований по револьверному типу - плунжер занурюється в ґрунт силою розтискання пружини.

При роботі використовуються два плунжера: циліндричний (на здавлювання) і конічний (на розклинення) [27].

Принцип роботи. Плунжер вдавлюють до межі в корпусі приладу, потім прилад встановлюють на поверхню ґрунту і, притримуючи щільно його головку, натискають кнопку, виводячи з зачеплення пружину. Пружина виштовхує плунжер, який занурюється в ґрунт. У такому положенні витримують прилад 30 с, а потім, не відпускаючи головки твердоміра і все ще притискаючи його до ґрунту, посувають кільце - показчик до гвинтів, після чого, притримуючи кільце, піднімають твердомір і записують свідчення за шкалою (показники фіксуються кільцем) [27].

Розрахунок твердості ґрунту в кілограмах на 1 см<sup>2</sup> проводиться таким чином: по прикладеним до приладу тарувальним таблицям знаходять, на підставі отриманих при визначенні показань за шкалою твердоміра, величину зусилля, витраченого на впровадження в ґрунт плунжера, і відносять його до площі поперечного перерізу даного плунжера, яка дорівнює 0.2 см<sup>2</sup>. [27].

**Пенетрометр** - прилад для вимірювання щільності ґрунту від поверхні до глибини в 45 см, по горизонтах. За допомогою пенетрометра можна визначити чи є ущільнення в ґрунті, наскільки вони серйозні і яка їхня глибина [28].

Щуп виконаний з нержавіючої сталі з насічками для визначення глибини проникнення в ґрунт (7,6 см; 15,2 см; 22,9 см; 30,5 см; 38,1 см; 45,7 см) [28].



Рис.2. Загальний вигляд пенетрометра.

Діапазон вимірювань від 0 до 500 psi (фунтів на кв.дюйм), відповідно 0-3500 кПа або кН / м<sup>2</sup>.

Для зручності користування приладом кругової індикатор має кольорову шкалу:

- Зелена смуга (0-200 psi) - нормальний ріст кореневої системи;
- Жовта смуга (200-300 psi) - середній зріст;
- Червона смуга (300 і більше psi) - поганий ріст кореневої системи.

У комплект приладу входить два наконечника: 1/2 дюйма - для проведення вимірювань в щільному ґрунті і 3/4 дюйма - для м'якого ґрунту. На кольоровому індикаторі циферблата відповідно дві шкали для одного і іншого наконечника [28].

Вимірювання опору кінцевого пенетрометра - простий, швидкий і недорогий емпіричний метод, який знайшов широке застосування для моніторингу та оцінки ущільнення ґрунту [29,30].

Перші пенетрометри ґрунту почали застосовувати у сільському господарстві протягом 1960-х років. Вони мали просту будову, де показання записували вручну (Hendrick, 1969) [31].

Нові прилади дозволяють вести вимірювання в режимі безперервної реєстрації одночасно з обробітком ґрунту, вимірювати вологість і деякі інші показники, акумулювати результати, статистично і графічно їх обробляти.

Це твердоміри американського і голландського виробництва, які серійно випускаються, а також твердоміри зі Словаччини і Швеції.

В Україні також ведуться подібні розробки (М.М. Сурду, В.В. Медведєв) [32].

У твердомірі М.М.Сурду з України шуканий показник отримують зі співвідношення пуансона при його зануренні в ґрунт і величини залишкової деформації. Тензометричний датчик кріпиться до лапи культиватора і вимірювання твердості здійснюються під час виконання обробки ґрунту [32].

Змінюючи форму пуансона, можна оцінити опір ґрунту різним видам деформації і використовувати отримані дані не тільки при виборі інтенсивності і глибини обробки, але і в конструюванні ґрунтообробних робочих органів. Вологість в момент вимірювання твердості отримують, використовуючи кондуктометричний метод, а температуру - за допомогою опору мідного датчика [32].

