

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

В І С Н И К

**ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Агроінженерні дослідження № 21



ЛЬВІВ 2017

УДК 631.171.001.5

Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. Львів : Львів. нац. аграр. ун-т, 2017. № 21. 230 с.

Викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень техніко-технологічних проблем у галузі інженерії агропромислового виробництва. Розглядаються теоретичні і науково-методичні засади функціональних структур і управління проектами, технологічних і робочих процесів, конструювання, обслуговування і поновлення ресурсу сільськогосподарської техніки, енергозбереження та автоматизації технологічних процесів агропромислового виробництва, а також історія й сучасність техніки АПК, фахового шкільництва і науки та технічний прогрес за кордоном.

Для наукових працівників, фахівців агропромислового виробництва, аспірантів і магістрів, а також студентів інженерних спеціальностей.

*Рекомендовано до друку вченою радою
Львівського національного аграрного університету
(протокол № 2 від 05.10.2017 р.)*

Редакційна колегія: Р. Кузьмінський, д. т. н. (*відповідальний редактор*); В. Боярчук, к. т. н., В. Дмитрів, д. т. н., Ердем Айкас, доктор наук (Еге університет, Туреччина), О. Калахан, д. т. н., П. Калганов, д. габ., інж. (Русенський університет «Ангел Кънчев», Болгарія), І. Керницький, д. т. н., С. Ковалишин, к. т. н., Ю. Ковальчик, д. ф.-м. н., Є. Красовський, д. габ., інж. (Польська академія наук), В. Ловкіс, к. т. н. (Білоруський державний аграрний технічний університет), Ю. Мельник, д. т. н. (Державний аграрний університет Молдови), С. Мягкота, д. ф.-м. н., В. Сиротюк, к. т. н., С. Сосновський, д. габ., інж. (Жешувська політехніка, Польща), І. Стукалець, к. т. н. (*відповідальний секретар*); З. Ткач, д. габ., інж. (Словацький сільськогосподарський університет), А. Тригуба, д. т. н., П. Фіндура, д. габ., інж. (Словацький сільськогосподарський університет), А. Чабан, д. т. н.

© Львівський національний аграрний університет, 2017

Розділ 1

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ І СИРОВИНИ

УДК 621.928

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ДОМІШОК НАСІННЯ ВАЖКОВІДДІЛЮВАНИХ БУР'ЯНІВ ВІД ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ РІПАКУ

*С. Ковалишин, к. т. н., В. Дадак, к. т. н.,
Р. Шеремета, аспірант, В. Соколюк, лаборант, П. Доманюк
Львівський національний аграрний університет
Р. Яромій, к. с.-г. н.
Стрийський коледж Львівського НАУ*

Постановка проблеми. Проблема підготовки посівного матеріалу полягає в тому, що в багатьох випадках технічні засоби не забезпечують їх якісної очистки. Внаслідок цього під час сепарування або велика кількість кондиційних насінин культури потрапляє у відходи, або з них неможливо відділити домішок насіння бур'янів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Насінневий матеріал різних ботанічних родин і видів рослин розрізняють за розмірами, формою, забарвленням, характером поверхні, масою 1000 насінин.

Маса 1000 насінин є одним із найважливіших показників, який використовують як ознаку подільності для розрахунку норм висіву сільськогосподарських культур тощо. За цим показником насіння рослин поділяють на окремі вагові групи. Якщо маса 1000 насінин є меншою за 5 г, то культуру зараховують до групи дрібнонасінневих.

Проведений аналіз свідчить, що до дрібнонасінневих культур переважно відносять овочеві, олійні та майже всі види багаторічних злакових і бобових трав. За даними [1], ці культури у структурі сільськогосподарських угідь України займають близько 20 %. З огляду на це сільськогосподарські підприємства щороку потребують достатньої кількості насінневого матеріалу з високими посівними і врожайними якостями, якісно очищеного від різноманітних бур'янів та біологічно неповноцінних насінин.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення якості посівного матеріалу ріпаку.

Виклад основного матеріалу. Сепарація – це процес розділення сумішей, зокрема зернових, де є основний зерновий матеріал та частина домішок у вигляді насіння інших культур, бур'янів, частинок стебла, грудок землі. Вибір способу сепарації залежить від процентного складу і властивостей суміші та її складових компонентів [2–5]. У сучасному виробництві для різних цілей та сумішей

застосовують різноманітні способи сепарації: за розмірами, за коефіцієнтом тертя, за аеродинамічними, пружними, електричними та магнітними властивостями, а також сепарацію за масою частинок суміші [6; 7].

Вимірювання маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника проводили на лабораторній вазі МYA 11.4Y “Radwag” (Польща) з дискретністю 0,000001 г (рис. 1).



Рис. 1. Вага лабораторна МYA 11.4Y “Radwag”.

Перед початком зважувань виконували такі операції:

- під’єднали до ваги кабель живлення, не вмикаючи адаптер у розетку живлення;

- увімкнули вагу, встановивши адаптер у розетку;

- після увімкнення напруги живлення спостерігали за інформацією, що висвітлюється на екрані. На ньому повинна бути відсутня інформація про відмову ваги. У цей час відбувалося тестування вагопроцесора цифрового індикатора, після закінчення якого встановлювались нульові покази ваги, про що засвідчувало світіння індикатора –0– і символ стабілізації результату зважування.

Перед початком зважувань або коли була істотна зміна зовнішніх умов (зміна навколишньої температури більше ніж на 3 °С), а також за умови перерви у зважуванні більше як 4 години вагу калібрували. Калібрування відбувалося в автоматичному режимі.

Після завершення процесу калібрування вага записувала його результат у пам’ять і поверталася до режиму зважування.

Для зважування встановлювали насінину на платформу і запускали процес зважування. Після того як на екрані з’являлася позначка стабілізації, масу насінини

записували в таблицю. Було зважено 250 насінин ріпаку сорту Атлант та 250 насінин підмаренника.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних встановлено мінімальне, максимальне і середнє арифметичне значення маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника, а також їх середньоквадратичне відхилення (див. табл.).

Таблиця

Параметри нормального розподілу та межі значень маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника

Культура	Мінімальне значення, г	Максимальне значення, г	Середнє арифметичне, г	Середньоквадратичне відхилення
Ріпак Атлант	0,000505	0,01017	0,004465	0,001277
Підмаренник	0,00119	0,0102	0,005538	0,001835

На рис. 2 побудовано гістограми розподілу маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника за експериментальними даними.

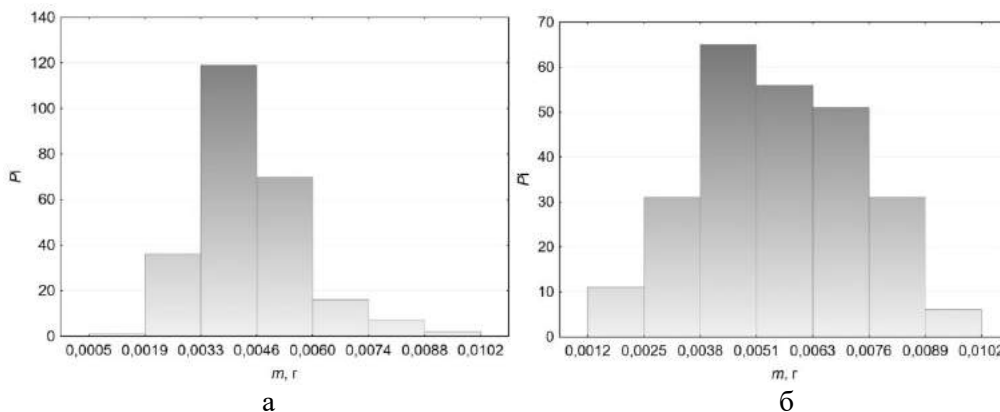


Рис. 2. Гістограма розподілу маси окремих насінин:
а – ріпаку сорту Атлант; б – підмаренника.

На рис. 3 для порівняння подано криві нормальних законів розподілу маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника.

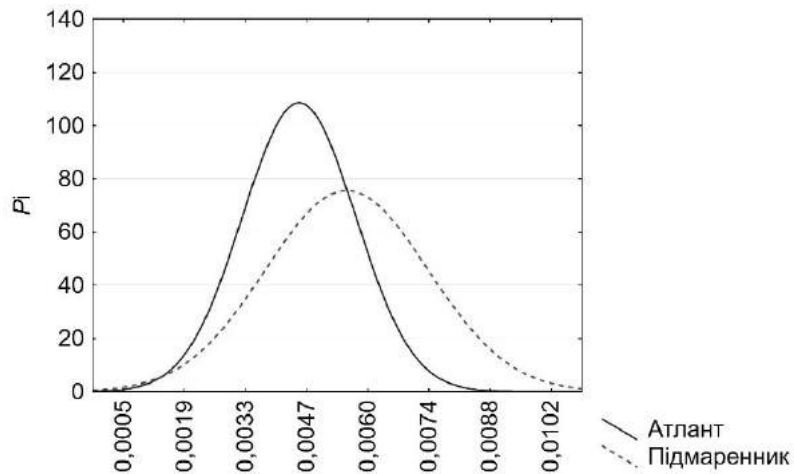


Рис. 3. Порівняння нормальних законів розподілу маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника.

Аналіз результатів за критерієм Вілкоксона показав, що різниця значень маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника є статистично незначущою (рис. 4).

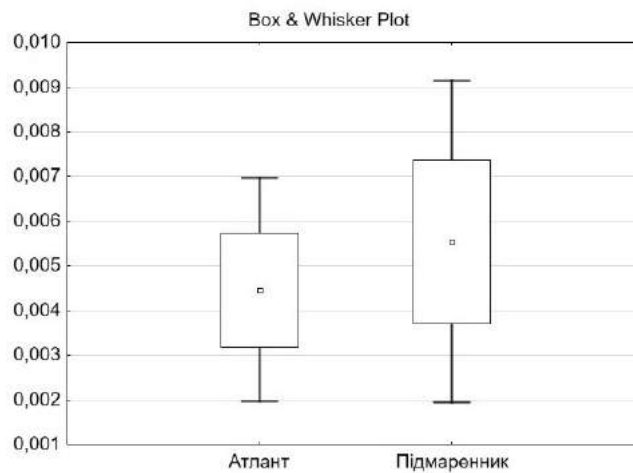


Рис. 4. Перевірка за критерієм Вілкоксона вибірок значень маси окремих насінин ріпаку сорту Атлант та підмаренника.

Проаналізувавши результати проведених досліджень, ми встановили неможливість розділення насінин досліджуваних рослин за масою через перекриття нормальних кривих розподілу практично у всьому діапазоні вимірювань.

Висновки. Насіння ріпаку сорту Атлант та бур'яну підмаренника неможливо розділити за масою, оскільки їх нормальні криві розподілу накладаються.

Бібліографічний список

1. Бардин Я. Б. Ріпак: від сівби до переробки. Київ : Світ, 2000. 108 с.
2. Богомолов О. В. Наукове обґрунтування енергозберігаючих процесів та обладнання для сепарації харчової сипкої сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2006. 21 с.
3. Бредихін В. В. Обґрунтування параметрів процесу вібропневмовідцентрового розділення насінневих сумішей за густиною насіння : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2003. 21 с.
4. Бушуев Н. М. Семьяочистительные машины. Теория, конструкция и расчёт. – Москва : Машгиз, 1962. 238 с.
5. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж : Изд-во НПО «МЭДОК», 2006. 384 с.
6. Дуганець В. І. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та параметрів робочих органів фрикційного сепаратора для очищення насіння олійних культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кам'янець-Подільський, 2004. 164 с.
7. Ковалишин С. Й., Ніщенко І. О., Швець О. П. Дослідження процесу сепарування насіння озимого ріпаку на рухомій в електричному полі похилій площині. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2008. № 9, т. 12. с. 225-230.

Ковалишин С., Дадак В., Шеремета Р., Соколюк В., Доманюк П., Яромій Р. Дослідження процесу відділення домішок насіння важковідділюваних бур'янів від посівного матеріалу ріпаку

Під час підготовки посівного матеріалу в багатьох випадках не забезпечується його якісна очистка, велика кількість кондиційних насінин культури потрапляє у відходи або з них неможливо відділити домішки бур'янів. На лабораторній вазі МҮА 11.4Ү “Radwag” було зважено 250 насінин ріпаку сорту Атлант і 250 насінин бур'яну підмаренника. У результаті проведених досліджень встановлено неможливість розділення насіння цих рослин за масою внаслідок перекриття нормальних кривих розподілу практично у всьому діапазоні вимірювань.

Ключові слова: ріпак, маса, відділення домішок.

Kovalishin S., Dadak V., Sheremeta R., Sokolyuk V., Domanuk P., Yaromiy R. Investigation of the process of separation of impurities seeds of weeds from rape sowing material

During the preparation of seed material in many cases, it is not provided with qualitative cleaning, a large number of conditioned seeds of the culture gets into the waste, or it is impossible to separate the impurities from the weeds. On the laboratory weight of MYA 11.4Y "Radwag", 250 seeds of rape variety of Atlant and 250 seeds of weed Galium daisies were weighed. As a result of the conducted researches it was established that it is impossible to separate the seeds of these plants by weight due to the overlapping of normal distribution curves practically in the whole range of measurements.

Key words: rape, weight, impurity separation.

Ковалишин С., Дадак В., Шеремета Р., Соколюк В., Доманюк П., Яромий Р. Исследование процесса отделения примесей семян трудноотделяемых семян сорняков от посевного материала рапса

При подготовке посевного материала зачастую не обеспечивается его качественная очистка, большое количество кондиционных семян культуры попадает в отходы, либо из них невозможно отделить примеси сорняков. На лабораторных весах МҮА 11.4Ү "Radwag" были взвешены 250 семян рапса сорта Атлант и 250 семян сорняка подмаренника. В результате проведенных исследований установлена невозможность разделения семян данных растений по массе в связи с перекрытием нормальных кривых распределения практически во всем диапазоне измерений.

Ключевые слова: рапс, масса, отделение примесей.

**ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО
МОНІТОРИНГУ СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА КОНСТРУКЦІЇ
ОЛЕКСАНДРА БРОВАРЦЯ**

О. Броварець, к. т. н.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

Постановка проблеми. Огляд сучасних літературних джерел та наукових розробок [1] показує, що останніми роками відбувається процес інтеграції натурального (органічного, або біологічного), біодинамічного, екстенсивного, інтенсивного (промислового) та no-till землеробства з новітніми технологіями, зокрема з інформаційно-технічними системами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так звані «management units» територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де повинні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур. Ці технології є основою роботи системи прийняття рішень «decision-making systems», яка дозволяє приймати ефективні оперативні рішення на основі оперативних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ. Питання полягає у виборі шкали вимірювання неоднорідності. Звичайно, неоднорідність порівняно просто вираховується, коли порівнювані об'єкти вимірюються кількісно і при цьому використовуються кількісні критерії. Неоднорідність вважають фактором, відповідальним за біорізноманіття, тому що завдяки їй формується екологічна складова і забезпечується багатогранність організмів ґрунту [2].

Сучасне сільськогосподарське виробництво передбачає широке використання автоматизованих систем для моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Один із головних підходів у застосуванні технологій точного землеробства – оптимізувати урожайність і забезпечити екологічну якість сільськогосподарської продукції з урахуванням зон управління сільськогосподарським полем. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для визначення розміру прибутку на основі даних просторової мінливості та вмісту поживних речовин у ґрунті. Знання певної структури варіабельності ґрунтового покриву дає змогу приймати ефективні рішення для управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь [1].

Втілення сучасних технологій землеробства дозволяє планувати витрати насінневого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте на сьогодні за реалізації цих технологій бракує

ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2–4].

У цьому сенсі набувають актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – технічних систем оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

У зв'язку з цим важливим завданням є розробка та обґрунтування сучасної інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структура ґрунту змінюється в значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, наприклад його структура, мають прямий вплив на водомісткість, ємність катіонного обміну, урожайність тощо. Поживні речовини, що містяться у ґрунтах, використовуються рослиною, і їх вміст у ґрунті зменшується. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунті є вміст азоту, наявність якого значною мірою визначає урожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності широко використовується як ефективний засіб відображення структури ґрунту та інших ґрунтових властивостей [5].

Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь – важливий компонент для зональних методів управління [6].

Сучасні методики та засоби реєстрації властивостей ґрунту. Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища абсолютно необхідною умовою є організація системи ефективного моніторингу. Для оцінки стану навколишнього середовища важлива об'єктивна оперативна інформація про критичні чинники антропогенної дії, про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю й оцінки стану природного середовища (моніторингу) як у місцях інтенсивної антропогенної дії, так і в глобальному масштабі [3]. Важливе місце на сучасному етапі посідає реєстрація електромагнітних характеристик ґрунту. Електромагнітні характеристики ґрунту об'єднують багато його властивостей, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. До них належать вміст ґрунтової вологи, гранулометричний склад ґрунту, ємність катіонного обміну, засоленість, вміст обмінних катіонів кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}) тощо. Електромагнітні характеристики ґрунту не дозволяють безпосередньо виміряти вміст поживних речовин, але показують варіативність важливих характеристик, таких як структура ґрунту і вміст обмінних катіонів. Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися у відборі проб (рис. 1).

Карти ґрунтової електропровідності дають змогу отримати картограми:

- змінних норм внесення технологічного матеріалу (насіння і мінеральних добрив) на основі очікуваної врожайності на кожній окремій ділянці, розрахованих виходячи зі значення електропровідності;

- змінних норм внесення насіння на основі даних про глибину верхнього (орного) шару ґрунту;
- змінних норм внесення в ґрунт гербіцидів на основі даних про органічні речовини, структуру ґрунту і електропровідність;
- змінних норм внесення вапна на основі даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища відповідно до рівнів електропровідності.

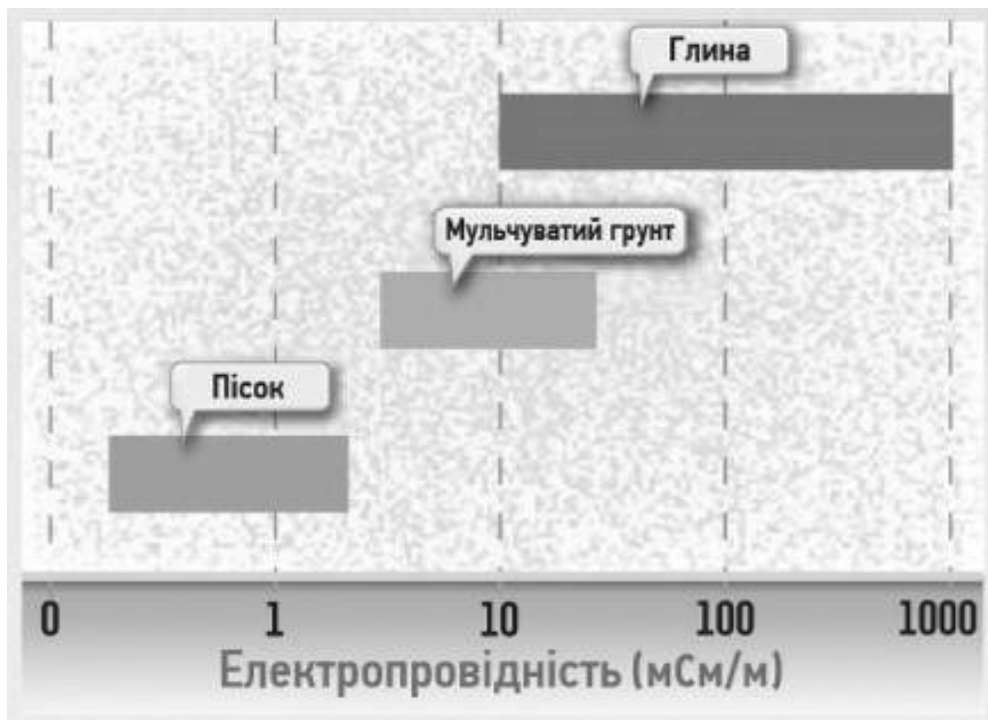


Рис. 1. Електропровідність ґрунту.

