

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 1 (39), 2020

- Гапонова О. П., Гецович Є. М.** Розробка технології нанесення Al-C-S покриттів сталевих поверхонь методом електроіскрового легування..... 3
- Семірненко Ю. І., Семірненко С. Л.** Вирішення екологічних проблем регіону за рахунок використання рослинної сільськогосподарської біомаси в якості палива 7
- Zayets M. L., Antonov O.** Determination of the movement speed of seed on the distributor of coulter for the subsoll-spreading method of sowing 13
- Lyudmila Rozhkova, Marina Savchenko-Pererva, Oleg Radchuk** Innovative proposal for wind-solar power plant 19
- Петриченко Є. А., Герук С. М.** Польові випробовування удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової та основної норми добрив 22
- Баталова А. Б.** Особливості застосування математичних знань та навичок при підготовці фахівців технічних спеціальностей..... 27
- Барабаш Г. І., Зубко В. М., Саржанов Б. О.** Залежність техніко-економічних показників роботи зернозбирального комбайна від режимів його роботи 30
- Головченко Г. С.** Очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки на електромагнітних насіннеочисних машині за допомогою зволоження вихідного матеріалу..... 34
- Гецович Є. М.** Дослідження маневрів ґрунтообробного агрегату в функції часу 39
- Олександренко В. П., Курської В. С., Соларьов О. О., Таценко О. В.** Теоретичні підходи до дослідження ущільнення ґрунту 43
- Шевченко С. С.** Принцип роботи та методика розрахунку ущільнень з плаваючими кільцями..... 49
- Ребрій А. М., Рибенко І. О.** Розвиток мотивації професійного самовдосконалення майбутнього інженера засобами САПР 54

Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» наукового журналу «Вісник Сумського національного аграрного університету» належить до фахових видань (наказ Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 р. № 1528)

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 №8 від 24.02.2020 р.)

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

Тираж 300 пр.
Зам. №5

© Сумський національний аграрний університет, 2020

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ Al-C-S ПОКРИТТІВ СТАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ
МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

Гапонова Оксана Петрівна
кандидат технічних наук, доцент
Сумський державний університет
ORCID 0000-0002-4868-0599
email: gaionova@pmtkm.sumdu.edu.ua

Гецович Євген Мойсейович
доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
ORCID 0000-0003-4868-1573
email: e.getsovich@i.ua

Проведений аналіз шляхів підвищення ефективності роботи насосного обладнання у сільському господарстві. Актуальним є застосування нових технологій підвищення якості робочих поверхонь деталей модернізованих вузлів. У роботі запропонована нова технологія отримання комплексних Al-C-S покриттів, отриманих методом ЕІП на сталевих поверхнях, з метою підвищення твердості, зносостійкості та припрацьовуваності поверхонь тертя. Досліджені особливості структуроутворення Al-C-S покриттів, отриманих методом ЕІП. Вивчено вплив режимів ЕІП на якісні параметри Al-C-S-покриттів. При значному збільшенні енергії розряду (з 0,52 до 6,8 Дж) відбувається зростання шорсткості поверхні і зменшення суцільності покриття. Мікроструктурний аналіз Al-C-S-покриттів на сталі 20 показав, що суцільність і товщина «білого» шару становить 50% і 60 мкм, відповідно (при $W_p = 6,8$ Дж). У свою чергу мікротвердість на поверхні складає 9000 МПа. Досліджений розподіл сірки в покритті: кількість сірки максимальна на поверхні і зменшується від поверхні до основи. Пропоновану технологію отримання Al-C-S покриттів застосовано для підвищення зносостійкості та забезпечення припрацьовуваності поверхонь шийок колінчастого валу поршневого компресору ЗВШ-1,6-3/46. Показано, що розроблену технологію рекомендується застосовувати у промислових умовах.

Ключові слова: сільське господарство, електроіскрове легування, покриття, мікроструктура, колінчастий вал, насос.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.1>

Вступ

У сільському господарстві використовується широкий спектр насосного обладнання, призначеного для вирішення різних практичних завдань: від поливу сільськогосподарських угідь до відкачування продуктів життєдіяльності худоби.

Як відомо, основними об'єктами сільськогосподарського водопостачання та водовідведення є: житлово-комунальний сектор, тваринницькі ферми і комплекси, агропромислові підприємства. Централізовані системи, що їх обслуговують, в основному включають: водозабірні споруди, насосні станції, очисні споруди, водонапірні башти, резервуари чистої води, магістральні водоводи і водопровідні мережі.

Пріоритетним напрямком у розвитку систем сільськогосподарського водовідведення є застосування комплектних каналізаційних насосних станцій з заглибними насосами, використання гвинтових і шнекових насосів для транспортування гною, а також оснащення очисних споруд заглибними мішалками, що дозволяють підвищити ефективність очищення стічних вод.

Необхідно відзначити, що інтенсивне будівництво фермерських, дрібних підсобних господарств і малих селищ, що проводиться в даний час, вимагає також розвитку локальних систем водопостачання та водовідведення. Правильний вибір і раціональне використання насосної техніки забезпечить надійну і ефективну роботу локальних систем.

Підвищення ефективності роботи насосного обладнання можна вирішити застосуванням нових модернізованих

вузлів: роторів, підшипників ковзання, торцевих ущільнень, з'єднувальних муфт та ін., що відповідають сучасному рівню розвитку і забезпечують високу надійність експлуатації агрегатів на всіх технологічних режимах.

Аналіз публікацій

Збільшення надійності та терміну експлуатації сучасних машин призвело до необхідності використання деталей, виготовлених з матеріалів і сплавів з поліпшеними властивостями. Поліпшення властивостей цих деталей забезпечується, як правило, застосуванням високолегованих сталей, що обумовлює великі витрати дефіцитних легуючих елементів. Особливо гостро склалася ситуація в Україні, що не має необхідних ресурсів для виробництва високолегованих сплавів з нікелем, хромом, ванадієм, молібденом, вольфрамом. У свою чергу, застосування високолегованих сталей і сплавів призводить до підвищення собівартості деталей машин, що пов'язано зі збільшенням ціни вихідних матеріалів при їх виробництві, ускладненням технологічного процесу, пов'язаного з особливостями їх механічної та термічної обробки.

Значна кількість параметрів виробу визначають стан поверхневого шару матеріалу, з якого вона виготовлена [1]. Очевидно, що використання дефіцитних і дорогих матеріалів в усьому об'ємі виробу недоцільно.

Традиційним методом підвищення зносостійкості поверхонь тертя є хіміко-термічна обробка (ХТО): цементация, азотування, нітроцементация, що, зазвичай, проводять у шахтних печах. У процесі ХТО деталі піддаються жолоблен-

ню та викривленню, причому більшою мірою при цементації. Крім того, основним недоліком всіх видів ХТО є значна тривалість процесу, необхідність використання високовартісного обладнання, низька продуктивність процесу, екологічна небезпека [2].

Перспективним методом підвищення зносостійкості і відновлення зношених поверхонь є електроіскрове легування (ЕІЛ). ЕІЛ є одним з найбільш простих і доступних з технологічної точки зору. Серед його переваг, таких, як локальність, мала витрата енергії, відсутність об'ємного нагрівання матеріалу, висока міцність зчеплення покриття з основним металом, необхідно виділити простоту автоматизації процесу, «вбудовуваність» в технологічний процес виготовлення деталей, екологічна безпека тощо.

Відомі способи цементації методом ЕІЛ [3], алітування [4], комбіновані технології, що включають ЕІЛ [5]. Останнім часом задачі, що ставляться перед методом ЕІЛ ускладнилися. Під час роботи деталей машин в екстремальних умовах від поверхневого шару вимагається комплекс фізико-механічних властивостей, наприклад, підвищення зносостійкості та жаростійкості, зносостійкості та спеціальних триботехнічних властивостей тощо. Як відомо, цементація

методом ЕІЛ сприяє підвищенню твердості та зносостійкості робочим поверхням [3, 6], сульфидування поверхні сприяє запобіганню скоплювання контактуючих поверхонь при терті ковзання [7], алітування забезпечує підвищення твердості та жаростійкості [4, 8]. Таким чином, актуальним є розробка екологічно безпечного способу нанесення багатокомпонентних Al-C-S покриттів методом ЕІЛ.

Метою роботи є вдосконалення технології отримання комплексних Al-C-S покриттів, отриманих методом ЕІЛ на сталевих поверхнях, і запропонувати її впровадження у виробництво.

Методика

Для дослідження використовували зразки зі сталі 20, 40 розміром 15x15x8 мм, на які наносили консистентну речовину, що включала сірчану мазь з вмістом сірки 33,3 % і алюмінієву пудру марки ПАД-0 (ГОСТ 5494-95). Максимальна кількість пудри становила 56 %. Подальше збільшення кількості пудри призводило до зниження адгезії з поверхнею, що підлягає алітуванню. Не чекаючи висихання мазі, здійснювали ЕІЛ заданих поверхонь зразків графітовим електродом марки ЕГ-4 ОСТ 229-83 на установці моделі «Елітрон-52А» з різною енергією розряду (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду

Енергія розряду (W_p), Дж	0,13	0,52	2,6	4,9	6,8
Продуктивність, $\text{см}^2 / \text{хв}$	0,5-0,8	1,0-1,3	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Шорсткість поверхні після ЕІЛ вивчали шляхом зняття і обробки профілограм на приладі профілограф-профілометр моделі 201.

Металографічний аналіз покриттів проводили за допомогою оптичного мікроскопу МІМ-7, а дюрOMETричні дослідження – на приладі ПМТ-3 за стандартними методиками.

Якісний аналіз і кількісний склад покриттів на зразках проводився із застосуванням растрового електронного мікроскопа РЕММ-102 виробництва ВАТ "SELMI", оснащено-

го рентгенівським мікроаналізатором.

Результати

При одночасному насиченні сталі вуглецем, сіркою і алюмінієм методом ЕІЛ при значному збільшенні енергії розряду (з 0,52 до 6,8 Дж) відбувається зростання шорсткості поверхні і зменшення суцільності покриття (табл. 2). На рис. 1 представлена профілограма поверхні зразка після ЕІЛ.

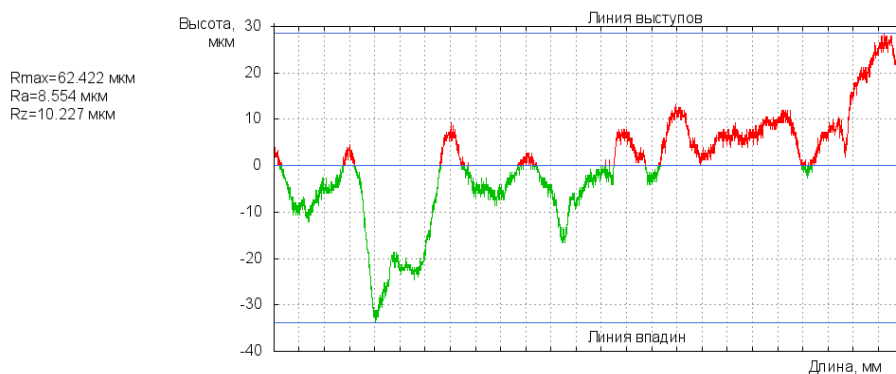


Рисунок 1 – Профілограма поверхневого шару зразка зі сталі 20 після ЕІЛ при $W_p = 6,8$ Дж

Мікроструктурний аналіз Al-C-S-покриттів на сталі 20 залежно від енергетичних параметрів процесу ЕІЛ показав (рис. 2, а), що на поверхні формується «білий» шар, далі дифузійна зона і основний метал. Також необхідно відзна-

чити, що при ЕІЛ сталі 20 графітом суцільність і товщина «білого» шару становить 50% і 60 мкм, відповідно (при $W_p = 6,8$ Дж). У свою чергу мікротвердість на поверхні складає 9000 МПа (рис. 2, б і табл. 2).

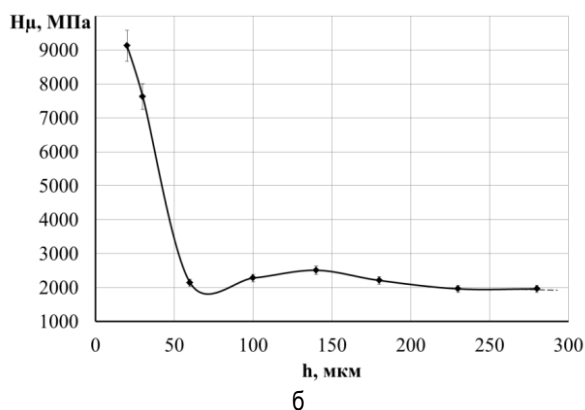
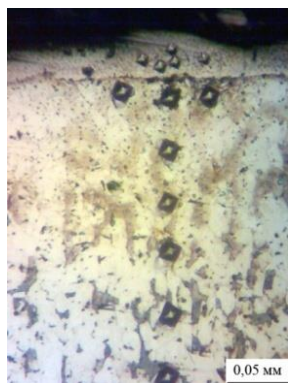


Рисунок 2 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості в поверхневому шарі (б) зразка сталі 20 після ЕІЛ графітом ($W_p = 6,8$ Дж)

Таблиця 2 – Якісні параметри поверхневих шарів системи Al-C-S, отриманих методом ЕІЛ, на сталях 20 і 40

Енергія розряду, Дж	Товщина білого шару, мкм	Мікротвердість білого шару, МПа	Шорсткість, мкм			Суцільність білого шару, %
			Ra	Rz	Rmax	
Сталь 20						
0,52	150	9300±50	2,1	3,9	8,9	90
2,60	110	9200±70	4,2	8,7	30,2	80
6,8	до 60	9000±50	8,5	10,2	62,4	50
Сталь 40						
0,52	до 180	9500±50	1,9	3,8	8,7	90
2,60	до 130	9300±50	3,9	8,5	15,3	80
6,8	до 80	9100±50	7,8	11,3	58,1	60

У роботі [9] показано, що при електроіскровий обробці сплавів на основі заліза виникає значне зменшення розмірів блоків субструктури, збільшення щільності дефектів і зростання мікрвикривлень у зоні термічного впливу. Такі зміни в мікроструктурі і субструктурі сталі призводять до помітного підвищення мікротвердості «білого шару» (рис. 2). Певну роль у підвищенні твердості можуть грати елементи атмосфери (азот, кисень), які, переходячи під дією електри-

чних розрядів в активний стан, можуть взаємодіяти з поверхневими шарами і зміцнювати матеріал.

Наявність у консистентній речовині сірки сприяє процесу сульфидування. У таблиці 3 представлена зміна вмісту сірки за глибиною від поверхні сталі 20 після ЕІЛ з енергією розряду 6,80 Дж. Так, на поверхні кількість сірки максимальна і зменшується в міру віддалення від поверхні.

Таблиця 3 – Вміст сірки в поверхневому шарі сталі 20 при одночасному насиченні сталі вуглецем, сіркою і алюмінієм методом ЕІЛ

Відстань від поверхні, мкм	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Вміст сірки, %	0,21	0,15	0,12	0,09	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03

Отже, дослідження показали, що отримані багатоконпонентні Al-C-S покриття мають достатню високу твердість (9000-9300 МПа), товщину (60-150 мкм) і суцільність (до 90%) шару. Шорсткість обробленої поверхні рекомендується зменшити застосуванням безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО) [13].

но для підвищення зносостійкості та забезпечення припрацьовуваності поверхонь шийок колінчастого валу поршневого компресору ЗВШ-1,6-3/46, виготовленого зі сталі 40X після термічної обробки (термопідішення) (рис. 4). Нами показано, що пропоновану технологію рекомендується застосовувати у промислових умовах.

Розроблену технологію отримання Al-C-S застосова-



Рис. 4 – Електроіскрова обробка шийок колінчастого валу поршневого компресору ЗВШ-1,6-3/46: а – поверхня до обробки; б – процес ЕІЛ; в – поверхня після обробки

Висновок

Таким чином, досліджені особливості структуроутворення Al-C-S покриттів, отриманих методом ЕІЛ. Вивчено вплив режимів ЕІЛ на якісні параметри Al-C-S-покриттів. При значному збільшенні енергії розряду (з 0,52 до 6,8 Дж) відбувається зростання шорсткості поверхні і зменшення суцільності покриття. Мікроструктурний аналіз Al-C-S-покриттів на сталі 20 показав, що суцільність і товщина «білого» шару становить 50% і 60 мкм, відповідно (при $W_p = 6,8$ Дж). У свою чергу мікротвердість на поверхні складає 9000 МПа.

Наявність у консистентній речовині сірки сприяє процесу сульфидування: на поверхні кількість сірки максимальна і зменшується в міру віддалення від поверхні.

Пропоновану технологію отримання Al-C-S застосовано для підвищення зносостійкості та забезпечення прирацьовуваності поверхонь шийок колінчастого валу поршневого компресору ЗВШ-1,6-3/46. Показано, що пропоновану технологію рекомендується застосовувати у промислових умовах.

Список використаної літератури:

1. Екологічна безпека експлуатації компресорного і насосного обладнання: монографія / В. А. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Б. Антошевський та ін.; за ред. О.В. Радіонова. Суми: Сумський державний університет, 2018. 282 с.
2. Малькова Н.Ю. Недостатки процессов и перспективные способы химико-термической обработки. *Успехи современного естествознания*. 2007. № 12-1. С. 124-124.
3. Tarelynyk V.B., Gaponova O.P., Kirik G.V., Tarelynyk N.V., Mikulina M.O. Cementation of steel details by electrospark alloying. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2020. Vol. 42(5). P. 655-667. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.05.0655>
4. Kirik G.V., Gaponova O.P., Tarelynyk V.B., Myslyvchenko O.M., Antoszewski B. Quality Analysis of Aluminized Surface Layers Produced by Electrospark Deposition. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2018. Vol. 56, Issue 11-12. P. 688–696. <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>
5. Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Antoszewski B., Kundera C., Martsynkovskyy V., Dovzhyk M., Dumanchuk M., Vasilenko O. Application of Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures Formed by Electrospark Alloying for Protecting Surfaces of Compression Joints Parts. *Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019)*. Springer Proceedings in Physics. 2019. Vol. 240. P. 195–209. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_18
6. Спосіб цементації сталевих деталей електроискровим легуванням: пат. 142822 України на корисну модель: МПК (2020.01) C23C 8/00, C23C 28/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В.С., Гапонова О. П., Мисливченко О.М., Пирогов В.О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д.; заявл. 11.02.2020; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. С. 10.
7. Спосіб сульфидування поверхні сталевих і чавунних деталей методом електроерозійного легування: пат. 117528 України на винахід: МПК В23Н 1/04 (2006.01), C23C 8/60 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Білоус А. В., Жуков О. М., Косенко П. В., Гапонова О. П.; заявл. 24.11.2016; опубл. 10.08.2018, Бюл. № 15.
8. Кирик В. Г., Тарельник В. Б., Гапонова О. П., Конопляченко Е. В., Колодненко В. Н., Бало П. Н. Исследование свойств жаростойких функциональных покрытий, сформированных методом электроискрового легирования. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. №4 (54). С. 17–22.
9. Химухин, С. Н. Структура и свойства металлов и сплавов при электроискровом воздействии : монография / С. Н. Химухин, Хосенри, Э. Х. Ри. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. 127 с.
10. Тарельник В. Б. Модернизация и ремонт роторных машин: монография / В. Б. Тарельник, В. С. Марцинковский. Сумы: Издательство «Казацкий вал», 2005. 364 с.

Gaponova O. P., Sumy State University (Ukraine)

Getsovich E. M., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Development of technology for applying Al-C-S coatings of steel surfaces by electrospark alloying

The analysis of ways to improve the efficiency of pumping equipment in agriculture. The use of new technologies to improve the quality of the modernized units parts working surfaces is relevant. The paper proposes a new technology for obtaining complex Al-C-S coatings obtained by ESA on steel surfaces in order to increase the hardness, wear resistance and running-in of friction surfaces. The features of structure formation of Al-C-S coatings obtained by ESA are investigated. The effect of ESA modes on the quality parameters of Al-C-S-coatings on steels 20 and 40 was studied. With a significant increase in the discharge energy (from 0.52 to 6.8 J), the surface roughness increases and the coating continuity decreases. Microstructural analysis of Al-C-S-coatings on steel 20, that the continuity and thickness of the "white" layer is 50% and 60 μm , respectively (at $W_p = 6.8$ J). In turn, the microhardness on the surface is 9000 MPa. The distribution of sulfur in the coating has been studied: the amount of sulfur is maximum on the surface and decreases from surface to base. The proposed technology for obtaining Al-C-S coatings is used to increase wear resistance and ensure the running-in of the surfaces of the crankshaft journals of the 3VSh-1.6-3 / 46 piston compressor. It is shown that the developed technology is recommended to be applied in industrial conditions.

Key words: agriculture, electrospark alloying, coating, microstructure, crankshaft, pump.

Дата надходження до редакції: 26.01.2020

ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ РЕГІОНУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ БІОМАСИ В ЯКОСТІ ПАЛИВА

Семірненко Юрій Іванович

кандидат технічних наук доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-4230-4614
e-mail: usemirnenko@gmail.com

Семірненко Світлана Леонідівна

кандидат технічних наук доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-9304-3637
e-mail: semirnenkosv@gmail.com

Екологія ставить перед людством задачу стабілізувати клімат через зміну культури споживання первинних енергоносіїв. В роботі представлена можливість зменшення викидів діоксиду вуглецю за рахунок заміщення вугілля соломом сільськогосподарських культур та визначено необхідний відсоток соломи для заміщення від загального її об'єму. У процесі дослідження використаний розрахунково-конструктивний, системно-аналітичний і статистико-економічний методи. За рахунок раціональної утилізації великої кількості побічної продукції рослинництва можна отримувати високоякісне екологічно безпечне тверде біопаливо.

Ключові слова: забруднення, викиди, діоксид вуглецю, відходи, солома, довкілля.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.2>

Вступ та постановка проблеми. Екологічні параметри стають все більш важливою складовою позиціонування країни на світовій арені, в оцінці конкурентоспроможності регіонів, міст, підприємств.

Як зазначається в Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем. Міністерство екології та природних ресурсів України в Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні зазначає, що найбільше забруднюючих речовин надходить в атмосферу: зі стаціонарних джерел – 63,2 % викидів від їхнього загального обсягу; від пересувних джерел – 36,8 % [1].

Щодо забруднюючих речовин які надходять в атмосферу в Сумській області: зі стаціонарних джерел – в середньому 65 % викидів від загального обсягу; від пересувних джерел – близько 35 %. Викиди діоксиду вуглецю: зі стаціонарних джерел – в середньому 85 % викидів від загального обсягу; від пересувних джерел – близько 15 % [2].

Найвагомішим стаціонарним джерелом забруднення атмосферного повітря є енергетика, яка є головним споживачем невідновлювальних імпортованих ресурсів, що приводить до загрози національній безпеці країни. Це стосується як власне енергетики, так і підприємств малої енергетики. У цих умовах надзвичайно важливою є інтеграція енергетики й екології.

Оскільки вугілля є найбільш вуглецевмісним паливом, збільшення його частки у паливно-енергетичному балансі призведе до зростання шкідливих викидів. При цьому Сумська область має досить значний потенціал відходів сільськогосподарської біомаси, доступної для виробництва екологічно чистої енергії.

У наш час екологія ставить перед людством непросту задачу: стабілізувати клімат чи хоча б пом'якшити невідворотні наслідки його зміни. Для цього в першу чергу слід

змінити культуру споживання природних ресурсів, особливо первинних енергоносіїв. Необхідно також вийти на принципово новий рівень екологічної свідомості та поведінки, що не припускає конфронтації між економікою та екологією.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Порушена проблема досліджується як у світовій, так і у вітчизняній науковій літературі. Теоретичні засади та практичні механізми екологічно безпечного та економічно ефективного використання біомаси рослинного походження у якості палива знайшли відображення в працях вітчизняних дослідників, серед яких: А. Долінський, М. Жовмір, Г.Гелетуха, Т. Железна, Е. Олейник, Г. Голуб, В. Мироненко, В. Дубровін, В. Здановський, В. Білодід та ін. [3, 4, 5, 6].

Україна активно співпрацює із закордонними організаціями, що працюють в галузі отримання енергії з біомаси: BTG Biomass Technology Group BV (Нідерланди); E.V.A., Austrian Energy Agency (Австрійське енергетичне агентство); KARA Energy Systems (Нідерланди); SCS Engineers (США); Danish Agricultural Advisory Centre (Датський сільськогосподарський консультативний центр); TNO –MEP (Нідерланди); University of Southern Denmark (Університет Південної Данії) та ін.

Враховуючи те, що лісистість України є найнижчою в Європі, використання лісової біомаси в значних об'ємах у якості палива суперечить екологічній безпеці країни. Тому, основною рослинною біомасою, яка може бути використана у якості заміника викопних палив для стаціонарних джерел енергії є стеблова частина сільськогосподарських культур.

В роботах [4, 9] вважається, що використання 20% ресурсів соломи в Україні (ця кількість соломи щорічно втрачається) в енергетичних цілях дозволить покращити екологічну ситуацію, а також частково забезпечити власними енергетичними ресурсами агропромисловий комплекс. В деяких роботах припускається, що 30-35 % від усієї соломи можна використовувати в якості палива без впливу на майбутній урожай.

Методологія досліджень. Основними джерелами технічної інформації слугували закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», статистичні дані, монографічна література вітчизняних та зарубіжних дослідників, особисті розробки та дослідження авторів. Дані по визначенню викидів CO₂ від спалювання вугілля та заміщення його соломом взяті з фундаментальних праць вітчизняних і зарубіжних вчених. У процесі дослідження використаний розрахунково-конструктивний, системно-аналітичний і статистико-економічний методи.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість публікацій з цієї проблематики, гострота дискусійних питань та проблем не зменшується, а необхідність продовження пошуку альтернативних джерел енергії та шляхів зниження техногенного навантаження на довкілля залишається, зокрема дослідження потенціалу ринку виробництва твердого біопалива в Україні, що в кінцевому підсумку може частково вирішити проблему енергетичної незалежності України та екологічні проблеми.

Виробництво і використання біопалива для виробітку теплової і електричної енергії в Україні на даний час має епізодичний характер і освоєно лише окремими підприємствами, а участь держави зводиться до постачання біоенергетичної сировини на світовий ринок.

Системи отримання палива із біомаси повинні бути інтегровані з системами виробництва продовольства і матеріалів. Знання того, де і коли слід переорієнтуватися з виробництва продовольства і матеріалів на виробництво палива такі ж важливі, як і знання того, як виробляти це паливо.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). У даний час висловлюються кардинально протилежні думки з приводу ефективності та перспектив виробництва біопалива, що потребує додаткових досліджень і узагальнень. Шляхом збалансованого використання наявного потенціалу рослинної галузі сільського господарства країни та впровадження новітніх технологій переробки відходів, можна успішно вирішувати як продовольчу проблему, так і проблему енергетичної та екологічної безпеки.

В Україні щорічно утворюється близько 50 млн т целюлозомістких відходів, на даний час близько 2% від потенціалу первинних сільськогосподарських відходів використовується в енергетичних цілях [4, 5, 9], що є неприпустимо мало в порівнянні з передовими країнами світу.

Завданнями є: зниження рівня забруднення атмосферного повітря, стимулювання заміщення первинних природних ресурсів за рахунок використання відходів сільського господарства чи побічних продуктів рослинництва, у тому числі упровадження сталої системи управління відходами, розв'язання екологічних проблем, відновлення та збереження навколишнього природного середовища.

Метою роботи є визначення можливого зменшення викидів діоксиду вуглецю за рахунок заміщення вугілля соломом сільськогосподарських культур та визначення необхідного відсотку даної соломи від загального її об'єму для поліпшення якості атмосферного повітря і досягнення цілей сталого низьковуглецевого розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Навколишнє середовище щорічно у світі забруднюється оксидами вуглецю (CO₂, CO) від згорання надрових видів палив,

що призводить до небезпечного погіршення екологічної ситуації та виникнення парникового ефекту.

Солома, як і біомаса в цілому, є CO₂-нейтральним паливом (споживання CO₂ з атмосфери в процесі зростання злакових культур відповідає емісії CO₂ в атмосферу при спалюванні соломи). Враховуючи додаткові викиди CO₂ при зборі, транспортуванні і підготовці соломи для спалювання, зниження емісії CO₂ при заміні вугілля на соломом складає близько 90 % [4].

Збільшення частки вугілля в паливно-енергетичному балансі України, що зумовлено стратегічними рішеннями уряду поступово зменшити роль імпортного газу в економіці України для досягнення енергетичної безпеки, може призвести до вкрай негативних наслідків для екологічної безпеки. Спалення вугілля щодня продукує величезні обсяги викидів парникових газів, які є головною причиною зміни клімату. Забруднення повітря внаслідок роботи вугільних електростанцій є причиною підвищення чисельності респіраторних і серцево-судинних захворювань. Крім того, що вугілля – найбільш вуглецевмісне паливо, вугільна промисловість спричиняє низку серйозних екологічних проблем: забруднення повітря, зміна геологічного, гідрологічного та гідрохімічного режимів територій на яких розташовані вугледобувні підприємства.

Просідання земної поверхні над виробками супроводжується підтопленням та пошкодженням ґрунтовими водами будівель та комунікацій, вимоканням насаджень та зміною рослинних формацій на болоті. Не менш шкідливим є також скидання шахтних вод безпосередньо у річкову мережу. Водночас, спустошення водоносного комплексу внаслідок інтенсивного дренажування може в недалекому майбутньому призвести до перетворення територій Півдня та Сходу України у пустелю [8].

Значну проблему становить накопичення та зберігання твердих відходів вугільної промисловості. Видобуток 1 млн т вугілля призводить до забруднення та руйнування 4 га землі і 83 га в результаті роботи середньостатистичної шахти. Крім того, досить часто відбувається самозаймання відвальних порід. У середньому за добу з одного відвалу, що горить, в навколишнє середовище викидається 150 тонн діоксиду вуглецю, 1,5 тонни діоксиду сірки, 0,4 тонни сірководню, 0,1 тонна оксидів азоту. Пил з териконів містить велику кількість токсичних сполук. Повітря також забруднюється внаслідок вентиляції шахт. Так, протягом року викидається близько 5,6 млрд. м³ метану, що є потужним парниковим газом. Починаючи від видобутку і закінчуючи спалюванням, вугілля забруднює навколишнє середовище на кожному етапі виробничого циклу. Існує ряд технологій, які зменшують, але не нівелюють, викиди від спалювання вугілля [7, 8].