Схожий твердомір був розроблений і випробуваний в Швеції. Конусоподібний пенетрометр з кутом атаки в  $30^\circ$  і діаметром 6,3 см були закріплені на стійках глибокорозпушувача і дозволяли проводити вимірювання твердості на глибинах 10, 30 і 50 см. Пенетрометр був з'єднаний з сенсором фірми Bosch, здатним вимірювати зусилля в широкому інтервалі значень. При швидкості обробки ґрунту 1,5 м / с твердомір фіксував вимірювання кожну секунду з одночасним позиціонуванням (за допомогою Trimble SweeEight) [32].

Не можна не згадати також про численні розробки, що проводяться в США, з метою удосконалення пенетрометра. В останні роки в цій країні розроблені пенетрометри з можливістю визначення вологості ґрунту, це досягається різними способами, в тому числі найбільш перспективним з них TDR (Time Domain Reflectometer). Відповідний датчик вставляється в наконечник і вимірює вологість в режимі реального часу в міру занурення наконечника в ґрунт. Найбільш відомий з них пенетрометр J. Morrison [32].

Однак більш повну інформацію може дати безперервний вимір твердості поля з кореляцією по щільності ґрунту, накладкою координат по GPS і побудова електронних карт щільності ґрунту.

**Topsoil Mapper.** Це пристрій розробила австрійська компанія Geoprospectors. Сьогодні Topsoil Mapper - найбільш сучасний і зручний сканер. Система дозволяє фіксувати ущільнення, структуру і вологість ґрунту практично в режимі реального часу. Дані відправляються на термінал трактора чи автомобіля, який здійснює сканування [32].

Сканер складається із самого електромагнітного сканера та польового комп'ютера, для накопичення даних у фай-

лах. Сканер має чотири електромагнітні датчики які призначені для сканування на чотирьох різних глибинах - 0.5м, 0.7м, 0.9м, 1.1м. Польовий термінал оснащений GPS-приймачем для визначення місцезнаходження сканера. Датчики вимірюють електровідність ґрунту на чотирьох глибинах. Дані накопичуються у файлах. Після того як необхідні файли із сканера зібрані, вони оброблюються в спеціалізованому програмному забезпеченні Topsoil Data Box (TSDB), що базується на ядрі Матлаб (для складних математичних обчислень). Topsoil Data Box дозволяє проводити аналіз та корекцію даних, моделювати різні карти розподілу при зміні параметрів. Але це є проміжний етап. Для подальшої роботи з даними вони переносяться в Геоінформаційну Систему (ArcGIS, QGIS, SAGA GIS і ін.). Там дані співставляються з даними рельєфу, картами урожайності, NDVI і вже створюються електронні карти які можна використовувати в робочих цілях, таких як планування глибини обробки, норми висіву та ін. [32].

З Topsoil Mapper господарство отримує дані про властивості ґрунту на полях значних площ в досить короткий проміжок часу. Крім того, реалізовано спеціальне програмне забезпечення, яке автоматично створює карти ґрунтів. Обробити отримані дані і отримати результати досить просто [32].



Рис.3. Загальний вигляд Topsoil Mapper

Ще один плюс системи - вона дозволяє контролювати глибину обробки ґрунту під час роботи. Зібрані дані в режимі реального часу передаються безпосередньо на бортовий комп'ютер трактора, а потім на ґрунтообробний агрегат. Це сприяє підвищенню як екологічної, так і економічної ефективності сільського господарства [32].

Датчик ґрунту **STEYR SoilXplorer** (рис. 4) - це безконтактний датчик для картування і зміни глибини обробки ґрунту, що використовують електромагнітні сигнали для вимірювання провідності ґрунту. На цій основі можна визначити зони типу ґрунту, відносний вміст води, а також зони ущільнення. З допомогою чотирьох приймальних котушок за один прохід "досліджуються" чотири різних шару від 0-25см, 15-60см, 55-95см і 85-115см. SoilXplorer - це система на ринку, яка пропонує чотири паралельні глибини, працює без контакту з ґрунтом і забезпечує миттєві дані для негайного робочого процесу. Його можна дуже легко інтегрувати в інші робочі процеси [33].



Рис.4. Загальний вигляд STEYR SoilXplorer

З ґрунтообробним агрегатом, встановленим в передній гідравлічній частині трактора, ґрунтообробні знаряддя можуть бути встановлені в задній частині одночасно. Оскільки всі дані вимірюються, обробляються в програмному забезпеченні системи і доступні в режимі реального часу, ґрунтообробні знаряддя можуть ефективно управлятися і адаптуватися до різних ґрунтових умов за допомогою ISOBUS, незалежно від погодних умов і рослинності сільськогосподарських культур [33].