Для картографування ґрунту приладом EC Veris 3100 використовується позашляховик, який оснащено бортовим комп'ютером з технологією паралельного водіння, GPS-приймачем (рис. 2) та причіпним агрегатом з дисками (з розміщеними дисками-електродами). Під час вимірювань агрегат рухається полем із зануреними в ґрунт дисками на глибину 2–5 см, одна пара ізолюваних електродів вводить електричний струм у ґрунт, інші електроди вимірюють струм, що змінюється залежно від опору ґрунту [4].

Причіпний агрегат Veris тягнеться по полю, одна пара ізолюваних електродів вводить електрострум у ґрунт, а інша пара вимірює падіння напруги, яка буде відрізнятися: наприклад, глина проводить струм краще, ніж мул або пісок. Заміри електропровідності поєднуються з даними GPS і наочно відображаються у вигляді карти. Veris 3100 використовує два промені електропровідності для картографування двох глибин ґрунту (0–30,5 см і 0–91,5 см) одночасно.

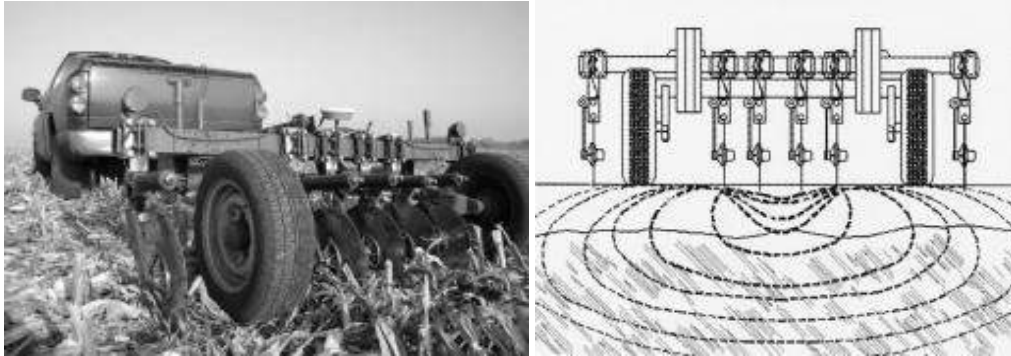


Рис. 2. Пристрій EC Veris 3100.

Veris 3100 формує два набори карт: карту поверхневого шару (30,5 см) і карту, що захоплює кореневу зону (91,5 см). Карта верхнього шару часто використовується для вибору місць забору проб, а карта глибшого шару – для визначення норми внесення добрив (особливо азотних) [5].

Також широкого застосування набув безконтактний сенсор електропровідності EM-38-МК2 фірми «Geonics» (рис. 3), яка була заснована в 1962 році і є світовим лідером у сфері проектування, виробництва та обслуговування електромагнітного й геофізичного обладнання.



Рис. 3. EM-38-МК2 фірми «Geonics».

У 1980 році був створений EM-38-MK2, який забезпечує вимірювання електропровідності у вертикальній (VDP) і горизонтальній (HDP) орієнтаціях диполів. За максимальної ефективності приладу глибина проникнення електромагнітних хвиль коливається від 0,75 до 1,5 м. Він має дві приймальні котушки, які розташовуються від передавача на відстані 1 і 0,5 м і працюють з частотою 14600 Гц. На приладі розміщена GPS-антена, яка передає сигнал на спеціальний ноутбук Allegro CX, який містить програму FarmWorks. EM-38-MK2 можна встановлювати як стаціонарно, так і закріпивши на автомобіль для дослідження великих територій. За допомогою цього пристрою в польових умовах можна легко визначити: гранулометричний (механічний) склад ґрунту, вміст солей у ґрунті, запас гумусу і вологи [6].

Вказані пристрої надто вартісні та дають значну похибку у вимірюваннях, це створює необхідність подальшого дослідження цих систем.

Постановка завдання. Метою нашого дослідження є розробка ефективної інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь власної конструкції.

Виклад основного матеріалу. Відомий пристрій [7], основним робочим органом якого є система електродів, в якості яких використано плоскі диски з горизонтальною віссю обертання на стояку, який жорстко закріплений до рами вимірювального пристрою таким чином, що опорні колеса пристрою визначають глибину ходу дисків-електродів у ґрунті.

Недоліком подібного пристрою є значна похибка у визначенні, спричинена тим, що під час виконання робочого процесу порушується стабільність контакту диска-електрода з ґрунтом внаслідок поперечних відхилень робочих дисків-електродів відносно прямолінійного напрямку руху, що зумовлене конструкцією пристрою, відсутністю копіювання нерівностей поверхні поля дисками-електродами. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати з ґрунтом.

Найближчий прототип містить дві електродні пари, що постійно занурені в ґрунт і розміщуються на рамі, яка за допомогою шарніра з'єднана з причіпним пристроєм, що під'єднується до транспортного засобу.

Недоліком найближчого аналога є те, що така конструкція приладу не забезпечує стабільного контакту електродів з ґрунтом і, як наслідок, значно знижується достовірність і якість даних, отриманих за допомогою моніторингу під час визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

Вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища. Електропровідність (soil conductivity) – це властивість матеріалу передавати (проводити) електричний струм, вимірювана в сименсах на метр (См/м) або в мілісименсах на метр (мСм/м). Електропровідність ґрунту може виражатися також у децисименсах на метр (дСм/м). Мілісименс на метр (мСм/м) – це стандартна одиниця вимірювання електропровідності ґрунту. У сименсах на метр вимірюють електропровідність матеріалів. Перевага стандартної одиниці вимірювання в тому, що вона дає точні кількісні дані. Візуальна оцінка ґрунту дозволяє легко виявити

колірні відмінності, але не дає кількісного значення і пояснення суті колірних відмінностей. Карти електропровідності ґрунту показують значення в [мСм/м], що дозволяє знаходити і однаковим чином обробляти ділянки зі схожими показниками електропровідності. Як показали численні лабораторно-польові дослідження, існує кореляційна залежність між параметрами електропровідності та вмістом поживних речовин у ґрунті за певних значень його вологості та твердості, зумовлених гранулометричним складом ґрунту.

Сфера використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця. Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця – пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища. Конструкція може працювати з ручними пристроями, розміщуватися на транспортних засобах високої прохідності, сільськогосподарських та енергетичних засобах, які виконують технологічну операцію, що дає змогу отримувати оперативні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища та приймати оперативні рішення щодо керування нормою внесення технологічного матеріалу (насіння, мінеральних добрив тощо).

Усі раніше декларовані елементи таких технологій точного (керованого) землеробства (лабораторний аналіз (одна проба на 5-10 га), урожайність) не давали можливості забезпечити такий точний підхід. Ця система дає змогу отримати достовірну інформацію про агробіологічний стан ґрунтового середовища з кожного квадратного метра сільськогосподарського поля.

Такої точності досі не мають жодні представлені на ринку технології, починаючи від лабораторного обстеження (одна проба на 5-10 га) і закінчуючи супутниковим моніторингом (точність до 10 м²). Крім того, необхідно враховувати вартість цих технологій, оскільки собівартість однієї проби коливається в межах 1-10 \$, супутникового моніторингу – від 20 \$, у той час як вартість такої проби з використанням запропонованої конструкції технічної системи оперативного моніторингу становить менше ніж 0,1 \$ за 1 м² (див. табл.).

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця дає змогу оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища (рис. 4).

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця використовують: перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Це відкриває нові перспективи ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

Таблиця

Методи моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища
сільськогосподарських угідь

Метод моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища	Щільність відбору проб ґрунту на 100 га	Розмір ділянки, з якої проводиться забір, м ²	Вартість однієї проби (знімка), \$, ум. од.	Вартість проби (знімка) на 100 га, \$, ум. од.
Лабораторний метод	10-15	10 000*1000	1-10	100-1000
Супутниковий моніторинг	1 знімок роздільною здатністю до 10 м	100*100	10-100	100-1000
Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	1000	10*10	0,1	100
Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	10000	1*1	0,1	1000

На рис. 4, 5 зображено загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид зверху), на рис. 6 – її загальний вигляд (вид збоку).

Таке технологічне рішення дасть змогу забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця складається (рис. 6) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, поздовжньої рами 4, поперечної рами 5, шарнірів 6, важелів 7, стояків-пружин 8, кронштейна 9, обертового вала 10, гідроциліндра 11, кронштейна кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопа 16 та підставки 17.

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця працює таким чином: переміщення технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця відбувається з використанням транспортного засобу за допомогою опорних коліс 1, на яких розміщується П-подібна рама 2, до якої за допомогою кріплення 3 приєднується поздовжня рама 4. До поздовжньої рами 4 приєднується поперечна рама 5, до якої через шарніри 6, важелі 7 та стояки-

пружини 8 кріпляться підважені копіювальні колеса 13 з робочими електродами 14. Регулювання глибини ходу робочих електродів 14 відбувається за допомогою копіювальних коліс 13, а за допомогою стояків-пружин 8, які прикріплені до обертового вала 10, гідроциліндра 11, кронштейна кріплення 12, відбувається притискання робочих електродів до поверхні поля та копіювання їх нерівностей. Реалізація механізму піднімання/опускання робочих електродів 14 відбувається з використанням кронштейна 9, до якого приєднано гідроциліндр 11, який обертає вал 10 через кронштейн кріплення 12 (рис. 7).

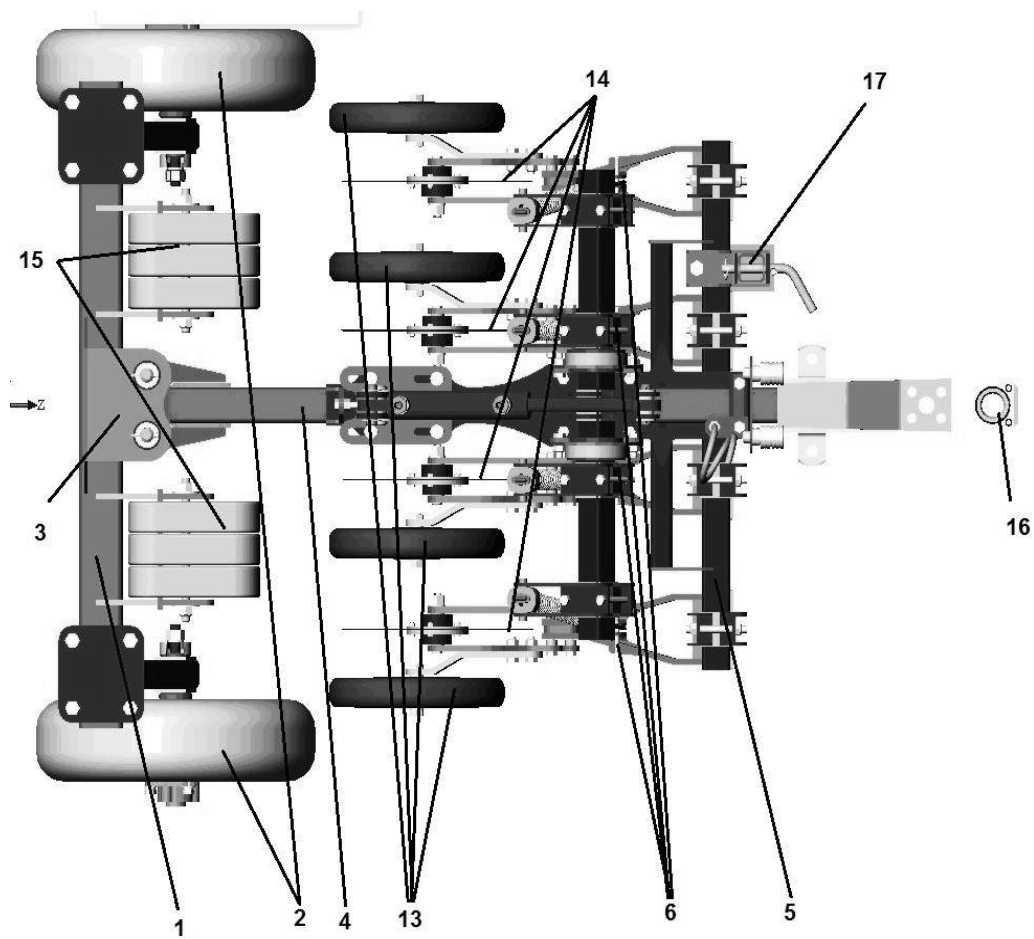


Рис. 4. Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид зверху).

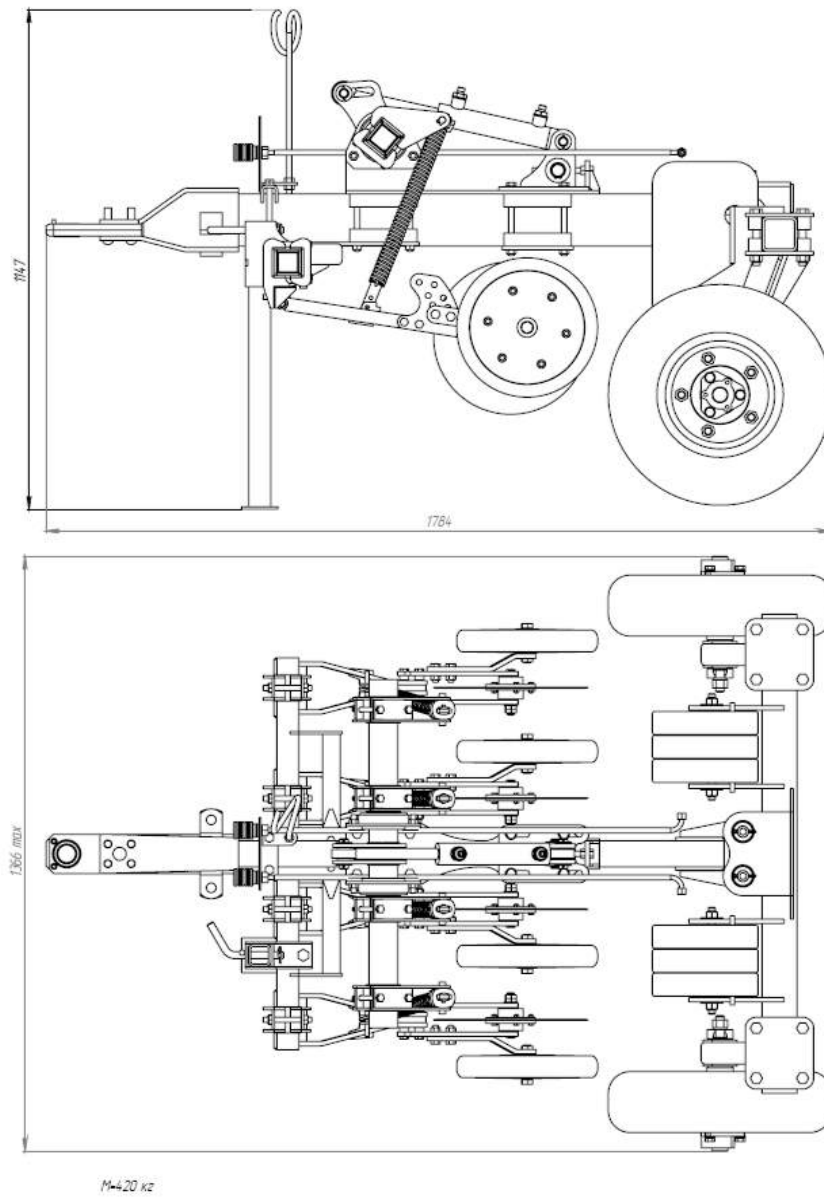


Рис. 5. Схема технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця.

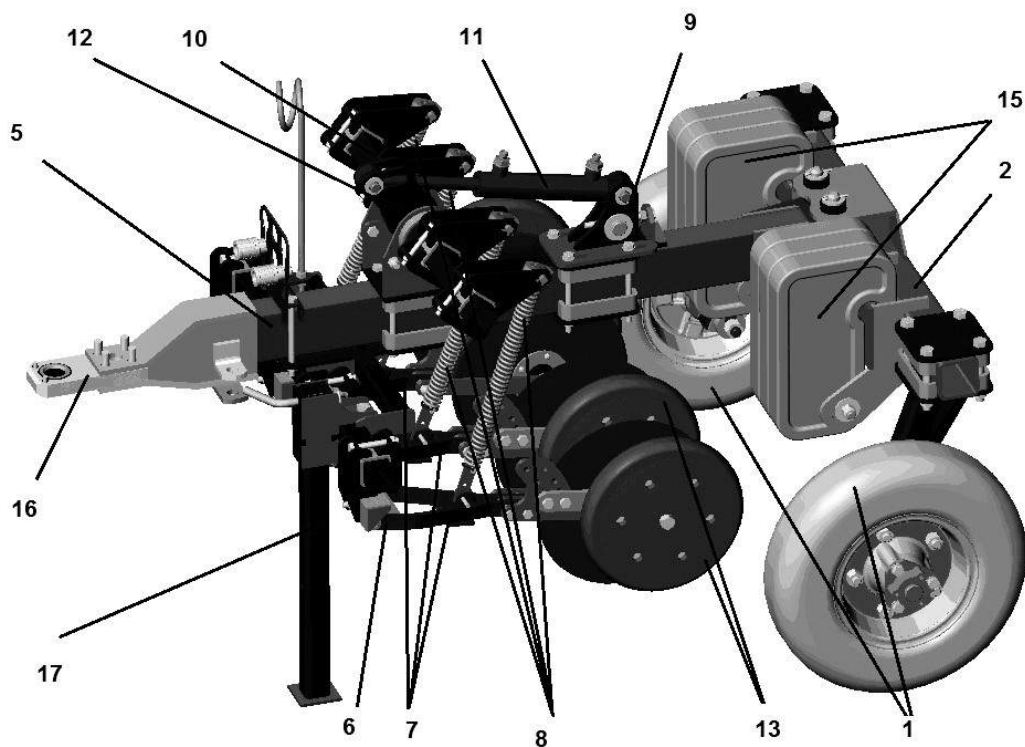


Рис. 6. Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид збоку).



Рис. 7. Функціонування пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища на різних типах агрофонів.

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця, рухаючись по поверхні поля, за допомогою робочих електродів 14 забезпечує отримання оперативної інформації про

агробіологічний стан ґрунтового середовища та реалізацію згідно з алгоритмом норм внесення технологічного матеріалу (рис. 8, 9).