Широке використання сировини солом'яної біомаси сільськогосподарських культур для енергетичних цілей дає можливість значно заощаджувати енергетичні і сировинні ресурси, знижувати забруднення навколишнього середовища, а також створити велику кількість додаткових робочих місць. Останнє є особливо актуальним для депресивних сільських населених пунктів.

Відходи сільськогосподарського виробництва у вигляді продукції рослин і відходів деревини садівництва давно привертають увагу енергетиків і екологів. Найбільш ефективним методом утилізації будь-яких відходів є їх викорис-

тання як заміників природних ресурсів і органічного палива. Їх особливістю є доступність, значні запаси і простота використання. Але доводиться констатувати, що ці вигідні для використання ресурси просто спалюються або стають тягарем для суспільства у вигляді гниючих залишків.

Найбільша частка викидів парникових газів в Україні припадає на діоксид вуглецю, тому зниження техногенного навантаження на довкілля можливе шляхом зменшення шкідливих викидів при спалюванні традиційних палив та суворої заборони неорганізованого спалювання надлишку соломи на полях, зменшення обсягів викидів в атмосферу парникових газів за рахунок заміщення викопних палив CO₂-нейтральним паливом.

Таблиця 1 – Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у Сумській області (2016-2018 рр.)

Роки	Викиди забруднюючих речовин тис. т	Викиди діоксиду вуглецю, тис. т
2016	19,8	1602,2
2017	20,3	1676,3
2018	20,8	1814,2

В Сумській області (табл. 1) обсяги викидів збільшуються. У порівнянні з 2016р., у 2018р. обсяги викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами збільшились

Значення викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в Сумській області наведено в табл. 1, 2.

Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в Сумській області за видами економічної діяльності у 2018 році наведені в табл. 2.

У розрізі видів економічної діяльності найбільші обсяги викидів діоксиду вуглецю в Сумській області припадають на постачання енергоносіїв засобом постійної інфраструктури (електроенергії, газу тощо). Відсоток викидів діоксиду вуглецю від економічної діяльності сільського, лісового та рибного господарства в Сумській області становить 3,1%.

Таблиця 2 – Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю¹ в атмосферне повітря за видами економічної діяльності у Сумській області у 2018 році

Показники	Кількість викидів забруднюючих речовин		Кількість викидів діоксиду вуглецю	
	тис. т	у % до підсумку	тис. т	у % до підсумку
Усього	20,8	100,0	1814,2	100,0
Сільське, лісове та рибне господарство	1,4	6,7	57,1	3,1
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	3,5	16,8	85,1	4,7
Переробна промисловість	7,1	34,1	431,7	23,8
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	5,5	26,4	1040,7	57,4
Транспорт, складське господарство, поштова діяльність	0,7	3,4	174,7	9,6
Інші види діяльності	2,7	13,0	25,1	1,4

¹ Від стаціонарних джерел забруднення.

Значення викидів діоксиду вуглецю в Сумській області за 2018 рік від економічної діяльності в сільському, лісовому та рибному господарстві перевищує значення даних викидів по Україні в 3,4 рази, в постачанні електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря – перевищує середнє по всій країні в 1,06 рази (табл. 2) [1].

Значну кількість стаціонарних забруднювачів атмосферного повітря складають енергогенеруючі установки, які спалюють кам'яне вугілля. В енергетичному балансі країни за 2018 рік відсоток загального постачання первинної енергії за рахунок спалювання вугілля становив 29,6% [2]. Тому, заміщення вугілля еквівалентною кількістю солом'яної біомаси дасть значне скорочення викидів парникових газів, оскільки спалювання вугілля є одним із суттєвих їх джерел. Солома, як і біомаса в цілому, є CO₂-нейтральним паливом, тобто споживання CO₂ з атмосфери в процесі зростання злакових культур відповідає емісії CO₂ в атмосферу при спалюванні соломи.

Заміщаючи традиційні джерела енергії на поновлювані і CO₂-нейтральні, наприклад біомасу, можна не тільки скоротити викиди, а й отримати прибуток від продажу квот.

В основу методики розрахунку викидів CO₂ по потен-

на 5%. Така тенденція прослідковується і з викидами діоксиду вуглецю. Кількість даних викидів у 2018 році збільшилась на 12,5% у порівнянні з 2016 роком.

ціалу солом'яної біомаси покладена різниця між викидами CO₂ від спалювання вугілля і спалювання солом'яної біомаси, які залежать від багатьох факторів, в т.ч. і від виду вугілля та біомаси. Значення коефіцієнтів утворення CO₂ для вугілля і біомаси можуть суттєво відрізнятись. Тому для подальших розрахунків було прийнято усереднене співвідношення: при спалюванні 1000 кг вугілля утворюється 2000 кг CO₂ (коефіцієнт утворення $K_{\text{вуг CO}_2} = 2$), а при спалюванні 1000 кг біомаси – 40 кг CO₂ (коефіцієнт утворення $K_{\text{б CO}_2} = 0,04$) [10].

Як було вказано раніше, теплотворна здатність соломи прийнята в два рази нижчою за вугілля [4]. Для отримання одиниці енергії з соломи треба спалити її, відповідно, в два рази більше, ніж вугілля.

Тобто, спалюванню 1000 кг вугілля буде відповідати 2000 кг соломи. Відповідно викиди CO₂ від спалювання даної маси соломи будуть становити 80 кг. При виробітку одиниці енергії викиди CO₂ при заміщенні солом'яною вугілля будуть становити 4% ($K_{\text{зн CO}_2} = 25$).

Об'єми споживання вугілля стаціонарними джерелами в Сумській області наведені в табл. 3 [2].

Таблиця 3 – Споживання вугілля стаціонарними джерелами

Споживачі	Спожито вугілля, тис. т		
	2016р.	2017р.	2018р.
Сумська область	96,0	91,6	108,6

Розрахункові дані по визначенню викидів CO₂ від спалювання вугілля та заміщення його соломомою, виходячи із об'ємів споживання вугілля в Сумській області (табл. 4).

Таблиця 4– Викиди діоксиду вуглецю при спалюванні вугілля та заміщенні його соломомою

Споживачі	Викиди CO ₂ , тис. т					
	2016р.		2017р.		2018р.	
	при спалюванні вугілля	при спалюванні соломи	при спалюванні вугілля	при спалюванні соломи	при спалюванні вугілля	при спалюванні соломи
Сумська область	192,0	3,84	183,2	3,66	217,2	4,34

Зменшення емісії діоксиду вуглецю при такому ж заміщенні вугілля соломомою для Сумської області показано на (рис. 1).

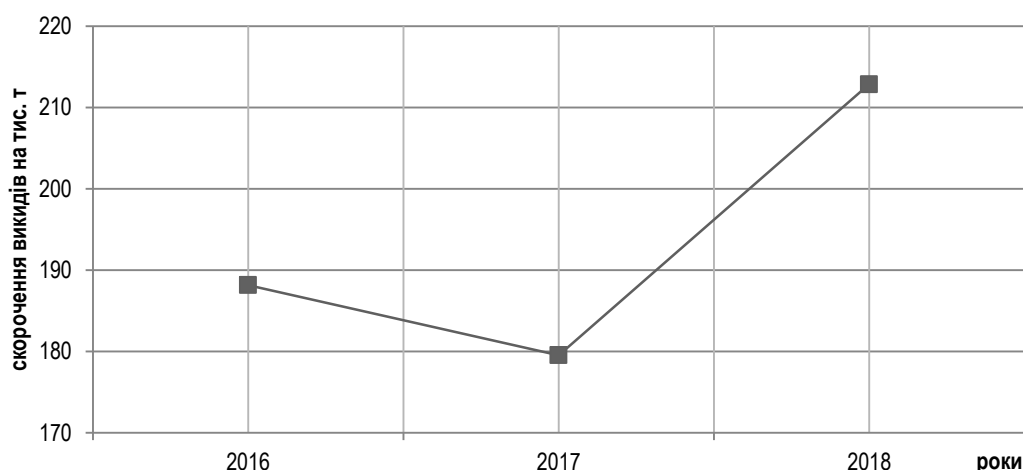


Рисунок 1 – Зниження емісії діоксиду вуглецю при заміні вугілля на соломомою в Сумській області

Скорочення викидів від заміни вугілля соломомою пов'язано із зміною використання вугілля в різні роки в Сумській області.

Визначимо необхідні об'єми соломи для заміщення вугілля з метою зниження емісії діоксиду вуглецю (на прикладі Сумської області).

Приймаємо, згідно [4], що теплотворна здатність соломи в два рази нижча, ніж вугілля. Тоді, для заміщення вугілля необхідно соломи по роках: 2016р. – 192,0 тис. т, 2017р. – 183,2 тис. т, 2018р. – 217,2 тис. т.

Існують різні погляди щодо оцінки потенціалу соломи в Україні. Такі оцінки стали актуальними тільки з появою попиту на соломомою. Деякі дослідники стверджують, що великі обсяги соломи необхідні для годівлі тварин та удобрення ґрунтів. Однак, у сучасному тваринництві використовується незначна кількість соломи. А для підтримки родючості ґрунтів немає необхідності у використанні великих обсягів соломи [5].

Однією із основних зернових культур Сумщини, як за площею посіву, так і за валовим збором, є пшениця. В структурі виробництва більше половини припадає на озимомою, яка характеризується врожайністю в межах 40 ц/га. На перспек-

тиву передбачається відносно стаке виробництво пшениці.

Враховуючи, що озимомою пшениця в структурі зернових культур Сумського регіону займає в середньому близько 30 % і є технічно доступною для використання в енергетиці, а також не використовується на корм тварин, пропонуємо використовувати в енергетичних цілях не 20 % від соломи всіх зернових культур, а 51-83 % (при $k_{е.оз.пш} = 0,51-0,83$) від соломи озимомою пшениці в залежності від зміни її валового збору відносно виробництва зернових культур, що в свою чергу залежить від погодно-кліматичних умов і площ вирощування.

Враховуючи вище зазначене, у розрахунках прийматимемо для заміщення вугілля соломомою озимомою пшениці.

В табл. 5 наведені дані по валовому збору озимомою пшениці в Сумській області згідно статистичних даних [2], та наведені дані розрахунків технічно доступного потенціалу її соломи. При розрахунках технічно доступного потенціалу було прийнято коефіцієнт відношення мас для озимомою пшениці – 1, коефіцієнт технічної доступності для соломи озимомою пшениці – 0,8. Тобто, знаючи вказані коефіцієнти та валовий збір озимомою пшениці визначаємо технічно доступний потенціал її соломи по роках.

Таблиця 5 – Валовий збір озимомою пшениці в Сумській області та технічно доступного потенціалу її соломи

Озима пшениця	Роки		
	2016	2017	2018
Валовий збір, тис. т	924,1	1018,5	894,2
Технічно доступний потенціал, тис. т	739,28	814,8	715,36

Для заміщення вугілля з метою зниження емісії діоксиду вуглецю соломомою в Сумській області визначаємо необхідний відсоток від валового збору соломи озимої пшениці з урахуванням технічно доступного потенціалу. Для порівняння наведені значення відсотку від загального об'єму соломи зернобобових культур використовуючи попередню методи-

ку. Коефіцієнти мас і технічної доступності приймемо як і для озимої пшениці. Для розрахунків було прийнято, що теплотворна здатність соломи у два рази нижча за теплотворну здатність кам'яного вугілля [4]. Дані розрахунків наведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Відсоток від технічно доступного потенціалу соломи зернобобових культур в Сумській області для заміщення вугілля з метою зниження емісії діоксиду вуглецю

Роки	% від технічно доступного потенціалу соломи озимої пшениці	% від технічно доступного потенціалу соломи зернобобових
2016	25,97	6,29
2017	22,48	6,21
2018	30,36	6,07

Як видно з табл. 6, для заміщення вугілля соломомою в Сумській області з метою зниження емісії діоксиду вуглецю необхідно використати, наближено, четверту частину соломи озимої пшениці або дещо більше шести відсотків технічно доступного потенціалу соломи зернобобових культур. Цей показник значно нижчий загально прийнятого в країнах ЄС.

Висновки:

1. Найбільша частка викидів парникових газів припадає на діоксид вуглецю, близько 74% від сумарних викидів, основними джерелами даних викидів є стаціонарні джерела.
2. Заміна частки вугілля біомасою у паливно-енергетичному балансі призведе до значного зменшення

викидів діоксиду вуглецю.

3. Для заміщення викопних палив найбільш доцільною для Сумської області є рослинна сільськогосподарська біомаса.

4. В Сумській області достатньо використання 6,3% від загального об'єму соломи зернобобових культур для заміщення вугілля, що знизить емісії діоксиду вуглецю.

5. Збільшення в енергетичному балансі країни відсотку соломи сільськогосподарських культур суттєво знизить емісії діоксиду вуглецю в атмосферне повітря, забезпечить більшу енергетичну незалежність країни від імпорتنих енергоносіїв.

Список використаної літератури:

1. Статистичний щорічник України за 2018 рік [Електронний ресурс] / Держ. служба статистики України / відп. за вип. О. А. Вишневська. – Електрон. дані. – Ж., 2019. – 482 с. – Режим доступу до журн.: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/11/zb_yearbook_2018.pdf
2. Статистичний збірник "Довкілля Сумщини за 2018 рік" Головне управління статистики у Сумській області Режим доступу до журн.: http://sumy.ukrstat.gov.ua/data/031019_zb_dovkily19.pdf
3. Біомаса як паливна сировина / Г.Г. Гелетуша, М.М. Жовмір, Є.М. Олійник, С.В. Радченко // Пром. теплотехніка. – 2011. – Т. 33. – №5. – С. 76–84.
4. Гелетуша Г. Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, О. І. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2013. – № 3. – С.56-63.
5. Голуб Г.А. Інженерні проблеми виробництва і використання біопалив в АПК / Г.А. Голуб, В.О. Дубровін // Вісник аграрної науки. – 2010. – Спеціальний випуск, травень. – С. 82–87.
6. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І.Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетник, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
7. Основні проблеми розвитку вугільної галузі і регіону Донбасу: звіт/ Донецький інформаційно-аналітичний центр, Центр економічного розвитку, Вугільний консалтинговий центр. – К., 2002. – 137с.
8. Проблеми вугільної промисловості України та викиди парникових газів від видобутку й споживання вугілля : доповідь / Національний екологічний центр України; [авт.: Ю. Огаренко; за ред.: О. Пасюка; літ. ред.: О. Заворотна; дизайн Б. Самойленко; фото: П. Еркен; макет: Н. Антонова]. – Київ. – 2010. – 53 с.
9. Семірненко Ю.І. Вторинна продукція сільського господарства як альтернативне джерело енергії / Ю.І. Семірненко, С.Л. Семірненко // Вісник Сумського національного аграрного університету: (механізація та автоматизація виробничих процесів). – 2006. – Вип. 9(15). – С. 184–188.
10. Голованьова Г. М. Перспективи реалізації інноваційних проектів з використанням поновлювальних джерел енергії / Г. М. Голованьова // Управління інноваційним процесом в Україні: проблеми комерціалізації науково-технічних розробок : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної відеоконференції, Львів, 23–24 травня 2012 р. / Національний університет "Львівська політехніка" та ін. – Львів : Видавництво "Львівська політехніка", 2012. – С. 15–16.

Semirnenko Y.I., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Semirnenko S.L., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Solving the environmental problems of the region through the use of plant agricultural biomass as fuel

Ecology challenges humanity to stabilize the climate by changing the culture of consumption of primary energy sources. As coal is the most carbonaceous fuel, increasing its share in the fuel and energy balance will lead to an increase in harmful emissions. At the same time, Sumy region has a significant potential for agricultural biomass waste, available for the production of clean energy.

Currently, radically opposite views are expressed on the efficiency and prospects of biofuel production, which requires additional research and generalizations. By balancing the existing potential of the country's agricultural sector and introducing the latest waste processing technologies, it is possible to successfully solve both the food problem and the problem of energy and environmental security.

The main sources of technical information were the Law of Ukraine "On Basic Principles (Strategy) of State Environmental Policy of Ukraine until 2030", statistics, monographs of domestic and foreign researchers, personal development and research of the authors. Data on the determination of CO₂ emissions from coal combustion and its replacement by straw are taken from the fundamental works of domestic and foreign scientists. In the course of research calculation-constructive, system-analytical and statistical-economic methods are used.

The largest share of greenhouse gas emissions is accounted for by carbon dioxide, about 74% of total emissions; the main sources of these emissions are stationary sources. Replacing the share of coal with biomass in the fuel and energy balance will lead to a significant reduction in carbon dioxide emissions. Vegetable agricultural biomass is the most expedient for Sumy region to replace fossil fuels. In Sumy oblast, it is enough to use 6.3% of the total volume of legume straw to replace coal, which will reduce carbon dioxide emissions. Increasing the percentage of crop straw in the country's energy balance will significantly reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere, will ensure greater energy independence of the country from imported energy.

Key words: pollution, emissions, carbon dioxide, waste, straw, environment.

Дата надходження до редакції: 29.01.2020

DETERMINATION OF THE MOVEMENT SPEED OF SEED ON THE DISTRIBUTOR OF COULTER FOR THE SUBSOIL-SPREADING METHOD OF SOWING

Zayets Maksym Leonidovych

Ph.D. in Engineering Science, associate professor
Zhytomyr National Agroecological University
ORCID: 0000-0002-2290-1892
e-mail: mzaec81@gmail.com

Antonov Oleg Petrovich

Master's Degree in Agricultural Engineering
Zhytomyr National Agroecological University
ORCID: 0000-0002-2290-1892

In the article we examine the determination of the distributor optimal shape and the seeds distribution process by combined distributor in the form of a curved prism. Based on calculations we found out that seeds distribution uniform for bandwidth depends on the distributor shape that is sown with the opener for cereals continuous sowing. Formulas for determining the seed speed on the distributor surface were recorded, depending on changes of structurally technological parameters including generating circle prism diameter. It was recorded the mathematical model of the coordinates and the seed trajectory and the range flight seed of ideal forms. Uniformity of seeds distribution for opener widths will be characterized by the seeds flow speed on the distributor sloping plot of guiding and coordinates falling on the distributor surface. The effect of the distributor sloping plot length on seeds uniformity distribution was researched, the obtained dependences of the flight distance determining on the seeds distributor sloping plot length and seeds uprising speed through which the optimal lengths of sloping plot was selected. The paper presents the main results of theoretical studies and recommendations for this type of passive distributors use in opener for subsoil-spreading crops sowing method.

The value of the length of the slope is selected based on the range and uniformity of the distribution of the seed and is 60 mm. The combined distributor can distribute seeds of grain crops at a width of 95-100 mm. When conducting two-factor experiments, it was established that the best distribution index of seeds has a combined distributor made in the form of a two-way curvilinear prism. The design of the coulters for subsoil and spreading of seed of grain crops with a combined seed distributor is developed. During the previous experiments and the search multivariate experiment, the linear regression equations were specified and the most significant factors influencing the optimization parameter were determined.

Theoretical dependence for determination of constructive parameters of the distributor are received as follows: speed of convergence from the curved generatrix from the diameter of the circle diameter of the circle generatrix of brachistichrone; distance of the seed distribution (parametric form) from the constructive parameters of the with surface at an angle (length of the surface at an angle and angle of its installation to the horizon), usage of which allows to determinate optimal parameters of the determinator and surface for the supporting of seed sowing on the operating width of the coulters with necessary distance and equability.

Speed of the seed movement from the curved generatrix of coulters depends on the diameter of the circle generatrix of brachistichrone and coordinate of the seed hitting on the curved surface.

Key words: speed, sowing, distributor, generator, equitability.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.3>

Introduction

The substantial difference between raw seeders and seeders for subsoil-spreading method of sowing – is the sunflower construction, specifically its distribution unit. Seeder coulters for subsoil spreading method of sowing are commonly made as cultivator steel with different operating width (Vasylenko P.M., 1960; Heege H. J. 1993).

Seed distributor is one of the main elements of the coulters, which have an effects on the equitability of technical material on the field area and increasing of the sowed border area. Different forms of removers and constructions of the distribute units of coulters for subsoil spreading method of sowing are caused by increasing of the equitability of seeds on the field area.

Explorers (Hevko, 2014; Sysolin, and Sysolina, 2014) proved advantages of distributors with curved generator when seeds slowly change direction of their movement with minimal wastes of the motional energy on the working area and where they are compiled to the under coulters space and is sowed on the furrow sole.

To search top performance of the movement speed in the point of convergence, the curve shall fulfil conditions of the most quick movement of elements during certain interval.

Exploration by A.A. Kirov is devoted to the theoretical and experimental researches of seed movement on the curved generator. He examines brachistichrone as combination of a straight section and a circle of a constant radius r , and explores seed movement on the curve generator as movement of seeds on such a circle.

Materials and methods

Taking into account that process of seed distributor during subsoil spreading method of sowing is selective, as it's determined by the large number of factors that cannot be included, so this process must be dealt with according to the laws of probability (Romanyshyn, and Zayets, 2006; Hevko, and Pavelchuk, 2016; Lisovyi, et. al., 2016). In this regard different types of technological schemes of the coulters distributor units are proposed for further study.

Results of the research and discussion

Received formula of the speed of convergence (1) on

the on the curve area of generator V with forecast accuracy can be used for calculation of trajectory and speed of seed movement after convergence from the on the on the curve area of distributor (Romanyshyn, 2006; Zayets, 2006):

$$V = \sqrt{e^{-\pi \cdot f} \left(V_0 \cdot \cos^2 \gamma_0 - \frac{6 \cdot g \cdot r \cdot f}{1 + 4 \cdot f} \right) + 2 \cdot g \cdot r \cdot \frac{1 - 2 \cdot f^2}{1 + 4 \cdot f^2}}, \quad (1)$$

V_0 – speed of seed movement to the curve area of generator, m/s;
 γ_0 - angle between vertical axis and basic direction of speed V_0 ;
 g - acceleration of gravity, m/s.

But in fact radius of brachistichrone curvature changes accordant to the determined theorem. Difference between actual radius of brachistichrone and radius of the circle causes difference between speed of movement from the curve generatrix and estimated generatrix. As speed of seed movement after convergence from the curved area of distributor determinates reserve of kinetic energy, which can lead to range of seed distribution in undercoulter area, so in its consideration of this matter such an exploration is very important and necessary

stage of theoretical study (Zayets, 2014).

Let's explore movement of single seed on the brachistichrone which is the distributor generatrix (pic.1).

Part of seeds material reaches the curved surface with basic speed V_0 . Weight, friction, centrifugal force and normal pressure make an influence on the seeds during movement on the curve surface.

Cheming forces for normal line and tangent line, we will write a system of differential equations (Vasylenko, 1960):

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \gamma - f \cdot N \quad ; \quad (2)$$

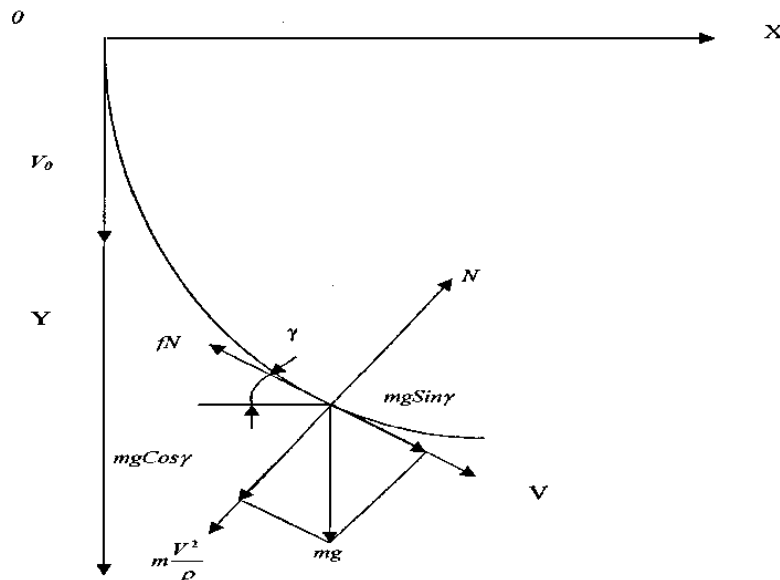
$$N = m \cdot \frac{V^2}{\rho(\varphi)} + m \cdot g \cdot \cos \gamma$$

where: m -mass of seeds, kg;

V – speed of seeds, m/s;

N – normal pressure, H;

γ – angle of arrival, radian;



Picture 1 – Scheme of forces acting on the material point during movement on the brachistichrone

t - time of movement, s;

$\rho(\varphi)$ - radius of the brachistichrone curvature, depending on the rotation angle of the circle generatrix (φ)

Known, that brachistichrone is created by circle, going straight without sliding. So for every point radius of the brachistichrone curve is equal to the circle bisecant AC (pic. 2.).With that one end of the bisecant chord belongs to a straight line along which the circle rolls.

We'll connect points A and C with the circle center O. So an isosceles triangle AOC is as follows:

$$\sphericalangle OCA = \frac{\varphi}{2}; \quad (3)$$

where, φ – is rotation angle of circle after movement during time t .

The right-angled triangle OBC determines the following:

$$BC = OC \cdot \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{d}{2} \cdot \cos \frac{\varphi}{2}; \quad (4)$$

where d - is a diameter of the circle generatrix, m

So, radius of brachistichrone curvature AC is as follows:

$$\rho(\varphi) = d \cdot \cos \frac{\varphi}{2}; \quad (5)$$

We'll move AC parallel to itself up to crossing with brachistichrone (A'C) and draw a horizon line A'C and tangent 1 through the crossing point A:

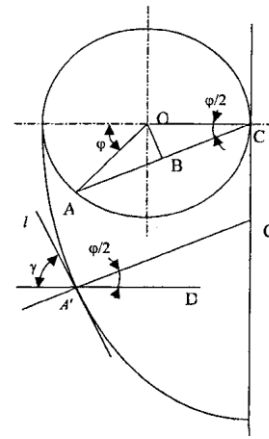
$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \quad (6)$$

We'll take into account that some circle turns on the angle φ during time t:

$$dt = \frac{d\varphi}{V} \rho(\varphi) = \frac{d\varphi}{V} \cdot d \cdot \cos \frac{\varphi}{2};$$

We'll enter values (4), (5) and (6) in system of equations (2), and then receive:

$$V \cdot \frac{dV}{d\varphi} + f \cdot V^2 = g \cdot d \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2} - g \cdot d \cdot \frac{\sin \varphi}{2}; \quad (7)$$



Picture 2 – Scheme for determination of radius of the brachistichrone curvature

Received differential equation is the Bernoulli's equation.

General solution of the equation:

$$V^2 = g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{-2 \cdot f \varphi} \cdot C; \quad (8)$$

where C- constant integration

Constant integration shall be determined accordant to the basic conditions: of generatrix of brachistichrone circle that matches with point of hitting of seeds on the curvature genera-

trix of distributor;

$$\varphi = \varphi_0 - \varphi_1, \quad V = V_0.$$

$$C = e^{2 \cdot f \varphi_1} \cdot \left(V_0^2 - g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right); \quad (9)$$

Taking into account that $\varphi_0 = \pi$, we can note the following:

cal expression 9) and value of angle φ (mathematical expression 10) in equation (8), we'll receive formula for determination of speed convergence of seeds from the on the on the curve generatrix of distributor:

$$\varphi = \pi - \varphi_1; \quad (10)$$

Substitute the value of arbitrary constant C (mathematical

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f (2 \varphi_1 - \pi)} \left(V_0^2 - g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}; \quad (11)$$

During installation of the distributor at an angle to the horizon, (mathematical expression 11) will be as follows:

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f (2 \varphi_1 - \pi)} \left(V_0^2 - g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}; \quad (12)$$

Angle φ_1 is determined as follows:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot a}{d}\right); \quad (13)$$

where a – is a distance from the axis of distributor to the point of seed hitting, m (pic.3).

To analyse relation between speed of convergence and friction coefficient to a small extent within change f change of speed is 5,5... 5,9 %) and affect the speed of convergence.

The main factor which impact on speed of the convergence movement is diameter of the brachisthron circle generatrix. Optimal diameter of circle and, accordingly of geometrical dimensions of the distributor is determined in case of sufficient speed of convergence on the on the curve area of distributor generatrix.

To analyse depending of speed of movement from the coordinates of seed hitting on the curve surface we'll use depending (13) data $a = 0...0,02$ and do math in accordance (12).

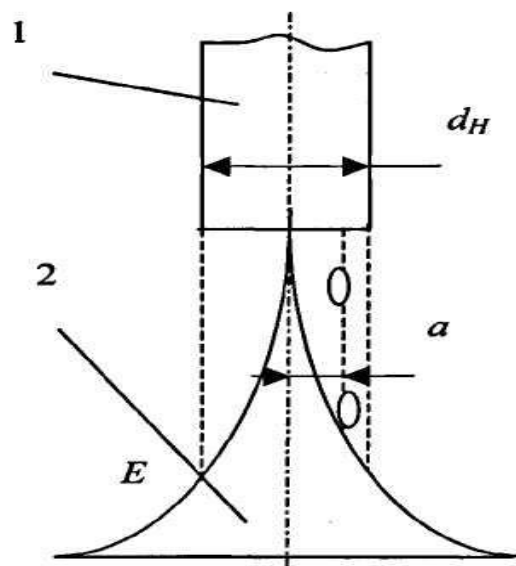
On the basis of calculation, we'll create graphic dependence of the speed movement from the coordinate of the seed convergence on the curve surface of the distributor $V(a)$ (Pic. 5.).

Seeds hitting on the distributor in extreme point (E) of the projection bearing of seed (pic.3) have the top speed as these seeds will traverse less distance on the curve surface and wastes of kinetic energy of the force of friction will be less accordingly. In this case angle φ_1 is determined as following:

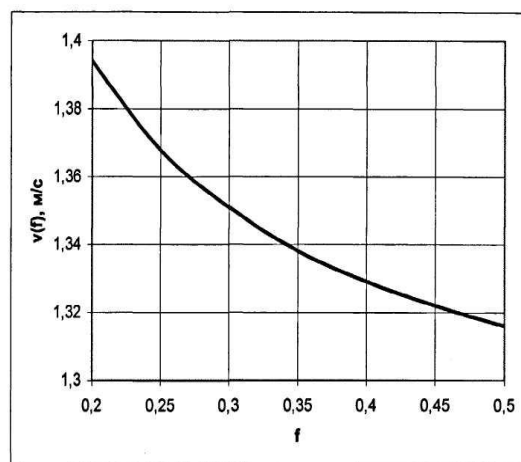
$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{d_H}{d}\right); \quad (14)$$

where d_H – is inner diameter of the guide pin, m :

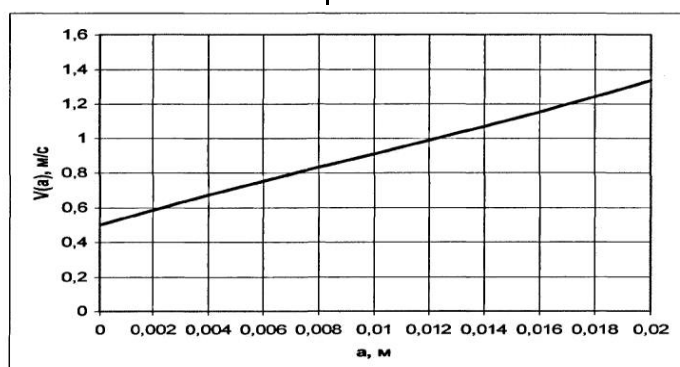
So, received correspondence data (12,13,14) allows to determine speed of seed movement from the curved generatrix in accordance with structural parameters (diameter of the generating circle, diameter of the crossing of reference guide or drill seed tube) of the distributor and coordinates of the seed hitting on the curved surface of distributor. To increase distance of the seed distribution on the line width, sowed by the coulters, the distributor with surface at an angle, which is its base, shall be used.