**Висновки.** Аналіз існуючих методів і засобів визначення твердості ґрунту показав, що на сьогоднішній день існує багато різних способів для визначення ущільнень ґрунту, але у кожного з них присутні переваги та недоліки. Встанов-

лено, що пенетрометри чи твердоміри Горячкіна, Качинського, Голубєва, Рєвякіна – мають низьку вартість і прості в експлуатації для проведення досліджень полів фермерами, але подальша обробка і аналіз отриманих результатів вимагає затрати додаткового часу та певного рівня кваліфікації для прийняття ефективного рішення. Одним з факторів, що впливає на одержувані результати при визначенні твердості ґрунту, є вплив людського фактору, оскільки велика частина приладів для визначення твердості ґрунту заглиблюється під дією фізичної сили оператора.

Використання ґрунтових сканерів, навпаки, дає можливість швидко зробити аналіз структури ґрунту у режимі реального часу та отримані дані зібрати та зберегти у Data Base. Також сканування можна проводити при виконанні інших сільськогосподарських робіт. Дані машини є не доступними для більшості господарств, через високу вартість. Тому на сьогоднішній день є актуальним завданням у розробці більш дешевого методу, на відміну від ґрунтових сканерів, для визначення плужної підшови, але ж не менш ефективних від них. Що дасть можливість навіть не великим господарствам робити аналіз ґрунту на щільність.

Дані прилади є чутливими до зміни умов середовища, у якому вони працюють. Обладнання необхідно калібрувати відповідно до умов використання.

Проведеним дослідженням встановлено, що є потреба у розробці обладнання для виміру твердості ґрунту з пошуком залягання плужних підшов, який матиме високу точність вимірювання, з можливістю формування Data Base та низьку собівартість.

#### **Список використаної літератури:**

1. С. Гаврилов. 2017. Проблеми плужної підшови в ґрунті та шляхи її вирішення. Веб-сайт: <https://propozitsiya.com/problema-pluzhnoy-podoshvy-u-pochvy-i-puti-ee-resheniya> [Дата звернення: 08/04/2021].
2. Hartemink, A.E., 1998. Хімічні та фізичні властивості ґрунту як показники стійкості землеустрою під цукровим очеретом у Папуа -Новій Гвінеї. Геодерма 85: 283–306.
3. Whalley, W.R., Finch-Savage, W.E., Cope, R.E., Rowse, H.R., Bird, N.R.A., 1999. Реакція проростків моркви (*Daucus carota* L.) та цибулі (*Allium cepa* L.) на механічний імпеданс та водневий стрес при неоптимальних температурах. Рослина, клітинне середовище 22: 229–242.
4. Bengough, A.G., Mullins, C.E., 1990. Механічний імпеданс росту коренів: огляд експериментальні методи та відповіді на зростання коренів. Журнал ґрунтознавства 41: 341–358.
5. Gao, W., Hodgkinson, L., Jin, K., Watts, C.W., Ashton, R.W., Shen, J., Ren, T., Dodd, I.C., Binley, A., Phillips, A.L., Hedden, P., Hawkesford, M.J., Whalley, W.R., 2016. Глибоке коріння і структура ґрунту. Рослини, клітини та навколишнє середовище 39: 1662–1668.
6. Whalley, W.R., Watts, C.W., Gregory, A.S., Mooney, S.J., Clark, L.J., Whitmore, A.P., 2008. Вплив міцності ґрунту на врожайність пшениці. Рослини та ґрунти 237–247.
7. Whalley, W., Bengough, A., 2013. Механічний опір ґрунту та зростання коренів та Функція. Коріння рослин: doi: 10.1201/b14550-43
8. Пат. 25914 Україна, МПК G 01 N 1/02. Польовий ґрунтовий твердомір конструкції Тарасенка-Бабицького / Тарасенко В.І., Бабицький Л.Ф.; заявник та патентовласник Національного аграрного університету. - № 200704449; заявл. 04.07; опубл. 27.08.2007, Бюл. №13.
9. Армія та ВПС США, 1994 р. Планування та проектування доріг, аеродромів та вертодрому Театрі операцій (Дорожнє проектування), В: Полевий посібник, No 5-430-00-1. Вип. 1, Вашингтон, округ Колумбія, 26 серпня 1994 р., Стор. 491.
10. Tumay, M.T., 1998. Тестування ситуації на національних геотехнічних експериментальних майданчиках. Частина II, В: Контракт FHWA, Остаточний звіт. FHWA, Батон -Руж, штат США, Міністерство транспорту США; Дослідницький центр транспорту Луїзіани, № DTFH61-97-P-00161.
11. Titi, H.N., Mohammad, L.N., Tumay, M.T., 2000. Випробування на проникнення мініатюрних конусів. Журнал геотехнічних випробувань 23 (4): 432–443.
12. Titi, H.N., Morvant, M., 2001. Впровадження мініатюрного конусного пенетрометра в проектування та будівництво доріг. Журнал рекордів транспортних досліджень Ради досліджень транспорту 1755: 60–68.
13. Vuun, Y.H., Kim, J.H., Lee, J.S., 2013. Конусний пенетрометр із зовнішнім спіральним типом гвинтовий стрижень для оцінки стану ґрунту. Журнал транспортної інженерії. 139 (2): 115–122.