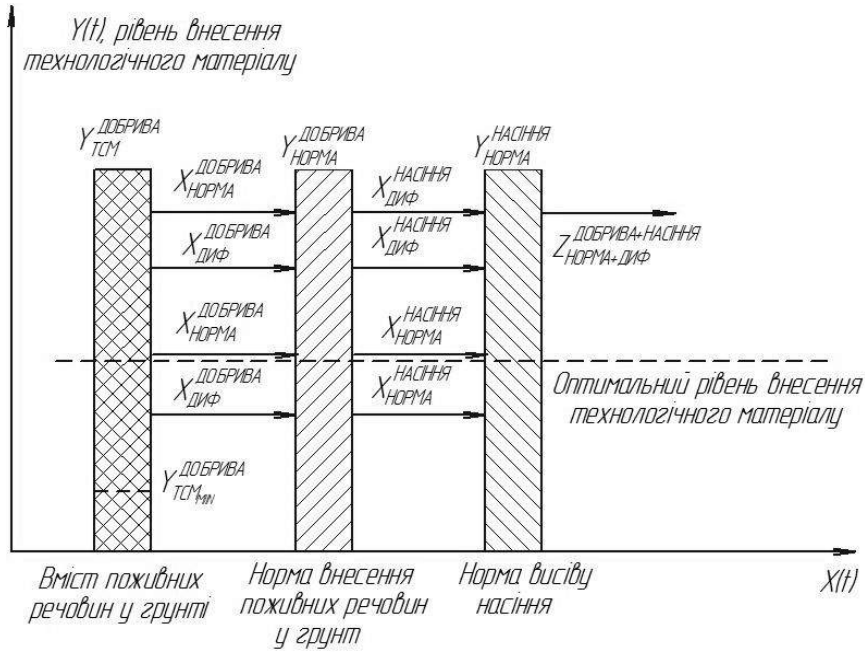


Рис. 8. Алгоритм керування нормою висіву технологічного матеріалу за різних умов реалізації.

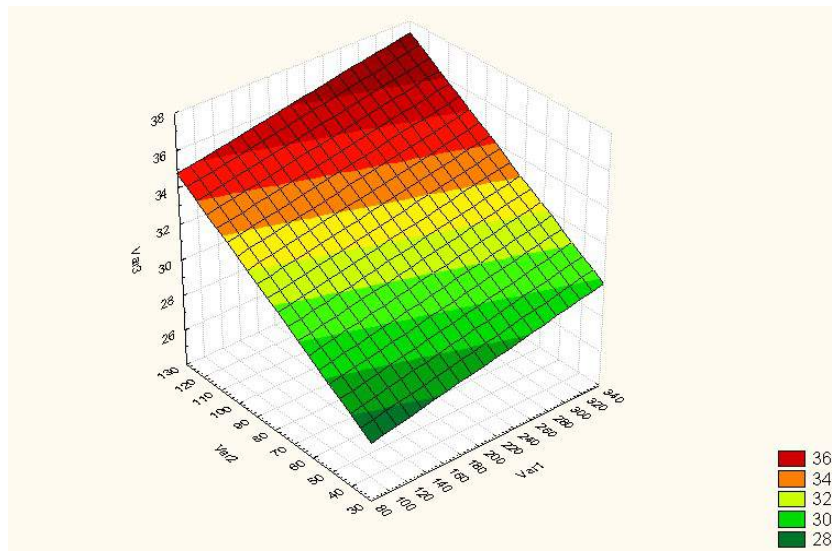


Рис. 9. Завдання на реалізацію змінних норм внесення технологічного матеріалу залежно від електропровідних властивостей ґрунту та норми внесення добрив.

За допомогою фаркопа 16 відбувається приєднання технічної системи моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця до транспортного засобу (трактора, транспортного засобу підвищеної прохідності, квадроцикла тощо). Підставка 17 забезпечує задану висоту фаркопа у від'єднаному від транспортного засобу стані.

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця, яка містить робочі електроди на рамі, згідно з пропонуваним нами рішенням, містить П-подібну раму, на якій розміщуються баласт і два опорні колеса, повздовжню раму з розміщеною на ній поперечною рамою, з приєднаними до неї шарнірами, важелями, стояками-пружинами, кронштейн, обертовий вал, гідроциліндр, кронштейн кріплення та копіювальні колеса, робочі електроди, баласт, фаркоп, підставку.

Електронні засоби керування інформаційно-технічними системами оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця розміщуються в кабіні оператора (рис. 10).



Рис. 10. Розміщення в кабіні енергетичного засобу системи оперативного контролю якості виконання технологічних операцій та системи зворотного зв'язку якості виконання технологічної операції.

Режими роботи пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця:

- ручні переносні пристрої для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища;

- рухомі транспортні засоби з робочими електродами для визначення електропровідності ґрунтового середовища, агреговані з транспортними засобами підвищеної прохідності;

- рухомі транспортні засоби з робочими електродами для визначення електропровідності ґрунтового середовища, агреговані з транспортними засобами, які виконують технологічну операцію (сівба, внесення добрив тощо).

Робочі моменти функціонування інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця зображено на рис. 11 – 16.



Рис. 11. Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця.



Рис. 12. Технічна система конструкції Олександра Броварця на машинно-тракторному агрегаті під час виконання технологічної операції.



Рис. 13. Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця на посівному агрегаті під час виконання технологічної операції на сільськогосподарському полі.

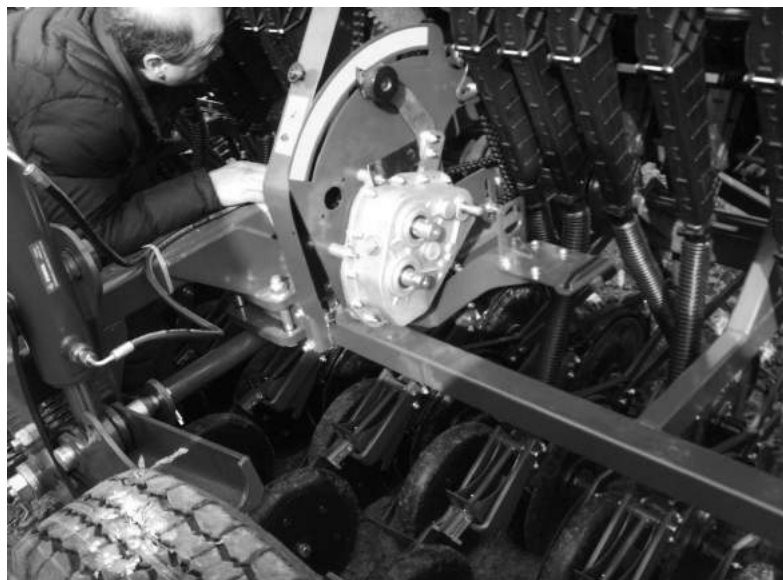


Рис. 14. Кріплення привідного електродвигуна до варіатора посівного апарата, на якому розміщується технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.



Рис. 15. Агрегативання технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця з транспортним засобом.



Рис. 16. Калібрування технічної системи оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь для забезпечення оптимальної норми висіву технологічного матеріалу (насіння, добрив) за допомогою обертання привідного колеса посівного агрегату.

Перед початком вимірювань користувач повинен налаштувати прилад та ввести умови вимірювання.

1. Умови роботи приладу:

- кількість циклів вимірювання в одній точці;
- крок вимірювання;
- вибрати вимірювальний струм;
- вказати, чи потрібно використовувати GPS.

2. Умови вимірювання:

- схема, з якою працює система – 2-полюсна або 4-полюсна;
- показник вологості ґрунту, %;
- щільність ґрунту, г/см³;
- тип електрода: стрижень; диск; тор; сфера;
- відстань між контактами, м;
- площа контакту, мм²;
- вибирати, у чому будуть виводитися дані: напруга, В; електропровідність, См·м; опір, Ом·м.

3. Вказати місце розміщення:

- директорію та ім'я файла, де будуть зберігатися результати вимірів.

Технічні характеристики пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця:

- **Габаритні розміри:**
 - ширина – 1366 мм;
 - довжина – 1784 мм;
 - висота – 1147 мм.
 - **Мінімально потрібна потужність енергетичного засобу:** 30 л.с. (вимоги можуть змінюватися залежно від швидкості, рельєфу місцевості та ґрунту).
 - **Діаметр робочих дисків-електродів:** від 100 до 500 мм (залежно від глибини моніторингу ґрунтового середовища), оптимальний робочий розмір 350 мм, товщина 2,5 мм з конічними роликівими підшипниками і чавунними концентраторами.
 - **Максимальна швидкість руху по шосе:** до 100 км/год (до 62 миль/год);
 - **Максимальна швидкість руху під час виконання технологічної операції:** до 30 км/год (до 18 миль/год).
 - **Розмір коліс:** P205 R75.
 - **Обладнаний засобами сигналізації при русі дорогами загального користування:** катафотами, стоянковими вогнями, поворотами.
- Маса:** 420 кг.

Технічні характеристики програмного забезпечення пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця:

- **Габаритні розміри корпусу:** 100x100x50 мм.

- **Ступінь захисту від впливів навколишнього середовища** - IP40.
- **Живлення:** живлення приладу здійснюється від інтерфейсу USB (5 V постійного струму), споживана потужність не більш як 2,5 Вт, вимірювальна напруга $12 \pm 1,2$ В, вимірювальний струм $10 \pm 1\%$ мкА та $100 \pm 1\%$ мкА.
- **Підсвітка дисплея:** трансфлексивна.
- **Входи:** роз'єм USB типу В (для передачі даних до ПК), роз'єм DB-9 для під'єднання до контролера керування технологічними операціями (ККТО) за інтерфейсом RS-232, світлодіодний індикатор під'єднання USB, 6 клем для під'єднання електродів (дві для подачі вимірювального струму та чотири для двох пар вимірювальних електродів).
- **GPS вимоги:** протокол NMEA 0183; вхід GGA и VTG або RMC на 1 Гц (4800-8-N-1), послідовний порт з роз'ємом DB9, USB типу А.
- **Оповіщення та сигналізація:** світлодіодний індикатор під'єднання USB.
- **На зовнішньому боці корпусу розміщуються органи управління та комутації:** роз'єм USB типу В (для передачі даних до ПК), роз'єм DB-9 для під'єднання до контролера керування технологічними операціями за інтерфейсом RS-232, світлодіодний індикатор під'єднання USB, 6 клем для під'єднання електродів (дві для подачі вимірювального струму та чотири для двох пар вимірювальних електродів).
- **Живлення приладу** здійснюється від стандартного гнізда прикурювача транспортного засобу.
- **Прилад може працювати** як з комп'ютером так і окремо, без нього.
- **Обмін інформацією між приладом та комп'ютером** здійснюється через інтерфейс USB стандарту LowSpeed або FullSpeed.
- **Обмін інформацією між вимірювачем питомого опору ґрунту та контролером керування технологічними операціями** здійснюється через інтерфейс RS-232.
- **Протокол обміну інформацією між вимірювачем питомого опору ґрунту та персональним комп'ютером чи контролером керування технологічними операціями** відповідає стандартам.
- **Вимірювач питомого опору ґрунту одночасно приймає команди** як за допомогою інтерфейсу USB, так і по RS-232. При цьому дані вимірювань прилад надсилає обома інтерфейсами одночасно.
- **Маса:** не більше 500 г.

Програма працює на комп'ютері під управлінням операційної системи Windows XP/7.

Форма виведення на екран результатів вимірювань забезпечення пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (рис. 17, 18):

1. Результати вимірювання виводяться на екран у вигляді графіка. Для кожного вимірювання відкривається своє вікно, на графіку показана одна крива. Горизонтальна вісь – час у форматі гг:хх:сс (гг – години; хх – хвилини; сс –

секунди). Вертикальна вісь: напруга, В; опір, Ом·м; електропровідність, См·м (вибирає користувач).

2. Для графіка є можливість задавати умови масштабування осей, тобто мінімальне та максимальне значення, які будуть відкладатися на осях.

3. Відображається середнє значення для виміряних даних, яке відображається на графіку у вигляді горизонтальної лінії та в числовому вигляді.

4. Є можливість використовувати GPS та відображувати на графіку над кожною вимірною точкою віконце з її координатами.



Рис. 17. Дисплей для керування технічною системою оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця та блок керування.

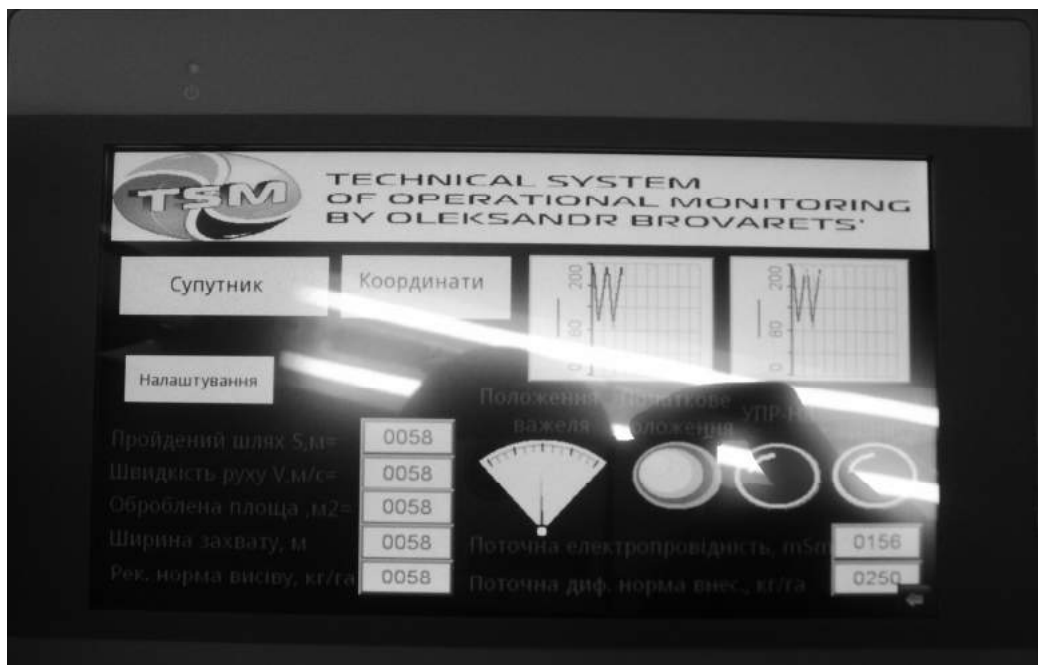


Рис. 18. Загальний вигляд інтерфейсу технічної системи моніторингу конструкції Олександра Броварця.

Висновки. Винахід належить до галузі механізації сільського господарства і може бути використаний для моніторингу фізико-механічного та агробіологічного стану ґрунтового середовища за допомогою вимірювання електропровідних властивостей ґрунту.

Технічним рішенням винаходу є отримання достовірних даних про стан ґрунтового середовища за допомогою зменшення похибки під час визначення електропровідних властивостей ґрунту, забезпечення індивідуальної стабілізації робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів, копіювання нерівностей ґрунтового середовища, зменшення інтенсивності руйнування структури ґрунту, самоочищення робочого контакту електрода і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом внаслідок удосконалення конструкції приладу.

Результатом використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця є підвищення прибутку на 20-30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Бібліографічний список

1. Chad H. A., Hibbard J. D. A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production. *Farm Economics*. Champaign-Urbana : Department of Agricultural Economics, University of Illinois, 1993. iss - P. 218-231.
2. Медведєв В. В. Неоднородність ґрунтів і точне землеробство. Ч. 1 : Введення в проблему. Харків, 2007. 296 с.
3. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно-измерительных устройств ЛА. 1984. 207 с.
4. <http://druzhba-nova.com/ru/index.html>.
5. <http://kbo-agro.com.ua>.
6. www.geonics.com.
7. <http://www.veristech.com>.

Броварець О. Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця

Способи відбору проб ґрунту за існуючими методиками не враховують варіабельності стану ґрунтового середовища. Ставиться завдання отримати достовірні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища за допомогою зменшення похибки під час визначення електропровідних властивостей ґрунту, забезпечення індивідуальної стабілізації робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів, копіювання нерівностей ґрунтового середовища, зменшення інтенсивності руйнування структури ґрунту, самоочищення робочого контакту електрода і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом, завдяки вдосконаленню конструкції приладу. Поставлене завдання досягається використанням інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця, яка складається з П-подібної рами, на якій розміщують баласт і два опорні колеса, повздожню раму зі встановленою на ній поперечною рамою з приєднаними до неї шарнірами, важелів, стояків-пружин, кронштейна, обертового вала, гідроциліндра, кронштейна кріплення та копіювальних коліс, робочих електродів, баласту, фаркопа, підставки.

Ключові слова: інформаційно-технічна система, оперативний моніторинг, ґрунт, проби, варіабельність.

Brovarets A. Information and technical system for monitoring the state of the soil environment by Alexander Brovarets

Existing methods of soil sampling on the existing methods do not account for the variability of the state of the soil environment. The aim is to obtain reliable data on agrobiological condition of the soil environment by reducing errors in determining the value of conductive properties of the soil, providing individual stabilize the working electrode and mechanism of lifting / lowering the working electrode, copy inequalities soil environment, reduce the intensity of the destruction of soil structure, self-cleaning work contact electrode and providing stable electrical contact with the ground electrode,

by improving construction device. The task is achieved through the use of information technology system operational state monitoring soil environment design of Alexander Brovartsya, which consists of a U-shaped frame, which is placed ballast and two supporting wheels, longitudinal frame with placed on it transverse frames with attached thereto joints, leverage struts, springs, brackets, rotating shaft, hydraulic cylinders, mounting bracket and copying wheels working electrodes ballast hitch, supports.

Key words: information-technical system, operational monitoring, soil samples, variability in magnitude.

Броварец А. Информационно-техническая система оперативного мониторинга состояния почвенной среды конструкции Александра Броварца

Способы отбора проб почвы по существующим методикам не учитывают вариабельность состояния почвенной среды. Ставится задача получения достоверных данных об агробиологическом состоянии почвенной среды путем уменьшения погрешности при определении величины электропроводящих свойств почвы, обеспечения индивидуальной стабилизации рабочих электродов и механизма подъема / опускания рабочих электродов, копирования неровностей почвенной среды, уменьшения интенсивности разрушения структуры почвы, самоочищения рабочего контакта электрода и обеспечения стабильности электрического контакта электрода с грунтом, путем усовершенствования конструкции прибора. Поставленная задача достигается путем использования информационно-технической системы оперативного мониторинга состояния почвенной среды конструкции Александра Броварца, которая состоит из П-образной рамы, на которой размещаются балласт и два опорных колеса, продольная рама с установленной на ней поперечной рамой, с присоединенными к ней шарнирами, рычагов, стоек-пружин, кронштейна, вращающегося вала, гидроцилиндра, кронштейна крепления и копируемых колес, рабочих электродов, балласта, фаркопа, подставки.

Ключевые слова: информационно-техническая система, оперативный мониторинг, почва, пробы, вариабельность, величина.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ ЛІСОВИХ ГОРІХІВ

*З. Гошко, к. т. н., О. Крунич, к. т. н., Р. Крунич, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Фізико-механічні властивості плодів лісових горіхів є важливими показниками, які слід враховувати в їх післязбиральному обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: руйнуванню оболонки, відділенню ядра, очищенню, транспортуванню, зберіганню тощо. Проектування та розрахунок обладнання для здійснення механічних операцій неможливі без знання технологічних властивостей складових плоду (оболонки, ядра). Значення зусилля руйнування оболонки горіха, особливості зміни цього зусилля залежно від ділянки його прикладання, зусилля руйнування ядра тощо необхідно знати для встановлення оптимальних та раціональних параметрів робочих органів, що використовуються для обрешування оболонки та відділення її від ядра, а також у проектуванні машин та апаратів харчової промисловості [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Опис ліщин нараховує близько 15 видів, в Україні в дикорослому стані зустрічається лише ліщина звичайна і дев'ять видів інтродуковано. Для садівників найбільший інтерес становлять ліщина звичайна, найбільша (ломбардський горіх, фундук) і горіхова, яку ще називають ведмежим горішником [4].