Picture 3 - Scheme of seed supply on the distributor
1 - Reference guider, 2 - Distributor



Picture 4 - Theoretical dependence of the speed of seed convergence from the coefficient of friction



Picture 5 - Theoretical dependence of the speed of seed from the coefficient of seed hitting on the curved surface of the distributor

Conclusion. Theoretical studies of the process of seed distribution by the combined distributor allows to draw the following conclusions:

1. Distributor is one of methods of increasing the distance of the seed distribution on the width of sawing. Distributor

is a combination of distributor with curved generatrix as a brachisthron, and curved surface generate circle which and is the basic of distributor.

2. Theoretical dependence for determination of constructive parameters of the distributor are received as follows:

speed of convergence from the curved generatrix from the diameter of the circle diameter of the circle generatrix of brachistochrone; distance of the seed distribution (parametric form) from the constructive parameters of the with surface at an angle (length of the surface at an angle and angle of its installation to the horizon), usage of which allows to determinate optimal parameters of the determinator and surface for the supporting of

seed sowing on the operating width of the coulter with necessary distance and equability.

3. Speed of the seed movement from the curved generatrix of coulter depends on the diameter of the circle generatrix of brachistochrone and coordinate of the seed hitting on the curved surface.

References:

- [1] Derevianko D. A., (2015), Influence of technical means and technological processes on seeds injury and quality: Monograph (Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: Монографія), *Zhytomyr: Polissya*, p. 774, Zhytomyr/ Ukraine;
- [2] Heege H. J., (1993) Sowing methods performance for cereals, rape, and beans. *Transactions of the ASAE*, Vol. 36(3). pp. 653–661;
- [3] Nevko B.M., Ljasuk A. L., Pavelchuk Yu. F., et. al., (2014), Technological bases of designing and manufacturing of sowing machines: monograph (Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин: монографія), *Ternopil National Tech. University of I. Puluj.*, p. 236, Ternopil/Ukraine;
- [5] Nevko B.M., Pavelchuk Yu. F., (2016) Investigation of the Seed Distribution Process of Cereal Cultures in the Substrate-Scattering Sowing Method: Theoretical Analysis (Дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підґрунтово-розкидному способі сівби: теоретичний аналіз), Collection of scientific works of the Podilsky State Agricultural and Technical University. Technical sciences., (Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Технічні науки), Vol. 24 (2), pp. 25-32;
- [6] Lisovyi I. O., Boyko A. I., Banny O. O., Pushk O. S., (2016), Justification of the working bodies for the cultivation of the cultivator parameters for direct sowing: Monograph (Обґрунтування параметрів робочих органів очистки сошника для прямої сівби: Монографія), *FOP Alexandrova M.V.*, p. 160, Kirovograd/ Ukraine;
- [7] Romanyshyn O.Y., Zayets M.L., (2006) Sowing machine for spreading method of corn sowing (Сошник для розкидного способу сівби зернових культур), *REPORTER of Poltava State Agriculture Academy*, Vol. 4, pp.87 - 89, Poltava/Ukraine;
- [8] Sysolin P.V., Sysolina I.P., (2014), Modern methodology of agricultural machinery creation (on the example of a seed machine): monograph (Сучасна методологія створення сільськогосподарської техніки (на прикладі висівного апарата) монографія), *Kirovogr National Tech. University. Lysenko V.F.*, p. 120, Kirovograd/Ukraine;
- [9] Vasylenko P.M., (1960) Theory of material elements movements on the rough surface of the agricultural machines. *Ukr. acad. agricultural science*, p.282, Kiev/Ukraine;
- [10] Zayets M. L. and others, (2014), Technological bases of sowing machines designing and manufacturing (Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин), *Ternopil Nat. Tech. University of I. Puluj.*, p. 238, Ternopil/Ukraine;
- [11] Zayets M.L., Zhyvega M.M., (2015), Determination of the seeds speed moving on the spreader seeding machine for subareal spread sowing (Визначення швидкості руху насіння по розподільнику сошника для підґрунтово-розкидного способу сівби), *Collection of research papers. Seria "Technique and engineering of agro-industrial complex*, Vol. 226. pp. 307-315, Kyiv/Ukraine.

Заєць М. Л., Житомирський національний агроекологічний університет (Україна)

Антонов О. П., Житомирський національний агроекологічний університет (Україна)

Обґрунтування швидкості руху насіння по розподільнику сошника для підґрунтово-розкидного способу сівби

У статті розглядається визначення оптимальної форми розподільника та процес розподілу насіння комбінованим розподільником у вигляді криволінійної призми. На підставі розрахунків встановлено, що рівномірність розподілу насіння залежить від форми розподільника, діаметра твірної кола кривої, координати потрапляння насіння на поверхню розподілу, і як результату швидкості її руху. Формули для визначення швидкості насіння на поверхні розподільника були записані залежно від зміни конструктивно-технологічних параметрів, включаючи змінний діаметр твірної кола. Була записана математична модель координат і траєкторії руху насінневого матеріалу та дальності польоту насіння. Рівномірність розподілу насіння по ширині захвату буде характеризуватися швидкістю потоку насіння на похилій ділянці розподільника та координат потрапляння на поверхню розподільника. Досліджено вплив довжини похилої ділянки розподільника на рівномірність розподілу насіння, отримані залежності, що визначають відстань польоту в залежності від довжини похилої ділянки розподільника та швидкості сходу насіння, за допомогою якої обираються оптимальні довжини похилої ділянки. Представлені основні результати теоретичних досліджень та рекомендації щодо використання цього типу пасивних розподільників сошників для підґрунтово-розкидного способу сівби.

Значення довжини схилу вибирається виходячи з діапазону та рівномірності розподілу насіння і становить 60 мм. Комбінований розподільник може розподіляти насіння зернових культур шириною 95-100 мм. При проведенні двофакторних експериментів було встановлено, що найкращий показник розподілу насіння має комбінований розподільник, виконаний у вигляді двосторонньої криволінійної призми. Розроблено конструкцію сошника для насіння зернових культур із комбінованим насінневим розподільником. Під час попередніх експериментів та багатоваріантного пошуку експерименту було визначено рівняння лінійної регресії та визначені найбільш значущі фактори, що впливають на параметр оп-

тимізації.

Теоретичну залежність для визначення конструктивних параметрів розподільника одержують таким чином: швидкість конвергенції з комбінованого розподільника залежить від діаметра твірного кола брахистохрони, та довжини похилої ділянки; відстань розподілу насіння (параметрична форма) від конструктивних параметрів поверхні встановленої під кутом до горизонту, використання якої дозволяє визначити оптимальні параметри розподільника. Швидкість руху насіння по розподільнику сошника залежить від діаметра твірного кола брахистохроги і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню.

Ключові слова: швидкість, сівба, розподільник, твірна, рівномірність.

Дата надходження: 25.12.2019

INNOVATIVE PROPOSAL FOR WIND-SOLAR POWER PLANT

Lyudmila Rozhkova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 Sumy National Agrarian University
 ORCID: 0000-0002-1068-8959,
 e-mail: rozhkova_lg@ukr.net.

Marina Savchenko-Pererva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 Sumy National Agrarian University
 ORCID: 0000-0002-8498-3272
 e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com

Oleg Radchuk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
 Sumy National Agrarian University
 ORCID: 0000-0002-8228-2499
 e-mail: Radchuk_@i.ua

The use of renewable energy sources can help solve the problem of energy supply. One of the ways of such a solution is to develop a wind - solar power plant called a hybrid, which simultaneously uses the energy of both wind and the sun. It is proposed to use a new type of medium-speed vertical axial wind power installation in a hybrid power plant with original blades with a high coefficient of utilization of wind energy and with improved characteristics in terms of strength. The wind wheel models offered in wind power installation are investigated using a wind tunnel. The power characteristic of the wind wheel was obtained, which showed the efficiency of the original blades at the level of world samples. Coefficient of use of wind energy ≈ 0.3 . The wind wheel has a self-start and can operate at low speeds in different wind directions. The average speed of the wind wheel provides a lower value of centrifugal force on the blades. The ways of expediency and cost-effectiveness of using solar cells, which depend on the insolation value determined by the latitude of the location and on other factors, are given.

Key words: a wind - solar power plant, a wind wheel, solar cells

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.4>

Introduction

At the present stage of development there are global problems, the solution of which depends on the future of all mankind. One of such problems is energy and resource saving, as energy needs increase many times over, the cost of energy increases, and the reserves of traditional energy sources are depleted. Added and the ecological crisis due to the use of planetary resources. Climate change can lead to catastrophe for humanity. The solution to this problem is the use of alternative and renewable energy sources, as well as the maximum use of the generated thermal energy discharged.

Such sources directly include wind energy, solar energy, low-temperature thermal energy of various environments, both natural (land, air, reservoirs, etc.) and artificial, secondary resources (sewage, waste hot water, etc.). Thus, the introduction of power plants that use the above mentioned sources of energy in enterprises of various branches of industry can be justified both economically and in terms of ecology. In some developed countries there is a boom in the construction of wind plans. According to the World Energy Association (WEAR of 16 May 2013), the world produces electricity from wind energy. Basically, are large indoor power parks with indoor power plants high power with high-speed wind turbines with horizontal rotation axis. Of course, obtaining electricity in wind farms can be economically justified in certain wind conditions. At present, the total volume of energy wind in the EU is 142 GW, representing 11.4% of all energy needs. Most new wind turbines were in Germany and Poland, the first leader in the EU overall size

Set chopped power - 45 GW. Thus, the viability of renewable energy is beyond doubt, including in Ukraine.

As experience gained during the implementation of low-capacity wind turbines (WT) has shown that they can be the most promising in Ukraine. Small wind energy, depending on the capacity can have the following consumers (Onipko O.F. et al., 2008):

- 0.020-0.024 kW - local backup lighting;
- 0.060-0.075 kW - yachts;
- 0.20-0.24 kW - suburban summer residents;
- 0.60 - 0.75 kW - the average Ukrainian family;
- 2,0-2,4kVt - small families under private agricultural enterprises;
- 6.0-7.5 kW - small farms;
- 20 kW - small villages, hamlets, medium and large farmers 'state lands';
- 50 kW - agricultural and food private mini-enterprises.

Thus, small-scale wind energy can be quite useful in the direction of decentralization and the possibility of energy supply to consumers, both individuals and legal entities, ie enterprises. Nowadays in Ukraine there are a number of manufacturers of small wind turbines, in particular, such well-known firms as "Energodar", PE "Wind World" (Kharkov); STC "Altex" (Kyiv), "ECO", DKB "Southern" (Dnepropetrovsk). These companies produce VU mainly with a horizontal-axial impeller.

Materials and method

Materials and methods consist in the comparative characteristics of blades of different configuration on an arrange-

ment of a wind wheel and dependence of the power factor C_p on the speed θ . Currently, uses low power wind turbines both along the horizontal and vertical axis of rotation. She we used the most, according to Twidell J. and Weir A. (1990), WT shown in Fig. 1, and power characteristics - in Fig. 2.

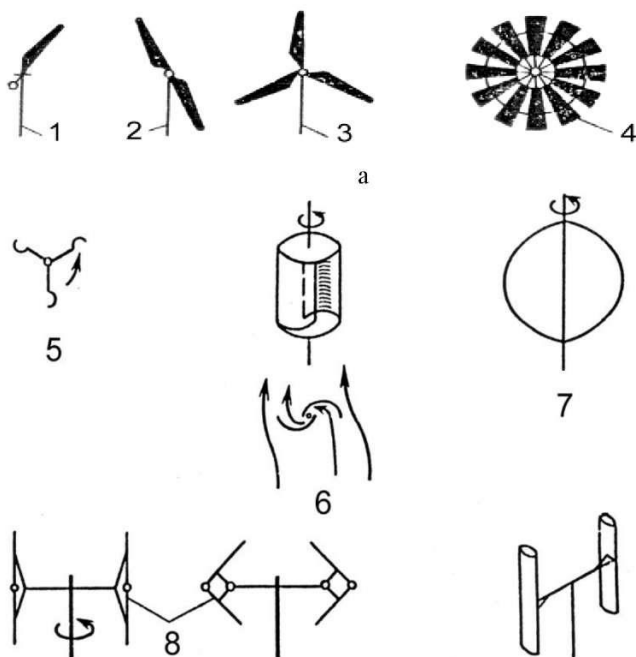


Figure 1. Classification of WT on an arrangement of a wind wheel: 1 - a single-bladed wind wheel; 2 - two-bladed; 3 - three-bladed; 4 - multi-bladed ("chamomile"); 5 - cup anemometer; 6 - Savona's rotor; 7 - Darya's rotor; 8 - Musgrove's rotor; 9 - Evans's rotor.

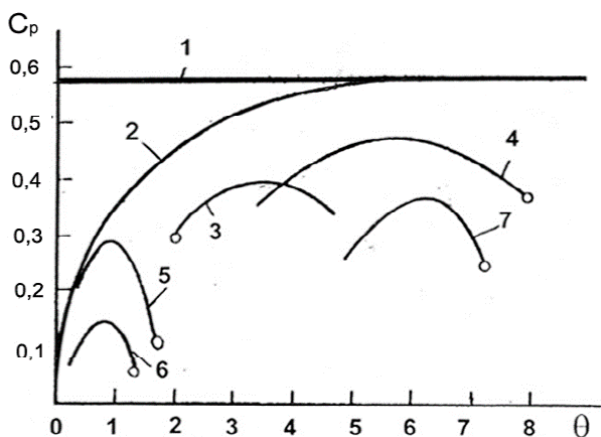


Figure 2. Dependence of power factor C_p on speed θ for WT with horizontal axis and vertical-axial (Twidell J. and Weir A., 1990): 1 - Betz test, 0.59; 2 - Gluer's criterion; a) with a horizontal axis: 3 - three-bladed wind wheel; 4 - two-bladed; 5 - multi-bladed ("chamomile"); b) with a vertical axis: 6 - Savona's rotor; 7 - Darya's rotor

Results and discussion

Analysis of the proposed types of vertical-axis WT small to powers showed that mostly used Slavonia's wind turbine propeller, wing blades and combination Savona's rotor blades and Kreyol. Indicators of wind energy efficiency are mostly in the range $C_p < 0.35$. An exception may be windmills with a wind concentrator. The cost of 1 kW installed capacity clause reportedly ranges from 4,000 to 7,000 EUR.

In our opinion, in Ukraine as an independent clause low power, and particularly in the food industry expedient implemen-

tation of a new type of vertical-axis WT with an average speed with blades having profiles original form, called wings not closed (Rozhkova L.G., 2005). These are characterized by WT to light in whole self, the ability to work at low speed (2 m / s) and any - where the wind direction. The studied model and experimental samples of rotors of vertical-axial WT with these blades confirmed this. In addition, the current demonstration model of such a WT also testified to the presence of self-starting, operation in a wide range of wind speeds and showed the absence of high noise and icing. In addition, the most important thing is that these data have a fairly high efficiency. Comparison of power characteristics of wind turbines of vertical-axial wind turbines shows that the wind wheel with blades wings not closed has a very high utilization of wind power (C_p) at an average rapidity $\theta = 1,5$ (Fig.2). $\theta = \frac{U_{per.}}{U_{\infty}}$, where $U_{per.}$ - peripheral speed of the

blade, U_{∞} - the speed of the flow rushing on the wind wheel .

Thus, having the results of research for a wind wheel with blades KN- M, we obtain the following approximating formulas (Dzendzersky V.A. et. al., 2011): the left part of the power characteristic

$$C_p = 20,14\theta^2 (3 - 1,66\theta)$$

builds part b characteristics-power

$$C_p = 29 \left[1 - \frac{(\theta - 1,2)^2}{0,4225} \right]$$

The calculated values of C_p obtained by these formulas correspond to the experimental results (Fig.3).

In addition, the average fast speed causes a reduction in requirements for durability and reliability design WT compared with fast speed, and the vertical position of the shaft improves performance characteristic WT simplifies obtaining not only electricity but heat and mechanical energy, which is important in terms of businesses. Matching capacity and performance clause with the consumer has some people opportunities to that instability is caused by the characteristics of the wind. If the rotor clause directly connected with the equipment necessary will provide wool compliance not only power WT and equipment, but the chief of thawing torque and speed.

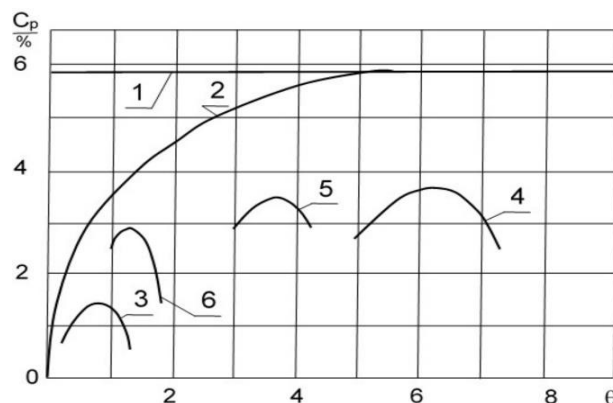


Figure 3. The location of the power characteristics of the vertical axial wind power installation in terms of speed (θ) relative to the Betz (1) and Gluer's (2) criteria: 3 - Savona's rotor; 4 - Darya's rotor; 5 - rotor with straight wing blades NACA0018; 6 - rotor with blades KN-M.

Conclusion

Thus, the relevant characteristics of the equipment that

consumes energy, causing the selection clause of the provision of the rotor within the specification, where the utilization of wind energy is the maximum or the value of its decline is permissible. It is clear that when the wind speed changes and parameters of the clause. Therefore, there may be pauses in the consumer's work, which is sometimes extremely unacceptable. Therefore, it is advisable to implement storage devices. If you focus on getting heat, the dock flax heat accumulators use the installation as propose done in article Rozhkova L.G. et. al., 2012. Recently, there has been an increase in activity in the development of thermal energy accumulators. For example, adsorption thermos-transformers are proposed, where thermal energy is accumulated in the form of thermochemical potential of the sorbent and can be stored for a long time with almost no losses (Korinchevska T.V. et.al., 2009). The authors emphasize

that the above heat accumulators are an effective tool for energy conservation, which contributes to the involvement in the energy cycle of renewable energy sources with unstable characteristics (Yevlash V.V. et. al., 2016).

The use of model samples of the rotor of the vertical - axial WT of medium speed with a new type of blades, will create an effective in the wind conditions of Ukraine and relatively cheap wind turbine, the introduction of which will be appropriate as an autonomous. It is necessary to conduct a study of the experimental sample of the rotor to clarify the characteristics in the conditions of Ukraine and with several options for the number of blades. The basis for the project is the results of research of model samples of rotors of vertical-axial wind turbines of medium speed with blades of a new type.

References:

1. Dzendzersky, V.A., Tarasov, S.V., Kostyukov, I.Y. (2011) 'Wind turbines of low power', Kiev, "Scientific Thought", 591p.
2. Korinchevska, T.V. (2009) Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine', *Materials from the Internet*.
3. Onipko, O.F., Korobko, B.P. Mykhanyuk, VM. (2008) 'Wind energy and energy strategy', Kyiv: Phoenix, 2008.
4. Rozhkova, L.G. (2005) 'New forms of profiles of blades vertically - axial wind turbines of average speed', *Dissertation on competition of a scientific degree of the candidate techn. Science: 05.14.07, Sumy*, 196p.
5. Rozhkova, L.G., Radchuk, O.V., Kazakov, D.D. (2012) 'Ways of introduction of power plants using alternative energy sources at processing enterprises, and coordination of their output capacity with the consumer', *Bulletin of the National Technical University "KhPI" - Series: "New solutions in modern technologies"*, No. 50 (956), pp.139 - 146.
6. Twidell, J. and Weir, A. (1990) 'Renewable energy sources', *translate with English -M : Ergoatomizdat*, 392 p
7. Yevlash, V.V. (2016) 'Complete nutrition: innovative aspects technologies, energy efficient production, storage and marketing: collective monograph', *The world of books*, 546 p.

Рожкова Л.Г., Сумський національний аграрний університет (Україна)

Савченко-Перерва М. Ю., Сумський національний аграрний університет (Україна)

Радчук О. В., Сумський національний аграрний університет (Україна)

Інноваційний проект вітро-сонячної електростанції

Використання відновлюваних джерел енергії може допомогти вирішити проблему енергопостачання. Одним із шляхів такого рішення є розробка вітрової сонячної електростанції, яка називається гібридною, яка одночасно використовує енергію вітру і сонця. Запропоновано використовувати новий тип середньошвидкісної вертикальної осьової вітроенергетичної установки на гібридній електростанції з оригінальними лопатями з високим коефіцієнтом використання енергії вітру та з покращеними характеристиками щодо міцності. Моделі вітрових коліс, що пропонуються для вітроенергетичної установки, досліджуються за допомогою аеродинамічної труби. Отримано силову характеристику вітрового колеса, яка показала ефективність оригінальних лопатей на рівні світових зразків. Коефіцієнт використання енергії вітру $\approx 0,3$. Вітрове колесо має самозапуск і може працювати на низьких швидкостях в різних напрямках вітру. Середня швидкість вітрового колеса забезпечує нижче значення відцентрової сили на лопаті. Наведено шляхи доцільності та економічної ефективності використання сонячних елементів, які залежать від величини інсоляції, що визначається широтою місцезнаходження та від інших факторів.

Ключові слова: вітро-сонячна електростанція, вітрове колесо, сонячні елементи

Дата надходження до редакції: 04.02.2020

ПОЛЬОВІ ВИПРОБОВУВАННЯ УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ОДНОЧАСНОЇ СІВБИ ІЗ ВНЕСЕННЯМ СТАРТОВОЇ ТА ОСНОВНОЇ НОРМИ ДОБРИВ

Петриченко Євгеній Анатолійович

кандидат технічних наук, доцент
Уманський національний університет садівництва
ORCID: 0000-0003-1037-077X
email: 22102210g@ukr.net

Герук Станіслав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
Житомирський агротехнічний коледж
ORCID: 0000-0002-1051-8175
email: mega_sgeruk@ukr.net

Планування врожайності, обґрунтування застосування певних видів мінеральних добрив, встановлення величини їх доз, строків і способів внесення неможливо без агрохімічного аналізу ґрунтів і застосування зональних сортових агро-технологій. У даній роботі представлена схема удобрювально-посівного агрегату, який складається з агрегатуємого трактора, сівалки для внесення в ґрунт основної дози мінеральних добрив, до рами якої шарнірно приєднана зчіпка сівалки зернових культур. Для досягнення необхідної глибини закладання основних доз добрив перша сівалка обладнана однодисковими сошниками. Передня сівалка відрегульована так, щоб висів основної дози мінеральних добрив здійснювався на глибину 8-10 см з міжряддями в 25 см, задня - на рядковий висів насіння на глибину в 5-6 см з міжряддями в 12,5 см і внесення стартових мінеральних добрив в ті ж рядки і на ту ж глибину. Аналіз експериментально отриманих даних про функціональну залежність рівномірності розподілу добрив (насіння сої) уздовж рядка показав, що зі збільшенням швидкості руху V агрегату і глибини H закладки мінеральних добрив в ґрунт рівномірність їх розподілу на дні борозни збільшується. Оптимальні значення швидкості руху (V) комбінованого агрегату становлять 2,5 ... 3,0 м / с, глибина (H) висіву насіння - 4 ... 5 см, глибина (h) закладки добрив в ґрунт - 8 ... 9 см. Польові дослідження довели, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату врожайність ярої пшениці збільшується на 5,1 ц / га, ячменю - на 6,7 ц / га, в порівнянні з використанням методів суцільного внесення стартової норми добрив розкидним способом, передпосівної культивуації і комбінованої сівки з одночасним внесенням основної норми мінеральних добрив. У порівнянні з посівом без внесення мінеральних добрив, врожайність ярої пшениці збільшувалася на 6,9 ц / га, ячменю - на 10,6 ц / га, відповідно.

Ключові слова: комбінований машинно-тракторний агрегат, внесення добрив, посів, стійкість руху.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.5>

Вступ. Численними попередніми дослідженнями встановлено, що внесення мінеральних добрив одночасно з сівою зернових та інших сільськогосподарських культур, коли стартові дози добрив вносяться на рівні ложа для насіння, а основна доза добрив вноситься нижче рівня заготання насіння зі зміщенням у горизонтальній площині, дозволяє досягти економії добрив на 30...45%.

Таким чином очевидно, що суміщення операції сівки зернових та інших сільськогосподарських культур з основним удобренням ґрунту є ресурсоощадним заходом. В зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та дослідженні такого комбінованого машинно-тракторного агрегату, який би дозволяв здійснювати висів з одночасним внесенням мінеральних добрив відразу стартовими і основними дозами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема енергозбереження в даний час є однією із найбільш пріоритетних у сільськогосподарському виробництві України.

Основи енергетичного аналізу та принципів оцільного використання енергетичних ресурсів в сільськогосподарському виробництві відображені в роботах Гамидова Г.З., Іванова Н.М., Іваницького В.Г., Козаченка О.В., Морозова І.В., Пастухова В.І., Родичева В.А. та ін. Теоретико-методологічні та практичні проблеми визначення енергетичної ефективності у сільському господарстві знайшли відображення в роботах Бондара С.М., Мельника І.І., Наумова Ю.Ф., Усенко А.В., Саблука П.Т., Амбросова В.Я.,

Андрійчука В.Г., Антоненка Л.А., Базарова Є.І., Бузовсько-Є.А., Буги В.К., Глуценка Д.П., Гришка В.В., Іваненка П.І., Левкіної Р.В., Мазнева Г.Є., Медведовського О.К., Мінько Л.В., Мороза О.В., Перебийніса В.І., Рабштини В.М., Рижкова В.Г., Севернєва М.М., Булгакова В.М. та інших учених. В роботах Кравчука В.І., Красовського В.С., Лобошко Н.І., Мазитова Н.К. та ін. обґрунтовані перспективні напрями використання енергетичних засобів у складі комбінованих агрегатів та їх енергетична ефективність.

Ефективне використання комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА) можливе тільки при правильному виборі їх схеми та параметрів. Визначальний вклад в теорію та практику цього питання внесли Василенко П.М., Юшин О.О., Євтенко В.Г., Любімов А.І., Панов І.М., Сакун В.О., Касимов А.Ш., Синеоков Г.М., Надикто В.Т., Кюрчев В.М. та інші вчені.

За напрямком розробки та проектування адаптованих систем сільськогосподарських машин працювали: Горячкін В.П., Василенко П.М., Синеоков Г.М., Погорілий Л.В., Гуков Я.С., Дубровін В.О., Мельник І.І., Тищенко С.С., Корабельський В.І., Юрчук В.П. та ін.

Багатолітніми дослідженнями науковців доведено, що завдяки комбінованим машинам і агрегатам скорочується число проходів машинно-тракторного агрегату на полі, усуваються розриви в часі між окремими польовими роботами, знижуються енергетичні витрати і матеріалоемність

процесу, згладжуються, так звані, пікові потреби в енергетичних засобах і трудових ресурсах, поліпшується гумусовий баланс ґрунту і зменшуються втрати живильних речовин і вологи, підвищується родючість ґрунту, врожайність і продуктивність праці.

Пошук шляхів практичного впровадження потенційно можливих схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів здійснювали в своїх дослідженнях Євтенко В.Г., Надикто В.Т., Погорілий Л.В., Юшин О.О., Мироненко В.Г., Кравчук В.І., Черепухін В.Д., Лебедев А.Т., Пащенко В.Ф., Самородов В.Б., Кюрчев В.М. та ін.

За способом агрегування комбіновані агрегати науковці поділяють на три групи [1-5,7-9]:

- машинно-тракторні агрегати, у яких серійні одноопераційні машини/знаряддя послідовно з'єднані між собою за допомогою зчіпок;

- агрегати, у яких енергетичний засіб агрегується з моноблочною машиною, на рамі якої можуть закріплюватися постійні або змінні робочі органи;

- машинно-тракторні агрегати, які складені з декількох одноопераційних машин/знарядь, одні з яких навішуються на передній, а інші – на задній навісний механізми енергетичного засобу.

Практика випробувань та експлуатації таких комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволила виявити наступні їх переваги:

- економія витрат палива за рахунок зменшення буксування рушіїв трактора завдяки зростанню його зчіпної маси при агрегуванні з фронтальною машиною;

- зменшення металоємності у порівнянні з іншими агрегатами, зчіпна маса якого збільшується шляхом баластування енергетичного засобу;

- підвищення стійкості руху під час транспортних переїздів;

- зменшення числа проходів по полю і, отже, зниження шкідливих впливів трактора на ґрунт;

- можна заощадити час на обробку і виконати всі технологічні операції в агротехнічний термін.

Щодо недоліків таких комбінованих агрегатів, то їх кількість і характер різні для конкретного агрегату і повною мірою визначені його функціональним призначенням і конструктивною схемою. Зокрема, найбільш характерними недоліками комбінованих агрегатів є:

- збільшення кінематичної довжини комбінованого

агрегату, що може привести до відповідного зростання ширини поворотної смуги та невиробничих витрат часу, пов'язаних із поворотами;

- більш напружений режим роботи механізатора, викликаний необхідністю слідкування за роботою як заднього, так і переднього сільськогосподарського знаряддя;

- погіршення керованості.

Тому, правильний науково-обґрунтований вибір схеми, конструктивних та інших параметрів комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволяє використовувати їх з максимальною ефективністю.