14. Byun, Y.H., Hong, W.T., Lee, J.S., 2015. Характеристика залізничної підконструкції з використанням гібридний конусний пенетрометр. Розумні структури та системи - Techno Press 15 (4): 1085–1101.
15. Hong, W.T., Byun, Y.H., Kim, S.Y., Lee, J. S., 2016. Включений конусний Пенетрометр з методом динамічного проникнення для дослідження підконструкції колії. Розумні структури та системи 18 (2): 197–216.
16. Hong, W.T., Kim, S.Y., Lee, S.J., Lee, J.S., 2017. Оцінка міцності та стійкості підконструкції залізничної колії з використанням динамічного конусоподібного пенетрометра типу «діра». Динаміка ґрунту та землетрусна інженерія 100: 88–97.
17. Цукуров А.М. Аналітичний розрахунок ущільнення ґрунту // Техніка в сільському господарстві. - №1. - С. 17-19.
18. Hemmat, A., Adamchuk, V.I., 2008. Датчикові системи для вимірювання ущільнення ґрунту: огляд та аналіз. Комп'ютери та електроніка в сільському господарстві 63: 89–103.
19. Gaultney, L.D., 1989. Рецептне землеробство на основі датчиків властивостей ґрунту, В: Американ Товариство інженерів -аграріїв, Сент -Джозеф, папір № 891036, Американське товариство інженерів-аграріїв.
20. Clement, B.R., Stombaugh, T.S., 2000. Датчик ущільнення ґрунту безперервно Вимірює розвитку, В: Американське товариство інженерів -аграріїв, Сент -Джозеф, Мічиган. Документ № 001041, Американське товариство інженерів -аграріїв.
21. Alaoui, A., Helbling, A., 2006. Оцінка ущільнення ґрунту за допомогою гідродинамічної води зміна вмісту: порівняння між ущільненим та неущільненим ґрунтом. Геодерма 134 (1/2): 97–108.
22. Mouazen, A.M., Ramon, H., 2006. Розвиток он-лайн системи вимірювання маси щільність на основі вимірювання он-лайн осадки, глибини та вологості ґрунту. Дослідження ґрунту та обробітку ґрунту 86: 218–229.
23. Методика перевірки твердомірів та обґрунтування конструкцій Рев'якіна. М29.044-6. Дослідницьке, 1986. - 15 с.
24. Аграрний сектор. 2013. Визначення щільності ґрунту. Веб -сайт: [https:// agrarniy sector.ru/rastenevodstvo/zemledelie/opredelenie-plotnosti-pochvy.html](https://agronomysector.ru/rastenevodstvo/zemledelie/opredelenie-plotnosti-pochvy.html) [Дата звернення 23.03.2021].
25. Пошукач. 2017. Пенетрометри. Веб -сайт: [http://poshukach.com/redirect?user\\_type=21&тип=ср&REDIR=eJzLKCKpKlB516\\_I09W1MEhMzExMtkjXA\\_EKDBMz9TNzE9NTiWTmPnyMvNLUrMT9UtzC\\_Qz89JT81IT49MSs2HsliBtaKaXkp9cwcBgaGZgaGxpZm5qWVCW8kF3UqNhyt3nllqHNxwFQCd3ijZ&SRC=4e20e0&via\\_page=1](http://poshukach.com/redirect?user_type=21&тип=ср&REDIR=eJzLKCKpKlB516_I09W1MEhMzExMtkjXA_EKDBMz9TNzE9NTiWTmPnyMvNLUrMT9UtzC_Qz89JT81IT49MSs2HsliBtaKaXkp9cwcBgaGZgaGxpZm5qWVCW8kF3UqNhyt3nllqHNxwFQCd3ijZ&SRC=4e20e0&via_page=1) [Дата звернення 23/03/2021]
26. Екологія. 2018. Твердість ґрунту. Web site:<https://ru.ecology.info/post/100775104200006/> [Дата звернення 18/03/2021]