У всіх цих видів є свої плюси й мінуси. Так, ліщина звичайна відрізняється великою екологічною пластичністю. Лісовий фундук – дуже холодостійка рослина, благополучно переносить як посуху, так і морози.

Фундук – окультурений різновид сортів ліщини, таку назву мають і плоди лісових горіхів. Спочатку фундуком називали тільки лісову ліщину. Сама назва горіхів «ліщина» походить від давнього праслов'янського слова, що означає «дерево лісу, плід лісового дерева» [4].

Фундук Каталонський – давно відомий і один із найпоширеніших сортів. Сильнорослий, утворює розлогу, досить загущену крону. Каталонський – відмінний промисловий сорт, добре зарекомендував себе в країнах Європи. Відрізняється високою врожайністю, великими, до чотирьох грамів, горіхами. Кущ сильнорослий, досягає висоти 6 м. Цвітіння відбувається в середні терміни. Плодоносити починає на 3-4-ий рік, дозрівання плодів припадає на початок вересня. Горіхи фундука великі, округлі, високої товарної якості, зібрані в супліддя по 3–5 шт. Вихід ядра – 38-40%. Шкаралупа середньої товщини, ламка, бронзового кольору. Горіх відрізняється добрим смаком, солодкий, з присмаком мигдалю, а ядро майже повністю заповнює шкаралупу. Обгортка плода за довжиною рівна або інколи дещо коротша від довжини горіха. Під час дозрівання обгортка розкривається, звільняючи більшу частину горіха, який самостійно випадає з неї. Шкаралупа

середньої товщини, досить тонка, коричневого кольору з темними смугами (рис. 1) [4].



Рис. 1. Горіх Каталонський.

Основа плоду велика, дещо менша, ніж ширина горіха, світло-коричнева, майже плоска, чи злегка випукла, так, що горіх можна поставити. Ядро велике, округле, добре заповнює шкаралупу.

Горіх має овальну або круглу форму, приблизно 2 см в довжину. Плід захований у тверду коричневу шкаралупу. Ці горіхи ростуть гронами по 1–4 шт., частково приховані в лущинні. Ядро велике, яйцеподібне, з гострою кінцівкою, вкрите темно-коричневою досить грубою волокнистою оболонкою, яка легко відділяється. Колір ядра – світло-кремовий. Горіх має ніжний, не дуже солодкий смак, багатий на вітамін Е і фолієву кислоту (її в ньому більше, ніж в інших горіхах).

Плід горіха містить близько 60 % олії, у складі якої знаходяться органічні кислоти, а також містить у собі до 20 % білка й такі мінеральні речовини, як кальцій, калій, магній, залізо тощо.

Корисні властивості горіха широко використовуються в медицині. Передусім він корисний у лікуванні серцево-судинної системи. Калій і кальцій, які є в лісових горіхах, сприятливо впливають на стінки судин, гладкої мускулатури серця, допомагаючи їм залишатися еластичними [4].

Його корисні властивості допомагають вилікувати варикозне розширення вен, тромбофлебіт, трофічні виразки гомілки і проблеми з капілярами. Крім того, його варто вживати при збільшенні передміхурової залози і ослабленні імунітету [4].

Постановка завдання. Наше завдання – визначення фізико-механічних властивостей горіхів фундука як об'єкта збирання і післязбирального обробітку.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставлених завдань була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачала визначення таких фізико-механічних властивостей горіхів фундука сорту Каталонський, що

добре зарекомендував себе в країнах Європи і добре культивується в західних областях України [2; 3]:

- масових і розмірних показників (маса, довжина, ширина, товщина) (рис. 2, а, б);
- роботи, що затрачається на руйнування оболонки та ядра горіха.

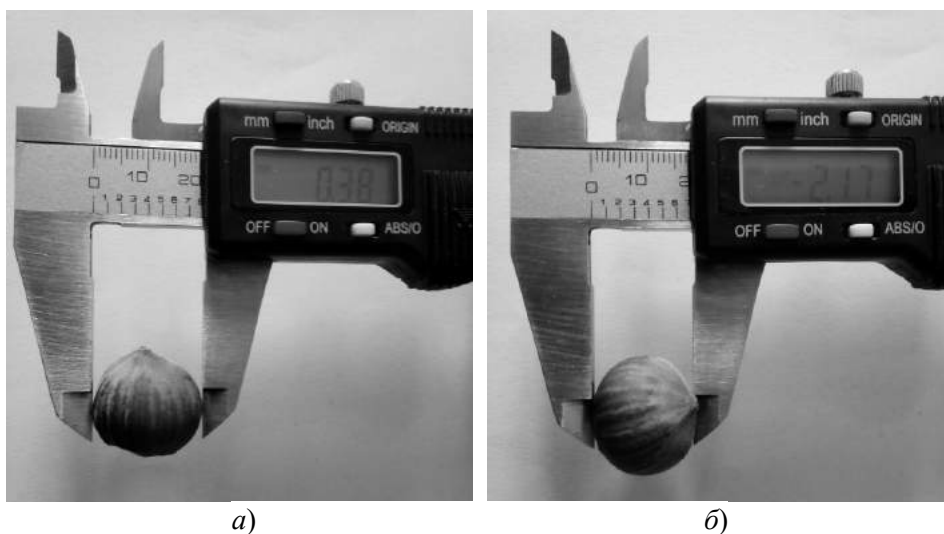


Рис. 2. Вимірювання розмірних показників плодів горіха.

На основі отриманих експериментальних даних було побудовано гістограми, полігони та криві накопичених дослідних ймовірностей (рис. 3-6) .

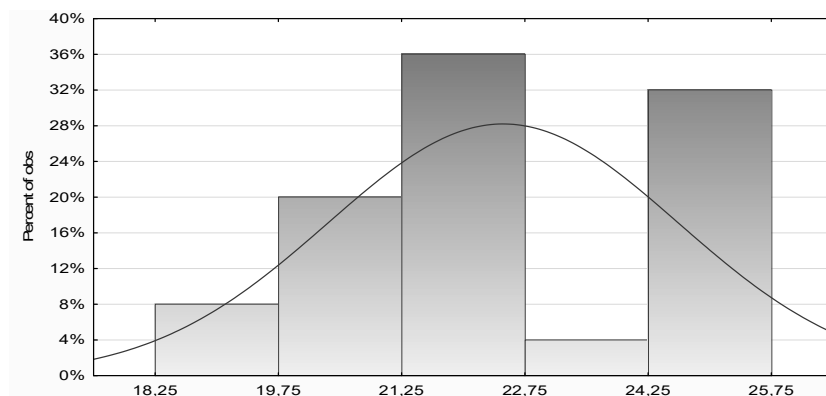


Рис. 3. Гістограма розподілу плодів горіха за висотою оболонки b , мм.

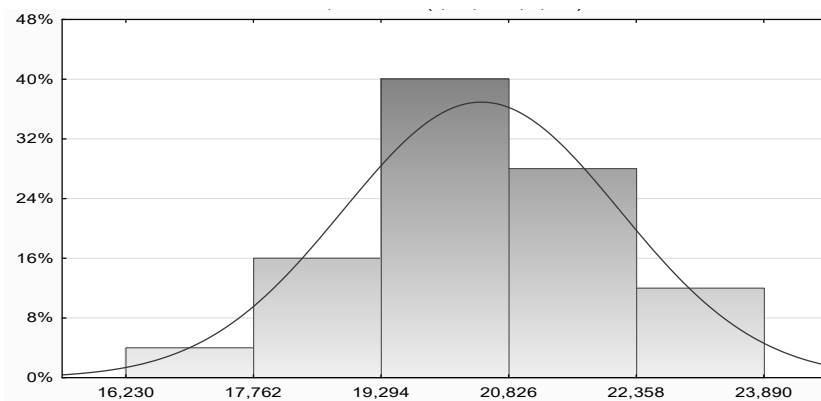


Рис. 4. Гістограма розподілу плодів горіха за шириною оболонки a , мм.

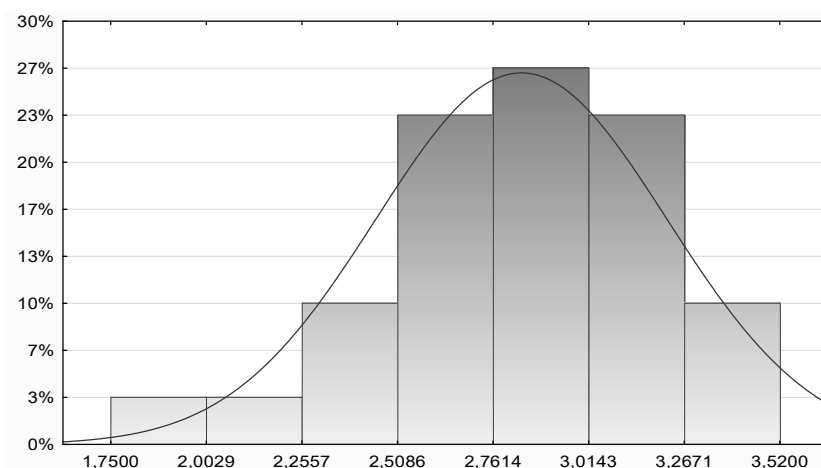


Рис. 5. Гістограма розподілу плодів горіха за товщиною оболонки c , мм.

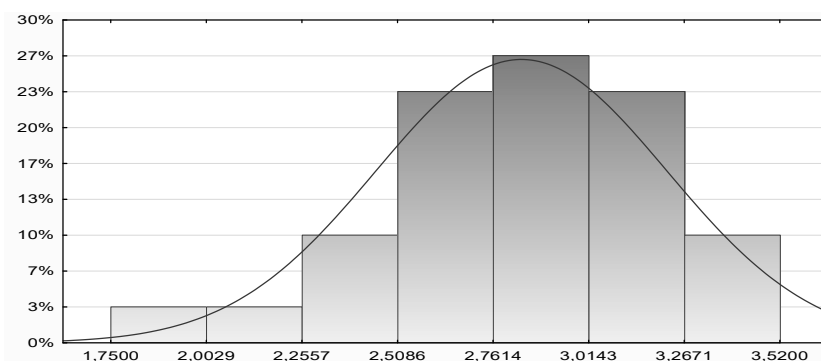


Рис. 6. Гістограма розподілу плодів горіха за масою m .

Під час проектування подрібнювальних машин, їх вузлів та механізмів необхідно знати фізико-механічні властивості оброблюваних матеріалів, у нашому випадку плодів горіха Каталонського, а саме роботу руйнування оболонки та ядра.

Для визначення міцності зразка використовували розроблений нами прилад (рис. 7).

Роботу, затрачену на руйнування, визначали за формулою

$$A = mgh ,$$

де m – маса зразка, г;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²;

h – висота падіння тягарця, м.

Прилад (див. рис. 7) складається зі станини 1, яка встановлена на горизонтальній площині, підставки 2 (кріпиться до станини), в якій закріплюють колбу 3, що виконує функцію напрямної для тягарця 5, на стінці колби також наклеєна мірна лінійка 4, досліджуваний зразок насінневого матеріалу 10 встановлюється на дні підставки 2. Тягарець 5 кріпиться в підвішеному стані з допомогою линви 6 через блок у котушці з фіксатором 8. Усі складові елементи приладу закріплені у штативі 9.

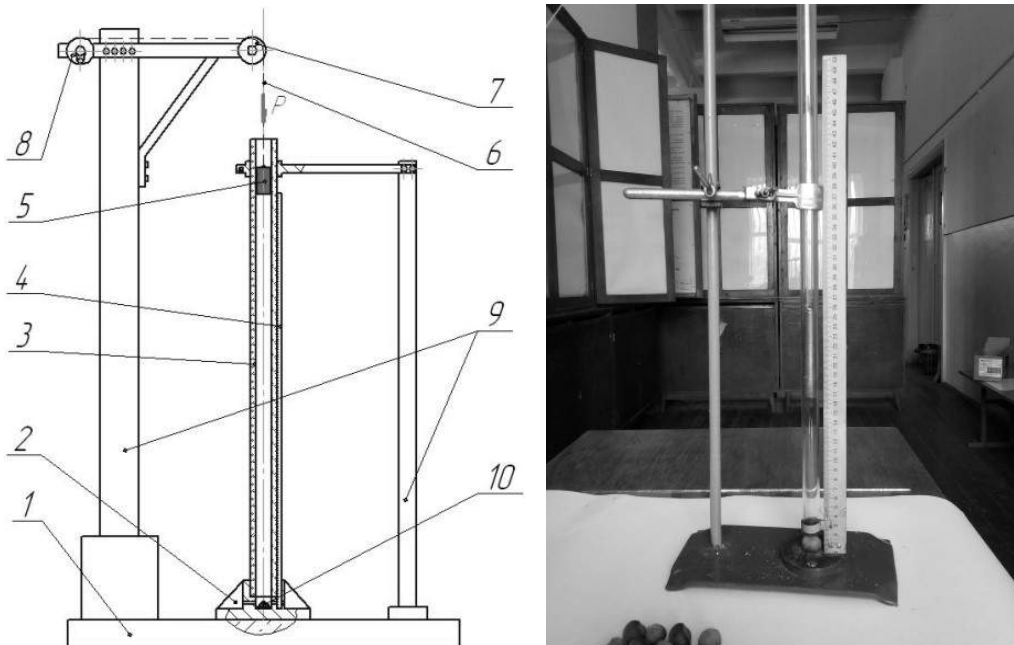


Рис. 7. Стенд для дослідження міцності оболонки та ядра горіхів та початку їх руйнування: 1 – станина; 2 – підставка; 3 – колба; 4 – лінійка; 5 – тягарець; 6 – линва; 7 – поліпаст; 8 – котушка з фіксатором; 9 – штатив; 10 – дослідний зразок.

Енергію руйнування горіхів визначали за допомогою тягарця, положення якого періодично змінюють за висотою. Під час ударного руйнування частина потенціальної енергії тягарця витрачається на виконання роботи руйнування (деформації) горіха, а також на подолання тертя між тертьовими поверхнями напрямної колби.

У нашому випадку приймаємо, що робота, яка витрачається на подолання сил тертя, є настільки малою порівняно з роботою удару, що ми нею нехтуємо.

На ударник, який використаний у роботі, діють дві сили: вага тягарця і сила тертя лінви в котушці (її значення настільки мале, що в подальших розрахунках не враховується). Унаслідок удару тягарця об оболонку горіха відбувається її руйнування. Завданням було визначити роботу удару (зусилля руйнування оболонки) (рис. 8, 9).

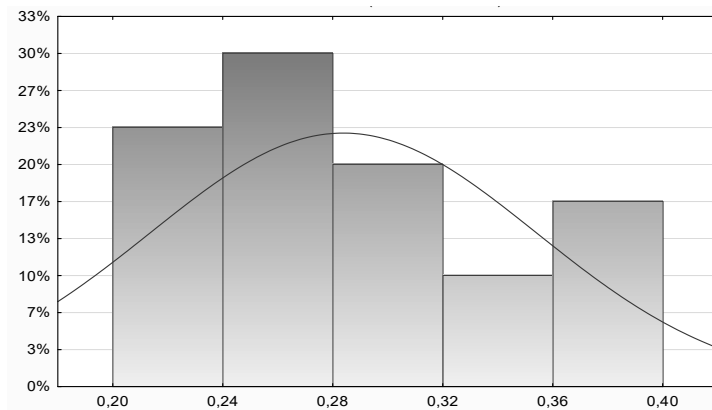


Рис. 8. Гістограма розподілу плодів горіха за роботою руйнування оболонки A_o , Дж.

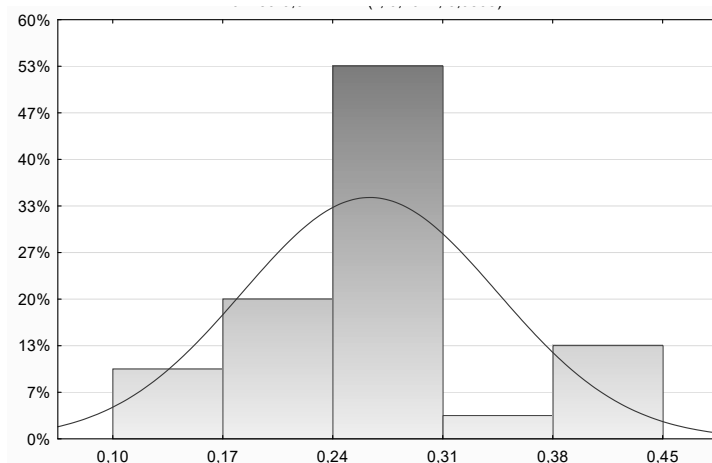


Рис. 9. Гістограма розподілу плодів горіха за роботою руйнування ядра A_y , Дж.

Висновки. Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень та побудовані на їх основі експериментальні криві, можна зробити такі висновки щодо плодів фундука сорту Каталонський:

- ширина $a_{\text{мін}}=15,93$ мм, $a_{\text{макс}}=24,05$ мм, $a_{\text{ср}}=20,29$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=10\%$;
- висота $b_{\text{мін}}=16,23$ мм, $b_{\text{макс}}=23,89$ мм, $b_{\text{ср}}=20,47$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=8\%$;
- товщина $c_{\text{мін}}=18,25$ мм, $c_{\text{макс}}=25,75$ мм, $c_{\text{ср}}=22,46$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=9\%$;
- робота руйнування оболонки $A_{\text{омін}}=0,2$ Дж, $A_{\text{омакс}}=0,4$ Дж, $A_{\text{оср}}=0,3$ Дж;
- робота руйнування ядра $A_{\text{ямін}}=0,1$ Дж, $A_{\text{ямакс}}=0,275$ Дж, $A_{\text{яср}}=0,45$ Дж.

Отримані результати свідчать, що діапазон коливань значень за розмірними показниками плодів горіха незначний, а значення коефіцієнта варіації не перевищує 10 %. Отже, у процесі проектування сортувальних та калібрувальних машин суттєвих проблем під час розділення плодів горіха виникати не буде.

Значення роботи руйнування оболонки і ядра практично перекриваються, що є свідченням того, що в процесі руйнування оболонки є значна ймовірність пошкодження ядра плодів, що необхідно враховувати під час проектування обрушувальних машин.

Бібліографічний список

1. Крупич О. М., Левко С. І., Крупич Р. О. Кінематичний аналіз роботи роторного ударного струшувача грецьких горіхів. *Вісник Львівського національного аграрного університету : Агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 134-140.
2. Крупич О. М., Левко С. І., Крупич Р. О. Спосіб визначення об'єму тіл неправильної форми. *Вчені ЛНАУ виробництву : каталог інноваційних розробок*. 2014. № 14. С. 63.
3. Крупич Р. О. Дослідження вагових показників плодів горіхоплідних культур. *Вісник Львівського національного аграрного університету : Агроінженерні дослідження*. 2013. № 17.
4. Сатіна Г. М. Потенціал промислового виробництва грецького горіха в Україні та шляхи його ефективного використання. URL : <http://dissert.com.ua/content/241007.html/>

Гошко З., Крупич О., Крупич Р. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів лісових горіхів

Фізико-механічні властивості плодів лісових горіхів є важливими показниками, які слід враховувати в їх післязбиральному обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: руйнуванню оболонки, відділенню ядра, очищенню, транспортуванню, зберіганню тощо. Для виконання поставлених завдань була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачала визначення таких фізико-механічних властивостей горіхів фундука сорту Каталонський, що добре зарекомендував себе в країнах Європи і добре культивується в західних областях України:

- масових і розмірних показників (маса, довжина, ширина, товщина);
- роботи, що затрачається на руйнування оболонки та ядра горіха.