Метою дослідження є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструкційно-технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні **завдання**:

- розробити схему комбінованого машинно-тракторного агрегату для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою різних зернових культур;

- провести експериментальні дослідження комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та визначити його експлуатаційно-технологічні параметри;

- розробити рекомендації з вибору режимів роботи та провести техніко-економічне обґрунтування застосування машинно-тракторного агрегату для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур;

Об'єкт досліджень – процес функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур.

Результати досліджень. Для експериментального дослідження доцільності суміщення процесу сівби зернових культур і внесення стартової й основної доз мінеральних добрив був поставлений польовий дослід і у виробничих умовах.

Дослідження проводили на експериментальній установці - комбінованому посівному агрегаті, який сформовано із двох зернотукових сівалок (рис. 1).

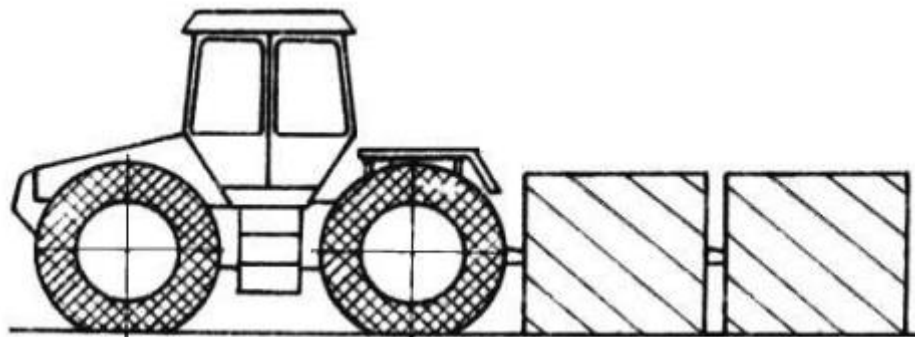


Рис. 1 – Комбінований агрегат, що складається шляхом послідовного з'єднання одноопераційних машин за допомогою зчіпних пристроїв

При лабораторно-польових експериментальних дослідженнях процесу сівби в якості зернової культури, що

висівається, вибрано ячмінь, а для кращої оцінки розподілу мінеральних добрив у борозні і з точки зору безпеки його замінили на насіння сої.

Показником якості роботи при лабораторно-польових експериментальних дослідженнях комбінованого агрегату прийнято рівномірність розподілу насіння і мінеральних добрив по довжині рядка, коефіцієнт варіації глибини висіву насіння зернових культур і мінеральних добрив та коефіцієнти відхилення розміщення насіння і добрив від осі рядка. При польових експериментальних дослідженнях щодо доцільності застосування у виробничих умовах запропонованого посівного агрегату в якості показника ефективності прийнято величину врожайності зернових культур в період повної зрілості.

Для дослідження процесу сівби зернових культур і внесення мінеральних добрив стартової і основної дози, які суміщені із сівбою зернових культур, розроблено польову експериментальну установку – комбінований удобрювально-посівний агрегат у складі двох зерно-тукових сівалок.

Перша сівалка посівного агрегату забезпечує внутрішньогрунтове внесення необхідної стартової дози мінеральних добрив на потрібну глибину з міжряддям 25 см, а друга — сівбу зернових культур на відповідну глибину з міжряддям 12,5 см із одночасним унесенням основної дози мінеральних добрив. Для агрегування сівалок між собою і з трактором сконструйовано та виготовлено спеціальну зчіпку, застосування якої дасть змогу забезпечити необхідну маневреність комбінованого агрегату під час роботи і транспортування [6]. Для експериментальної сівби на цьому полі було виділено ділянки, які засівали протягом одного дня за схемами: 1) з передпосівним обробітком ґрунту без унесення гранульованих мінеральних добрив (контроль); 2) з суцільним поверхневим унесенням стартової дози добрив, передпосівною культивуванням та сівбою насіння з одночасним внесенням у ґрунт основної дози добрив; 3) стандартний передпосівний обробіток ґрунту і сівба насіння з одночасним внесенням у ґрунт стартової та основної доз добрив [7]. Процес сівби комбінованим агрегатом виконувався на глибину висіву насіння — 5 см, глибину висіву добрив — 8 см зі швидкістю руху посівного агрегату — 10 км/год (2,78 м/с), які було обґрунтовано за результатами попередніх лабораторно-польових експериментальних досліджень. Оцінку ефективності сівби здійснювали за величиною врожайності (ц/га), яку визначали за стандартною методикою в період повної зрілості зернових культур способом їх ручного збирання із площі, яка обмежується рамкою 1 м × 1 м і подальшим зважуванням.

При обґрунтуванні методики визначення умов проведення експериментальних досліджень було використано

стандартні методики згідно ГОСТ 20315-75 “Сельскохозяйственная техника. Методика определения условий испытаний”, ДСТУ ISO 7256-2:2005 “Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 2. Сівалки рядкові” (ISO 7256-2:1984, IDT) та ДСТУ 7323:2013 “Сівалки тракторні. Основні показники та характеристики”.

Експериментальними дослідженнями встановлений факт зменшення коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка добрив (насіння сої) із збільшенням швидкості руху V агрегату. Але збільшення глибини закладання насіння із 7 см до 8 см призводить до зменшення коефіцієнта варіації, а при збільшенні глибини H до 9 см – коефіцієнт варіації збільшуватиметься.

На основі факторного аналізу експериментально одержаних рівнянь регресії визначено, що раціональними значеннями швидкості руху V комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є 2,5...3,0 м/с, глибини H висіву насіння – 4...5 см і глибини h закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

Сумарна ємність бункерів першої сівалки, яку використовують тільки для внесення мінеральних добрив, становить 1169 л (близько 1 т), що при нормі внесення 300 кг/га достатньо для висівання на площі близько 3 га. Друга ж сівалка має таку саму ємність бункерів, проте вони розділені на відсіки — відповідно на 700 та 300 кг. За норми внесення припосівних добрив 100 кг/га та норми висівання ячменю 250 кг/га оброблювана площа також становить близько 3 га. Тож сівалки «збалансовані». Проте за потреби можна збільшити об'єм бункера до необхідного.

В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної дози мінеральних добрив врожайність ярої пшениці становить 56,4 ц/га, а ячменю – 57,3 ц/га. При цьому, у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивування та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га. Збільшення ж врожайності при модернізованій схемі сівби у порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив становить відповідно для ярої пшениці – 6,9 ц/га, а для ячменю – 10,6 ц/га.

При проведенні польових експериментальних досліджень шляхом хронометражу та спеціально проведених вимірювань із застосуванням вимірювальних пристроїв були також визначені деякі маневрові та експлуатаційні показники даного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, значення яких занесені до таблиці 1.

Таблиця 1-Технологічні та експлуатаційні показники комбінованого посівного агрегату

Показник	Значення
Радіус повороту, м	6,5...8,9
Тривалість розвороту, с	18,4...24,7
Середня швидкість на поворотній смузі, м/с	1,78
Середнє відхилення траєкторії другої сівалки відносно траєкторії першої, см:	
при повороті	23,7
при робочому ході	3,6
Питомі витрати палива, л/га	3,77
Коефіцієнт використання часу зміни	0,85

Як бачимо з даних таблиці 1 радіус повороту даного комбінованого машинно-тракторного агрегату не перевищує 9 м, що заперечить його петльові повороти, а відхилення траєкторії другої сівалки відносно першої також має незначну величину і складає 23,7 см.

Висновки. 1. Підвищення ефективності використання основної дози мінеральних добрив доцільно здійснювати шляхом її розміщення у ґрунті нижче одночасно висіяного насіння у вигляді стрічки, тобто в зоні розміщення кореневої системи зернових культур. Для практичної реалізації цього напрямку потрібний комбінований двомашинний удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат, конструкція якого забезпечувала б підвищення техніко-економічних показників роботи.

2. Обґрунтована схема удобрювально-посівного агрегату включає агрегуючий трактор, сівалку для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив, до рами якої шарнірно приєднана сниця сівалки сільськогосподарських культур. Завдяки такому виконанню комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур стартова доза мінеральних добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих

рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині і тому у вологому ґрунті, що забезпечує їх

3. Згідно аналізу отриманих результатів було обґрунтовано раціональні значення параметрів сівби насіння ячменю комбінованим удобрювально-посівним агрегатом: швидкість руху агрегату – 2,5...3,0 м/с; глибина висіву насіння – 4...5 см; глибина закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

4. В результаті польових досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми добрив розкидним способом, передпосівної культивування та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми мінеральних добрив. У порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 6,9 ц/га, а ячменю – на 10,6 ц/га відповідно. Отримані результати польових досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій сівби насіння зернових культур із внутрішньогрунтовим внесенням основної і стартової норми мінеральних добрив в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Список використаної літератури:

1. Кюрчев В.М. Комбіновані машинно-тракторні агрегати на базі трактора ХТЗ-120 / В.М. Кюрчев, А.І. Панченко, В.Т. Надикто // Техніка АПК.– 2003. – №8. – С. 13-14.
2. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві / В.Т. Надикто [та ін.]. – Мелітополь: ТОВ "Видавничий будинок "ММД", 2005. – С. 242-321.
3. Залужний В. Класифікаційні ознаки комбінованих машин /В. Залужний, О. Сидорчук, В. Тимочко // Вісник Львів. держ. аграр. ун-ту:Агроінженерні дослідження. – 2002. – №6. – С. 147-152.
4. Сидорчук О. Науково-методичні підстави синтезу комбінованих ґрунтообробних машин / О. Сидорчук, В. Залужний // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. Наукове видання. – 2004. – №8. – С. 224-230.
5. Павлишин М. Комбіновані енергетичні системи з нетрадиційними джерелами енергії / М. Павлишин // Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. – 2009, №1. – С. 10-13.
6. Патент України № 110432, МПК А01С 21/00. Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою сільськогосподарських культур/В.В. Адамчук, В.А. Насонов, О.Ф. Говоров, Є.А. Петриченко, В.К. Мойсеєнко. — а 201408883; заявл. 06.08.2014; опубл. 25.12.2015. — Бюл. № 24.
7. Popp K. Ground Vehicle Dynamics/К. Popp, W. Schiehlen. — Springer, 2010. — 353 p.
8. Kyurchev V. Technical change and financial efficiency: plowing-rotary tractors in Ukraine / V. Kyurchev // Journal of Finance and Accounting (USA). – 2014. – № 2(1). – p.p. 8-12.
9. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації /В.Т. Надикто // Техніка і технології в АПК. – 2011, №9. – С. 8-11.

Petrichenko Ye.A., Uman National University of Horticulture (Ukraine)

Geruk S.N., Zhytomyr Agrotechnical College (Ukraine)

Field tests of the fertilizer-sowing unit for simultaneous sowing with the introduction of the starting and basic fertilizer rates.

Yield planning, the rationale for the use of certain types of mineral fertilizers, the establishment of their doses, timing and methods of application is impossible without agrochemical analysis of soils and the use of zonal varietal agricultural technologies. This paper presents a scheme of a fertilizer-sowing unit, which consists of an aggregating tractor, a seeder for applying the main dose of mineral fertilizers to the soil, to the frame of which a hitch of a seeder of grain crops is pivotally attached. To achieve the required depth of incorporation of the main doses of fertilizers, the first seeder is equipped with single-disc openers. The front seeder is adjusted so that the main dose of mineral fertilizers is sown to a depth of 8-10 cm with row spacing of 25 cm, the rear seeder is used for row sowing of seeds to a depth of 5-6 cm with row spacing of 12.5 cm and the introduction of starting mineral fertilizers into the same lines and the same depth. An analysis of the experimentally obtained data on the functional dependence of the uniform distribution of fertilizers (soybean seeds) along the row showed that with an increase in the speed of movement of the V aggregate and the depth H of laying mineral fertilizers in the soil, the uniformity of their distribution at the bottom of the furrow increases. The optimal values of the speed of movement (V) of the combined unit are 2.5 ... 3.0 m / s, the depth (N) of sowing seeds is 4 ... 5 cm,

the depth (h) of laying fertilizers in the soil is 8 ... 9 cm Field studies have shown that when using a combined fertilizer-sowing unit, the yield of spring wheat increases by 5.1 c / ha, barley - by 6.7 c / ha, in comparison with the use of continuous application of the starting fertilizer rate by the spread method, pre-sowing cultivation and combined sowing with simultaneous application of the main hole we are mineral fertilizer. Compared to sowing without mineral fertilizers, the yield of spring wheat increased by 6.9 c / ha, barley - by 10.6 c / ha, respectively.

Key words: *combined machine-tractor unit, fertilizer application, sowing, movement stability.*

Дата надходження до редакції: 04.02.2020

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗНАТЬ ТА НАВИЧОК ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Баталова Алла Борисівна

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-2059-9594

e-mail: allabatalova@ukr.net

Пропонована стаття присвячена проблемі визначення предмета математики як основного інструмента при підготовці фахівців технічних спеціальностей в аграрних ВНЗ. Проаналізовано різні підходи до визначення сутності математики та її змісту. Пропонується розглянути способи застосування математичних знань та методів при вирішенні різноманітних завдань, які виникають у студентів технічних спеціальностей в період підготовки та після закінчення ВНЗ.

Ключові слова: математика, вивчення математики, математичний підхід, математичні здібності, технічні спеціальності.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.6>

Постановка проблеми у загальному вигляді. Випускник сучасного вищого навчального закладу, особливо з технічних спеціальностей, повинен на високому рівні володіти як професійними так і математичними знаннями, вміннями і навичками. Удосконалення підготовки фахівців неможливо без вдосконалення математичної підготовки.

Дуже часто студенти університету ставлять питання про доцільність використання математичних наук у навчальній програмі. Вони задаються питанням, чому їм потрібно вивчати квадратні рівняння та складну систему обчислення з невідомими, якщо це взагалі може їм не знадобитись у майбутньому. Чому теореми, інтеграли чи похідні потрібні їм в інформаційному багажі. Більше того, в сучасну епоху тотальної комп'ютеризації навіть найскладніші розрахунки сімейного бюджету можуть зробити персональний комп'ютер або айфон. Багато молодих людей не бачать сенсу оволодіння навіть основними елементарними навичками математичної науки. Часто говорять про те, що їм не потрібно вивчати математику. Дійсно, багато людей працює за спеціальністю, яка не пов'язана зі складними розрахунками. На перший погляд, математика не має нічого спільного з їхнім життям.

Але ж фахівцям таких спеціальностей як агроінженерія або транспортні технології вкрай необхідні знання з математичних наук.

Чому ж математичні дисципліни такі важливі?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. "Що ж таке математика?" Це питання завжди є дуже суперечливим. З приводу нього виникає дуже багато запитань не тільки у математиків, а й у філософів. І це не випадково. За довгий час в математиці вже давно відбулися важливі зміни та події. Вона була і "королевою", і "служницею", ставала надбанням і "аристократів", і "великих мас", виступаючи як "інструмент пізнання" і як "універсальна мова". І дискусії на тему математики не припинялися ніколи.

В Стародавній Греції (V ст до н.е), де народилась математика як наука, (μαθημα – "наука", "знання", "вчення"), розрізняли 4 "μαθημα (матема)":

1) вчення про число (арифметика), 2) вчення про фігури (геометрія),

3) вчення про пропорції в природі і мистецтві (гармонія), 4) вчення про форми світу (астрономія). Усі інші знання, зокрема з фізики, географії, історії філософи не

відносили до науки. Бо вважали, що тільки "матема" має тверді логічні основи, здобуті вищою субстанцією – розумом. [1]

Здавна математики і філософи різних країн намагалися дати означення предмету математики. Наведемо приклади кількох з них.

Чим займається математика, як не порядком і відношенням. (Арістотель.)

Математика – це наука, що розглядає кількість у матеріальних об'єктах, або, на думку інших, наука, що вивчає кількість абстрактну, не зачіпаючи того, чи вона міститься в матеріальних тілах чи поза ними. (Ф. Прокопович.)

Математика – це наука, що не тільки показує в кожному окремому випадку співвідношення, але й визначає причини, від яких вони залежать за природою самих речей. (Л.Ейлер.) [2]

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Проаналізувати як елементарні знання з математики допомагають студентам технічних спеціальностей не тільки у навчанні але і у повсякденному житті.

Виклад основного матеріалу. Володіння більш ніж поверхневими знаннями в галузі математики більше двох тисяч років було необхідною складовою інтелектуального багажу кожної освіченої людини. Сьогодні навчальна цінність математики, яка була створена традицією, знаходиться в серйозній небезпеці. На жаль, професійні представники математичної науки в цьому випадку не звільняються від відповідальності. Навчання математики набуло характеру стереотипних вправ у вирішенні задач шаблонного змісту, що, можливо, призвело до розвитку деяких формальних навичок, але глибоко не проникло в предмет, який вивчається, і не сприяло розвитку справжньої свободи думки. Наукові дослідження мають тенденцію до надмірної абстракції та спеціалізації. Програмам та зв'язкам з іншими сферами не приділяється належної уваги. Однак ці негативні передумови жодним чином не можуть бути приводом для капітуляції. Навпаки, ті, хто знає і розуміє сенс розумової культури, не можуть не говорити - і вже говорять на її захист. Викладачі, студенти - всі освічені люди, навіть ті, хто не пов'язаний з освітою - вимагають не зупинятися, не йти по лінії найменшого опору, а розпочати конструктивну реформу освіти. Мета - справжнє розуміння сутності математики як органічного цілого і як основи наукового мислення і

способу дії [3].

Кілька яскравих книг біографічного та історичного змісту та деякі публіцистичні виступи пробудили в широкому колі, раніше байдужих до математики, несподіваний інтерес до неї. Однак інформацію не можна отримати лише візуально. Розуміння математики не досягається лише безболісними ігровими методами. Як ви не зможете зрозуміти музичну культуру, якщо будете тільки уважно читати статті журналу, як би яскраво вони не були написані, а не будете вчитись слухати уважно та зосереджено. Так і неможливо обійтись без ефективного контакту зі змістом живої математики. З іншого боку, при вивченні математики слід уникати всього занадто технічного чи штучного, роблячи виклад матеріалу рутинним та мертвим, відмовляючись від мотивації та постановки цілей. При вивченні математики слід починати з найпростіших елементів і йти вгору, щоб дістатися до самих найвищих точок, з яких можна чітко побачити суть і рушійні сили сучасної математичної науки.

В останні роки під впливом подій попит на технічні спеціальності зростає. Завдяки цьому зріс інтерес і до математичних знань. Тому викладачі математичних дисциплін повинні донести до студентів, що криється за формулами та перетвореннями, справжньою сутністю та змістом математики, щоб студенти змогли побачити та зрозуміти важливість цієї науки. В іншому випадку виникає великий ризик розчарування обраною спеціальністю.

Важлива роль математичних наук у системі вищої освіти очевидна. Сьогодні досить складно уявити будь-який напрямок науки, особливо пов'язаної з технікою, де не знайшли б математики. Математика взагалі є універсальною мовою, особливо у природничих дисциплінах, таких як фізика, хімія та біологія, де виникає потреба обчислити квадратний корінь, знайти інтеграл або похідну, розв'язати диференціальне рівняння або побудувати графік. Універсальна особливість математики полягає в тому, що вона є основним полем знань в операціях з абстрактними сутностями та їх взаємозв'язками.

Основна особливість математики полягає в тому, що це точна наука, яка не терпить різноманітних спекуляцій і свавілля. У той же час математичні дані - це абстрактні величини, такі як "0" та "нескінченність", які практично неможливо зрозуміти, але можливо виразити мовою математики. Мовою математики можна точно описати будь-яку структуру взаємозв'язків, включаючи різні механізовані процеси чи природні явища, це можуть бути прості квадратні рівняння або складні диференціальні рівняння. Правильна постановка математичної задачі дає можливість не тільки імітувати ситуації, але й пропонує кілька варіантів розвитку подій. Отримавши будь-які результати навіть з невідомими, може вийти формула, розв'язок якої знайомий нам з навчальної програми. Таким чином, втілення математичних розрахунків можна знайти навколо себе: в складних інженерних приладах та архітектурних спорудах, в автомобільній промисловості та авіабудівництві, медицині та охороні здоров'я, прогнозах погоди та творах мистецтва, тощо.

Важливість вивчення математики для студентів технічних спеціальностей беззаперечна - математика займає важливе місце у їх підготовці. Її формули і методи обчислення застосовуються при вивченні інших предметів, таких як: прикладна математика, теорія механізмів і машин, матеріалознавство, електротехніка та електроніка та інші.

Незаперечним є те, що вивчення математики розвиває інтелектуальні здібності студентів. Завдяки вдумливому вивченню математичних законів студенти починають аналізувати ситуацію, осмислювати факти в сукупності або в порівнянні, прогнозувати результат подій і продумувати кілька кроків наперед. Оскільки математика - це наука про абстрактні величини, то завдяки їй розвивається абстрактне мислення, поліпшується вміння знаходити роль частини у цілому і т.п. Крім того, математика сприяє інтенсивності мислення, значно покращуючи пам'ять та винахідливість (здатність швидко приймати рішення).

Великий російський вчений і мислитель М.В. Ломоносов наголосив на важливості математики для формування особистості та спонукав вивчати її тому, що «... вона упорядковує розум». Ви не зможете сказати точніше! Дійсно, ця наука має великий вплив на розвиток інтелекту.

Математика розвиває аналітичні, критичні, дедуктивні, прогностичні можливості, готує мозок для зберігання та обробки великої кількості інформації, що є необхідним для фахівців технічних спеціальностей. Її вплив на інтелектуальний потенціал виражається у розвитку таких особистих якостей та навичок, як:

- вміння аналізувати, приймати обґрунтовані рішення при важкому виборі;
- здатність до узагальнення та вміння розглядати певну подію як складову частину загального порядку;
- вміння знаходити закономірності;
- здатність логічно розмірковувати та мислити, точно та правильно формулювати думки і робити висновки.

Якості, напрацьовані математичними методами, формують каркас мислення. Це призводить до організації всіх думок в єдину систему взаємопов'язаних понять про навколишній світ. Математика представляє собою втілення природного порядку.

Але математика потрібна не тільки для вивчення дисциплін, які базуються на розрахунках. Вона неодмінно допоможе на шляху освоєння і гуманітарних дисциплін. Системне мислення, логіка, вміння формулювати масштабні теорії неодмінно будуть потрібні взагалі.

Отримавши базову технічну освіту, майбутні фахівці дуже часто приймають рішення про відкриття власного бізнесу. Хтось не задоволений своєю нинішньою роботою і хоче замінити її на щось більш цікаве. Хтось вирішує знайти самостійне джерело доходу негайно, сподіваючись на особисту незалежність та великі доходи.

У будь-якому випадку організація окремого підприємства вимагатиме навичок аналізу, прогнозування та ведення розрахунків. Оскільки не всі повноваження можуть бути передані найманому персоналу, бізнесмен обов'язково повинен їх опанувати. І навіть якщо зібрати чималий персонал, все одно буде потрібно вміння структурно організувати їх роботу. Тут не обійтись без математичного аналізу, моделювання та методів прогнозування. Без них навіть входження в малий бізнес не може бути успішним, а що вже говорити про створення великої і солідної компанії. І справа тут не в знанні спеціальних методів обчислення (ви завжди можете їх опанувати, якщо хочете), а в певній організації думки.

Власна справа - це строго впорядкована система, побудова якої, передбачає наявність у її засновника навичок структурованого мислення, здатності узагальнювати і зна-

ходити взаємозв'язки. Заняття точними науками розвиває всі ці вміння. Навіть статистика говорить про те, що найбільшого успіху, як правило, домагаються бізнесмени-випускники, які мають технічну освіту.

Висновки. Звичайно, неможливо заперечувати, що для підготовки фахівців з технічних спеціальностей конче необхідна математична освіта. Абсолютно зрозуміло, що для оволодіння основними математичними навичками необ-

хідно бажання вчитись.

Тому кожний студент, який вступив на технічну спеціальність, зокрема агроінженерія чи транспортні технології, може оволодіти математичною наукою, яка допоможе йому засвоїти великий обсяг знань з інших дисциплін.

І нові можливості дадуть йому сильний поштовх для розвитку особистості і стануть запорукою успіху у здобутій професії.

Список використаної літератури:

1. Бевз В. Г. Що таке математика? / В. Г. Бевз // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнародний збірник наукових робіт – вип. 18. – Донецьк: Фірма ТЕАН, 2002 – С. 3-10
2. Математика в афоризмах, цитатах і висловлюваннях / Н.О.Вірченко - К.: Вища школа, 1974 – 272 с.
3. Курант Р., Роббинс Г. Что такое математика? / Р. Курант, Г. Роббинс Г. // Элементарный очерк идей и методов – 2-е издание – М.: Издательство «Просвещение», 1967 – 550 с.

Batalova A.B., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Features of application of mathematical knowledge and skills in the training of technical specialties

The proposed article is devoted to the problem of defining the subject of mathematics as the main tool in the training of specialists in technical specialties in agricultural universities. Different approaches to determining the essence of mathematics and its content are analyzed. It is proposed to consider ways to apply mathematical knowledge and methods in solving various problems that arise in students of technical specialties during training and after graduation.

The important role of mathematical sciences in the system of higher education is obvious. Today, it is difficult to imagine any branch of science, especially technology, where mathematics would not be found. Mathematics is a universal language in general, especially in natural sciences such as physics, chemistry and biology, where there is a need to calculate the square root, find the integral or derivative, solve a differential equation or construct a graph. A universal feature of mathematics is that it is the main field of knowledge in operations with abstract entities and their relationships.

The main feature of mathematics is that it is an exact science that does not tolerate various speculations and arbitrariness.

The language of mathematics can accurately describe any structure of relationships, including various mechanized processes or natural phenomena, it can be simple quadratic equations or complex differential equations. The correct formulation of a mathematical problem makes it possible not only to simulate situations, but also offers several options for the development of events. If you get any results, even with the unknown, you can get a formula, the solution of which is familiar to us from the curriculum. Thus, the embodiment of mathematical calculations can be found around you: in complex engineering devices and architectural structures, in the automotive and aircraft industries, medicine and health care, weather forecasts and works of art, and so on.

The importance of studying mathematics for students of technical specialties is undeniable - mathematics occupies an important place in their training. Its formulas and methods of calculation are used in the study of other subjects, such as: applied mathematics, theory of mechanisms and machines, materials science, electrical engineering and electronics and others.

Of course, there is no denying that mathematical education is essential for the training of specialists in technical specialties. It is absolutely clear that in order to master basic mathematical skills you need a desire to learn.

Therefore, every student who has entered a technical specialty, including agricultural engineering or transport technology, can master mathematical science, which will help him to acquire a large amount of knowledge in other disciplines.

And new opportunities will give him a strong impetus for personal development and will be the key to success in the profession.

Key words: *mathematics, study of mathematics, mathematical approach, mathematical abilities, technical specialties.*

Дата надходження до редакції: 05.02.2020 р.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ВІД РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

Барабаш Григорій Іванович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-1075-479X
E-mail: grinya45@ukr.net

Зубко Владислав Миколайович

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

Саржанов Богдан Олександрович

Сумський національний аграрний університет
ORCID ID: 0000-0001-9796-9499
E-mail: arhimag0@gmail.com

В запропонованій статті наведені методичні підходи стосовно визначення техніко-економічних показників зернозбирального комбайна в залежності від режимів його роботи, що дає можливість встановити рівень ефективності його використання в залежності від цих чинників, та вибрати найбільш економічно та трудо ефективний режим для його роботи, що дозволить отримати максимальний ефект від його експлуатації.

Ключові слова: комбайн, збирання, жатка, ширина захвату, швидкість, продуктивність, витрата палива, затрати праці, експлуатаційні витрати.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.7>

Постановка проблеми. Проблема полягає в тому щоб встановити залежності показників ефективності використання зернозбирального комбайна від швидкості руху комбайна та робочої ширини захвату жатки -хедера шляхом математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загально відомо, як визначаються показники використання зернозбиральних комбайнів при відомих технічних характеристиках та величини врожайності різних зернових культур. Однак аналітичних досліджень стосовно того, як впливає конструкційна ширина захвату жатки-хедера комбайна при збиранні озимої пшениці на показники ефективності роботи конкретної марки комбайна нами виявлено не було.

Формування цілей статті та мета досліджень. Надати методичні підходи по визначенню основних техніко-економічних показників використання зернозбиральних комбайнів в залежності від режимів його роботи.

Теоретичні передумови визначення техніко-
економічних показників
використання комбайнів

1. Тривалість роботи комбайнів, t , год.:

$$t = F / \omega_{зм} \quad (1)$$

де F - площа поля, га;
 $\omega_{зм}$ – продуктивність за 1 год. змінного часу, га/год.

2. Доля роботи в річному завантаженні одного комбайна, δ :

$$\delta = \frac{t}{T}, \quad (2)$$

де T – норма річного завантаження, год. $T = 550$ год.

3. Ціна одного комбайна, C , грн.

4. Балансова вартість комбайна, B , грн.:

$$B = 1,1 * n_k * C \quad (3)$$

5. Відрахування на реновацію, S_a , грн.:

$$S_a = 0,01 * B * a_p * \delta, \quad (4)$$

де a_p – норма відрахувань на реновацію, %. $a_p = 11$ %.

6. Відрахування на ТО, ПР, S_{mo} , грн.:

$$S_{mo} = 0,01 * B * a_{mo}, \quad (5)$$

де a_{mo} – норма відрахувань на технічне обслуговування (ТО) і поточні ремонти, %. $a_{mo} = 6,8$ %.

7. Витрати на паливо, S_n , грн.:

$$S_n = G_{за} * F * C_n, \quad (6)$$

де C_n – комплексна ціна палива, грн./кг;

8. Кількість робітників на обслуговуванні комбайна, n_m , люд. $n_m = 2$.

9. Розряд працівників. V1 розряд.

10. Тарифна ставка, S_m , грн/год.

11. Основна оплата праці, S_0 , грн.:

$$S_0 = S_m * n_p * t \quad (7)$$

12. Додаткова оплата праці, S_δ , грн.:

$$S_\delta = k_s * S_0, \quad (8)$$

де k_s – коефіцієнт надбавки до основної заробітної плати.

13. Відрахування на соціальні потреби, S_{cn} , грн.:

$$S_{cn} = (S_0 + S_\delta) k_{cn} / 100, \quad (9)$$

де k_{cn} – відсоток відрахувань на соціальні потреби, $k_{cn} = 22$ %.