27. Фізика ґрунту. 2015. Методика визначення твердості. Веб-сайт: [https:// racechron.ru/fizika-pochv/3944-metodika-opredeleniya-prochnosti-struktury-pochvy-chast-1.html](https://racechron.ru/fizika-pochv/3944-metodika-opredeleniya-prochnosti-struktury-pochvy-chast-1.html) [Дата звернення 28/03/2021]
28. Агромайстер. 2018. Вимірювальні прилади. Веб -сайт: [http://agromaster.ru/katalog/izmeritelnye\\_pribory\\_v\\_pomow\\_agronomu/penetrometr\\_pochvennyj/](http://agromaster.ru/katalog/izmeritelnye_pribory_v_pomow_agronomu/penetrometr_pochvennyj/) [Дата звернення 23/03/2021]
29. Pagliai, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., Pellegrini, S., 2000. Зміни в деяких фізичних властивостей глинистого ґрунту після проходження гумових гусеничних та колісних тракторів середньої потужності. В: Досвід впливу та запобігання ущільненню надр у Європейському Співтоваристві, Arvidsson, J., van den Akker, J.J.H., Horn, R. (Ed.). SLU REPRO 2000, pp. 131–144.
30. Castrignano, A., Maiorana, M., Fornaro, F., Lopez, N., 2002. Просторовий і часовий мінливість міцності ґрунту та її зміна з плином часу на полі твердої пшениці на півдні Італії. Дослідження ґрунту та обробітку ґрунту 65 (1): 95–108.
31. Hendrick, J.G., 1969. Запис ґрунтового пенетрометра. Журнал сільськогосподарського машинобудування. Дослідження 14 (2): 183–186.
32. Михайло Копецький. 2018. Сканери ґрунту - точні системи для вдосконалення сільського господарства Ефективність. Веб-сайт: <https://rynok-ark.ru/articles/technology/skanery-pochvy/> [Дата звернення 07/03/2021]
33. Богдан Малиновський. 2018. У Steyr є трактор з датчиками ґрунту. Веб-сайт: <https://propozitsiya.com/ua/steyr-obladnavatyme-traktory-sensory-gruntu-0> [Дата звернення 08/03/2021].

**Komisar Ye. O.,** Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Zubko V.M.,** Sumy National Agrarian University (Ukraine)

#### **Soil hardness - overview of modern methods and devices**

*The article describes the influence of soil hardness on the development of agricultural crops from germination to crop formation. The main factors influencing the formation of an undesirable phenomenon in the soil, the so-called plow sole, are named. The analysis of domestic and foreign modern methods and means of determination and measurement of soil hardness, starting from penetrometers and ending with soil scanners is presented.*

*The issue of soil hardness was and is relevant, because it depends on the formation of yields and, accordingly, the profit of farmers. Thus, there is an urgent task of improving methods and means of measuring soil hardness.*

*The question of developing a cheaper method, in contrast to soil scanners, to determine the plow sole, but no less effective than them.*

**Key words:** seal, hardness tester, plow sole, scanner, penetrometer, penetration, soil.

Дата надходження до редакції: 09.12.2020