Ключові слова: лісові горіхи, фізико-механічні властивості, розмірні показники.

Goshko Z., Krupich O., Krupich R. Research physics-mechanics properties of garden-stuffs of hazel-nuts

Physics-mechanics properties of garden-stuffs of hazel-nuts are important indexes which it follows to take into account in their collection till, in fact, in future all garden-stuffs are added to the mechanical action: to destruction of shell, separation of kernel, cleaning, transporting, storage but other For the decision of the put tasks there was the developed program of experimental researches, which foresaw determination of the followings physics-mechanics properties of nuts to hazel-nut, namely to the sort Catalan, that well showed oneself in the countries of Europe and well cultivated in the western regions of Ukraine:

- indexes which characterize mass and size indexes (mass, length, width, thickness);

- work which is outlaid on destruction of shell and kernel of nut.

Key words: hazel-nuts, physics-mechanics properties, size indexes.

Гошко З., Крупич О., Крупич Р. Исследование физико-механических свойств плодов лесных орехов

Физико-механические свойства плодов лесных орехов являются важными показателями, которые следует учитывать в их последующей переработке, ведь в дальнейшем все плоды подвергаются механическому воздействию: разрушению оболочки, отделению ядра, очистке, транспортировке, хранению и проч. Для решения поставленных задач была разработана программа экспериментальных исследований, предусматривающая определение следующих физико-механических свойств орехов фундука сорта Каталонский, который хорошо зарекомендовал себя в странах Европы и хорошо культивируется в западных регионах Украины:

- массовых и размерных показателей (масса, длина, ширина, толщина);

- работы разрушения оболочки и ядра ореха.

Ключевые слова: лесные орехи, физико-механические свойства, размерные показатели.

ФОРМУВАННЯ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ В ЯГОДАХ СУНИЦІ САДОВОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЯКІСНИХ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ

*І. Заморська, к. с.-г. н., В. Гіджеліцький, к. т. н.
Уманський національний університет садівництва*

Постановка проблеми. Суниця – одна з найпоширеніших ягідних культур у світі, що цінується за високу рентабельність виробництва, збалансований хімічний склад, гармонійне поєднання смаку й аромату та високу антиоксидантну здатність [1].

Важливим компонентом хімічного складу ягід є вміст аскорбінової кислоти, завдяки якому антиоксидантна здатність суниці в десять разів перевищує аналогічний показник інших фруктів [2]. За цим показником здійснюють підбір сорту, що є одним із важливих технологічних прийомів для отримання високоякісних продуктів переробки з ягід суниці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що аскорбінова кислота (L–аскорбінова кислота) є водорозчинним антиоксидантом, який необхідний для життєдіяльності людини, проте не синтезується організмом. Біологічна роль її полягає у захисті рослинного організму від окиснювального стресу та тваринного – від хронічних захворювань, що беруть початок в окиснювальному стресі [3].

Аскорбінова кислота – дуже лабільна сполука, за несприятливих умов вона піддається окисненню. Активна форма вітаміну (L–аскорбінова кислота) окиснюється до дегідроаскорбінової кислоти, проте це не призводить до зниження біологічної активності, оскільки остання знову може переходити в L–аскорбінову кислоту, однак наступне її перетворення в дикетогулонову – незворотне [4].

Під час досягання ягід суниці вміст у них аскорбінової кислоти зростає [5]. Високу цінність для харчування людини становлять сорти суниці, в яких вміст аскорбінової кислоти перевищує 60 мг/100г. Проте під дією світла та в присутності кисню аскорбінова кислота в суниці може окиснюватися під впливом ферментів аскорбатоксидази спільно з поліфенолоксидазою, цитохромоксидазою та пероксидазою [6].

Вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці залежить від генетичних особливостей сорту, умов вирощування та післязбиральної обробки [7]. Проте значний вплив справляють погодні умови. Так, за даними Л. М. Шевчук, О. Ф. Денисюк [8], сума ефективних температур понад 10 °С для оптимальних умов накопичення аскорбінової кислоти в період росту й розвитку плодів не повинна бути нижчою за 239,1 °С. Однак питання формування аскорбінової кислоти в ягодах суниці під впливом абіотичних чинників періоду досягання з метою підбору сорту для переробки на консерви потребує подальших досліджень.

Постановка завдання. Дослідити вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці садової залежно від впливу абіотичних чинників періоду досягання: середньої

температури повітря, суми опадів, суми ефективних та активних температур – з метою отримання високоякісних продуктів переробки.

Виклад основного матеріалу. Робота виконана у 2005-2015 рр. з ягодами суниці сортів Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка, Пегас та Русанівка в умовах лабораторії кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва. Вміст аскорбінової кислоти визначали йодометричним методом за ГОСТ 24556. Агрокліматичні показники періоду досягання ягід суниці подано за даними Уманської метеорологічної станції.

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Початок досягання ягід суниці (третя декада травня та перша декада червня) супроводжувався середньодобовою температурою повітря в межах 15,5-23,2°C, сумою опадів на рівні 0,3–107,5 мм, сумою ефективних температур понад 5°C – 423,2–1139,4, понад 10°C – 143,7–676,5, активних температур – 596,6–1521,6°C залежно від року проведення досліджень (табл. 1).

Таблиця 1

Агрокліматичні показники періоду досягання ягід суниці
(за даними Уманської метеорологічної станції)

Рік	Середня температура повітря, °С		Сума опадів, мм		Сума ефективних температур понад 5°C		Сума ефективних температур понад 10 °С		Сума активних температур °С	
	III декада травня	I декада червня	III декада травня	I декада червня	III декада травня	I декада червня	III декада травня	I декада червня	III декада травня	I декада червня
2005	21,0	15,4	2,3	41,6	486,2	590,2	214,0	268,0	655,0	809,0
2006	15,9	15,4	24,4	10,7	423,2	527,3	148,0	202,1	527,0	681,1
2007	24,6	20,6	0,3	10,4	583,9	739,4	297,3	402,8	637,3	842,8
2008	15,5	16,7	21,0	1,6	459,2	576,0	143,7	210,5	596,6	763,4
2009	16,6	18,9	5,3	3,2	472,0	611,8	178,8	268,2	618,4	807,8
2010	16,5	20,0	25,5	22,0	500,5	650,3	210,2	310,0	610,3	810,1
2011	18,7	21,3	25,4	8,0	503,4	666,7	221,4	334,7	606,4	819,7
2012	17,7	19,9	0,3	9,4	651,1	800,3	313,2	442,4	893,3	1092,5
2013	17,6	17,8	57,0	18,9	598,2	726,2	347,4	425,4	817,4	994,7
2014	20,4	19,4	32,0	29,1	568,3	711,9	253,2	346,8	743,2	936,8
2015	18,7	20,4	0,6	22,6	477,8	631,5	223,8	325,5	673,8	877,5
Середнє	18,5	18,7	17,6	16,1	520,3	657,4	231,9	321,5	670,8	857,8

Дослідженнями встановлено (табл. 2), що вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці є сортовою ознакою, проте спостерігається й значна залежність від погодних умов року.

Середній вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці коливався в межах від 69,8 до 92,2 мг/100 г. Істотно вищий рівень аскорбінової кислоти здатні

накопичувати ягоди суниці сортів Хоней – до 112,7 мг/100 г та Полка – 105,3 мг/100 г. У ягід суниці сорту Пегас спостерігається слабка мінливість ознаки, сортів Фестивальна ромашка, Дукат, Полка – середня (коефіцієнт варіації 12,3–23,1%), тоді як у інших сортів встановлено сильну (коефіцієнт варіації 25,3–32,4 %) мінливість ознаки.

Таблиця 2

Вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці

Сорт	Роки досліджень	min–max, мг/100 г	Середнє, %	V, %
Фестивальна ромашка	2005–2011	60,7–92,4	79,5±9,8	12,3
Дукат	2005–2015	46,6–95,3	69,8±15,9	22,8
Хоней	2005–2015	51,8–112,7	91,1±23,04	25,3
Полка	2005–2015	49,4–105,3	77,4±17,85	23,0
Пегас	2012–2015	84,4–97,3	92,2±6,8	7,5
Русанівка	2009–2015	42,6–93,8	75,0±24,3	32,4
НІР ₀₅		0,96	–	

Високий рівень аскорбінової кислоти встановлено в ягодах суниці 2006 року, коли середньомісячна температура останньої декади травня та першої декади червня була на 2,6-3,3 °С нижчою від середніх даних, сума ефективних температур понад 5 °С була нижчою на 97,1 °С та 130,1, а ефективних понад 10 °С – на 83,9-119,4°С відповідно (див. рис.). При цьому сума опадів у третій декаді червня була вищою в 1,4 раза, а першої декади червня, навпаки, нижчою в 1,5 раза від середньої за період досліджень. Високий вміст аскорбінової кислоти в ягодах також встановлено у 2008 та 2013 роках, коли спостерігалася аналогічна тенденція.

Низький вміст аскорбінової кислоти ягоди накопичували у 2007, 2012 роках, коли середня температура повітря в період досягання ягід була на 1,9 – 6,1 °С вищою проти середньої за період спостережень. При цьому сума ефективних температур понад 5 °С на 63,6-142,9 °С перевищувала середні дані, понад 10 °С – на 21,7-119,4, активних – на 65,4-120,9 °С. Сума опадів була істотно нижчою від середніх значень.

Аналізом даних вмісту аскорбінової кислоти в ягодах суниці під впливом абіотичних чинників виявлено, що значний вміст аскорбінової кислоти накопичується в ягодах суниці у роки, коли сума ефективних температур понад 5 °С і 10 °С та сума активних температур суттєво нижчі або істотно перевищують середні значення, що встановлені окремо для сортів різних строків досягання за

суми опадів, що істотно вища від середніх даних. Натомість низький вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці спостерігався у роки зі значною нестачею опадів в останню декаду травня. При цьому сума ефективних температур понад 5 °С і 10 °С та сума активних температур істотно перевищували середні значення.

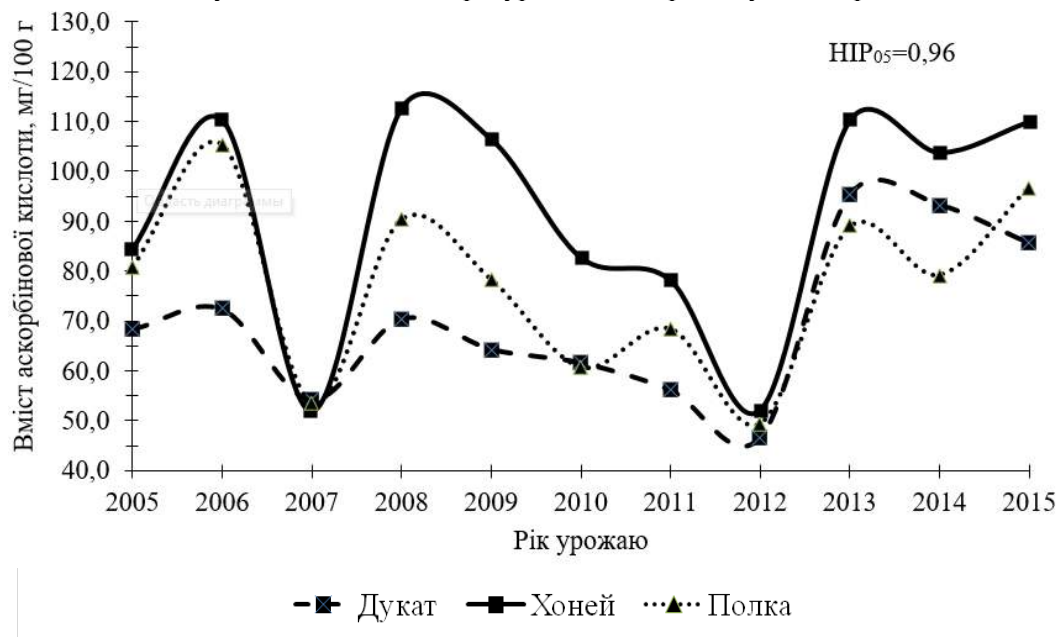


Рис. Вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці різних помологічних сортів залежно від року врожаю, мг/100 г.

На характер накопичення аскорбінової кислоти в ягодах суниці значний вплив мають і особливості сорту. Так, у ягід суниці сорту Хоней спостерігається середня обернена залежність вмісту аскорбінової кислоти з температурними показниками: з $\sum_{\text{эф}} > 5$ ($r = -0,51$) та $\sum_{\text{эф}} > 10$ ($r = -0,41$), проте її не виявлено від суми опадів.

Вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці сорту Дукат практично не залежить від температурних показників та має прямий середній зв'язок із сумою опадів ($r = 0,37$). Натомість, у ягід суниці сорту Полка вміст аскорбінової кислоти має обернений сильний зв'язок із сумою ефективних температур понад 5 °С $\sum_{\text{эф}} > 5$ ($r = -0,73$), обернений середній з сумою ефективних температур понад 10 °С $\sum_{\text{эф}} > 10$ ($r = -0,62$) із сумою активних температур ($r = -0,46$).

Висновки. Таким чином, вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці коливається в межах від 69,8 до 92,2 мг/100 г. Істотно вищий рівень аскорбінової кислоти здатні накопичувати ягоди суниці сортів Хоней – до 112,7 мг/100 г та Полка – 105,3 мг/100 г, що свідчить про високий потенціал для отримання високоякісних продуктів переробки.

Значний вміст аскорбінової кислоти накопичується в ягодах суниці у роки, коли сума ефективних температур понад 5 °С і 10 °С та сума активних

температур суттєво нижчі або істотно перевищують середні значення, за істотно вищої суми опадів.

Бібліографічний список

1. Марковський В. С., Бахмат М. І. Ягідні культури в Україні: навч. посіб. Кам'янець-Подільський: ПП „Медобори-2006”, 2008. 200 с.
2. Szeto Yim Tong, Brian Tomlinson, Iris FF Benzie. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. *British journal of nutrition*. 2002. № 87(1). P. 55-59.
3. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing / Davey M. W. et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000. 89. P. 825–860 (abstract).
4. Nunes M. C. N., Brecht J. K., Morais A. M. M. B., Sargent S. A. Controlling Temperature and Water Loss to Maintain Ascorbic Acid Levels in Strawberries During Postharvest Handling. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*. 1998. № 63(6). P. 1033-1036.
5. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages / Kafkas E. et al. *Food Chemistry*. 2007. № 100(3). P. 1229-1236.
6. Wright Kimberly Palmer, Adel A. Kader. Effect of slicing and controlled-atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology*. 1997. № 10(1). P. 39-48.
7. Lee Seung K., Adel A. Kader. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology*. 2000. № 20(3). P. 207-220.
8. Шевчук Л. М., Денисюк О. Ф. Модель залежності вмісту аскорбінової кислоти у плодах чорної смородини та суниці від погодних умов. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 4. С. 39-43.

Заморська І., Гіджеліцький В. Формування аскорбінової кислоти в ягодах суниці садової залежно від впливу абіотичних чинників для отримання високоякісних продуктів переробки

Досліджено формування аскорбінової кислоти в ягодах суниці садової сортів Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка, Пегас і Русанівка під впливом абіотичних чинників. Доведено, що середній вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці коливався в межах від 69,8 до 92,2 мг/100 г. Значний вміст аскорбінової кислоти накопичується у ягодах суниці в роки, коли сума ефективних температур понад 5°C і 10°C та сума активних температур суттєво нижчі або істотно перевищують середні значення, що встановлені окремо для сортів різних строків досягання за суми опадів, що істотно вища від середніх даних.

Ключові слова: суниця, сорт, аскорбінова кислота, абіотичні чинники.

Zamorska I., Hidzhelitskyi V. Formation of ascorbic acid in strawberries depending on the effect of abiotic factors for obtaining high-quality processing products

The process of ascorbic acid formation in strawberries (cultivars Festyvalna romashka, Ducat, Honey, Polka, Pegas and Rusanivka) affected by abiotic factors was studied. It was proved that average content of ascorbic acid in strawberries ranged from

69.8 to 92.2 mg/100 g. A large amount of ascorbic acid was accumulated in strawberries in the years when the total of effective temperatures was over 5°C and 10°C and the total of active temperatures was much lower or exceeded average values which were fixed for the cultivars with different ripening terms, and the precipitation amount exceeded the average values.

Key words: strawberry, cultivar, ascorbic acid, abiotic factors.

Заморская И., Гиджелицкий В. Формирование аскорбиновой кислоты в ягодах земляники садовой в зависимости от влияния абиотических факторов в целях получения высококачественных продуктов переработки

Исследовано формирование аскорбиновой кислоты в ягодах земляники садовой сортов Фестивальная ромашка, Дукат, Хоней, Полка, Пегас и Русановка под влиянием абиотических факторов. Доказано, что среднее содержание аскорбиновой кислоты в ягодах земляники колебалось в пределах от 69,8 до 92,2 мг / 100 г. Значительное содержание аскорбиновой кислоты накапливается в ягодах земляники в годы, когда сумма эффективных температур выше 5 °С и 10 °С и сумма активных температур существенно ниже или существенно превышают средние значения, установленные отдельно для сортов разных сроков созревания при сумме осадков существенно выше средних данных.

Ключевые слова: земляника, сорт, аскорбиновая кислота, абиотические факторы.

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СОЇ НА ПРОЦЕС ЇЇ ЗБИРАННЯ

*З. Гошко, к. т. н., О. Панасюк, к. с.-г. н., Р. Панасюк, к. с.-г. н., О. Гошко
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Збирання сої, на перший погляд, нічим не відрізняється від збирання інших видів зернових культур. Збирають сою, як правило, прямим комбайнуванням. Строки мають бути максимально короткими, оскільки від цього залежать кількість і якість урожаю. Збирання проводять у фазі повної стиглості насіння за вологості 14–16 %. Ознакою такого стану є опадання листя, побуріння бобів, відставання насіння від стулук. Якщо такі боби потрясти, то з'являється характерне для сухого стану торохтіння.

Особливу увагу під час збирання врожаю приділяють висоті зрізання рослин. За даними досліджень, на висоті 5 см від поверхні ґрунту на стеблах сої міститься до 2 % урожаю, на висоті 9 см – 10 %. Тож рослини слід зрізати на висоті 4–6 см. Для цього на комбайнах вітчизняного виробництва різальний апарат жниварки опускають у найнижче положення та встановлюють паралельно поверхні поля [1].

Проте аналіз якості роботи жаток комбайнів свідчить, що втрати зерна, які підпадають під категорію «незрізані боби, що залишились нижче лінії зрізу», становлять як мінімум 7 %. Причиною цього є фізико-механічні властивості сортів сої (розташування першого бобу) і нерівності поля: природні (рельєф поля) та штучні (утворені гризунами) (рис. 1).



Рис. 1. Ховрашині нори на посівах сої.

Отже, можна зробити висновок, що якісні проектування та розрахунок обладнання для збирання сої неможливі без знання властивостей оброблюваного матеріалу та умов його вирощування.