14. Загальна оплата праці разом з нарахуваннями, S_3 , грн.:

$$S_3 = S_0 + S_\delta + S_{cn}, \quad (10)$$

15. Загальні експлуатаційні витрати, S , грн.:

$$S=S_a+S_{mo}+S_n+S_3. \quad (11)$$

16. Експлуатаційні затрати на одиницю роботи, &, грн./га:

$$\& = \frac{S}{F} \quad (12)$$

16. Загальні приведені витрати, П, грн.:

$$П = S + E \cdot B \cdot \delta, \quad (13)$$

де E - норма ефективності капітальних вкладень, E=0,15.

17. Приведені витрати на одиницю роботи, n, грн./га:

$$n = \frac{П}{F} \quad (14)$$

18. Затрати праці, З_n, люд.-год./га:

$$З_n = \frac{n}{\omega_{3M}} \quad (15)$$

Порівняльна оцінка ефективності використання зернозбирального комбайна

Вихідні дані.

За даними статистики для умов Лісостепу Сумської

області в господарствах середня площа, яка зайнята під ранніми зерновими, складає близько 1000-1500 га, в тому числі під пшеницею зайнято близько половини цих площ. Розміри полів коливаються в межах від 50 до 300 га. Врожайність зернових культур знаходиться в межах 30-70 ц/га.

Для розрахунків приймаємо:

- розміри поля: лоща F = 200 га;

- рівень врожайності У₃ = 50 ц/га;

Марки комбайна:

«Палессе GS

12»

Ширина захвата жатки-хедера по варіантах: 1 – 5м; 11 – 7м; 111 – 9м.

Показники	Одиниці виміру	Варіанти		
		1	11	111
Продуктивність за 1 год. змінного часу	га/год.	2,61	2,64	2,67
Погектарна витрата палива	кг/га	12,9	11,3	10,1
Кількість комбайнів		1	1	1
Ширина захвата жатки-хедера	м	5	7	9
Робоча швидкість	км/год	9,1	6,6	5,2

Загальний вигляд комбайна наведений на рис. 1.



Рис. 1. Комбайн «Палессе GS 12» в роботі

Показники ефективності використання комбайна | наведені в таблиці 1.

Показники використання комбайнів

Показники		Одиниці виміру	Варіанти		
			I	II	111
1		2	3	5	
1	Тривалість роботи комбайна, t	год	76,6	75,8	74,9
2	Доля участі в річному завантаженні, δ -річне завантаження, T	год	0,139 550	0,138 550	0,136 550
3.	Балансова вартість комбайнів, B : – ціна одного комбайна, C	тис.грн.	3432 3120	3575 3250	3718 3380
4.	Норма амортизаційних відрахувань на реновацію, a_p	%	11	11	11
5.	Відрахування на реновацію, S_p :	тис.грн	52,5	54,3	55,6
6.	Норма відрахувань на технічне обслуговування, поточний ремонт, $a_{то}$	%	10	10	10
7.	Відрахування на ТО, ПР, $S_{то}$:	тис.грн.	47,7	49,4	50,5
8.	Витрати на паливо, S_n : -ціна дизельного палива, $C_{дп}$ -комплексна ціна палива, C_n	тис.грн. грн./кг грн./кг	56,5 20,9 21,9	49,5 20,9 21,9	44,2 20,9 21,9
9.	Витрати на основну заробітну плату, S_o : - кількість механізаторів, n_m ; - розряд роботи; - годинна тарифна ставка, st ; - додаткові нарахування; - відрахування на соціальні заходи:	тис.грн люд. грн./год. % %	10,8 2 VI 70,33 32 22,0	10,7 2 VI 70,33 32 22,0	10,6 2 VI 70,33 32 22,0
10.	Витрати на допоміжну оплату праці, S_a -коефіцієнт надбавки до основної заробітної плати	тис.грн %	4,00 37	3,95 37	3,92 37
11.	Відрахування на соціальні потреби, $S_{сп}$, -відсоток відрахувань на соціальні потреби, $k_{сп}$	%	3,26 22	3,22 22	3,19 22
12.	Загальна оплата праці разом з нарахуваннями, S_z	тис.грн	18,06	17,87	17,71
13.	Прямі експлуатаційні витрати, S :	тис.грн.	174,8	171,1	168,1
14.	Питомі експлуатаційні витрати, $\&$:	грн./га	874	855	840
15.	Приведені витрати, P : – коефіцієнт ефективності – капітальних вкладень, E	тис.грн.	246,4 0,15	245,1 0,15	243,9 0,15
16.	Питомі приведені витрати, p : - на 1 га: - на 1 т:	грн./га грн/т	1232 246	1226 245	1220 244
17.	Умовний ефект	грн./га	+6,0	контроль	-6,0
18.	Затрати праці, Z_n : - на 1 га: - на 1 т:	$\frac{люд-год}{га}$ $\frac{люд-год}{т}$	0,77 0,154	0,76 0,152	0,75 0,150

ВИСНОВОК

З точки зору приведених витрат, як головного показника ефективності, то вони найменші у комбайна Палессе GS 12, який укомплектований жаткою – хедером шириною захвата 9м. Не дивлячись на те, що при дещо менших витратах на реновацію у перших двох варіантах, всі інші показники (витрати на паливо, на заробітну плату механізаторів)

менші. Затрати праці в цього комбайна значно менші, ніж у перших двох варіантах. Враховуючи, що цю жатку можна використовувати на збиранні пшениці з меншою врожайністю, збільшуючи швидкість руху, а також при меншій врожайності, зменшучи робочу ширину захвата, третій варіант комплектації для виробничників буде найбільш ефективним.

Список використаної літератури:

1. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт / Г. І.Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
2. Експлуатація машинно-тракторного парку / Діденко М.К. 5-е вид.,перероб. І доп..- К.: Вища школа. Головне видавництво, 1983.- 447 арк.
3. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Марченко В.В., Михайлович Я.М., Мельник В.І., Надточій О.В.]; за ред. І. І. Мельника. – Київ: Видавничий центр НАУ, 2004. – 85 с.
4. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві. К.,Вища школа, 1995
5. Ільченко В.Ю.,Карасьов А.С. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві.К., Урожай, 1993
6. Ільченко В.Ю .,Нагірний Ю.П. Машиновикористання в землеробстві. К.,Урожай,1996
7. Орманджи К.С., Барабаш Г.И. и другие. Правила производства механизированных работ в полеводстве. М., Россельхозиздат, 1983

Barabash G.I., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

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

Sarzhanov B.O., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Dependence of technical and economic indicators of operation of the grain harvester on the modes of its operation

In the offered article methodical approaches concerning definition of technical and economic indicators of the combine harvester depending on modes of its work that gives the chance to establish a level of efficiency of its use depending on these factors are resulted.

The problem is to establish the dependence of indicators of the efficiency of the grain harvester on the speed of movement of the combine and the working width of the gripper -heder by mathematical modeling.

It is generally known how the indicators of the use of combine harvesters are determined at the known technical nature-joints and the yield value of various cereals. However, we did not detect analytical studies on how the structural width of the harvester's gripping when harvesting winter wheat affects the performance indicators of a particular brand of combine.

The purpose of the work is to provide methodological approaches to determining the main technical and economic indicators of the use of combine harvesters, depending on the modes of its operation.

Based on the research, it was found that in terms of the above costs, as the main indicator of efficiency, they are the smallest in the Combine Palesse GS 12, which is equipped with a sting – a heder with a grip width of 9m. Despite the fact that with slightly lower renovation costs in the first two versions, all other indicators (fuel costs, salaries of mechanics) are lower. The labor costs of this combine are much less than in the first two versions. Given that this latch can be used at harvesting wheat with lower yields, increasing the speed of movement, as well as with lower yields, reducing the working width of the grip, the third option of equipment for production workers will be the most effective.

Key words: harvester, harvesting, header, grip width, speed, performance, fuel consumption.

Дата надходження до редакції: 06.02.2020

ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКА ВІД ДИКОЇ РЕДЬКИ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ НАСІННЕОЧИСНИХ МАШИНОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗВОЛОЖЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ

Головченко Галина Степанівна

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-3662-6163

e-mail: golgalstep@gmail.com

В роботі розглядаються питання, пов'язані з впливом зволоження вихідного матеріалу на якість очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності від подачі магнітного порошку в електромагнітній насіннеочисній машині. Приведена технологічна схема роботи електромагнітної насіннеочисної машини, наведені результати дослідів по очищенню насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності:

1) від ступеню зволоження вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну при подачі магнітного порошку 6%;

2) від подачі магнітного порошку, зволоженого на 2% вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну.

Результати дослідів показують, що при зволоженні вихідного матеріалу на 2% вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка задовольняли виходи (II + III) при подачі магнітного порошку 6% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5 та 5 з виходом насіння цукрового буряка 82,6 – 91,2%; при подачі магнітного порошку 9% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5; 5 та 7,5 з виходом насіння цукрового буряка 82,0 – 98%; при подачі магнітного порошку 12% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5 та 5 з виходом насіння цукрового буряка 93,6 – 95,5%.

Зволоженням вихідного матеріалу можна досягти зниження вмісту дикої редьки в одному кілограмі цукрового буряка до 13 – 32 шт. з виходом насіння цукрового буряка в виходах (II + III) 82,6 – 91,2%.

Ключові слова. Суміш цукровий буряк – дика редька, обволікання насіння магнітним порошком, електромагнітна насіннеочисна машина, залежності виходу насіння від подачі магнітного порошку, зволоження вихідного матеріалу.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.8>

Постановка проблеми. Очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки можна забезпечити на електромагнітних насіннеочисних машинах [1, 2]. Вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка по засміченню дикою редькою можуть задовольняти виходи (II + III) на деяких режимах роботи машини. Подальше вдосконалення способу очищення цукрового буряка від дикої редьки набуває важливого значення.

Аналіз основних досліджень. Чинним державним стандартом на насіння цукрового буряка встановлено, що дикої редьки в насінні цукрового буряка не повинно бути більше, ніж 0,1 % за масою. Після вивчення складу насінневого матеріалу цукрових буряків, який використовують на практиці буряківники Сумщини, і відповідних розрахунків встановлено, що в 1 кг насінневого матеріалу цукрових буряків має бути не більше 50 – 55 насінин дикої редьки [1].

Фактично на насіннеочисні заводи надходять партії насіння цукрового буряка з вмістом дикої редьки 250 – 350 шт. і більше в одному кілограмі.

Критична швидкість насіння цукрового буряка складає 4,0 – 6,0 м/с, а насіння дикої редьки – 3,1 – 7,3 м/с [2]. В зв'язку з цим поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за аеродинамічними властивостями досягти неможливо.

Насіння цукрового буряка та дикої редьки мають відповідно наступні розмірні показники [1]: довжину 2,5 – 7,0 та 3,1 – 7,3 мм, ширину 2,5 – 7,0 та 2,2 – 6,9 мм і товщину 1,8 – 4,0 та 2,0 – 4,2 мм.

В зв'язку з цим поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за розмірними показниками досягти неможливо.

На гірках з позовжнім рухом полотна часточки поділяються за формою з урахуванням шорсткості їх поверхні. Гладенькі часточки круглішої форми скочуються вниз, а більш плоскі шорсткі піднімаються полотном. На гірках можна якісно очищати насіння буряків [1]. На гірках

більш якісно очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки відбувається із зменшенням продуктивності машини. Із збільшенням продуктивності машини спостерігається погіршення якості розподілу.

Однак, зменшення продуктивності машини не задовольняє існуючі технологічні лінії насіннеочисних заводів.

Насіння цукрових буряків відрізняється від насіння дикої редьки насамперед властивостями поверхні. Насіння дикої редьки має циліндричну форму і поверхня його більш гладенька порівняно з поверхнею насіння цукрових буряків. Оскільки суміш насіння цукрових буряків і дикої редьки за розмірними, аеродинамічними та іншими показниками розділити неможливо, передбачається провести розділення цієї суміші на електромагнітних насіннеочисних машинах.

Мета досліджень. Метою дослідження є вивчення впливу зволоження вихідного матеріалу на якість очищення цукрового буряка від дикої редьки на електромагнітних насіннеочисних машинах.

Виклад основного матеріалу.

Насіння, засмічене дикою редькою, надходить на електромагнітні насіннеочисні машини. Із приймального бункера машини крізь вікно одного із отворів регульованого диска машини вихідний матеріал самопливом надходить в змішувальні шнеки, в яких і перемішується з магнітним порошком, що надходить із апарата дозування. При очищенні із зволоженням вода розбризкується обертовим диском і зволожує масу, яка в цьому випадку в верхньому шнеку лише перелопачується, а потім в нижньому шнеку змішується з порошком. Із нижнього змішувального шнека суміш шнеком і лотковим транспортером двома потоками подається на доріжки обертового барабана, де і поділяється на фракції. Насіння дикої редьки скочується вниз і виводиться через вихід I приймача. Насіння цукрового буряка з магнітним порошком, що захопився, виводиться через вихід III.

Насіння цукрового буряка і дикої редьки, які частково обволіклися порошком, виводяться із машини через вихід II. Якість очищення насіння цукрового буряка і дикої редьки виконується заслінками приймача. Відходи складають 15 – 20%.

Наводяться результати по очищенню насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності:

1) від ступеню зволоження вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну при подачі магнітного порошку 6%;

2) від подачі магнітного порошку, зволоженого на 2% вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну.

В табл. 1 наводиться розподіл дикої редьки по виходах і вихід насіння цукрового буряка в залежності від ступеню зволоження при подачі магнітного порошку 6%.

В табл. 2 наводиться розподіл дикої редьки по виходах і вихід насіння цукрового буряка в залежності від подачі магнітного порошку при зволоженні 2%.

Таблиця 1. Розподіл дикої редьки та цукрового буряку по виходах в залежності від ступеню зволоження при подачі магнітного порошку 6%

Ступень зволоження, %	Положення заслінок приймача, поділки	Вміст дикої редьки в вихідному матеріалі, шт. /кг	Розподіл дикої редьки по виходах, шт. /кг				Розподіл дикої редьки по виходах, %	
			I	II	III	II+III	I	II
0	2,5	194	190	3	1	4	98	2
	5	205	196	8	1	9	96	4
	7,5	259	225	31	3	34	87	12
2	2,5	252	239	13	0	13	95	5
	5	235	214	16	5	21	91	7
	7,5	265	207	44	14	56	78	17
4	2,5	240	204	11	25	36	85	5
	5	251	219	5	27	32	87	2
	7,5	200	148	39	13	52	74	20
0	2,5	194	0	2	94,06	5,21	0,73	5,94
	5	205	0	4	84,66	14,39	0,95	15,34
	7,5	259	1	13	57,16	39,57	3,27	42,84
2	2,5	252	0	5	17,43	45,41	37,16	82,57
	5	235	2	9	8,83	63,42	27,75	91,17
	7,5	265	5	22	3,41	32,20	64,39	96,59
4	2,5	240	10	15	17,86	41,94	40,20	82,14
	5	251	11	13	10,12	31,37	58,51	89,88
	7,5	200	6	26	3,12	31,70	65,18	96,88

Таблиця 2. Розподіл дикої редьки та насіння цукрового буряка по виходах в залежності від подачі магнітного порошку при зволоженні 2%

Подача магнітного порошку, %	Положення заслінок приймача, поділки	Вміст дикої редьки в вихідному матеріалі, шт. /кг	Розподіл дикої редьки по виходах, шт. /кг				Розподіл дикої редьки по виходах, %	
			I	II	III	II+III	I	II
3	2,5	160	159	1	0	1	100	0
	5	198	197	1	0	1	100	0
	7,5	295	281	11	3	14	95	4
6	2,5	252	239	13	0	13	95	5
	5	235	214	17	4	21	91	7
	7,5	265	207	44	14	58	78	17
	10	259	125	112	22	134	48	43
9	2,5	262	245	13	4	17	94	5
	5	302	267	24	11	35	89	8
	7,5	234	180	52	2	54	77	22
	10	183	83	70	35	105	44	37
12	2,5	221	202	17	2	19	91	8
	5	281	233	34	14	48	83	12
	7,5	269	206	52	11	63	77	19
3	2,5	160	0	0	93,60	5,16	1,24	6,40
	5	198	0	0	79,96	17,5	2,54	20,04
	7,5	295	1	6	34,60	42,28	23,12	65,40
6	2,5	252	0	5	17,43	45,41	37,16	82,57
	5	235	2	9	8,83	63,42	27,75	91,17
	7,5	265	5	22	3,41	32,20	64,39	96,59
	10	259	9	52	0,42	24,9	74,68	99,58
9	2,5	262	1	6	17,98	45,11	36,91	82,02
	5	302	3	11	8,72	41,84	49,44	91,28
	7,5	234	1	23	2,02	34,99	62,99	97,98
	10	183	19	56	0,33	19,93	79,74	99,67
12	2,5	221	1	9	6,45	62,93	30,62	93,55
	5	281	5	17	4,53	31,82	63,65	95,47
	7,5	269	4	23	1,58	30,28	68,14	98,90

За даними таблиці 2 будувались графічні залежності.

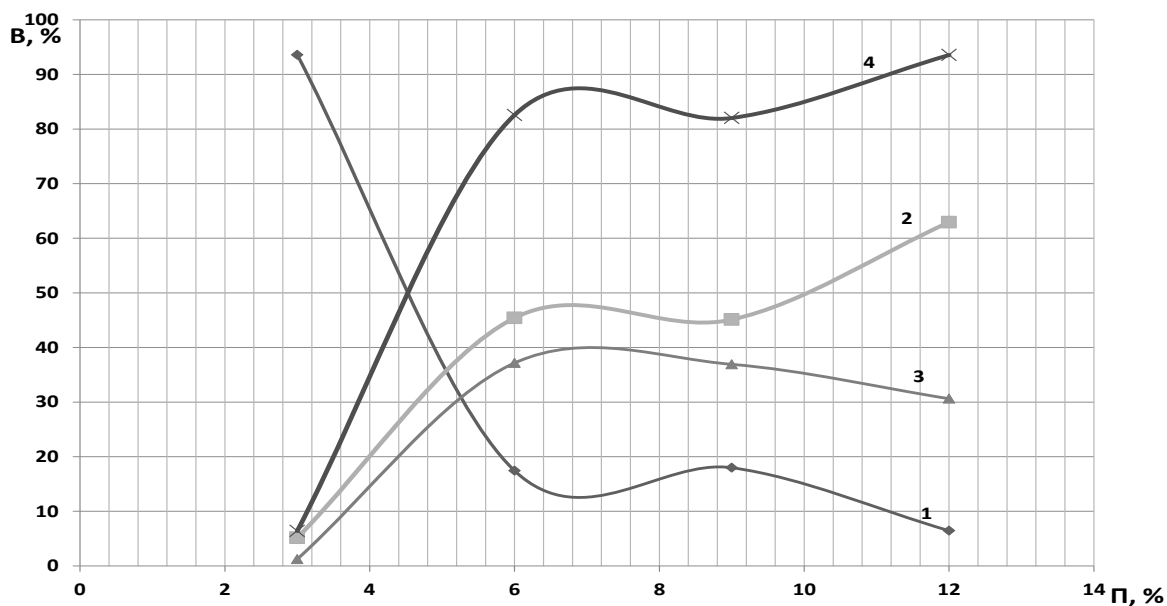


Рис. 1. Залежності виходу насіння цукрового буряка B від подачі магнітного порошку Π при положенні заслінок приймача на поділці 2,5: 1 – вихід I; 2 – вихід II; 3 – вихід III; 4 – виходи (II + III)

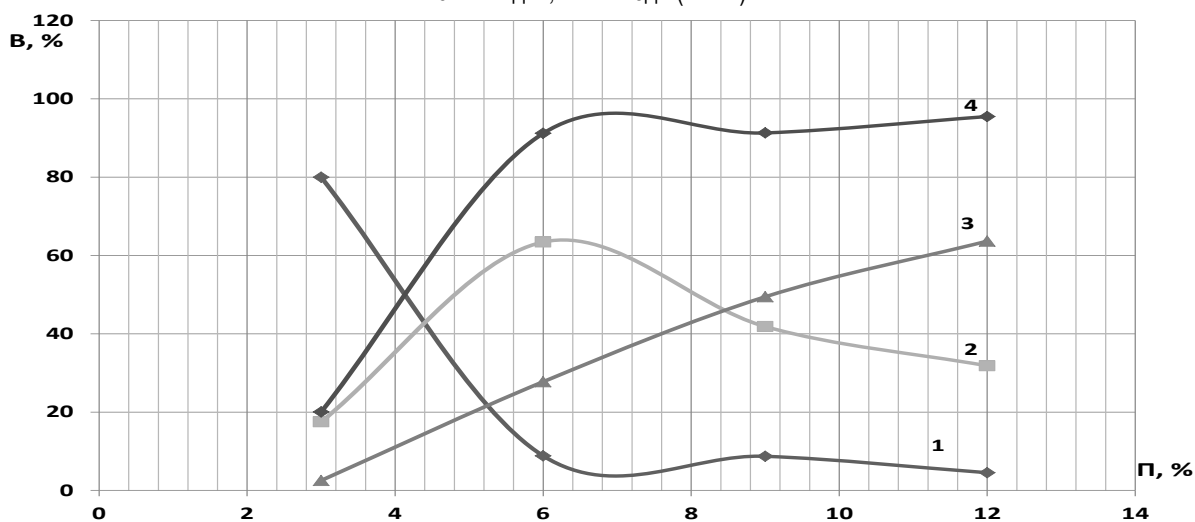


Рис. 2. Залежності виходу насіння цукрового буряка B від подачі магнітного порошку Π при положенні заслінок приймача на поділці 5: 1 – вихід I; 2 – вихід II; 3 – вихід III; 4 – виходи (II + III)

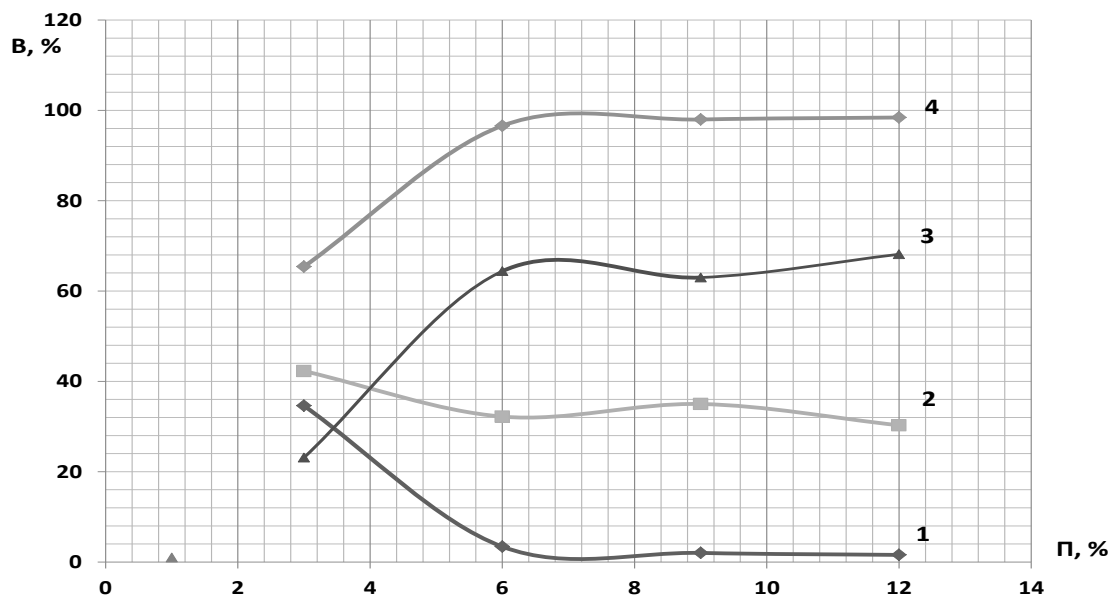


Рис. 3. Залежності виходу насіння цукрового буряка B від подачі магнітного порошку Π при положенні заслінок приймача на поділці 7,5: 1 – вихід I; 2 – вихід II; 3 – вихід III; 4 – виходи (II + III)

При досліджуваній подачі магнітного порошку 6% зволоження вихідного матеріалу позитивно впливає на якість очищення цукрового буряка від дикої редьки.

Вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка (50 – 55 шт. дикої редьки на 1 кілограм цукрового буряка) задовольняють виходи (II + III) при зволоженні 2% і положеннях заслінок приймача на поділках 2,5 і 5. При цьому виходи (II + III) насіння цукрового буряка складали 82,6 – 91,2%.

При підвищенні зволоження до 4% вимогам державного стандарту задовольняли виходи (II + III) при положеннях заслінок приймача на поділках 2,5; 5 та 7,5 при виходах цукрового буряка 82,1 – 96,9%.

При збільшенні відкриття заслінок приймача при усіх режимах зволоження вихід насіння цукрового буряка в виходах (II + III) зростає.

ВИСНОВОК

При зволоженні вихідного матеріалу на 2% (табл. 2) вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка задовольняли виходи (II + III) при подачі магнітного порошку 6% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5 та 5 з виходом насіння цукрового буряка 82,6 – 91,2%; при подачі магнітного порошку 9% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5; 5 та 7,5 з виходом насіння цукрового буряка 82,0 – 98%; при подачі магнітного порошку 12% з положенням заслінок приймача на поділках 2,5 та 5 з виходом насіння цукрового буряка 93,6 – 95,5%.

Дані табл. 1 та 2 показують, що зволоженням вихідного матеріалу можна досягти зниження вмісту дикої редьки в одному кілограмі цукрового буряка до 13 – 32 шт. з виходом насіння цукрового буряка в виходах (II + III) 82,6 – 91,2%.

Список використаної літератури:

1. Кулагин Михаил Сергеевич. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин, В.М. Соловьев, В.С. Желтов. – М.: Колос, 1979. – 256 с.
2. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

Golovchenko G.S., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Method of cleaning sugar beet seeds from wild radish on electromagnetic seed cleaning machines by moistening the source material

The paper considers the issues related to the influence of moisture of the source material on the quality of cleaning sugar beet seeds from wild radish depending on the supply of magnetic powder in the electromagnetic seed cleaning machine. The technological scheme of operation of the electromagnetic seed cleaning machine is resulted, the results of experiments on purification of sugar beet seeds from wild radish depending are given:

1) from the degree of humidification of the source material with mixing with magnetic powder by hand when applying the magnetic powder 6%;

2) from the supply of magnetic powder moistened by 2% of the source material with mixing with magnetic powder by hand.

The results of experiments show that when moistening the source material by 2% the requirements of the state standard for sugar beet seeds met the yields (II + III) when applying magnetic powder 6% with the position of the receiver valves on sections 2,5 and 5 with sugar beet seed yield 82, 6 - 91.2%; when applying magnetic powder 9% with the position of the dampers of the receiver

on the divisions of 2,5; 5 and 7.5 with sugar beet seed yield 82.0 - 98%; when the supply of magnetic powder 12% with the position of the valves of the receiver on sections 2.5 and 5 with the yield of sugar beet seeds 93,6 – 95,5%.

Moisturizing the source material can reduce the content of wild radish in one kilogram of sugar beet to 13 - 32 pcs. with the yield of sugar beet seeds in yields (II + III) 82.6 - 91.2%.

Key words: A mixture of sugar beets – wild radish, enveloping seed with magnetic powder, an electromagnetic seed cleaning machine, the dependences of the yield of seeds on the supply of magnetic powder.

Дата надходження до редакції: 06.02.2020

ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРІВ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ В ФУНКЦІЇ ЧАСУ

Гецович Євгеній Мойсейович

доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4868-1573
e-mail: getchovich-e@ukr.net

Трактори виконуючи роботи на сільськогосподарських угіддях і транспортні операції рухаються по прямолінійній або криволінійній траєкторіях, кривизна якої весь час змінюється. В статті були отримані рівняння для траєкторії нелінійного руху ґрунтообробного агрегату у функції кута повороту корпусу, а також рівняння руху по колу. Використовуючи ці рівняння можна дослідити будь-який розворот та його складові, кожну ділянку. Забезпечення отримання повної інформації про точне розташування агрегату відносно заданої траєкторії за весь час зміни необхідно для повної автоматизації управління роботою машино-тракторних агрегатів та машин без допомоги водія.

Ключові слова: ґрунтообробний агрегат, поворот, траєкторія, рівняння траєкторії.

Вступ. Криволінійний рух суттєво відрізняється від прямолінійного руху. Дослідження умов криволінійного руху машин має важливе практичне значення. Як правило, кінематичні і динамічні умови роботи значно ускладнюються, що потребує вивчення багатьох додаткових факторів, які впливають на керованість, стійкість і надійність руху машини.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.9>

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання криволінійного руху машин розглядалося в роботах В.І. Поддубного, В.Я. Аніловича, Ю.Т. Водолажченка, С.М. Григор'єва, І.Є. Кавчинського та ін. В науковій статті (Поддубний, 2005) викладені результати математичного моделювання руху транспортного засобу при виконанні певних технічних операцій з метою встановлення оптимальних конструктивних параметрів. В статтях (Позін, 2005, Смірнов, 1981) через визначення руху миттєвого центра швидкості вивчається кінематика довільно розташованої опори. Відомі також спроби аналізу силової взаємодії колеса або гусениці з ґрунтом під час повороту (Трояновська, 2007., 2008). Велика кількість наукових робіт присвячена криволінійному руху машин, але це явище вивчене ще в недостатній мірі.

Багато робіт світових вчених присвячені дослідженню траєкторій повороту агрегатів, при виконанні польових робіт, або довільного транспортного засобу. В роботі Мінчжан Сонг (Song et., 2013) надана спроба оптимізувати шлях точки і демонстрація створення запланованого шляху для автономних тракторів-косарок для поворотів. Був запропонований алгоритм на основі схем роботи експериментального планування шляху для автономної косарки-трактора. Дані польових випробувань показали деякий збіг координат точок повороту.

В статті Аль-Хайят (Al-khayyat, 2018) викладена спроба отримання траєкторії криволінійного руху з оптимізацією частинок рою (PSO), використовуючи змінену траєкторію LSPB для створення наскрізних точок на траєкторії. Швидкості були отримані PSO, щоб змусити траєкторію LSPB проходити точно через зазначені точки шляху. PSO добре працює для перевірених випадків. В результаті моделювання була показана взаємодія зміненої траєкторії LSPB з PSO. Цей метод можна використовувати для оперативного пла-

нування шляху, і він дуже простий для застосування.

Метою даної статті є отримання математичних рівнянь для траєкторії нелінійного руху ґрунтообробного агрегату при виконанні технологічних операцій.

Методи дослідження.