Зокрема, висота кріплення першого бобу впливає на встановлення висоти зрізу різального апарата. Кількість втрачених бобів та маса зерен дають змогу оцінити середні втрати зерна від загальної маси врожаю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фізіологія та біологічні особливості сої дозволяють збирати врожай комбайновим способом. Ультраранні, ранньостиглі та середньостиглі сорти сої характеризуються дружним, майже одночасним, досяганням бобів, стійкістю до посухи, вилягання та осипання зерна з бобів, не потребують десикації. Короткий період вегетації сприяє проведенню збиральних робіт в оптимальні строки, у кінці серпня або на початку вересня, коли ще зазвичай триває суха й тепла літня погода (див. рис. 2).



Рис. 2. Посіви сої в стадії стиглості.

Урожайність зерна сої сягає 26–49 ц/га. Генетичний потенціал урожайності зерна може становити 48–55 ц/га на полях навіть без зрошення. Відношення маси зерна сої до маси соломи зазвичай становить 1:1 [2].

Досвід вирощування сої різних сортів свідчить, що боби розміщені на рослині рівномірно і визрівають дружно на всій довжині стебла. Результати досліджень підтверджують, що під час комбайнового збирання в режимі прямого комбайнування в Україні в зонах Степу та Лісостепу повна стиглість бобів сої сягає 99 %, воскова – 1 %. Вологість зерна під час збирання (а це переважно остання декада серпня – перша декада вересня) становить 12–14 %, незернової частини врожаю – 12 %. Висота розташування нижніх бобів сої – як правило, 10 см. Висота рослин сої сягає 100–130 см. Такі умови дають змогу, застосовуючи традиційну зернову жатку комбайна, задовільно виконувати технологічний процес за швидкості руху 5 км/год.

Більшість селекційно-насінницьких фірм декларує висоту закладання найнижчого ярусу бобів на стеблі на висоті 20 см і більше (сорти Аннушка, Ворскла, Діона, Медея, Валюта). Їх збирання проводять, як правило, у режимі прямого комбайнування традиційними зерновими комбайновими жатками. Вони мають гідравлічну систему копіювання рельєфу поля, що забезпечує зріз стебел на висоті 15–20 см. Втрати зерна за такого комбайнування не перевищують допустимих 0,5 % [3].

Але нас цікавлять особливості збирання сортів сої типу Ментор, Ворскла, Устя, Легенда Супра, нижні боби яких на стеблі розташовані на висоті 10–15 см (і навіть нижче). Використання традиційних комбайнових жаток, які мають традиційну гідравлічну систему копіювання поверхні поля, дає змогу отримати висоту зрізування стебел на рівні 15–20 см. У такому разі на стеблі нижче висоти зрізу залишаються незрізані боби. А це – прямі втрати. Аналіз якості роботи таких жаток свідчить, що втрати зерна за категорією «незрізані боби нижче лінії зрізу» становлять 7 % і більше (рис. 3).



Рис. 3. Втрати сої на корені в полі і на одній рослині.

Можна сказати, що «на рівному місці», на завершальному етапі виробництва сої, коли цінне зерно вже вирощене і залишається лише його зібрати й покласти до комори, ми зазнаємо збитків, які фактично нічим не виправдані! Із залишеними на полі бобами сої та незібраним зерном ми позбавляємо себе частини прибутку [4].

Постановка завдання. Наше завдання – визначення фізико-механічних властивостей стебла та насіння сої, як об'єкта збирання, та впливу їх на конструктивні особливості збиральної техніки.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставлених завдань було розроблено програму експериментальних досліджень, що передбачала визначення фізико-механічних властивостей сої в польових умовах у період збирання, а саме:

- висоти стеблостою H ;
- висоти розташування першого бобу h ;
- середньої кількості насінин на одній рослині n ;
- середньої маси насінин на одній рослині m ;

- зусилля виривання стебла з ґрунту P .

На основі отриманих результатів побудовані гістограми розподілу досліджуваних параметрів (рис. 4–6).

Для визначення зусилля брання стебла сої використовували ручний динамометр, нижню частину якого кріпили до стебла, а до його верхньої частини прикладали зусилля (рис. 7).

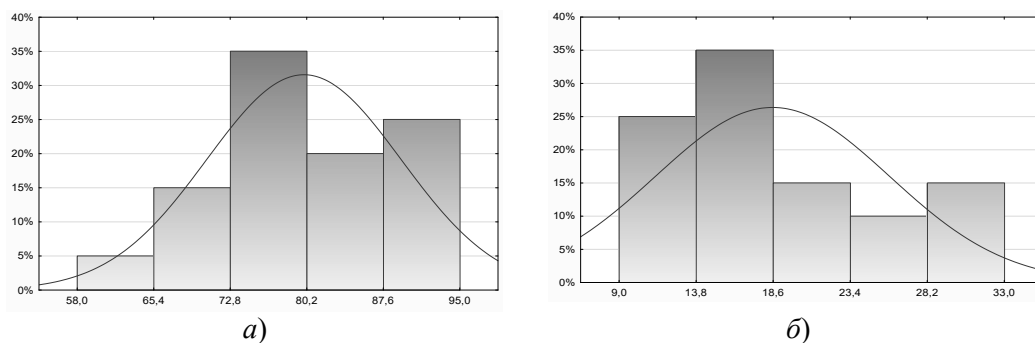


Рис. 4. Гістограми розподілу за висотою: а) стебла, H , см, б) першого бобу, h , см.

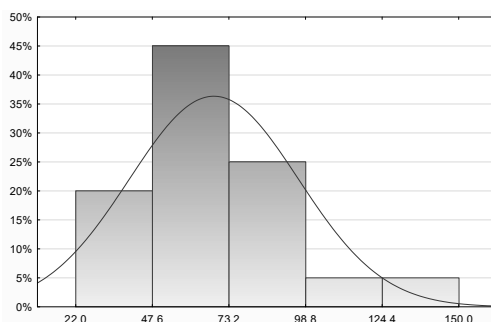


Рис. 5. Гістограма розподілу зусилля брання стебел з ґрунту, P , Н.

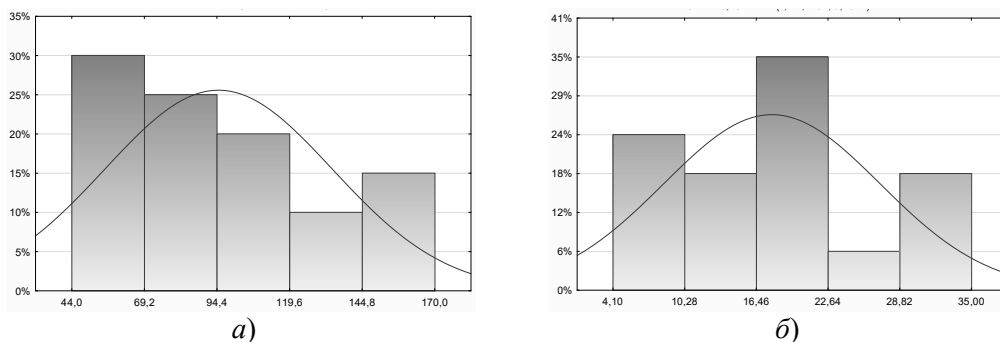


Рис. 6 Гістограми розподілу: а) кількість насінин з однієї рослини, n , шт.; б) маса насінин з однієї рослини, m , г.



Рис. 7. Дослідження зусиль висмикування стебла з ґрунту.

Висновки. Аналізуючи отримані дані та побудовані гістограми, можна зробити такі висновки: середня висота стебла $H_{\text{ср}} = 79$ см, висота розташування першого бобу на стеблі від поверхні поля $h_{\text{ср}} = 17$ см, середня кількість насінин з рослини в стручках $n = 80$ шт., їх маса $m_{\text{ср}} = 20$ г.

Зокрема для досліджуваних сортів висота розташування першого бобу становить: Ментор – 12,5...13,0 см, Устя – 10,0...11,0, Легенда – 9,0...11,0 см.

Отримані результати свідчать, що великий відсоток бобів залишається незібраним через значну висоту зрізу. Тому під час підготовки до збиральних робіт комбайн потрібно агрегатувати зі спеціальною жаткою для збирання сої. Якщо такої можливості немає, то звичайну жатку (із жорстким пальцевим брусом) потрібно дообладнати спеціальним пристосуванням для зменшення висоти зрізання (до 4-6 см), адже основні втрати під час збирання сої (до 80 %) виникають саме через неправильно налаштовану на роботу жатку. Один соєвий біб, залишений на кожній стернині, – це мінус 1-2 ц/га.

Жатку з гнучким пальцевим брусом варто використовувати тільки за умови великих площ низькозбираних культур (соя, горох тощо), адже низьке зрізання зумовлює роботу відповідного механізму в жорстких умовах (контакт робочого органа з ґрунтом, можливе потрапляння каміння тощо), що пришвидшує його спрацювання.

Ще один із способів підвищення ефективності збирання сої – використання бральних апаратів, що унеможливить втрати бобів, а це, своєю чергою, дозволить значно зменшити втрати зерна.

Підсумовуючи подану інформацію, можна з упевненістю стверджувати, що застосуванням ефективних технічних засобів, якими є спеціалізовані жатки та пристосування для збирання сої, можна, завдяки ефективному збиранню без втрат, збільшити врожайність на 200–300 кг/га і тим самим забезпечити додатковий прибуток господарству.

Бібліографічний список

1. Занько М. Особливості збирання сої. *Техніка та обладнання* : електрон. журн. УкрНДППВТ ім. Л. Погорілого. 2013. URL : <http://propozitsiya.com/ua/osoblivosti-zbirannya-soyi> (дата звернення: 07.10.2017).
2. Шевніков М. Я. Наукові основи вирощування сої в умовах лівобережного Лісостепу України : монографія. Полтава : ПП Крюков, 2007. 208 с.
3. Колісник С. І. Технологічні аспекти вирощування насіння сої. *Насінництво*. Київ, 2008. № 6. С. 5-9.
4. Каленська С. М., Новицька Н. В, Андрієць Д. В. Продуктивність як інтегральний показник застосування технологічних прийомів вирощування сої на чорноземах типових. *Корми і кормовиробництво* : міжвід. темат. наук. зб. Вінниця, 2011. Вип. 69. С. 74-78.

Гошко З., Панасюк О., Панасюк Р., Гошко О. Вплив фізико-механічних властивостей сої на процес її збирання

Збирання сої, на перший погляд, нічим не відрізняється від збирання інших видів зернових культур. Збирають сою переважно прямим комбайнуванням. Особливу увагу під час збирання врожаю приділяють висоті зрізання рослин. За даними досліджень, на висоті 5 см від поверхні ґрунту на стеблах сої міститься до 2 % урожаю, на висоті 9 см – 10 %.

Проте аналіз якості роботи жаток комбайнів свідчить, що втрати зерна, які підпадають під категорію «незрізані боби, що залишилися нижче лінії зрізу», становлять як мінімум 7 %.

Застосуванням ефективних технічних засобів, якими є спеціалізовані жатки та пристосування для збирання сої, можна збільшити її врожайність на 200-300 кг/га і тим самим забезпечити додатковий прибуток господарству.

Ключові слова: соя, розмірні показники, висота стебла, маса насіння, зусилля брання.

Goshko Z., Panasyuk O., Panasyuk R., Goshko O. Influence physics-mechanics properties of soy on the process of it collection

Collection of soy, on the face of it, differs nothing from collection of other types of grain-crops. Zbirayut' soy, as rule, direct collection. Particular attention during harvesting is given to the height of the cut of plants. At information researches, on height 5 see from surface of soil on stem soy of міститься to 2 % harvest, on height 9 see – 10 %.

However much the analysis of quality of work of reaping-machines of combines testifies that the losses of grain, which fall under a category make «uncut bobs which remained below to the line of cut» minimum 7 %.

Using effective technical means, which are specialized harvesters and devices for soy harvesting, it is possible to increase its yield by 200-300 kg/ha and thereby provide additional income to the household.

Key words: soy, size indexes, height of stem, mass of seed, pulling effort.

Гошко З., Панасюк О., Панасюк Р., Гошко О. Влияние физико-механических свойств сои на процес ее уборки

Уборка сои, на первый взгляд, ничем не отличается от уборки других видов зерновых культур. Убирают сою, как правило, прямым комбайнированием. Особенное внимание во время уборки урожая уделяют высоте среза растений. Согласно данным исследований, на высоте 5 см от края почвы на стеблах сои находится до 2 % урожая, на высоте 9 см – 10 %.

Однако анализ качества работы жаток комбайнов свидетельствует, что потери зерна, которые подпадают под категорию «несрезанные бобы, которые остались ниже линии среза», составляют как минимум 7 %.

Используя эффективные технические средства, которыми являются специализированные жатки и приспособления для уборки сои, можно увеличить её урожайность на 200-300 кг/га и тем самым обеспечить дополнительный доход хозяйству.

Ключевые слова: соя, размерные показатели, высота стебля, масса семян, усилие тербления.

ХАРАКТЕР ЗМІНИ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ГЛИБИНІ ЗАГОРТАННЯ НАСІННЯ

*Л. Аніскевич, д. т. н., Ю. Росамаха, здобувач
Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Постановка проблеми. Однією з найважливіших операцій у вирощуванні просапних культур є сівба. Від якості, способу й термінів сівби залежать рівномірність та швидкість проростання, ріст і розвиток, а в кінцевому результаті й урожай.

Машина для сівби просапних культур повинні виконувати розподіл і загорання насіння відповідно до вимог отримання рослинами оптимальної кількості світла, тепла, вологи і поживних речовин. Ці вимоги, головним чином, визначаються виходячи з картограм урожайності, вологості, забезпечення поживними речовинами, а також способу сівби.

Застосування того чи іншого способу сівби залежить від прийнятої технології, за якої забезпечується максимальний урожай. При цьому метою є створення оптимальних умов для розвитку кожної рослини. Оптимальні умови, зокрема, залежать від площі живлення, яка, своєю чергою, залежить від розподілу насіння вздовж рядка, що є однією з найважливіших вимог під час сівби просапних культур. Загальними вимогами до сівби також є точне дотримання заданої норми висіву насіння і добрив у конкретній елементарній ділянці поля, загорання насіння на однакову глибину, рівновіддаленість рядків, забезпечення заданої ширини міжрядь тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних конструкцій сівалок [1] показує, що під час виконання ними технологічного процесу сівби «найслабшим місцем» є робота сошникових систем, а саме дотримання ними параметра загорання насіння на задану глибину.

Робота сошникових систем безпосередньо пов'язана з дією пружних і пластичних деформацій ґрунту, а також із ковзанням його по робочій поверхні сошників, причому цей процес може супроводжуватися прилипанням. Тому важливо знати твердість ґрунту, його пружність і пластичність, фрикційні властивості і липкість. Оскільки зношування робочих органів впливає на хід технологічного процесу, то потрібно знати абразивні властивості ґрунтів [2].

Дослідження [3] показують, що стійкість ходу сошника на заданій глибині, а водночас і рівномірність глибини загорання насіння з перелічених основних властивостей ґрунту залежать насамперед від твердості ґрунту.

Загальноприйнятими поняттями твердості ґрунту є його здатність чинити опір стисненню і розклинюванню. Вимірюється за допомогою твердоміра або пенетрометра, дія яких заснована на реєстрації опору вдавлювання в ґрунт конічного або іншої форми плунжера і виражається в паскалях.

Постановка завдання. Наше завдання – репрезентувати результати аналізу визначеної твердості ґрунту на різних агрофонах: після збирання картоплі, зяблевої оранки з попередником вівсом, по стерні жита та на полі, що підготовлене до сівби.

Виклад основного матеріалу. Для визначення твердості ґрунту в лабораторно-польових умовах був використаний пенетрометр FieldsCout SC 900 (рис. 1), в якому передбачено роботу із зовнішнім модулем GPS, що дозволяє записувати в автоматичному режимі координати кожної точки визначення твердості. Одиниці визначеної твердості відображаються індексом PSI або кілопаскалями (1 PSI = 6,9 кПа).

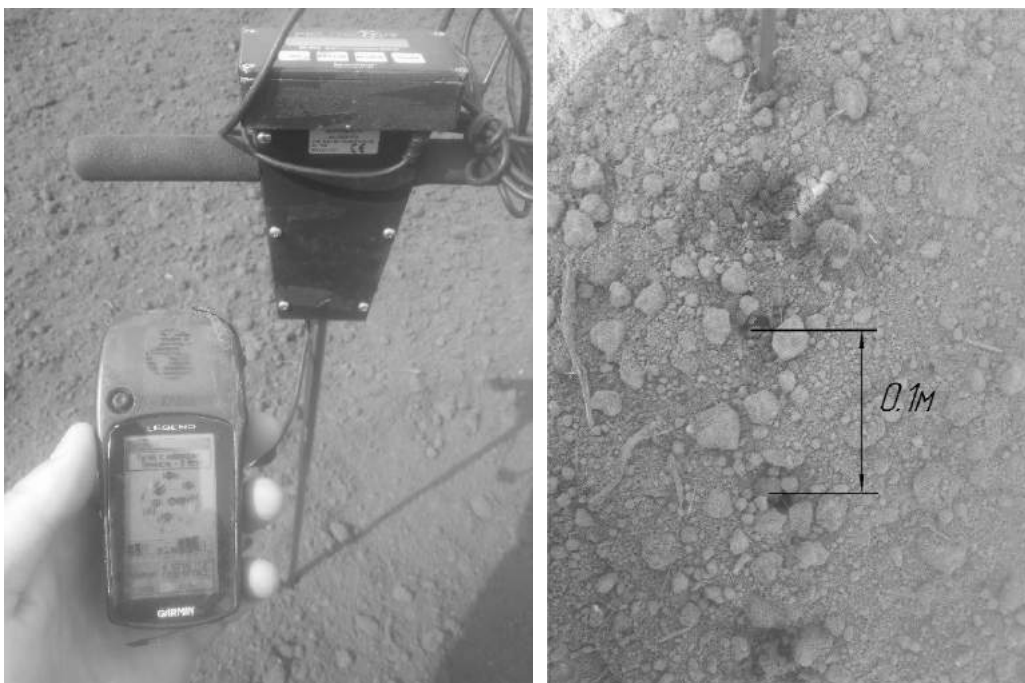


Рис. 1. Робота із пенетрометром FieldsCout SC 900.

Пенетрометр обладнаний ультразвуковим датчиком глибини занурення щупа, що дає змогу фіксувати твердість пошарово з кроком 2,5 см. Діапазон вимірювання глибини 0–45 см із точністю 1,25 см. Діапазон визначення твердості від 0 до 1000 PSI (0–7000 кПа) із точністю ± 15 PSI (103 кПа) і роздільною здатністю 5 PSI (35 кПа). Пам'ять пенетрометра розрахована на 772 виміри без фіксування світових координат GPS і 579 вимірів із фіксацією GPS. Живиться від чотирьох батарейок типорозміру AAA. Кінець щупа, який під час вимірювання занурюється в ґрунт, обладнано конусом із діаметром 1,27 см.

Для забезпечення точності вимірювань пенетрометр перед початком роботи калібрують. Для цього його встановлюють у вертикальне положення на твердій поверхні, після чого, утримуючи натиснутою кнопку START, натискають кнопку

ON, що розпочинає зворотний відлік до початку калібрування від 5 до 1. У цей момент пенетрометр можна тримати тільки за щуп. Тепер дисплей приладу повинен показати значення між 5 і 10 PSI (35 – 70 кПа), що відповідає вазі самого лічильника. Вимірювання твердості ґрунту відбувається завдяки рівномірному зануренню щупа в ґрунт, при цьому швидкість занурення, що відповідає стандарту ASABE, не повинна перевищувати 2,5 см/с. Для завантаження даних за допомогою програмного забезпечення FieldScout пенетрометр вимикають і під'єднують через порт RS-232 що знаходиться на нижньому боці приладу, за допомогою кабелю до USB комп'ютера. Формат даних дає змогу їх перегляду у Microsoft Word та Microsoft Excel. За допомогою онлайн-сервісу SpecMaps результати вимірювань можна перевести у двовимірну кольорову карту твердості ґрунту. Для отримання загального уявлення просторової зміни твердості ділянки розміром 10×10 м, її умовно покривали сіткою із квадратними гніздами, сторона яких дорівнює 0,5 м. За результатами вимірювань побудовано тривимірну поверхню (рис. 2).

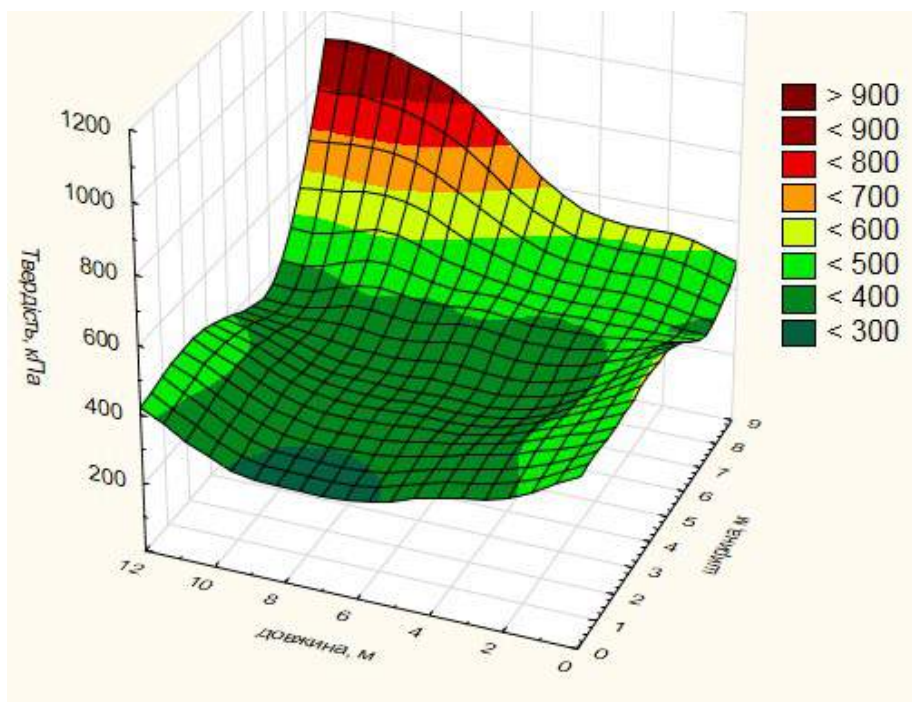


Рис. 2. Зміни твердості ґрунту на глибині 0,05м, кПа.

З рис. 2 видно, що твердість ґрунту на ділянці змінюється в широких межах – від 175 до 1015 кПа (майже в шість разів). Вимірювання твердості на ділянці із зяблевою оранкою, попередник овес, уздовж прямої лінії з кроком 0,5м (30 точок) на глибині 0,05 м відображене на рис. 3. Середнє значення становило $\bar{x} = 214,1$ кПа, а середньоквадратичне відхилення $\sigma = 68,8$ кПа.

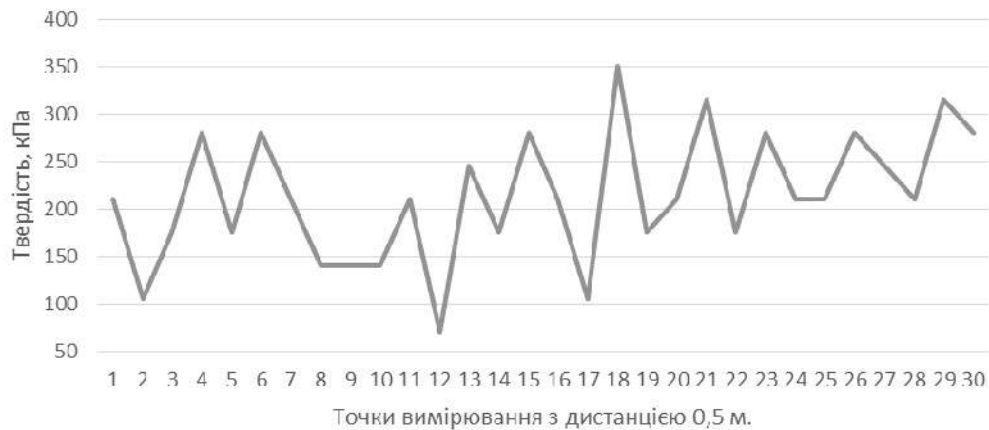


Рис. 3. Твердість ґрунту на глибині 0,05 м, кПа (зяблева оранка вівса, весна).

Подібні результати було отримано на ділянці без попереднього обробітку ґрунту, попередник картопля (рис. 4). Середнє значення $x = 221,7$ кПа, а середньоквадратичне відхилення $\sigma = 77,8$ кПа.



Рис. 4. Твердість ґрунту на глибині 0,05 м, кПа (поле після картоплі, весна).

Результати досліджень твердості ґрунту по стерні жита (рис. 5) показують збільшення середнього значення до $x = 835$ кПа порівняно з «чистим» полем після картоплі та зяблевої оранки стерні вівса, що пов'язано з наявністю розгалуженої кореневої системи рослин на глибині вимірювання. Середньоквадратичне відхилення становило $\sigma = 109,9$ кПа.

Перевірка характеру зміни твердості по довжині гону на полі, що було підготовлене до сівби, вимагала більшої деталізації. Вимірювання були проведені вздовж залікової ділянки з інтервалом 0,1 м (за довжини залікових ділянок 5 м). Одна з них відображена на рис. 6.

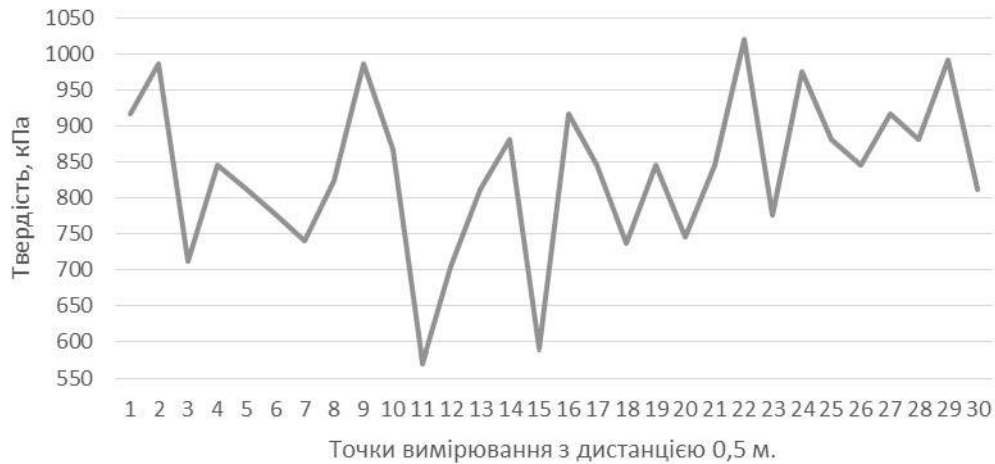


Рис. 5. Твердість ґрунту на глибині 0,05 м, кПа (стерня жита, весна).

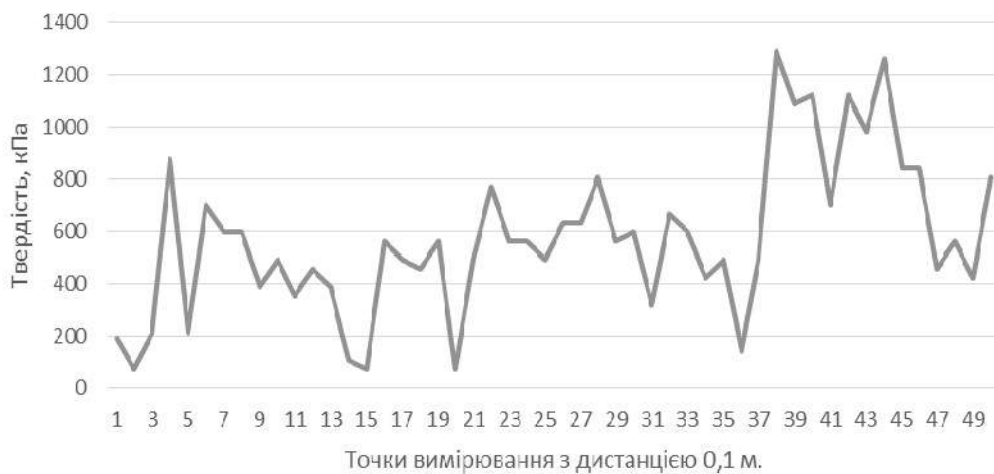


Рис. 6. Твердість ґрунту на глибині 0,05 м, кПа (поле підготовлене до сівби, весна).

Графік на рис. 6 показує діапазон зміни твердості ґрунту в межах 100...1300 кПа, середнє значення $x = 571,4$ кПа, а середньоквадратичне відхилення $\sigma = 298,04$ кПа. Така просторова неоднорідність твердості ґрунту накладає додаткові умови функціонування посівного агрегату в полі, зокрема на забезпечення стабільності глибини ходу сошника [4].

Аналіз спектральної щільності наведених процесів зміни твердості ґрунту по довжині гону не виявив явно виражених піків у діапазоні частот від 0 до 0,5 Гц. Наприклад, спектральна щільність зміни твердості ґрунту на ділянці із зяблевою

оранкою (попередник овес) уздовж лінії гону з кроком 0,5 м має максимум на частоті 0,075 Гц з поступовим зменшенням амплітуди на більших частотах (рис. 7).

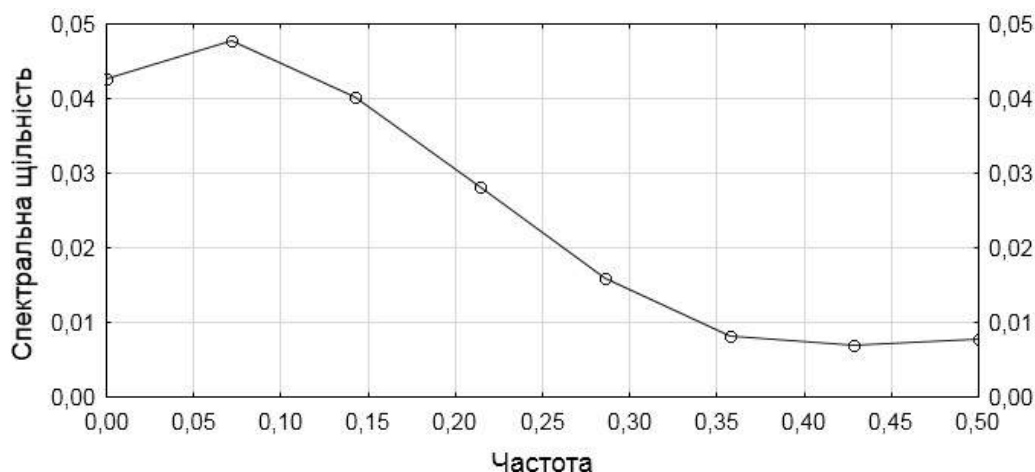


Рис. 7. Спектральна щільність зміни твердості ґрунту на ділянці із зяблевою оранкою (попередник овес).

Відповідно на ділянках без попереднього обробітку ґрунту (попередник картопля) та по стерні жита максимальні значення амплітуд спектральних щільностей зміщуються в бік більших частот до 0,43 Гц.

Висновки. Наведені дані свідчать про те, що твердість ґрунту, підготовленого до сівби сільськогосподарських культур, змінюється в широких межах (до 1300 кПа) і не має домінуючих частот зміни вздовж лінії гону. Ці моменти треба враховувати, закладаючи вихідні умови під час виконання імітаційного моделювання процесів функціонування сошникових систем сівалок.

Бібліографічний список

1. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сівалок та їх відповідність вимогам точного землеробства. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 241. С. 270-279.
2. Сабликов М. В. Сельскохозяйственные машины. Ч. 2 : Основы теории и технологического расчета. Москва : Колос, 1968. 240 с.
3. Аніскевич Л., Росамаха Ю. Анализ функционирования двухфазной сошниковой системы для посева пропашных культур. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17. No 3. P. 46-55.
4. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Імітаційне моделювання процесів функціонування двофазної сошникової системи. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 275. С. 278-291.

Аніскевич Л., Росамаха Ю. Характер зміни твердості ґрунту на глибині загортання насіння

Проведено аналіз визначеної твердості ґрунту на різних агрофонах: після збирання картоплі, зяблевої оранки із попередником вівсом, по стерні жита, та на полі, що підготовлене до сівби.

Ключові слова: твердість ґрунту, глибина загортання насіння, сошнікова система.

Aniskevych L., Rosamaha Yu. The character change of soil hardness on the depth of seed earnings

The analysis of localized hardness of soil on different agrofons is carried out: after harvesting potatoes, autumn plowing with the predecessor of oats, on stubble of rye, and on a field prepared for sowing.

Key words: hardness of soil, depth of seed earnings, system of seed coulter.

Аніскевич Л., Росамаха Ю. Характер изменения твердости почвы на глубине заделки семян

Проведен анализ определенной твердости почвы на разных агрофонах: после уборки картофеля, зяблевой вспашки с предшественником овсом, по стерне ржи, и на поле, подготовленном к севу.

Ключевые слова: твердость почвы, глубина заделки семян, система сошника.

Розділ 2

РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА МАШИНИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 631.356.42

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОЕФІЦІЄНТА ПРОХОДЖЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

В. Барановський, д. т. н., М. Паньків, к. т. н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
В. Теслюк, д. с.-г. н., В. Онищенко, к. т. н.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Досягнутий рівень агротехнічних і техніко-експлуатаційних показників роботи коренезбиральних машин не достатньою мірою відповідає сучасним вимогам підвищення якості виконання технологічного процесу в аспекті повного усунення ручних робіт під час очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок [4].

Економічна ефективність використання таких коренезбиральних машин є доволі низькою, що зовсім не відповідає теперішнім умовам господарювання як у колективних, так і у фермерських господарствах [5].

Велика кількість створених конструкцій очисних робочих органів коренезбиральних машин потребує диференційованого підходу під час вибору, проектування та впровадження нових розробок у виробництво. Різноманітність конструктивних схем очисних робочих органів безпосередньо пов'язана як із технологічними процесами відокремлення домішок від коренеплодів, так і з конструктивно-технологічними вимогами до якості очищення коренеплодів [1].

Однією із залежних технологічних операцій збирання коренеплодів, на яку мають безпосередній вплив агробіологічні параметри та фізико-механічні характеристики коренеплодів, є операція відокремлення вільних (сипкого ґрунту, грудок ґрунту, вільної гички) та зв'язаних (налиплого ґрунту, залишків гички на головках) домішок із складу викопаного вороху.

Одним із етапів очищення коренеплодів від домішок є відокремлення зв'язаної гички або залишків гички на їх головках відминальними робочими органами одночасно зі сепарацією вільних ґрунтових і рослинних домішок. Ефективність відокремлення залишків гички з головок коренеплодів залежатиме передусім від кількості коренеплодів, які надходять до відминальних робочих органів.

Підвищення ефективності процесу збирання коренеплодів завдяки розробленню та обґрунтуванню вдосконалених технологічних процесів і очисних робочих органів коренезбиральних машин є актуальною проблемою.

Застосування вдосконалених коренезбиральних машин з інтенсифікованими очисними робочими органами дозволить значно підвищити агротехнічні показники якості роботи, що забезпечить зростання економічних і техніко-експлуатаційних показників роботи машини загалом [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження, які викладено в працях [2; 8], стосувалися основному встановлення характеру та закономірностей процесу контактної взаємодії коренеплодів з поверхнями робочих органів комбінованого очисника.

У них описано та проаналізовано допустимі швидкості контакту тіла коренеплоду з прутком транспортера та витком шнека.

На основі аналізу відомих публікацій [6; 7] встановлено, що результати експериментальних досліджень з визначення кількості пройдених коренеплодів до відминальних вальців під час технологічного процесу роботи комбінованого очисника наведено поверхнево, тобто ґрунтовні дослідження у вказаному напрямі майже відсутні, що й зумовило проведення таких експериментальних досліджень.

Постановка завдання. Для забезпечення інтенсивності функціонування технологічного процесу відокремлення вільних ґрунтових і рослинних домішок, а також видалення залишків гички з головок коренеплодів кормових буряків ми розробили конструктивну схему (рис. 1) та виготовили дослідний зразок коренезбиральної машини [9] з комбінованою очисною системою (КОС) вороху коренеплодів (рис. 2, а).

Особливість технологічного процесу роботи КОС (див. рис. 1) полягає в тому, що одночасно із частковим просіюванням вільних дрібносипких домішок через зазори між прутками 2 транспортера 1 та переміщенням коренеплодів із залишками гички до шнека 3 та через зазор H_1 до відминальних вальців 4 відбувається технологічна операція затягування залишків гички між поверхнями відминальних вальців 4, які обертаються назустріч один одному з частотою обертання ω_1 , що призводить до видалення залишків гички з головок методом відминання [10].

Ефективність виконання технологічного процесу роботи КОС вороху коренеплодів, окрім сепарації вільних ґрунтових і рослинних домішок, значно залежить від ступеня та якості відминання залишків гички з головок коренеплодів. Ступінь відокремлення (відминання) залишків гички на головках коренеплодів кормових буряків залежить передусім від кількості коренеплодів, які проходять під шнеком 3 (див. рис. 1) через зазор H_1 до робочої зони відминальних вальців 4.

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень кількості пройдених коренеплодів до відминальних вальців дасть змогу провести оптимізацію раціональних параметрів робочих органів КОС за умови досягнення максимально можливої кількості пройдених коренеплодів й одночасного дотримання допустимих значень інших показників якості її роботи згідно з агротехнічними вимогами.

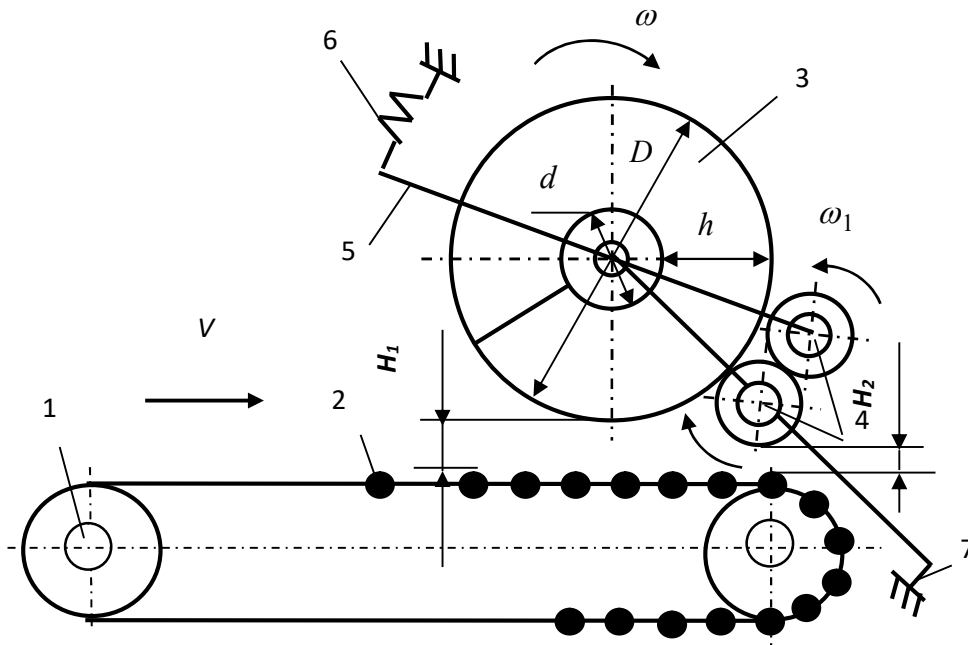


Рис. 1. Конструктивна схема комбінованого очисника вороху коренеплодів, вигляд збоку: 1 – транспортер; 2 – пруток; 3 – шнек; 4 – відминальні вальці; 5 – важіль; 6 – пружина; 7 – упор.