У процесі дослідження використані методи емпіричного дослідження: загальнонаукові та спеціальні наукові методи: абстрагування (виділення основних параметрів теоретичного дослідження отримання рівнянь криволінійного руху у функції повороту остова корпусу ґрунтообробного агрегату). Розрахунок та моделювання теоретичних траєкторій центра ваги криволінійного руху машини проводилися за допомогою програми Microsoft Excel. Для статистичної оцінки визначали середньквдратичне відхилення.

Виклад основного матеріалу.

В роботі (Мельнік, 2017) отримані рівняння в параметричній формі для траєкторії неусталеного руху чотириколісної машини з передніми керованими колесами у функції кута повороту корпусу машини φ , які описують вхід в поворот і вихід з повороту лівого і правого напрямків.

При постійній швидкості u елементарна дуга: $dS = R d\varphi = u dt$, де R - радіус кривизни траєкторії. Після інтегрування цього рівняння і визначення постійної з урахуванням (2) отримаємо:

$$t = \frac{\ell}{vk} \ln \left| \frac{\alpha_o + k\varphi}{\alpha_o} \right| \text{ або } \varphi = \frac{\alpha_o}{k} \left(e^{\frac{kvt}{\ell}} - 1 \right). \quad (1)$$

Рівняння (Мельнік, 2017) мають можливість визначати траєкторії нелінійного руху незалежно від швидкості u . Але практичне відтворення траєкторій ускладнюється в зв'язку з непростим законом зміни кута повороту остова ґрунтообробного агрегату в польових умовах. За цих причин рівняння, що наведені вище записати через аргумент t , скориставшись залежністю (2):

$$x = \ell \left[-\frac{\chi_o^2(1+k)^2}{4k^3} \left(e^{\frac{kvt}{\ell}} - 1 \right) + \frac{\gamma_o^2(1-k)^2}{2k^3} \left(e^{\frac{kvt}{\ell}} - 1 \right) - \frac{\chi_o^2 - 2k^2}{2k^2\ell} \right];$$

$$y = \ell \left[\frac{\chi_o(1+k)}{k^2} \left(e^{\frac{kvt}{\ell}} - 1 \right) - \frac{\gamma_o}{k} \cdot \frac{v}{\ell} \right]. \quad (2)$$

Рівняння (2) дають можливість досліджувати розв'язки агрегатів у функції часу і отримувати траєкторію нелінійного руху у відповідності до повороту керма або керованих коліс.

Для перерахування координат окремої ділянки x_2y_2 в загальну систему координат $xу$ були використані формули для спряження окремих ділянок:

$$x = vt \left[\left(1 - \frac{1}{2} \alpha_o^2 \right) - \frac{1}{2} \alpha_o \left(k + \alpha_o \frac{v}{\ell} \right) t - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} k^2 + \alpha_o k \frac{v}{\ell} + \frac{1}{3} \alpha_o^2 \frac{v^2}{\ell^2} \right) t^2 - \frac{1}{8} k \frac{v}{\ell} \left(k + \alpha_o \frac{v}{\ell} \right) t^3 - \frac{1}{40} k^2 \frac{v^2}{\ell^2} t^4 \right]; \quad (4)$$

$$y = vt \left[\alpha_o + \frac{1}{2} \left(k + \alpha_o \frac{v}{\ell} \right) t + \frac{1}{6} k \frac{v}{\ell} t^2 \right].$$

Згідно з наведеним вище виразом для елементарної дуги траєкторії будуть:

$$\varphi = \frac{v}{\ell} \left(\alpha_o t + \frac{1}{2} k t^2 \right); \quad t = -\frac{\alpha_o}{k} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_o}{k} \right)^2 + \frac{2\ell}{vk} \varphi}. \quad (6)$$

При побудові траєкторій розворотів ґрунтообробних агрегатів, наприклад, під час розвороту на полі, необхідно забезпечувати наперед задані курсові координати центрів кривизни. В цьому випадку координати треба підставити у рівняння (2) і перерахувати поточні координати довільної системи координат в загальну систему координат $xу$. В результаті отримуємо:

$$a_1 k^2 + b_1 k + c_1 = 0;$$

$$a_2 \hat{e}^2 + b_2 \hat{e} + \hat{n}_2 = 0, \quad (7)$$

де $\hat{a}_1 = -m \cos \theta_i$;

$$b_1 = -n \sin \theta_i - p \cos \theta_i;$$

$$c_1 = x_{oi} - x_{\hat{e}} + q \cos \theta_i - r \sin \theta_i;$$

$$a_2 = -m \sin \theta_i;$$

$$b_2 = n \cos \theta_i - p \sin \theta_i;$$

$$c_2 = y_{oi} - y_k - q \sin \theta_i + r \cos \theta_i;$$

$$x = x_o + x_2 \cos \psi - y_2 \sin \psi;$$

$$y = y_o + y_2 \cos \psi + x_2 \sin \psi, \quad (3)$$

де x_o, y_o – координати кінцевої точки траєкторії входу в поворот; ψ – кут повороту осей системи координат x_2y_2 відносно системи координат $xу$.

В роботі (Татьянченко, 2017) отримані нові рівняння для траєкторії неусталеного руху чотирьохколісної машини:

При знаходженні коренів рівнянь (7) слід помітити, що на ділянці входу в лівий поворот коефіцієнт k додатний, а на ділянці виходу з лівого повороту - від'ємний. Перше рівняння системи (7) дає коефіцієнт k_x , який задовольняє рівнянню абсциси x при всіх реальних значеннях параметра t , а з другого рівняння отримуємо коефіцієнт k_y для ординати y . Далі, треба знайти час t , при якому має місце рівність $k_x = k_y = k$.

Для випадку: $\ell=0,93$ м; $u=1$ м/с: вхід в лівий поворот $\gamma_o=2^\circ$, $\phi_o=0^\circ$, $\gamma_k=17^\circ$, $k=0,5$: розрахунки дають: $k=0,0396151$ с⁻¹; $t=3,954352$ с. Результати розрахунків наведені в таблиці 2. Метод розрахунку k і t використовується у випадках, коли треба вийти в кінці траєкторії на курсові координати.

В таблицях 1, 2 наведені розрахункові координати точок траєкторії входу в лівий поворот і виходу з повороту.

Таблиця 1 – Розрахунки за рівняннями (2).

№ з/п	Вхід: $\alpha_o=2^\circ, \alpha_k=17^\circ, k=0,5$			Вихід: $\alpha_o=17^\circ, \alpha_k=2^\circ, k=-0,5$				
	t, c	$x=x_1$	$y=y_1$	t, c	x_2	y_2	x	y
1	0	0	0	0	0	0	3,7098	1,1823
2	1,5083	1,5009	0,1381	0,2958	0,2808	0,0944	3,9058	1,4044
3	2,8981	2,8322	0,5278	1,0824	1,0082	0,3986	4,3838	2,0315
4	3,3327	3,2142	0,7409	1,6504	1,5186	0,6544	4,6980	2,5081
5	3,9805	3,7097	1,1823	3,9805	3,5287	1,8742	5,8295	4,5692

Таблиця 2 – Розрахунки за рівняннями (4).

№ з/п	Вхід: $\alpha_o=2^\circ, \alpha_k=10,97^\circ, k=0,0396151$ с ⁻¹			Вихід: $\alpha_o=10,97^\circ, \alpha_k=4,55^\circ, k=-0,02815$ с ⁻¹				
	t, c	$x=x_1$	$y=y_1$	t, c	x_2	y_2	x	y
1	0	0	0	0	0	0	3,7274	1,1797
2	1,5083	1,4986	0,1647	0,2958	0,2888	0,0643	3,9536	1,3704
3	2,89815	2,8236	0,5978	1,0824	1,0396	0,3052	4,5077	1,9315
4	3,3327	3,2111	0,8073	1,6504	1,5648	0,5358	4,8664	2,3791
5	3,9541	3,7274	1,1797	4,0059	3,5132	1,8722	6,0634	4,5119

На рисунку 1 показана інтерпретація пошуку коефіцієнтів k і часу t , які відповідають виходу на обумовлені координати в кінці кожного маневру. Слід відмітити, що графічний пошук не може забезпечити відповідну точність пошуку цих параметрів, тому для вирішення задачі отримання курсових координат в кінці ділянки треба застосувати формули (7). Метод послідовних наближень дає результат з будь-якою точністю.

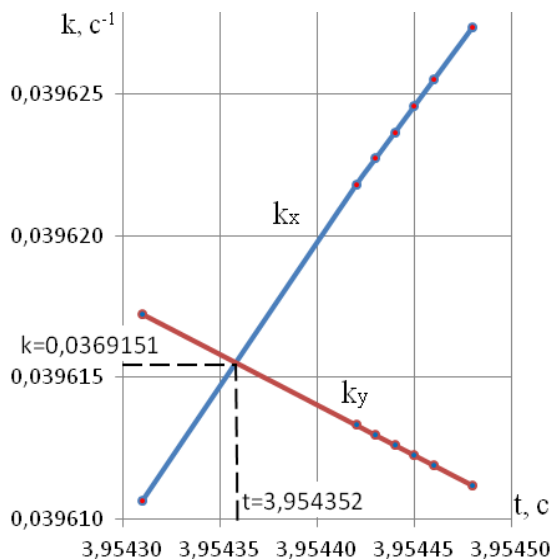


Рисунок 1 – Інтерпретація пошуку k і t на ділянці входу в лівий поворот.

Як видно, рівняння (6) придатні для визначення всіх можливих маневрів колісної машини і при будь-яких значеннях вихідних параметрів.

На рис. 2 побудовані дві траєкторії при $\gamma_0=15^\circ$ і $k=0$. Траєкторія 1 розрахована за рівняннями (8), отриманими в роботі (Поддубний, 2005) спеціально для руху по колу ґрунтообробного агрегату:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\ell}{\alpha_1} [\sin(\alpha_0 + \varphi) - \sin \alpha_0], \\ \phi &= -\frac{\ell}{\alpha_1} [\cos(\alpha_0 + \varphi) - \cos \alpha_0]. \end{aligned} \quad (8)$$

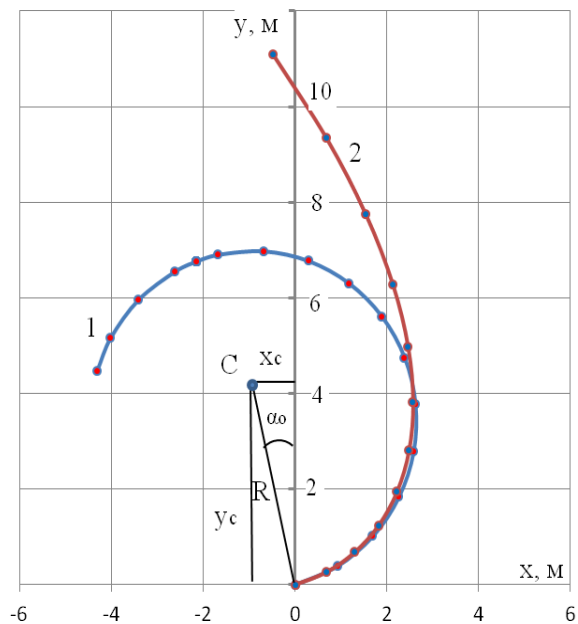


Рисунок 2 - Траєкторії руху по колу.

Це ідеальне коло радіусом $R=3,55$ м. Траєкторія 2 на рис. 2 побудована за рівняннями (4). Вона з достатньою точністю співпадає з кривою 1.

Висновок.

Кожна з наведених форм рівнянь траєкторії нелінійного руху ґрунтообробного агрегату удосконалює попередню форму, яка має свої особливості. Рівняння (4) дають можливість описати нелінійний рух в польових умовах - в функції часу. А рівняння (6) найпростіші у використанні і теж дозволяють виразити всі параметри руху в функції часу. Але є необхідність в поліпшенні отриманих рівнянь, щоб спростити використання на практиці, наприклад, для розворотів машино-тракторних агрегатів на полі або автоматично програмування.

Список використаної літератури:

1. Поддубный В. И. Математическая модель движения колесного трактора / В. И. Поддубный // Ползуновский альманах. – 2005. – №3. – С.73-76.
2. Позин Б. М. Кинематические соотношения при взаимодействии движителя с грунтом при повороте / Б. М. Позин, И. П. Трояновская // Вестник ЮурГУ. Серия «Машиностроение». – Челябинск: изд-во ЮурГУ, 2005. – Вып. 7. – №14 (54). – С. 93-96.
3. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
4. Трояновская И. П. Развитие и анализ взглядов на силовое взаимодействие колеса с грунтом при повороте машины / И. П. Трояновская // Сб. научных трудов «Механика и процессы управления», Труды XXXVIII Уральского семинара. Т.1 / УрО РАН. – Екатеринбург, 2008. – С.230-237.
5. Трояновская И. П. Силовое взаимодействие гусеничного движителя с грунтом на повороте / И. П. Трояновская // Тракторы и с/х машины. – 2007. – №12. – С.19-20.
6. Song MZ. Development of Path Planning Algorithm for an Autonomous Mower Tractor [Електронний ресурс] / MZ. Song, SW. Kang, SO. Chung та ін.] // 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry August 27-30. Espoo, Finland. P.P. 154-158. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015349764/pdf?md5=daeb89814f591143eb706a359c377261&pid=1-s2.0-S1474667015349764-main.pdf>
7. Al-khayyit SZS. Creating Through Points in Linear Function with Parabolic Blends Path by Optimization Method [Електронний ресурс] / SZS. Al-khayyit // Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 14, No. 1, March., P.P. 77-89. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aid=141135>.
8. Мельник В. І. Аналітичний спосіб дослідження криволінійного руху чотирьохколійної машини (Analytical method of examining the curvilinear motion of a four-wheeled vehicle). В. І. Мельник, М. Я. Довжик, Б. Я. Татяненко, О. О. Соларьов, Ю.

В. Сиренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. Прикладна механіка. *Bun.* 3, № 7 (87), (2017). С. 59-65.

9. Татьяначенко Б. Я. Результаты аналитических исследований траектории криволинейного движения четырехколесных машин. // Б. Я. Татьяначенко, Ю. В. Сиренко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 22–24 ноября 2017 года) / редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2017. – 324 - 327 с.

References:

1. Poddubnyj, V. I.: (2005). Matematicheskaja model' dvizhenija kolesnogo traktora. [Mathematical model of the movement of a wheeled tractor]. *Polzunovskij al'manah*, 3, 73-76. [in Russia].

2. Pozin, B. M.: (2005). Kinematicheskie sootnoshenija pri vzaimodejstvii dvizhitelja s gruntom pri povorote. [Kinematic relations for the interaction of the propeller with the ground when turning]. *Vestnik JuurGU. Serija «Mashinostroenie»*. Cheljabinsk, 7, 14 (54), 93-96. [in Russia].

3. Smirnov, G. A.: (1981). Teorija dvizhenija kolesnyh mashin [The theory of motion of wheeled vehicles] – M.: Mashinostroenie. [in Russia].

4. Trojanovskaja, I. P.: (2008). Razvitie i analiz vzgljadov na silovoe vzaimodejstvie koleasa s gruntom pri povorote mashiny. [Development and analysis of views on the force interaction of the wheel with the ground when turning the machine] *Sb. nauchnyh trudov «Mehanika i processy upravlenija», Trudy HHHVIII Ural'skogo seminar./ UrO RAN*, 1, (pp.230-237). Ekaterinburg. [in Russia]. doi: <https://doi.org/10.14529/engin170301>

5. Trojanovskaja, I. P.: (2007). Silovoe vzaimodejstvie gusenichnogo dvizhitelja s gruntom na povorote [Force interaction of the tracked mover with the ground when cornering]. *Traktory i s/h mashiny*, 12, 19-20. [in Russia].

6. Song, MZ., Kang, SW., Chung, SO., Kim, KD., Chae, YS., Lee, DH., Kim, YJ., Yu, SH. & Lee, KH. (2013, August 27-30). Development of Path Planning Algorithm for an Autonomous Mower Tractor [4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture] Horticulture and Post Harvest Industry. (pp.154-158). Espoo [in Finland]. doi: <https://doi.org/10.7744/cnijas.2015.42.1.063>.

7. Al-khayt, SZS. (2018, March). Creating Through Points in Linear Function with Parabolic Blends Path by Optimization Method. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 14, 1, 77-89. doi: <https://doi.org/10.22153/kej.2018.10.005>.

8. Melnik, V., Dovzhyk, M., Tatyanchenko, B., Solarov, O. & Sirenko Yu. (2017). Analytical method of examining the curvilinear motion of a four-wheeled vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 3, 7 (87), 59-65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101335>.

9. Tat'janchenko, B. Ja. & Sirenko, Ju. V.: (2017, November 22–24) Rezultaty analiticheskikh issledovanij traektorii krivolinejnogo dvizhenija chetyrehkolesnyh mashin. [The results of analytical studies of the trajectory of curvilinear motion of four-wheeled vehicles] *Tehnicheskoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve: sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. (pp. 324 - 327). Minsk: BGATU. [in Belarus]

Evgen Getsovich, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Study of the maneuvers of the tillage unit in the function of time

Tractors performing work on agricultural land and transport operations move in a straight or curved trajectory, the curvature of which is constantly changing. Drawing up the equations of curvilinear motion is one of the main tasks of modeling the rotation. Fundamentally different assumptions underlying the description of the force interaction of the wheel and caterpillar propulsion with the soil, led to the formation of different methodological approaches in the study of curvilinear motion of machines. Many scientists have tried to obtain mathematical equations of curvilinear motion by different methods: analytical, graph-analytical and graphical. What were the methods of approximation, exact mathematical models, but which are very difficult to apply in practice. The necessity of studying the trajectories of unsteady motion is substantiated in the article.

The equations for the trajectory of nonlinear motion of the tillage unit as a function of the angle of rotation of the body, as well as the equation of motion in a circle were obtained in the article. Using these equations, you can investigate any reversal and its components, each section.

Ensuring complete information on the exact location of the unit relative to the specified trajectory for the entire period of change is necessary for full automation of the control of the operation of machine-tractor units and machines without the help of a driver.

The results of the article can be used in the future to plan the reversals of the AIT, which should be made the most rational and economical, when performing agricultural work; to reduce unproductive power consumption and avoid damage to land in reversible areas, or to compile AIT automatic control software.

Key words: tillage unit, rotation, trajectory, trajectory equation.

Дата надходження до редакції: 07.02.2020

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Олександренко Віктор Петровичдоктор технічних наук
Хмельницький національний університет
ORCID: 0000-0002-2404-2104
email: oleksandrenkovp@gmail.com**Курской Володимир Сергійович**кандидат технічних наук
Хмельницький національний університет
ORCID: 0000-0002-3929-884X
email: vk702713@gmail.com**Соларьов Олександр Олексійович**кандидат технічних наук,
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-1485-0685
email: lmcas@i.ua**Таценко Олександр Володимирович**ст. викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-1762-8219
email: AlexTatsenko@ukr.net

Використання важкої техніки в сільськогосподарському виробництві пов'язане з ущільненням ґрунтів і, як наслідок, з негативним впливом на зростання і врожайність вирощуваних культур. Тут має місце очевидне протиріччя: необхідність у достатній кількості продуктів харчування потребує потужних машин, а збереження придатливого для вирощування рослин ґрунту вимагає обмежень кількості важкої техніки на полях. Тому пошук оптимального співвідношення цих протилежних тенденцій залишається актуальним у сучасних наукових дослідженнях.

Оптимальна щільність за своєю абсолютною величиною індивідуальна для кожного типу ґрунту, для різновидів ґрунтів за механічним складом і для біологічних груп сільськогосподарських рослин. Реакція рослин на різне ущільнення залежить від біологічних особливостей окремих культур і, в першу чергу, від особливостей розвитку кореневих систем.

З метою удосконалення тягово-зчіпних можливостей машинно-тракторних агрегатів (МТА) часто використовуються нерівномірний розподіл навантажень на осі, практикується навіть додаткове навантаження, наприклад, за рахунок баласту на ведучі колеса. Це призводить до збільшення ущільнюючого впливу на ґрунт. У зв'язку з цим залишається актуальним питання раціонального розподілу зусиль між осями і колесами машин.

Ключові слова: машина-трактор, колеса, ущільнення ґрунту.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.10>

Вступ. Сьогодні, поряд з класичною механікою ґрунтів, заснованою на визначенні напруженого стану ґрунту при допущенні лінійної залежності між зусиллями й деформаціями, застосовується багато інших методів.

У 1801 році М.І. Фусс запропонував гіпотезу, основою якої було поняття пропорційної залежності деформацій ґрунту від навантаження. А в 1885 році Ж. Буссінеск отримав рішення задачі про розподілення напружень у ґрунті в напівпросторі від дії зосередженої сили, започаткувавши основи теорії розподілення напружень у ґрунті. У другій половині XIX століття та з приходом XX ст.. Г.Є. Паукер, М.Леві, У. Репкін, Л.Прандль створили принципи сучасної теорії граничної рівноваги сипучих середовищ [8].

До появи в літературі робіт К. Тергаці науковці розглядали ґрунти як суцільні, однорідні, однофазні, матеріали, часто вважали, що щільність та вологість у процесі деформування майже не змінюється. К.Тергарці у своїх роботах описував, що основні явища, які спостерігаються у поведінці ґрунту під час навантаження залежать від зміни кількісного

співвідношення фаз ґрунту у процесі деформування та від механічної взаємодії фаз.

До недоліків класичної механіки ґрунтів слід віднести, що вона не давала відповіді на основне питання визначення напруженого стану ґрунтів за межами лінійної, пружної стадії деформування.

За розрахунковими моделями М.М. Герсєванова дозволялось умовно надавати певні ідеальні властивості ґрунтам, як, припущення про рівномірний розподіл напруження за горизонтальними перерізами основи, поверхня якої навантажена [5].

В багатьох випадках недостатня надійність рішень класичної механіки ґрунтів сприяла застосуванню нового підходу до проектування – принцип граничних станів, який був вперше запропонований у 1948 році групою інженерів на чолі з В.М. Келдишевим.

У підручнику «Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти» під редакцією Н. Л. Зоценко читаємо: «Способи описати весь комплекс властивості

ґрунтів за допомогою однієї моделі потребують розроблення складного математичного апарату розрахунків, проведення трудомістких експертиз для вивчення параметрів моделі і все-таки навряд чи можуть дати позитивний результат найближчими роками». Саме тому були створені численні моделі, які використовуються у механіці ґрунтів. Серед них найбільш відомими є статичні моделі, які не враховують зміни в ґрунті за часом, та реологічні моделі, які, навпаки, враховують вплив часу. Існують також більш складні моделі, що враховують взаємодію ґрунту з рідиною в його порах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо моделі ґрунтів, які зводяться до відношення «напруження - деформація», контактні моделі. Поділ всіх моделей можна виконати за такою ознакою: входить чи ні в їх рівняння час. Моделі, які мають в своїх рівняннях залежність від часу, називають реологічними. В основному їх беруть зі статичних моделей, в яких час не беруть до уваги з додаванням в'язкості, подібно до моделей Максвелла чи Бінгама [17, 18]. Існують і більш складні t-моделі, які не виводяться прямо із статичних. Детально в своїх працях описують моделі Вялов С.С. [9], Зарецький Ю.К., Мартиросян З.Г. [6].

У такій науці як реологія, пружні, в'язкі та пластичні властивості тіл моделюють набором механічних елементів, які з'єднують паралельно чи послідовно. Такі моделі частіше всього моделюють, як ідеально пружне тіло (підкорюється закону Гука); модель із в'язкими властивостями та ідеально пластичним тілом – Сен-Венома [4].

Формулювання для цілей та методи досліджень.

Основною метою даної статті є дослідження та аналіз існуючих моделей напруженого стану ґрунту та обладнання, яке використовується для дослідження ущільнення та твердості.

Виклад основного матеріалу.

Розходження, яке виникає між дійсними властивостями ґрунтів та їх моделями призвели до виникнення багатоелементних моделей з великою кількістю пружних та в'язких елементів.

Інший загальний поділ пов'язаний із встановленням залежності «напруження-деформація». З урахуванням того, що ґрунт є не суцільним, а дискретним середовищем, його реальною моделлю може бути та, яка описує взаємодію окремих частинок з урахуванням фізичного виду зв'язків між ними. У загальній літературі цей напрям має назву мікропідходу.

Альтернативою цій моделі є макропідхід, заснований на гіпотезі про безперервність ґрунтового середовища.

Континуальні моделі, які звичні для механіки суцільного середовища, можна провести за такими ознаками: моделі лінійно-деформованого середовища; граничної рівноваги; моделі пружно-пластичного середовища.

Найбільш поширеними моделями в інженерній практиці механіки ґрунтів є моделі лінійно-деформованого середовища. У цих моделях, крім разового навантаження і лінійної залежності між напруженнями та деформацією, розглядають тільки загальну деформацію без поділу на пружну й пластичну складові [13].

Рівняння цих моделей записуються у вигляді:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y - \sigma_z)]; \quad \gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)]; \quad \gamma_{yz} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{yz}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]; \quad \gamma_{zx} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{zx}; \quad (3)$$

де E – модуль загальної лінійної деформації, μ – коефіцієнт Пуассона.

Моделі теорії граничної рівноваги ґрунту відповідають умовам, коли в ґрунтовому середовищі у всіх точках виконується умова граничної рівноваги, а в елементах масиву переважають пластичні деформації (т. С графіка $S=f(\sigma)$, рис.1.7).

Систему рівнянь можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\tau_{xz}}{\partial z} = x; \quad (4)$$

$$\frac{\tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial z} = z; \quad (5)$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2C \cdot ctg\varphi)^2 \sin^2\varphi \quad (6)$$

де C – питоме зчеплення ґрунту; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту;

x, y – компоненти об'ємних сил.

Одним із недоліків даних рівнянь є те, що вони дають задовільні результати лише за умови постійності значень характеристик міцності та реформованості ґрунтів усіх елементів масиву в будь-який момент навантаження [8].

Моделі пружно-пластичного середовища та теорії пластичної течії – це набір рівнянь, які визначають границі пружної поведінки середовища та зв'язок деформацій та напруг за межею пружної області. Базою для них є диференціальні співвідношення між напруженнями та деформаціями й можуть урахувати закономірності зміни механічних властивостей ґрунту як у процесі експерименту, так і в натурних умовах.

Компоненти деформацій та напруг у цих моделях поділяють на пружні й пластичні складові лінійних та кутових деформацій.

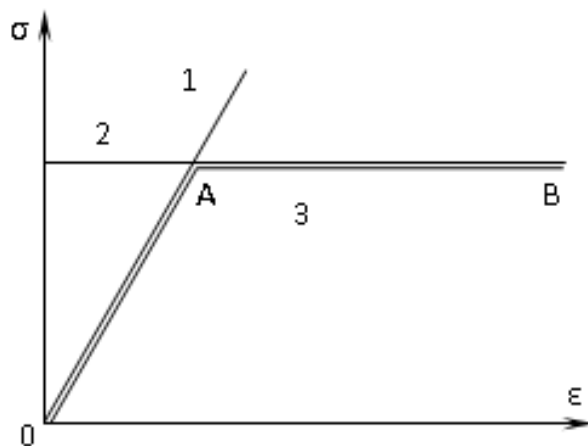


Рис. 1. Типовий вигляд графіків залежності між напруженнями (σ) та деформаціями (ε) моделей ґрунтів: 1 – лінійно-деформованого середовища; 2 – жорстко-пластичного тіла; 3 – пружно-пластичного тіла (діаграма Прандтля)

Лінія 3 на рис.1 показує властивості досить поширеної моделі ідеального пружно-пластичного тіла. У цій моделі межі пропорційності, текучості та міцності збігаються в точці А.

Сучасні задачі механіки ґрунтів дуже різноманітні, але не дозволяють в повному обсязі відповісти на більшість практичних питань.

У роботах М.Л. Зоценка детально розглянуто процес деформації ґрунтів від дії на нього місцевого зростаючо-

го навантаження [8]. Під час взаємодії на поверхню ґрунту жорсткого штампу фундаменту виникає складний напружений стан, який суттєво відрізняється від компресійного стиснення, бо ґрунт крім нормальних відчуває і дотичні напруження, які при досягненні певної величини можуть викликати незворотні зрушення.

Залежність між напруженням σ і відносною деформацією ґрунту ε має досить складний характер [8]. На графіку (рис. 2) виділено три зони. Перша зона – ділянка *OB*. Тут виникають переважно пружні деформації. У межах цієї ділянки знаходиться так звана структурна міцність ґрунту σ_s - напруження, до якої має місце лінійна залежність між σ і ε (відрізок *OA*).

Якщо напруження перевищує величину σ_s , відбувається ущільнення ґрунту за рахунок зменшення його пористості. При подальшому збільшенні напруження (ділянка *BC*) ґрунт ущільнюється інтенсивніше, хоча вплив дотичних напружень поки ще незначний, тому частки ґрунту переміщуються, в основному, вниз і не зміщуються в сторони.

Вплив тиску поширюється на велику глибину. Глибина проникнення тиску залежить від щільності ґрунту: чим вище щільність, тим глибше проникає тиск. Але й на цій ділянці залежність між напруженням і осадкою ґрунту (деформацією) звичайно приймається лінійною. Ця фаза вважається безпечною навіть при розрахунках фундаментів.

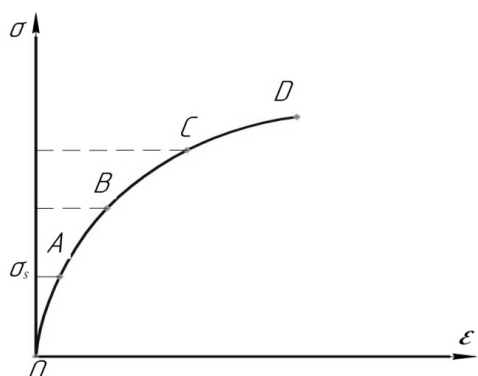


Рис. 2. Залежність між напруженням і деформацією ґрунту

З огляду на поведінку ґрунту під навантаженням, яка характеризується графіком на рис. 3, робимо висновок, що в даному випадку застосована теорія лінійно деформованого середовища, згідно з якою деформації змінюються прямо пропорційно напруженням, тобто ґрунт, як досить пружний матеріал, підкоряється закону Гука. Тому в даному випадку можна використовувати математичний апарат теорії пружності.

Відомо, що розрахунки, на основі теорії пружності виконуються в інтервалі напружень, при яких середовище вважається суцільним, однорідним, ізотропним і не деформується в часі. Відносно ґрунту це справедливо лише з певним наближенням. У зв'язку з цим були зроблені спроби створення більш точних механічних моделей ґрунту. Такими моделями є, наприклад, реологічні, які враховують тимчасові явища.

Процес визначення напруження у ґрунті під рушіями техніки, яка працює, – на полі досить складне завдання. Отриманню точних результатів вимірювань перешкоджають деякі фактори. Насамперед, ґрунт – це неоднорідне середовище і всі процеси, що в ньому протікають, проходять при

Подальше збільшення навантаження викликає пластичні деформації. При напруженнях, які відповідають ділянці *CD*, відбувається різке осідання ґрунту, видавлювання його в сторони і нагору. Починається процес руйнування. У цьому випадку під дією зростаючих дотичних напружень розвиваються зсуви ґрунту по так званим лініям ковзання. Ґрунт знаходиться в пластичному стані або в стані повзучості. Фактично він поводить, як дуже в'язка рідина. У будівництві ця фаза викликає катастрофи. Якщо подібні явища розвиваються під колесами машин, що працюють на полях, вони буксують, осідають, і тоді виникає потреба в додатковій техніці у вигляді тягачів, щоб звільнити поле від руйнівної атаки.

Досвід показує, що в межах ділянок *OB* і *BC* ґрунт поводить, як суцільний матеріал. Напруження зменшуються (розсіюються) в міру віддалення від місця навантаження як углиб, так і в сторони. В зв'язку з тим, що частинки ґрунту дуже малі, реальні сили, які діють між ними, можна замінити умовними силами, розподіленими за об'ємом. Ці внутрішні зусилля, як відомо, називаються напруженнями. Закономірність їх розподілу залежить від величини і характеру зовнішнього навантаження.

Отже, для оцінки напружено-деформованого стану ґрунту в нашому випадку можна використовувати положення механіки суцільного середовища.

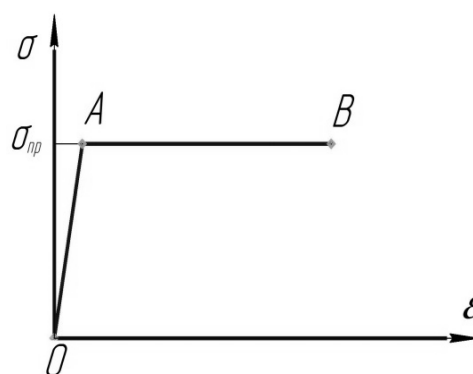


Рис. 3. Діаграма ідеального пружно-пластичного матеріалу

різних умовах по-різному. Тому, на нашу думку, відомі прилади для визначення напружень у ґрунті частково не задовольняють наші потреби.

У сучасному аграрному виробництві для визначення ущільненості ґрунту та глибини залягання під плужної підшви використовують пенетрометр (твердомір) рис. 1.10.[12].

Твердомір – це прилад, який вимірює твердість ґрунту

Для дослідження напружень і деформацій у ґрунті відомий пристрій, який має корпус з направляючими руху, каретку з датчиками тиску та інше [2].

Недоліком такого пристрою є те, що внаслідок розташування датчиків в одній площині, неможливо визначити одночасно нормальні та дотичні напруження в ґрунті від дії рушіїв транспортних засобів.

Також є пристрій для вимірювання напружень у ґрунті, що складається з основного диска, допоміжного диска з каліброваними кульками, які встановлені по його периметру, а кришка виконана з виступом та гнучкими балочками з допоміжними тензодатчиками та ін. [11].

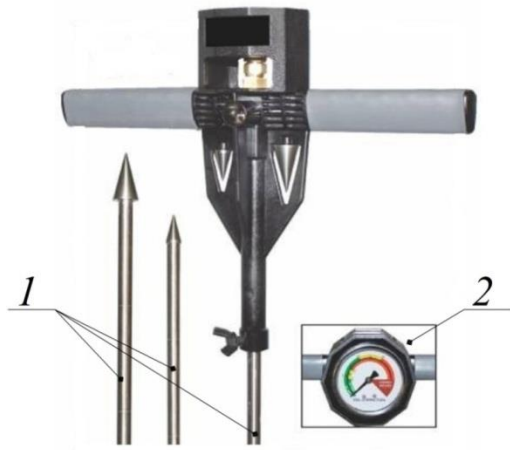


Рис. 4. Пенетрометр (твердомір): 1 – робочі стержні, 2 – дисплей в межах від до 450 мм, діапазон вимірювань тиску від 0 до 100 кг/см²

Суттєвим недоліком такого пристрою є значна похибка виміру як нормальних, так і дотичних напружень у ґрунті. Це пов'язано з тим, що під дією зовнішнього нормального зусилля верхній диск деформується (прогинається) по периферії, а це призводить до виникнення дотичних напружень і деформації тензодатчиків. Внаслідок цього значно затрудняється процес отримання дійсних значень одночасно як нормальних, так і дотичних напружень в ґрунті, що виникають від дії рушіїв транспортних засобів.

Питанням підвищення тягово-зчіпних властивостей та зменшенню ущільнюючої дії рушіїв на ґрунт приділяли багато вчених особливо: Аксєонов В.П., Горячкін В.П., Савочкін В.А., Золотаревська Д.І., Клімов А.В., Коцарь Ю.А., Ксєнович І.П., Ляско А.А., Frank M. Zoz., Robert D. Grisso, Cudzik, A., Białczyk, W., Brennensthal, M., Czarniecki, J. [3, 7, 8, 15, 16, 19].

Горячкін В.П. у своїх роботах звертає особливу увагу на енергетичну оцінку тракторного агрегату і вказує на необхідність оцінки джерела енергії (трактора) та засобу виконання безпосередньо роботи (агрегату).

До головних параметрів, що характеризують роботу

сільськогосподарського агрегату слід віднести: 1) тягово-зчіпні властивості; 2) ККД агрегату; 3) продуктивність [14].

Досить докладно у своїх роботах розглядають тягово-зчіпні властивості колісних рушіїв на деформованих ґрунтах Агейкіна Я.С. [1] і Полетаєва А.Ф.

Аналізуючи літературу про тягово-зчіпні властивості трактора з агрегатом, ми дійшли висновку, що найбільшого поширення набула оцінка Полетаєва А.Ф. Згідно його досліджень тягова характеристика являє собою комплекс залежностей швидкості руху, тягової потужності, питомої витрати палива, буксування, числа обертів колінчастого вала двигуна трактора від тягового зусилля. Усі перелічені залежності можуть бути показані у вигляді графіків чи таблиць [9].

Тягову характеристику можна також розглядати як сукупність областей на графіку, обмежених відповідними кривими і характеризують різноманіття варіантів агрегування трактора з машинами і знаряддями залежно від ступеня завантаження двигуна [10].

Тягові характеристики трактора встановлюють розрахунковим шляхом (при проектуванні) або в процесі тягових випробувань (для існуючої машини). Тягові випробування дозволяють охарактеризувати можливість поєднання трактора з машинами і знаряддями, а також оцінити його тягово-зчіпні, динамічні та економічні показники.

У роботі [13] детально описуються статичні коефіцієнти навантаження коліс, які визначаються з відношення:

$$\lambda_{ст1} = s/l; \lambda_{ст2} = (l - s)/l; \lambda_{ст1} + \lambda_{ст2} = 1, \quad (1)$$

де s – відстань від центру мас до осі заднього мосту, l – відстань між мостами трактора.

Ці коефіцієнти показують як саме відбувається розподіл навантаження між передніми та задніми рушійми трактора.

Записавши вирази суми моментів відносно точки O_2 і O_1 отримаємо статичні реакції Y_1 і Y_2 , які діють на колеса в статистиці (Рис. 5).

$$Y_k = G \cdot s/l; \quad (2)$$

$$Y_n = G(l - s)/l. \quad (3)$$

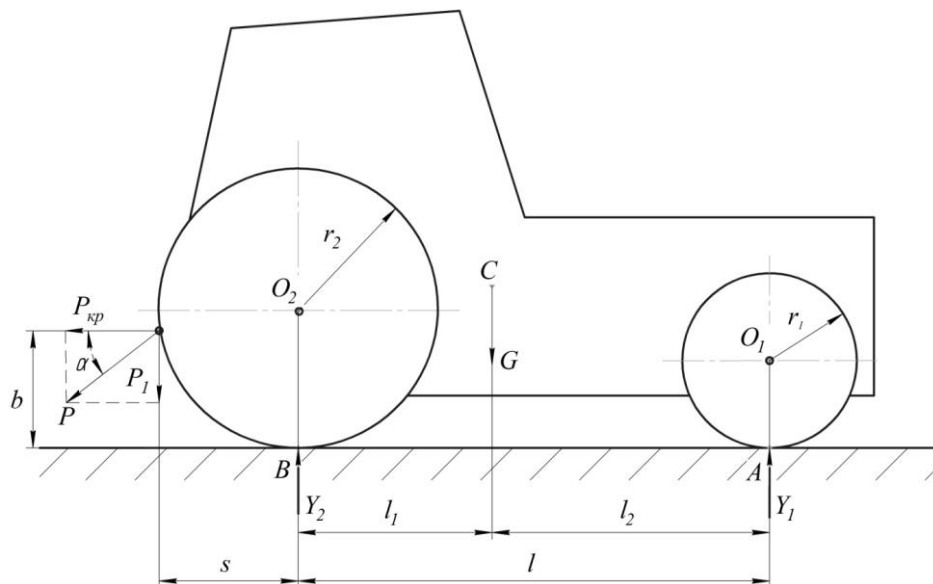


Рис. 5. Схема сил, що діють на колісний трактор

Для аналізу розподілу навантаження на колеса трактора під час його руху з крюковою силою вводять поняття динамічні коефіцієнти навантаження коліс λ_1 і λ_2 , які визначаються відношеннями:

$$\lambda_1 = \lambda_{ст1} - P \cdot b / (l - Q); \quad (4)$$

$$\lambda_2 = \lambda_{ст2} + P \cdot b / (l - Q). \quad (5)$$

Визначення динамічних коефіцієнтів навантажень λ_1 і λ_2 проводилися з метою визначення динамічних нормальних реакцій:

$$Y_1 = \lambda_1 \cdot G; \quad (6)$$

$$Y_2 = \lambda_2 \cdot G. \quad (7)$$

У роботі [13] пропонується для вирівнювання нормальних реакцій на колеса трактора використання довантажувачів для збільшення зчпної реакції колеса з ґрунтом.

Відомо спосіб підвищення тягово-зчпних властивостей повнопривідних колісних тракторів, які реалізуються зміною кута дії сили тяги на крюку зчпкі трактора (RU № 2264924 МПК/В60С023/00) [13].

До недоліків такого способу належить обмеженість його використання, а саме – регулювання перерозподілу нормальних реакцій на ґрунт тільки зміною кута дії сили тяги.

Більш кращим за технічною сутністю способом перерозподілу нормальних реакцій ґрунту на рушії повнопривід-

них тракторів, є спосіб зниження негативного впливу кінематичної невідповідності трансмісії повнопривідних машин (RU № 2202477 МПК/В60С023/00) [11].

Недоліком приведеного способу є наступне. Відповідно перерозподіл нормальних реакцій по ведучим осям трактора пропонується тільки зміною кута дії сили тяги на крюку, що обмежує можливості такого способу в його реалізації і знижує його універсальність.

Головними негативними показниками при невідповідності розподілення реакцій ґрунту на колеса є: зменшення тягово-зчпних властивостей та збільшення ущільнюючої дії.

Висновки. Проаналізувавши відомі методи вирішення задачі дійшли висновку, що всі ці спроби врахувати різні властивості ґрунту вимагають залучення складних математичних методів і трудомістких експериментів, тому не знаходять застосування для вирішення реальних задач.

Для практичного дослідження напруженого стану ґрунту за допомогою більшості моделей, з'являється потреба у розв'язанні складного математичного апарату. Застосування цих моделей не дають змоги швидко в числах отримати результат, для надання практичних рекомендацій у кожному конкретному випадку.

Список використаної літератури:

1. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители (теория и расчет) / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. А. с. 742745 СССР, кл. G 01 M 17/00. Установка для исследования напряжений и деформаций в грунте / В. М. Купцов, В. В. Тараскин, Н. Н. Полянский. – № 3403600/29–33; заявл. 09.03.82; опубл. 15.08.83, Бюл. № 30.
3. Вичик А. Н. Оценка тягово-сцепных и агротехнических свойств шин с разной высотой почвозацепов / А. Н. Вичик, Д. М. Последович // Воздействие ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву: сб. научн. трудов. – Горки: Белорусская сельскохозяйственная академия, 1991. – С. 27-31.
4. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов / С. С. Вялов. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
5. Герсеванов Н. М. Основы динамики грунтовой массы / Н. М. Герсеванов. – М.–Л.: Госстройиздат, 1933. – 197 с.
6. Зарецкий Ю. К. Лекции по современной механике грунтов / Ю. К. Зарецкий. – Ростов на Дону: Издательство Ростовского университета, 1989. – 608 с.
7. Золотаревская Д. И. Математические методы оценки тяговых свойств и уплотняющего воздействия на почву колесных тракторов / Д. И. Золотаревская // Известия ТСХА. – 2000. – Вып.2. – С. 160-180.
8. Кацыгин В. В. Влияние параметров колесных движителей на тягово-сцепные свойства тракторов / В. В. Кацыгин, А. Н. Орда, А. Я. Котлобай // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 4. – С. 28-30.
9. Колобов Г.Г. Тяговые характеристики тракторов / Г.Г. Колобов, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1972. – 157 с.
10. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора / Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
11. Пат. 585440 СССР, МПК Кл.² G01N 33/24. Устройство для измерения напряжений в грунте / В. В. Лифанов, Ю. Н. Мурзенко; заявитель Новочеркасский Ордена трудового красного знамени политехнический институт им. Серго Орджоникидзе. – № 2315125/29-33; заявл. 14.01.76; опубл. 25.12.77, Бюл. № 47.
12. Плотномер (твердомер) почвы Wile Soil [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.lhm-pushkino.ru/page/ru_RU/lesotax/plotnomer.
13. Пьянков С. А. Механика грунтов: учебн. пос. / С. А. Пьянков, З. К. Азизов. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 103 с.
14. Саакян Д.Н. Оценочные показатели сельскохозяйственных полевых агрегатов / Д.Н. Саакян. – Ереван.: Институт научно-технической информации, 1964. – 166 с.
15. Biggs L. Current and future agricultural practices and technologies which affect fuel efficiency [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/efficient20_review_of_agricultural_practices_and_technologies_en.pdf.
16. Hughes J. D. Tires, traction and compaction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/tillage/tires-traction-and-compaction/#4>.
17. Mitsoulis E. Flows of viscoplastic materials: models and computations / E. Mitsoulis // Rheology Reviews. – 2007. – № 1. – P. 135-178.
18. Moczko P. Lecture Notes on Rheological Models / Peter Moczko, Jozef Kristek, Peter Franek. – Bratislava: DAPEM FMPI

CU, 2006. – 40 p.

19. Zoz M. Frank Traction and Tractor Performance [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://bse.srv214.bse.vt.edu/Dist_Lecture_27/Resources/Traction_Tractor_Performance.PDF.

Oleksandrenko V.P., Khmelnytsky National University (Ukraine)

Kurskoy V.S., Khmelnytsky National University (Ukraine)

Solar'ov O.O., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Tatsenko O.V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Theoretical approaches to the study of soil compaction

The use of heavy machinery in agricultural production is associated with soil compaction and, as a consequence, with a negative impact on the growth and yield of crops. There is an obvious contradiction here: the need for sufficient food requires powerful machines, and the preservation of soil suitable for growing plants requires restrictions on the amount of heavy machinery in the fields. Therefore, the search for the optimal ratio of these opposite trends remains relevant in modern scientific research.

The optimal density in its absolute value is individual for each type of soil, for soil types by mechanical composition and for biological groups of agricultural plants. The reaction of plants to different compaction depends on the biological characteristics of individual crops and, above all, on the development of root systems.

In order to improve the traction and traction capabilities of machine-tractor units (AIT) is often used uneven distribution of loads on the axle, even additional load is practiced, for example, due to ballast on the drive wheels. This leads to an increase in the compacting effect on the soil. In this regard, the question of rational distribution of forces between the axles and wheels of machines remains relevant.

Key words: machine-tractor unit, wheels, soil compaction.

Дата надходження до редакції: 11.02.2020 р.

ПРИНЦИП РОБОТИ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ УЩІЛЬНЕНЬ З ПЛАВАЮЧИМИ КІЛЬЦЯМИ

Шевченко Сергій Станіславович

кандидат технічних наук

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова НАН України

ORCID 0000-0002-5425-9259

e-mail: s.shevchenko@united.productions

Щільні уцілювання роторів відцентрових машин є найбільш простим і надійним типом уцілювань, які крім функції уцілювати, виконують не менш важливу функцію - покращувати вібраційний стан ротора. Ці функції знаходяться у взаємному протиріччі, оскільки підвищення гідравлічного опору погіршує динамічні якості уцілювань, їх гідростатичну жорсткість і демпфування. Альтернативою звичайним щільним уцілюванням є уцілювання з плаваючими кільцями, здатні забезпечити необхідну надійність і герметичність. Розглянуто принцип роботи та методику розрахунку уцілювань з плаваючими кільцями. Поведінка плаваючих кілець визначається співвідношенням сил у кільцевому і торцевому дроселях. Уцілювання з плаваючими кільцями представляють сукупність торцевого і щільного уцілювань, що працюють в полегшених умовах: здатність плаваючого кільця центруватися відносно вала, що обертається, завдяки гідродинамічним силам в кільцевій щільності, дозволяє зменшувати радіальні зазори і тим самим значно знижувати протікання. Плаваюче кільце, що самоцентрується, можна розглядати як коливальну систему з чотирма ступенями свободи, що здійснює вимушені коливання під дією кінематичного збудження з боку вала. Проаналізовано можливі варіанти умов роботи плаваючих кілець. Показано, що умовно рухливі кільця є більш ефективними і надійними, оскільки мають підвищену статичну та динамічну стійкість, забезпечуючи необхідну герметичність і підвищений ресурс уцілювань. Отримано вирази, що визначають умови радіальної і кутової нерухомості кілець. Зроблено висновок, що уцілювання з плаваючими кільцями в багатьох випадках виявляються більш ефективними, якщо кільця позбавлені можливості плавати.

Ключові слова: щільне уцілювання, плаваюче кільце, умови нерухомості

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.11>

Вступ

Безконтактні уцілювання роторів відцентрових машин є найбільш простим і надійним типом уцілювань, що забезпечує герметизацію і вібраційну надійність. Особливість відцентрових машин полягає в тому, що ці завдання взаємопов'язані і в більшості випадків можуть бути задовільно вирішені за рахунок правильного вибору конструкції щільних уцілювань.

Динамічні характеристики особливо важливі для уцілювань швидкооборотних роторів [1]. Щільні уцілювання, крім функції уцілювати, виконують не менш важливу функцію - покращувати вібраційний стан ротора. На жаль, ці функції знаходяться у взаємному протиріччі: конструктивні заходи, спрямовані на підвищення гідравлічного опору, найчастіше погіршують динамічні якості уцілювань, їх гідростатичну жорсткість і демпфування [2]. Зусилля конструкторів спрямовані на гармонізацію цих функцій. Одним з досягнутих в цьому напрямку результатів є створення уцілювань з плаваючими кільцями [3].

У деяких випадках, особливо для уцілювання внутрішніх порожнин високооборотних машин, вони є найбільш доцільною альтернативою звичайним щільним уцілюванням. Широке поширення цих уцілювань пояснюється порівняно простою конструкцією і можливістю при відповідному доведенні забезпечити необхідну надійність і герметичність.

1. Типова схема уцілювання і принцип роботи

Уцілювання з плаваючим кільцем (рис. 1) являється комбінацією кільцевого дроселя В (безконтактне щільне уцілювання) і торцевого контакту С, що виконує роль механічного торцевого уцілювання. Дросель В, утворений поверхнею обертового вала 1 і внутрішньою циліндричною поверхнею плаваючого кільця 4. Попередній підтиск кільця до опорної поверхні кришки 2 здійснюється пружинними елементами (пружинами) 5, розташованими у втулці 6, закріпленій

в корпусі 7. Можливому обертанню кільця разом з валом запобігають штифти 3. Штифти 3, пружини 5 і втулка 6 не є обов'язковими елементами конструкції.

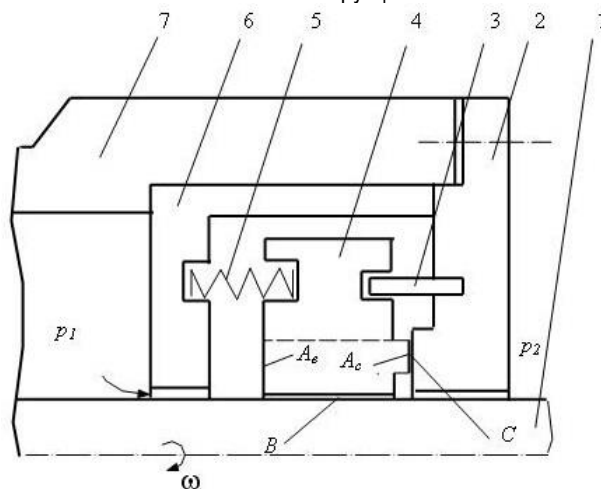


Рис. 1. Схема щільного уцілювання з плаваючим кільцем

За рахунок тиску, що уцілюється p_1 , на навантажувальній поверхні A_c створюється осьова сила $F_c = A_c p_1$, що забезпечує необхідну щільність торцевого контакту С. Радіальна гідродинамічна сила F_y , що виникає в щільному уцілюванні В і пропорційна ексцентриситету кільця щодо вала, сприяє самоцентруванню кільця, якщо за величиною вона перевищує силу тертя $R_c \cong f F_c$ в торцевому контакті.

Завдяки здатності плаваючого кільця до самоцентрування, радіальний зазор в кільцевому дроселі можна робити в кілька разів меншим, ніж в звичайних щільних уцілюваннях, не побоюючись зіткнень кільця з валом, що

обертається і можливих задирих. Оскільки витрати через кільцевий дросель пропорційні кубу зазору (H^3) для ламінарного режиму течії, і $H^{3/2}$ для турбулентного [4], ущільнення з плаваючими кільцями здатні забезпечити значне зниження протікання в порівнянні зі звичайними щільними ущільненнями.

Герметичність торцевого стику С залежить від відношення контактної тиску $p_c = F_c/A_c$ до ущільнюваного тиску p_1 . Контактний тиск, в свою чергу, визначається коефіцієнтом навантаження. Коли немає протитиску ($p_2 = 0$), $p_c = kp_1$, $k = A_e/A_c$. Конструкція ущільнення дозволяє змінювати цей коефіцієнт в широких межах, задовольняючи вимоги герметичності. Плаваюче кільце не обертається, тому втрачає потужності на тертя в торцевому стику на порядок менше, ніж в механічних торцевих ущільненнях. Завдяки цьому відпадає проблема відведення тепла від поверхонь контакту, а ущільнення не має жорстких обмежень по окружній швидкості вала $v = \omega r$ і по тиску p_1 , що ущільнюється. Іншими словами, фактор $p_1 v$ для щільних ущільнень з плаваючими кільцями не є визначальним.

З механізму роботи ущільнення витікає, що кільце плаває, якщо виконується умова самоцентрування, тобто $F_{y \max} > R_c$. Однак якщо ця умова не виконується і кільце не плаває, то воно все ж зміщується в радіальному напрямку під дією ударів з боку вала. Маючи на увазі, що енергія удару обмежена роботою сили тертя на торцевому стику, можна підібрати матеріали, для яких легкі епізодичні зіткнення не є небезпечними. Кільце порівняно легко займає нейтральне положення, в якому забезпечується безударна

робота. Необхідно тільки, щоб амплітуда поперечних коливань вала не перевищувала величини радіального зазору, а матеріал ущільнюючих поверхонь протистояв задирам при короточасних контактах на перехідних режимах. У багатьох випадках такі «напіврухливі» або умовно рухливі кільця виявляються більш ефективними, оскільки мають підвищену статичну та динамічну стійкість [2].

Ущільнення з плаваючими кільцями використовуються в насосах різного призначення, в турбонасосних агрегатах рідинних ракетних двигунів, в стаціонарних і транспортних відцентрових компресорах, для ущільнення криогенних рідин і високотемпературних середовищ, що мають погані змащувальні властивості. Для ущільнення внутрішніх порожнин високооборотних відцентрових машин такі ущільнення є найбільш доцільною альтернативою звичайним щільним або лабиринтовим ущільненням.

У складних ущільнюючих системах високонапірних машин, в яких не допускаються неконтрольовані витоки, плаваючі кільця використовуються в якості внутрішніх ущільнень, які розділяють порожнини з робочим і буферним або запірним середовищем. Прикладом можуть служити кінцеві ущільнення живильних насосів і відцентрових компресорів високого тиску, системи ущільнення валів головних циркуляційних насосів атомних електростанцій [5].

2. Варіанти умов роботи і завдання розрахунку.

В процесі роботи на плаваюче кільце діють гідродинамічні сили і моменти, що виникають в щелевому ущільненні і змінюються за величиною і напрямком через радіальні і кутові коливання обертового вала. Додатковий момент щодо центру кільця O_2 створює сила тертя R на торцевій контактній поверхні С (рис. 2).

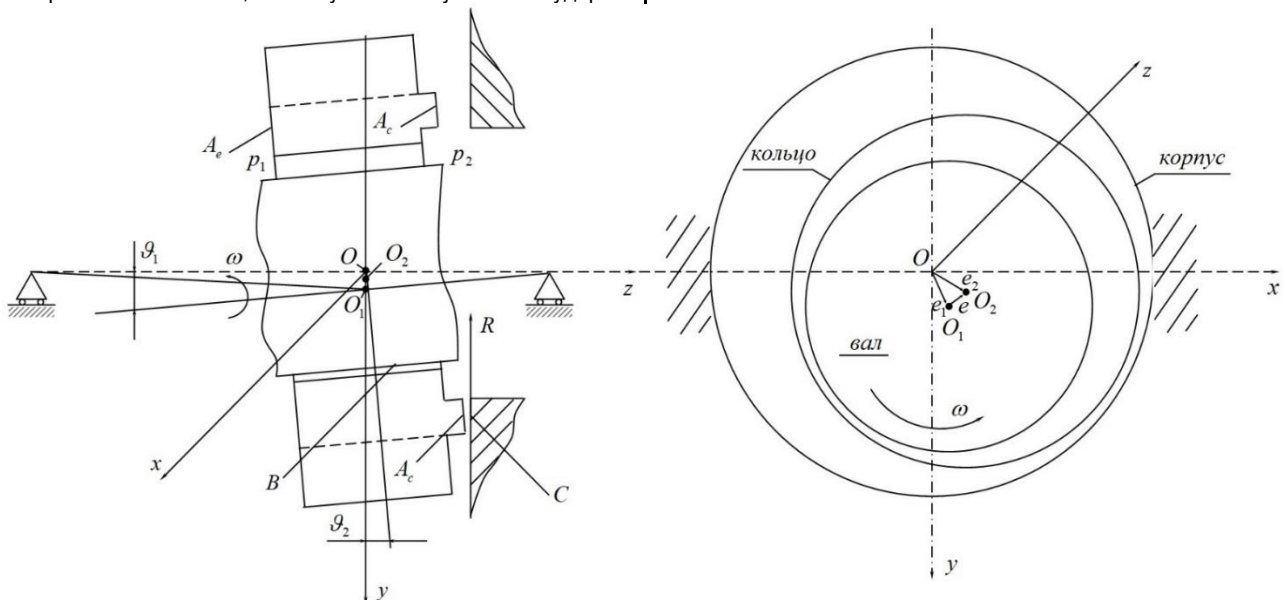


Рис. 2. Радіальні і кутові зміщення плаваючого кільця.

Під дією цих сил і моментів плаваюче кільце може коливатися в своїй площині (по осях Ox, Oy), а також здійснювати кутові коливання навколо цих осей. Кутові коливання супроводжуються деяким зміщенням центру ваги кільця в осьовому напрямку. Однак, амплітуди цих зсувів в два рази менше амплітуд змін торцевого зазору в стику С,

які і при кутових коливаннях вимірюються мікрометрами. Тому в першому наближенні осьові коливання можна не враховувати.

Таким чином, плаваюче кільце можна розглядати як коливальну систему з чотирма ступенями свободи, що здійснює вимушені коливання під дією кінематичного збудження з боку вала. Маса кільця, як правило, мала в порівнянні з

масою ротора, тому зворотним впливом коливань кільця на вібрації ротора можна знехтувати.

Поведінка плаваючих кілець визначається співвідношенням сил у кільцевому і торцевому дроселях. Характеристики торцевого дроселя можуть змінюватися в залежності від контактної тиску p_c . Якщо контактний тиск не перевищує тиску ущільнюваного середовища ($p_c \leq p_1$), то на торцевій поверхні забезпечується рідинний режим тертя (рис. 3, а). В іншому випадку режим тертя стає граничним і

може наблизитися до режиму сухого тертя (рис. 3, б). В цьому випадку, якщо виконується умова самоцентрування, коливання кільця стають нелінійними. Третій варіант - умова самоцентрування не виконується, кільце втрачає радіальну рухливість, і можливі лише кутові коливання (рис. 3, с), коли сумарний момент, діючий на кільце, розкриває торцевий стик. Нарешті, крайній випадок, коли системи сил і моментів, що діють на кільце, врівноважені, кільце при відсутності зіткнень з валом нерухоме.

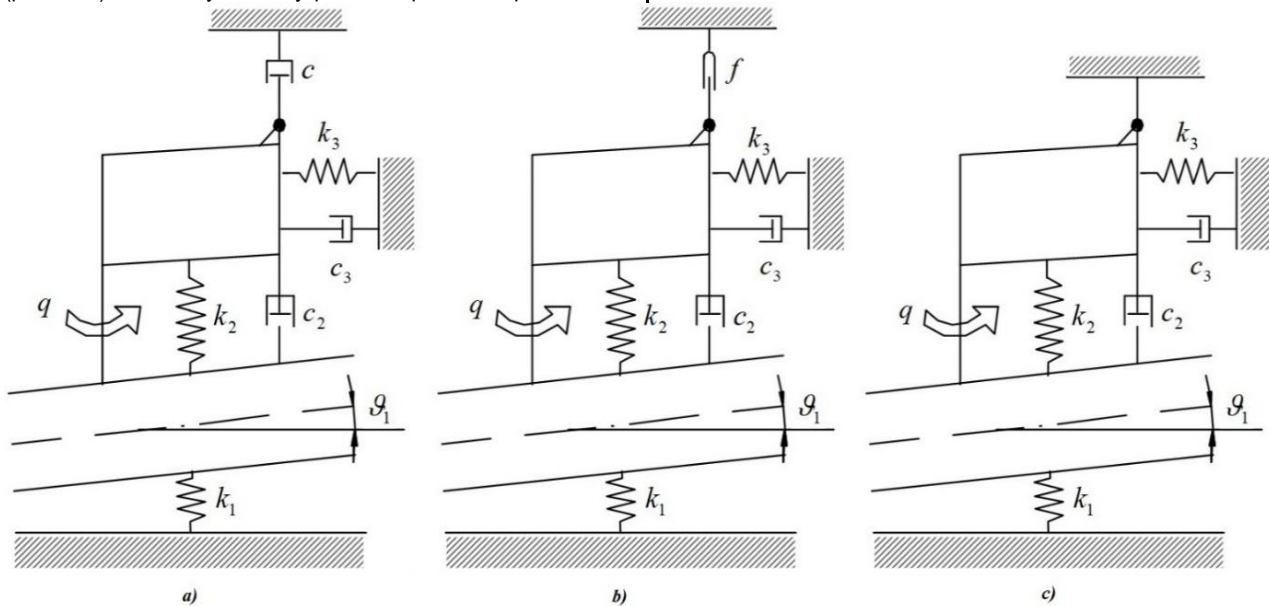


Рис. 3. Варіанти умов роботи плаваючого кільця.

k_1 - коефіцієнт згинальної жорсткості вала; k_2, c_2 - коефіцієнти радіальної гідростатичної жорсткості і демпфування; q_2 - коефіцієнт циркуляційної сили; k_3, c_3 - коефіцієнти кутової жорсткості і демпфування в торцевому зазорі.

Останній варіант умов роботи (умовно рухливе кільце) є найбільш простим і надійним. Плаває кільце працює як нерухоме щільнення ущільнення, а гідродинамічні сили, що виникають в кільцевому зазорі, цілком передаються на ротор, зумовлюючи його вібраційний стан. Проблеми динаміки, що мають першорядне значення для плаваючих кілець, самі по собі відповідають. За рахунок правильного вибору форми зазору можна збільшити коефіцієнти гідростатичної жорсткості k_2 і демпфування c_2 і тим самим зменшити амплітуди поперечних коливань ротора. Таким чином, ущільнення з умовно рухливими кільцями дозволяють, при певних умовах, виключити зіткнення вала і кільця навіть при малих (менше 0,1 мм) зазорах між ними.

Надалі розглядаються конструкції з напіврухомими кільцями (рис.3, с), оскільки такі конструкції можуть забезпечити необхідну герметичність і підвищений ресурс ущільнення.

3. Умови радіальної і кутової нерухомості кілець

Розглянемо умови нерухомості кільця для випадку, коли кут нахилу осі вала до осі опор дорівнює нулю і немає зіткнень вала з кільцем, тобто забезпечується безконтактна робота кільцевого дроселя. Радіальні і кутові зміщення кільця відбуваються під дією гідродинамічної сили і моменту в кільцевому зазорі, а також під дією сили тяжіння і її моменту відносно точки a можливого повороту кільця (рис. 4).

На рис. 4 зображений найбільш несприятливий ви-

падок, коли гідродинамічна центруюча сила збігається за напрямком з силою тяжіння. Те саме можна сказати і щодо моментів цих сил M_x і $mg/2$ (у натуральному вираженні моменту сили тяжіння не враховується мала в порівнянні з довжиною кільця l висота кільцевого контактної бурту). Умови нерухомості кільця мають вигляд:

$$R_c \geq F_y + mg, \quad 0,5F_c(r_1 + r_2) \geq M_x + 0,5mgl. \quad (1)$$

З гідродинамічних сил і моментів, що діють на плаваюче кільце з боку рідинного шару в кільцевому зазорі, будемо враховувати лише гідростатичні складові, пропорційні дроселюючому перепаду тиску [2]. Силу і її момент потрібно обчислювати для максимально допустимих значень ексцентриситету $e_* \approx (0,7 - 0,8)H$ і кута перекоосу $0,5l\theta_x \approx 0,7(H - e_*)$, при яких ще можна гарантувати безконтактну роботу ущільнення. Тоді в прийнятих на рис. 2 і рис. 4 позначеннях отримаємо

$$F_y = F_{py2} = k_p [(\theta_0 + N\chi_m)\varepsilon + (1 + 2\Delta\chi)\theta_x],$$

$$M_x = M_{px2} = k_p \frac{l}{6} (N\Delta\chi\varepsilon + 2\chi_m\theta_x), \quad (2)$$

де $\varepsilon = e/H$, $\theta_0 = \theta_0 l/2H$, $\theta_x = \theta_x l/2H$, $\chi_m = \chi_1 + \chi_2$,

$$\Delta\chi = \chi_1 - \chi_2, \quad \chi_1 = \varepsilon_{11}/\varepsilon_0, \quad \chi_2 = \varepsilon_{12}/\varepsilon_0,$$

$$N = 2(1+n)/(2-n), \quad k_p = \pi r_o \Delta p l / 2$$

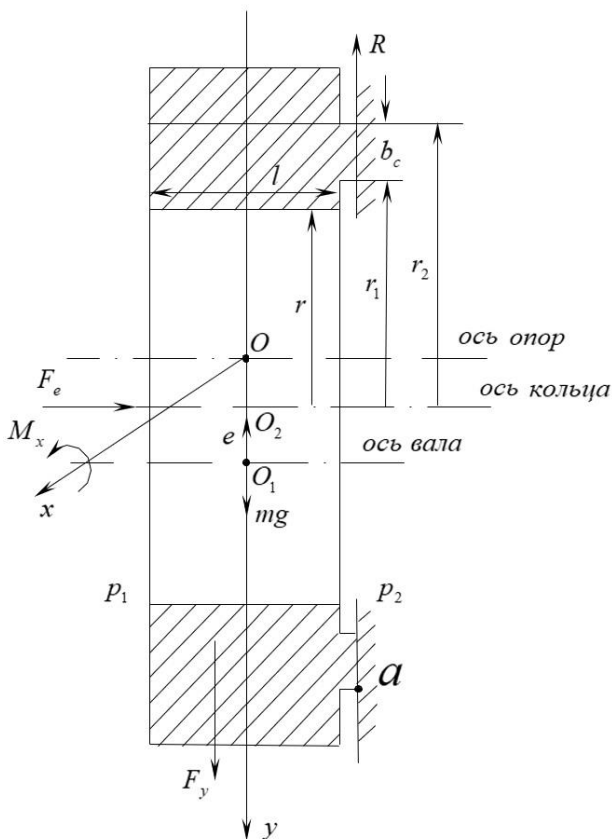


Рис. 4. Розрахункова схема умовно рухомого кільця

Постійна n характеризує режим течії (n, C - показник ступеня і постійна у формулі Блазіуса $\lambda_0 = C Re_0^{-n}$; ламінарна течія: $n=1, C=96$, турбулентна течія: $n=0,25, C=0,316$, автомодельна область: $n=0, C=0,04$), ζ_{11}, ζ_{12} - коефіцієнти місцевих гідравлічних втрат на вході в кільцевий зазор і на виході з нього, $\zeta_0 = (\zeta_{11} - \zeta_{12}) + \lambda l / 2H$.

У загальному випадку сила контактного тиску $F_c = p_1 A_c + \Delta p (A_e - A_c) = \Delta p A_c (k + p_2 / \Delta p)$, $k = A_e / A_c$, а сила тертя $R_c = f F_c$. Використовуючи вирази сили і моменту (2), приведемо співвідношення (1) до виду:

$$k + \frac{p_2}{\Delta p} \geq \frac{1}{f \Delta p A_c} \{ k_p [(\theta_0 + N \chi_m) \varepsilon + (1 + 2 \Delta \chi) \theta_x] + mg \}, \quad (3)$$

$$k + \frac{p_2}{\Delta p} \geq \frac{l}{6 f \Delta p A_c r_2} [k_p (N \Delta \chi \varepsilon + 2 \chi_n \theta_x) + 3 mg]. \quad (4)$$

Як правило, нерівність (4) більш слабка, і виконання умови (3) забезпечує як радіальну, так і кутову нерухомість ущільнювального кільця. Простіше за все ці нерівності виконуються за рахунок відповідного вибору коефіцієнта навантаження k . Короткочасні зіткнення кільця з валом можливі в період пуску, якщо кільце вільно лежить на валу. Тому циліндричні контактні поверхні вала і кільця повинні бути стійкими проти задири.

За існуючими нормами (наприклад API 610) віброшвидкість на корпусах підшипників високооборотних насосів

не повинна перевищувати 3 мм / с. Для гармонійних коливань амплітуда віброзміщення $u = v / \omega$. Частоті обертання $\omega = 600 c^{-1}$ (6000 об / хв) відповідає допустима амплітуда віброзміщення $u = 5 \mu m$. Якщо врахувати, що вібрації вала в області розташування ущільнень можуть бути в кілька разів більшими, ніж на підшипниках, то навіть порівняно малі радіальні зазори 0,05-0,1 мм забезпечують безконтактну роботу напіврухомих плаваючих кілець.

4. Обговорення

Детальне рішення задач оцінки протікання, визначення умов статичної та динамічної стійкості, обчислення власних частот і амплітуд вимушених коливань плаваючих кілець за умови рідинного тертя в торцевому зазорі дано в роботі [6]. У ній показано, що робота такої класичної конструкції супроводжується інтенсивними радіальними і кутовими коливаннями. Кутові коливання призводять до утворення періодичних, з частотою обертання вала, точкових контактів торцевих поверхонь. У разі кругової прецесії вала рух кільця має характер конічної прецесії і пляма контакту описує кругову траєкторію. На плямах контакту підвищуються контактні напруги, що призводить до фрикційних руйнувань торцевих поверхонь. Існують різні конструктивні способи придушення кутових коливань [6], однак вони вимагають суттєвого ускладнення конструкції і одночасно знижують її надійність.

Ущільнення з плаваючими кільцями представляють сукупність торцевого і щільного ущільнень, що працюють в полегшених умовах: здатність плаваючого кільця центруватися щодо обертового вала завдяки гідродинамічним силам в кільцевій щілині дозволяє зменшувати радіальні зазори і тим самим значно знижувати протікання, не побоюючись швидкого механічного зносу. А так як плаваюче кільце не обертається, то різко зменшуються втрати потужності на тертя на торцевих контактних поверхнях і знімається проблема їх охолодження, найбільш важка при конструюванні звичайних механічних торцевих ущільнень.

З принципу роботи ущільнень ясно, що їх переваги реалізуються насамперед у тому випадку, коли виконується умова самоцентрування, або коли максимальна центруюча сила в кільцевому зазорі перевищує силу тертя на контактній торцевій поверхні. Однак якщо ця умова не виконується, під дією зіткнень з валом кільця легко займають нейтральне положення і забезпечують безконтактну роботу. Для цього достатньо, щоб амплітуда коливань вала не перевищувала радіальний зазор. У деяких випадках використання таких неплаваючих кілець більш доцільно.

5. Висновки

Проведені дослідження показали, що радіальний зазор між плаваючим кільцем і обертовим валом можна робити в декілька разів меншим, ніж в звичайних щільних ущільненнях, що забезпечує значне зниження протікання ущільнюваного середовища. Аналіз показує, що ущільнення з плаваючими кільцями в багатьох випадках виявляються більш ефективними, якщо кільця позбавлені можливості плавати.

Список використаної літератури:

1. Kundera Cz, Marcinkowski W. The effect of the annular seal parameters on the dynamics of the rotor system. *Journal*

of *Applied Mechanics and Engineering*. 2010. Vol.15, no. 3. P. 719–730.

2. W.Marzinkowski. Dynamische Kenndaten der Spaltdichtungen. / Untersuchung und Anwendung von Dichtelementen / XI. Dichtungskolloquium. W-Tietze (Hrsg.). Essen: Vulkan-Verlag, 1999. S. 251-261.
3. Марцинковский В. А. Гидродинамика дросселирующих каналов. Сумы: СумГУ, 2005.
4. Марцинковский В. А. Щелевые уплотнения: теория и практика. Сумы: СумГУ, 2005.
5. Марцинковский В.А., Шевченко С.С. «Насосы атомных электростанций: расчет, конструирование, эксплуатация»: монография / под общ. ред. С.С. Шевченко. Сумы: ЧФ «Издательство «Университетская книга», 2018. 472 с.
6. Korczak A., Marcinkowski W., Peczkis G. Wpływ szczelin uszczelniających na dynamikę zespołu wirującego pompy odśrodkowej. *Politechnika śląska. Prace naukowe*, 2007, Z. 18, s. 161–170

Shevchenko S.S., *Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering National Academy of Sciences of Ukraine*

Principle of operation and computational method for floating ring seals

Groove seals of centrifugal machines rotors are the simplest and most reliable type of seals. In addition to the function of sealing, they perform an equally important function, which is to improve the vibration state of the rotor. These functions contradict each other, since an increase in hydraulic resistance worsens the dynamic qualities of the seals, their hydrostatic stiffness and damping. An alternative to conventional groove seals are floating ring seals that provide the required reliability and tightness. The principle of operation and method of computation seals with floating rings are considered. The behavior of the floating rings is determined by the ratio of forces in the ring and end chokes. Floating ring seals are a combination of mechanical and groove seals operating in lighter conditions: the ability of the floating ring to be centered relative to the rotating shaft due to the hydrodynamic forces in the annular gap allows to reduce radial clearances and thereby significantly reduce leaks. A self-centering floating ring can be considered as an oscillatory system with four degrees of freedom, performing forced oscillations under the action of kinematic excitation from the shaft. Possible variants of floating rings operating conditions are analyzed. It is shown that conditionally movable rings are more effective and reliable, since they have increased static and dynamic stability, providing the required tightness and increased service life of the seals. Expressions are obtained that determine the conditions for the radial and angular immobility of the rings. It is concluded that floating ring seals are in many cases more effective when the rings are not floatable.

Key words: groove seal, floating ring, immobility conditions

Дата надходження до редакції: 12.02.2020 р.

РОЗВИТОК МОТИВАЦІЇ ПРОФЕСІЙНОГО САМОВДОСКОНАЛЕННЯ МАЙБУТЬОГО ІНЖЕНЕРА ЗАСОБАМИ САПР

Ребрій Алла Миколаївна

Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-3467-2353
email: rebrii@ukr.net

Рибенко Ірина Олександрівна

Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-7795-1689
email: fishw36@gmail.com

В статті розглянуті питання професійного самовдосконалення в якості свідомого, цілеспрямованого процесу підвищення рівня своєї компетентності та застосування професійних якостей відповідно до зовнішніх соціальних вимог, умов діяльності та особистої програми розвитку.

Ключові слова: графічні дисципліни, комп'ютерні технології, інженерна графіка, мотивація студентів, професійне самовдосконалення.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.1.12>

Вступ

Використання САПР дає можливість якісно замінити традиційні способи інженерної графічної освіти та сприяє: розширенню сфери графічної компетентності завдяки набуттю знань та умінь комп'ютерного моделювання і графіки як фундаментальної основи автоматизованого проектування; розкриттю, збереженню і розвитку індивідуальних здібностей студентів, поєднання їхніх особистісних якостей; формуванню у студентів пізнавальних і професійних, інтелектуальних здібностей; прагненню до самоосвіти і самовдосконалення; інформаційною, комунікативною, технічною і графічною культурою; постійному динамічному відновленню методів і форм організації процесу графічної підготовки студентів. У той же час, інформаційно-комунікаційні технології є потужним мотиваційним джерелом, яке спрямовує студентів до набуття ґрунтовних знань, умінь і навичок.

Предмет досліджень

Об'єктом дослідження є підвищення мотивації студентів до вивчення графічних дисциплін, а також добре розуміння матеріалу й умінь застосовувати його на практиці, удосконалення індивідуальних здатностей і розвиток пізнавальної активності, розвиток логічного мислення й простої уваги.

Основна частина

Графічна культура - це сукупність досягнень людства в галузі створення та засвоєння графічних способів передачі різної інформації в науці, техніці, мистецтві, виробництві. Створення будь-якої конструкції машинобудівного виробництва неможливе без креслення.

Креслення - це графічний конструкторський документ, що визначає конструкцію виробу, а також містить відомості, необхідні для його розробки, виготовлення, контролю, монтажу та експлуатації, включаючи ремонт. Також креслення є способом передачі технічної думки, зрозумілої для фахівців технічного профілю. Згідно навчальних планів вищих навчальних закладів студенти технічних спеціальностей повинні вивчати інженерну графіку, нарисну геометрію в сукупності з такими предметами як технічна механіка, теорія машин і механізмів, деталі машин.

Але серед дисциплін, що закладають фундамент ін-

женерно-технічного уявлення, «Інженерна графіка» та «Нарисна геометрія» займають особливе місце. Без цих дисциплін неможливо бути грамотним фахівцем в області проектування та конструювання.

Тому основним завданням графічних дисциплін традиційно є вивчення методів проектування та правил конструювання. Раніше дисципліни були орієнтовані на ручний спосіб виконання графічних робіт, що вимагало чималих часових витрат. Впровадження комп'ютерів в освітній процес значно спростило цю проблему. В сучасних умовах, коли змінюється сама ідея проектування, все ширше використовуються спочатку тривимірне моделювання технічних об'єктів, а потім наступна автоматизована побудова необхідних видів, розрізів, перерізів конструкції, формування складальних вузлів та тому подібне, не автоматизовані методи проектування виявляються малоефективними.

Помилки, які студенти допускають при виконанні цих завдань, пов'язані зі слабким уявленням форми моделі й у цьому може допомогти розв'язання графічних завдань інженерної графіки. Такі вправи є підготовчим етапом до розв'язання проєкційних завдань.

Також вони допомагають викладачеві виявити, яка частина навчального матеріалу не засвоєна студентами і вчасно усунути ускладнення при розумінні форми об'єкта [1].

На теперішній час існують два різні підходи до проблеми викладання комп'ютерної й інженерної графіки та їх ролі в навчанні майбутнього фахівця. Перший підхід є найпоширенішим - це вивчення комп'ютерної графіки як окремого предмета. При такому підході комп'ютерна графіка розглядається як дисципліна, присвячена вивченню техніки виконання креслень із використанням замість олівця й креслярської дошки - «електронного кульмана» [2]. Студенти при цьому не здобувають достатніх знань для використання графічних комп'ютерних технологій при виконанні курсових і дипломного проєктів і надалі на підприємстві їм доводиться додатково проходити спеціалізовані курси по проектуванню.

Такий підхід не виправданий, тому що в цілому комп'ютерну графіку слід розглядати в єдиному контексті з інженерною графікою [3]. Створене на комп'ютері креслення, але виконане з помилками в галузі оформлення видів, роз-

різів. перерізів, веде до нерозуміння його креслення й, в остаточному підсумку, до неправильного виготовлення виробів на виробництві. Робота на комп'ютері повинна бути побудована так, щоб студенти не просто вивчали графічний пакет, а продовжували вивчення інженерної графіки, при цьому розуміючи хід побудови й домагаючись правильного кінцевого результату. Процес навчання необхідно організувати паралельно, розумно поєднуючи ручне й комп'ютерне виконання креслень з метою ефективного розуміння матеріалу. При цьому доводиться долати ряд проблем, пов'язаних із зменшенням кількості годин, відведених на вивчення дисциплін і прагненням не програти в розв'язанні педагогічних завдань, тобто зуміти розвинути просторове й логічне мислення студентів до необхідного рівня. Більшість студентів мотивують своє небажання працювати олівцем на папері тим, що креслення у них в школі не викладалось, і багато з них не можуть відкласти відрізок правильної величини на форматі. В цьому випадку також може допомогти робота в графічному редакторі.

В остаточному підсумку комп'ютер для студента повинен стати таким же інструментом, що й олівець і лінійка. При цьому студенти в інженерній графіці освоюють способи та правила побудови зображень за допомогою олівця, а в комп'ютерній графіці одночасно освоюють базові прийоми та інтерфейс програми, а саме: налаштування робочого середовища, визначення формату креслення, роботу з примітивами, редагування креслення, об'єктні прив'язки, роботу з блоками, шарами, текстом та ін. При цьому на будь-якому етапі створення креслення студент може бачити наочне зображення виробу, що досить важливо в процесі навчання.

Впровадження на заняттях інженерної графіки комп'ютерних технологій дозволяють реалізувати ідею розвиваючого навчання, підвищити темп проведення пари, скоротити витрати робочого часу до мінімуму, збільшити обсяг самостійної роботи, як на парі, так і при підготовці домашніх завдань, зробити заняття більш яскравим і захоплюючим. Робота з комп'ютерними програмами розбудовує конструкторське й творче мислення, просторове уявлення, сприяє формуванню вміння і навичок роботи з графічними редакторами, осмисленого володіння інформацією та її наступною обробкою. Практика показала, що використання комп'ютерної графіки підвищує якість і ефективність навчання, розбудовує навчальну діяльність. Разом з тим, - це ефективний стимул навчання студентів.

Комп'ютер на заняттях - це інструмент із широкими можливостями, що дозволяють барвисто й цікаво викласти матеріал, підготувати дидактичні матеріали, які супроводжують заняття, повторити нескінченну кількість раз необхідні побудови, розробити графічні завдання й тести для студентів. Застосування комп'ютерних технологій при викладанні інженерної графіки дають можливість задовольнити безліч пізнавальних потреб студентів.

В університеті створена достатня матеріальна база для застосування комп'ютерних технологій на парі з інженерної й комп'ютерної графіки: є комп'ютерний клас із інтерактивною дошкою, оснащений пакетом креслярських програм. Викладач, що володіє навичками роботи на комп'ютері, може використовувати методику використання комп'ютерних технологій на будь-якому занятті.

Головний результат - підвищення мотивації студентів

до вивчення дисципліни «Інженерна графіка», а також добре розуміння матеріалу й уміння застосовувати його на практиці, удосконалення індивідуальних здатностей і розвиток пізнавальної активності, розвиток логічного мислення й просторової уяви.

Мотивація професійного самовдосконалення майбутніх інженерів є комплексом зовнішніх та внутрішніх мотивів, що спонукають молодих людей до оволодіння професійними знаннями, уміннями і навичками, становлення активної життєвої позиції. Особливе значення для особистісного та професійного розвитку інженера набуває рівень його мотиваційного спрямування до професійного самовдосконалення засобами САПР, так як інформаційні технології охоплюють всі види діяльності людини.

Прагнення майбутнього фахівця до постійного самопізнання, саморозвитку в умовах внутрішньо особистісної та зовнішньої соціально-професійної нестабільності забезпечує, з одного боку, його професійну стійкість, відповідний рівень професійної компетентності, з іншого - постійний професійний розвиток. Відтак, готовність майбутнього фахівця до інженерної діяльності у вищому навчальному закладі, як мета та результат його професійної підготовки, має включати в якості інтегративного компонента мотивацію професійного самовдосконалення, а цього можна досягти запровадженням сучасних САПР в освітньому процесі.

В аспекті професійної інтеграції в інженерній діяльності, яку ми розглядаємо як багатофункціональний процес, спрямований на застосування інтегрованих, фахових знань та застосування їх у нових, нестандартних ситуаціях відбувається забезпечення розвитку особистісних якостей і властивостей. Слід зазначити, що дослідження мотивації тісно пов'язане з проблемами підвищення професіоналізму, продуктивності і ефективності діяльності фахівців інженерної галузі в середовищі САПР.

Однією з базових, інтегративних складових мотиваційної готовності майбутніх інженерів є мотивація професійного самовдосконалення, адже саме вона забезпечує постійний професійний розвиток особистості відповідно до вимог професійної діяльності в ситуації соціальної, економічної, наукової, інформаційної невизначеності. Таким чином, можна зробити висновок, що головними системоутворюючими факторами професійної підготовки є фундаментальні знання, уміння працювати в інформаційному середовищі і це важлива інтелектуальна навичка.

В реальній практиці стан професійної мотивації студентів не відповідає сучасним вимогам та не дозволяє забезпечити успішне формування в них професійної спрямованості. Однією з причин такого стану речей вважається суттєве падіння престижу професії інженера, про що свідчить і зниження конкурсу при вступі до ВНЗ. Це призводить до того, що тільки незначна частина абітурієнтів вступає до відповідних ВНЗ, усвідомлено обирає цю професію, решта просто хоче отримати вищу освіту, в силу різних причин, не маючи можливості навчатися в більш привабливих для них навчальних закладах. При застосуванні традиційної системи професійної підготовки уміння і навички щодо виконання інженерно-конструкторських робіт закладаються в процесі вивчення, переважно, фундаментальних дисциплін. Втім отриманих знань для самостійного виконання інженерно-конструкторських робіт в професійній діяльності молодому фахівцеві недостатньо, необхідна тривала його адаптація -

становлення фахівця-професіонала. Цей адаптаційний період може бути значно скорочений за умови успішно сформованих умінь самостійно здобувати і примножувати свої знання. Мова йде про запровадження у навчальний процес інформаційно-комунікаційних засобів, зокрема, сучасних САПР, які спроможні наблизити як базову, так і всю професійну підготовку до реальних виробничих умов.

Разом із тим слід зазначити, що, оскільки мотивація є гнучкою, рухливою системою, то на неї можна і потрібно впливати педагогічними інформаційно-комунікаційними засобами. Це дозволяє навіть в ситуації, коли вибір студентом професії інженера був недостатньо усвідомленим чи взагалі майже випадковим, серйозно зацікавити його майбутньою спеціальністю, залучити до активного оволодіння основами професійної діяльності і, як наслідок, сформувати в нього професійну компетентність, реалізуватися в особистісному та професійному плані.

Формування мотивації професійного самовдосконалення майбутніх інженерів в середовищі САПР зумовлюється складною ієрархічною системою суспільно-значущих й особистісних мотивів, де вищим рівнем мотивації є перетворення потреби в свідомий інтерес, особистісну цінність, а цінності - у мету діяльності.

Структура мотивації професійного самовдосконалення майбутнього інженера складається із сукупності мотивів (внутрішніх і зовнішніх) та ставлень до різних аспектів професійної діяльності і їх удосконалення. Передусім, до зовнішніх мотивів професійного самовдосконалення належать соціальні мотиви, які можуть бути широко представлені (бажання зайняти певне місце в суспільстві, підвищити соціальний статус, мотиви особистісної самореалізації і

престижу, вимоги сучасного виробництва до майбутнього фахівця) та вузько представлені (прагнення отримати матеріальну винагороду). До внутрішніх належать мотиви пізнавальні, самоствердження, саморозвиток, самореалізація (прагнення до самоактуалізації, бажання підвищити свої індивідуальні можливості, реалізувати індивідуальний потенціал особистісного зростання).

Серед провідних мотиваційних аспектів, що характеризують професійне самовдосконалення майбутніх інженерів можна виділити: мотиви осмислення обраної професії; мотиви інтересу до професійної діяльності; мотиви, що пов'язані з відображенням деяких особливостей професійної діяльності, таких як престиж та суспільна значущість; мотиви, що дозволяють особистості розвиватися в умовах професійної діяльності: саморозкриття, самоствердження, матеріальне задоволення, творчий саморозвиток; мотив зацікавленості, що характеризується впливом зовнішніх факторів сьогодення (середній зарібок, санітарно-гігієнічні умови, матеріально-технічна база, організація праці та інші).

Висновки

Розвиток мотивації професійного самовдосконалення майбутнього інженера, випускника вищого навчального закладу, є необхідною умовою формування його професійної компетентності, а сама позитивна мотивація професійного самовдосконалення є системо-утворювальною складовою його підготовки до професійної діяльності.

Таким чином, випускники технічних спеціальностей повинні вміти працювати в якості користувачів з графічними системами, що дозволяють створювати як креслярсько-конструкторську документацію, так і вирішувати завдання тривимірного графічного моделювання.

Список використаної літератури

1. Ярошевич О.В. Проблеми інформатизації графічної підготовки / О.В.Ярошевич, Н.А.Амельченко, Н.Ф.Кулащик // Формування творчої особистості інженера в процесі графічної підготовки: матеріали респ. науч.-метод. конф., Вітебськ, 5 грудня 2008 р. - Вітебськ: УО «ВГТУ», 2008. - с. 15-17.
2. Покровська М.В. Інженерна графіка: панорамний погляд (науково-педагогічне дослідження) / М.В. Покровська. - М.: Изд-В «Дослідний центр проблем якості підготовки фахівців», 1999. - 137 с.
3. Александрова Е.П. Комп'ютерна технологія навчання інженерній графіці й основам проектування / Е.П. Александрова, Т.В. Грошова, В.А. Лалетин, І.Д. Столбова // Праці конференції "Інформаційні технології в науці, утворі, телекомунікації, бізнесі". Ялта-Гурзуф, 2001. с. 240 - 243.

Rebrii A. M., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Rybenko I. O., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Development of motivation of professional self-perfection of the future engineer by means of CAD

Graphic culture is a set of achievements of mankind in the field of creation and mastering of graphic ways of transfer of various information in a science, technics, art, manufacture. Creation of any design of machine-building production is impossible without the drawing.

Among the disciplines that lay the foundation of engineering and technical representation, "Engineering Graphics" and "Descriptive Geometry" occupy a special place. Without these disciplines it is impossible to be a competent specialist in the field of design and construction.

The use of computer graphics increases the quality and efficiency of the study of graphic disciplines, develops educational activities. The computer in the classroom is a tool with a wide range of possibilities that allows you to colorfully and interestingly present the material, prepare didactic materials that accompany classes, repeat an infinite number of necessary constructions, develop graphic tasks and tests for students. The use of computer technologies in the teaching of engineering graphics provide an opportunity to meet many cognitive needs of students.

The formation of professional motivation of the future specialist is an important area of modernization of education. Today, few first-year students have a high level of professional motivation, and the quality of the educational process depends on how high the motivation of students to study and motivation to master the future profession.

Motivation of professional self-improvement of future engineers is a set of external and internal motives that motivate young people to master professional knowledge, skills and abilities, to form an active life position. The development of motivation for pro-

fessional self-improvement of the future engineer, a graduate of a higher educational institution, is a necessary condition for the formation of his professional competence.

Of particular importance for the personal and professional development of the engineer is the level of his motivational orientation to professional self-improvement by CAD, as information technologies covers all types of human activities. Professional motivation must be formed in the process of studying professional and practical disciplines, including engineering graphics. In order to become a highly qualified specialist, in this case an engineer, the student must receive quality graphic training, without which it is impossible to solve problems of future professional activity.

Graduates of technical specialties must be able to work with graphic systems that allow you to create design documentation and solve problems of three-dimensional graphic modeling.

Key words: *graphic disciplines, computer technologies, engineering graphics, student motivation, professional self-improvement*

Дата надходження до редакції: 12.02.2020 р.