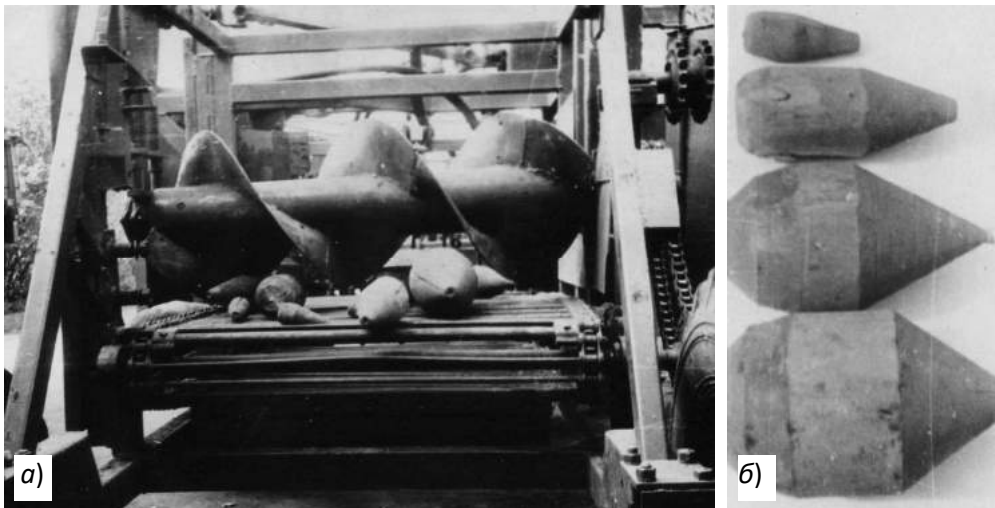


Рис. 2. Загальний вигляд: а – експериментальної установки з демонтованими відминальними вальцями, вигляд ззаду; б – макетних зразків коренеплодів.

Для проведення експериментів було виготовлено дерев'яні зразки коренеплодів (див. рис. 2, б), діаметр яких становив $d_k = 50; 100; 150; 200$ см.

Відминальні вальці 4 (див. рис. 1) під час проведення експериментів демонтували з експериментальної установки (див. рис. 2, а). Кількість макетних зразків N_{dk} коренеплодів одного діаметра в досліді становила: діаметром 5 і 10 см – 20 шт., діаметром 15 і 20 см – 10 шт., а під час проведення «змішаних» експериментів «макетна модель коренеплодів» була такою: $d_k = 5$ см – 5 шт.; $d_k = 10$ см – 7 шт.; $d_k = 15$ см – 6 шт.; $d_k = 20$ см – 2 шт.

Переміщення макетних зразків коренеплодів до шнека 3 КОС здійснювали транспортером 1, швидкість руху якого $V_{тр}$ змінювали від 1,2 до 1,8 м/с. Кутову швидкість шнека ω змінювали від 7 до 15 рад/с, крок шнека T – від 0,5 до 0,7 м. Радіальний зазор H_1 між шнеком та робочою гілкою подавального транспортера змінювали в межах від 0 до 0,1 м.

Відповідний діаметр d_k макетного зразка коренеплодів і їх відповідну кількість N_{dk} завантажували полотняним елеватором на вхідну частину робочої гілки подавального транспортера 1 (див. рис. 1), при цьому коренеплоди переміщуються до робочої зони шнека 3, який обертається з кутовою швидкістю ω . Деяка частина коренеплодів N_{1dk} переміщується витками шнека вздовж робочої гілки транспортера та рухається далі, а решта коренеплодів N_{2dk} вносився транспортером за його межі, проходячи через зазор H_2 між робочою гілкою транспортера та нижнім відминальним вальцем.

Кількість пройдених коренеплодів до відминальних вальців охарактеризуємо виразом «коефіцієнт проходження коренеплодів», який позначимо як $K_{п}^{(i)}$, при цьому:

$$K_{п}^{(i)} = 100N_{1dk} / N_{dk}, \quad (1)$$

де $K_{п}^{(i)}$ – коефіцієнт проходження, %.

Виклад основного матеріалу. На першому етапі дослідження параметра оптимізації, тобто коефіцієнта проходження $K_{п}^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців, провели відсіювальні експерименти для виявлення тих факторів, які суттєво не впливають на значення $K_{п}^{(i)}$.

При цьому було встановлено, що діаметр шнека D (див. рис. 1) практично не вносить суттєвих змін у кількісне значення коефіцієнта проходження $K_{п}^{(i)}$ коренеплодів за умови, коли висота витка шнека h більша за діаметр зразка коренеплоду d_k , тобто $D - d \geq d_k$, де d – діаметр барабана шнека. Крім того, було встановлено, що зі збільшенням кількості заходів шнека z кількісне значення $K_{п}^{(i)}$ зменшується пропорційно значенню z .

Тому подальші експерименти проводили за значення діаметра шнека $D = 0,6$ м, висоти витка шнека $h = 0,2$ м і кількості заходів шнека $z = 1$.

Для визначення впливу основних факторів на кількісне значення коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців провели планований експеримент типу ПФЕ 3^4 , тобто 4-факторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами.

У таблиці наведено характеристику та рівні варіювання вхідних факторів, за які приймали: швидкість руху транспортера $V_{\text{тр}}$, який кодували індексом x_1 ; крок гвинта T , який кодували індексом x_2 ; радіальний зазор між шнеком і робочою гілкою транспортера H_1 , який кодували індексом x_3 ; кутову швидкість шнека ω , яку кодували індексом x_4 (див. табл.).

Функцію відгуку, або кількісне значення коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців, знаходили у вигляді математичної моделі повного полінома другого степеня.

Таблиця

Характеристика факторів та рівні їх варіювання

Кодоване позначення фактора	Найменування натурального фактора	Рівні фактора
x_1	Швидкість руху транспортера V , м/с	1,2-1,6-1,8
x_2	Крок шнека T , м	0,5-0,6-0,7
x_3	Зазор між шнеком і транспортером H_1 , м	0-0,05-0,1
x_4	Кутова швидкість шнека ω , рад/с	7-12-17

Коефіцієнти рівняння регресії, яке записане у вигляді математичної моделі повного полінома другого степеня, за результатами обробки експериментальних даних визначали за допомогою пакета прикладного програмного продукту для комп'ютера.

Мінливість функції відгуку оцінювали стандартним відхиленням, коефіцієнтом чисельної детермінації і кореляції. Адекватність емпіричної математичної моделі та значущість коефіцієнтів рівняння регресії перевіряли за F -критерієм Фішера та t -критерієм Стьюдента.

За результатами обробки експериментального масиву даних, отримали кінцеве емпіричне рівняння регресії в натуральних величинах, яке функціонально характеризує залежність коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців від зміни вхідних факторів для окремих конкретизованих значень діаметра коренеплодів:

$$K_{\Pi}^{(5)} = -57,6 + 63,5V + 1,1H_1 + 10,2\omega - 11,6V^2 - 0,3VH_1 - 0,4\omega^2; \quad (2)$$

$$K_{\Pi}^{(10)} = -190,8 + 174,2V + 0,9H_1 + 15,8\omega - 56,3V^2 + V\omega - 0,7\omega^2; \quad (3)$$

$$K_{\Pi}^{(15)} = -91,6 + 100,3V + 0,5H_1 + 6,8\omega - 30,4V^2 - 0,3\omega^2; \quad (4)$$

$$K_{\Pi}^{(20)} = -60,4 + 42V + 0,1H_1 + 7,4\omega - 12,2V^2 - 0,3\omega^2, \quad (5)$$

де $K_{\Pi}^{(5)}$, $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(15)}$, $K_{\Pi}^{(20)}$ – коефіцієнти проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ коренеплодів i -го діаметра, відповідно $d_k = 5; 10; 10; 00$ см, %.

Аналіз рівнянь регресії (2-5) показує, що крок шнека T не впливає на кількісне значення $K_{\Pi}^{(i)}$ за відсутності у записах рівнянь фактору T . Це означає, що за результатами перевірки коефіцієнтів рівнянь регресії при факторі T за t -критерієм Стьюдента було встановлено їх незначущість, тобто коефіцієнти рівнянь регресії при факторі T є несуттєвими, або незначущими, і ними можна знехтувати.

Згідно з рівняннями регресії (2-5) побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 2, 3), які характеризують функціональну зміну коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців залежно від діапазону зміни вхідних факторів у таких межах: швидкість руху транспортера $1,2 \leq V \leq 1,8$ м/с; кутова швидкість шнека $7 \leq \omega \leq 15$ рад/с; радіальний зазор між робочою гілкою транспортера та витком шнека $0 \leq H_1 \leq 0,1$ м.

Аналіз графічних залежностей, які побудовано згідно з рівняннями регресії (2-5) та реалізовано у вигляді поверхонь відгуку і двомірних перерізів поверхонь відгуку перерізів, показує, що максимальне значення коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)} \rightarrow \max$ коренеплодів відповідного діаметра до відминальних вальців КОС становить:

- для коренеплодів діаметром $d_k = 5$ см – 84,2 % (див. рис. 3, а, б);
- для коренеплодів діаметром $d_k = 10$ см – 52,1 % (див. рис. 3, в, з);
- для коренеплодів діаметром $d_k = 15$ см – 29,7 % (див. рис. 4, а, б);
- для коренеплодів діаметром $d_k = 20$ см – 21,4 % (див. рис. 4, в, з).

Згідно з рис. 3 та 4 було встановлено, що функціональна зміна коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(i)}$ конкретизованого діаметра $d_k^{(i)}$ коренеплодів під шнеком до відминальних вальців залежно від поступальної швидкості руху подавального транспортера V та кутової швидкості шнека ω має двоякий характер.

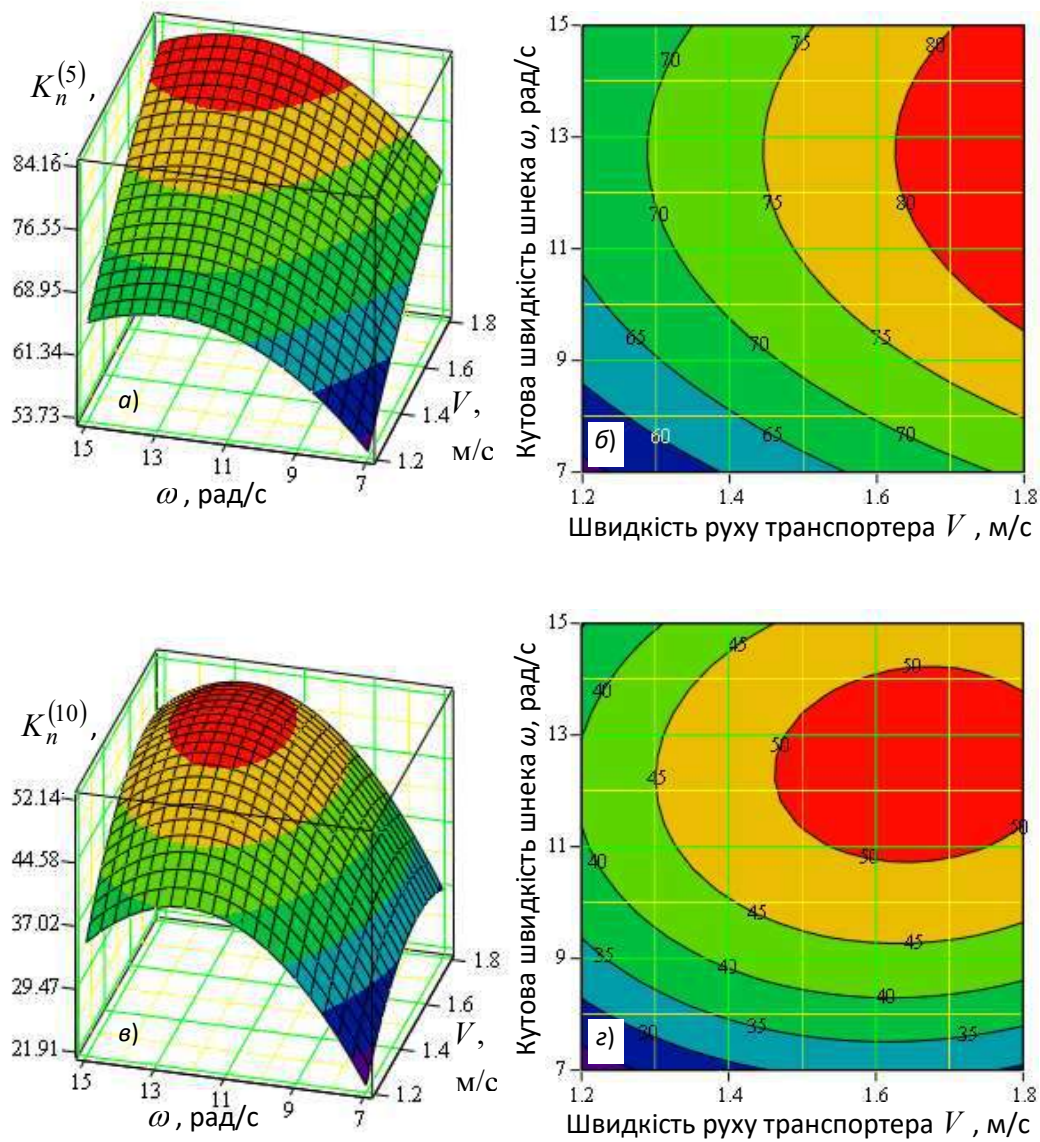


Рис. 3. Поверхня відгуку (а, в) та двомірний переріз (б, г) поверхні відгуку функціональної зміни коефіцієнта проходження $K_n^{(i)}$ коренеплідів до відминальних вальців від параметрів КОС за радіального зазору між робочою гілкою подавального транспортера та витком шнека $H_1 = 0,05$ м як функціонал:

$$а, б - a K_n^{(5)} = f_K(\omega, D); \quad в, г - K_n^{(10)} = f_K(\omega, D).$$

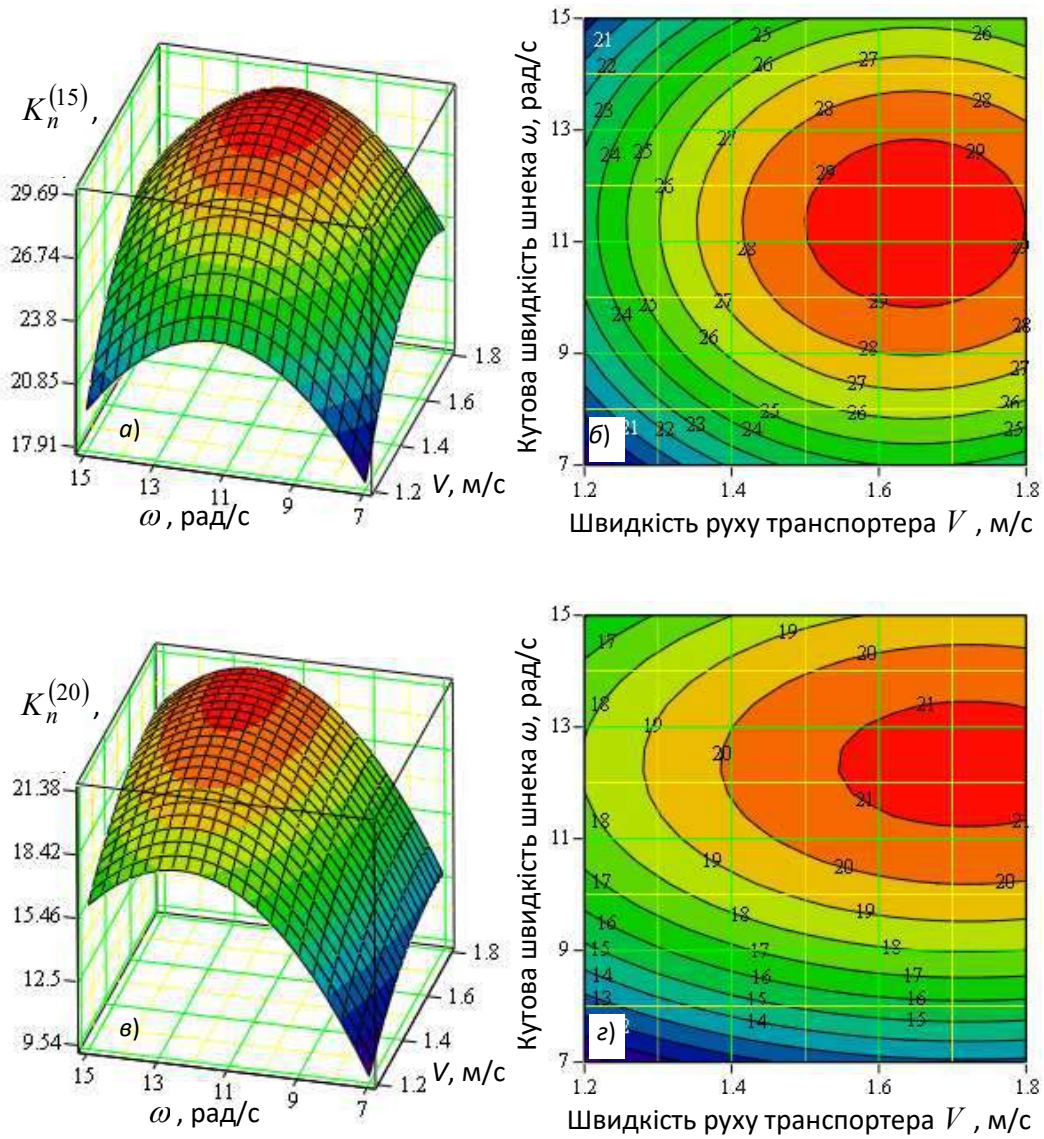


Рис. 4. Поверхня відгуку (а, в) та двомірний переріз (б, г) поверхні відгуку функціональної зміни коефіцієнта проходження $K_n^{(i)}$ коренеплодів до відминальних вальців від параметрів КОС за радіального зазору між робочою гілкою подавального транспортера та витком шнека

$H_1 = 0,05$ м як функціонал:

$$а, б - K_n^{(15)} = f_K(\omega, D); \text{ в, г} - K_n^{(20)} = f_K(\omega, D).$$

Для коренеплодів $d_k = 10, 15$ і 20 см як збільшення швидкості руху транспортера у межах $1,2 \leq V \leq 1,8$ м/с, так і кутової швидкості шнека у межах $7 \leq \omega \leq 15$ рад/с функціональна зміна коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(15)}$ і $K_{\Pi}^{(20)}$ коренеплодів до відминальних вальців має параболічний характер, при цьому вершина параболи має випуклість доверху:

- за збільшення швидкості руху подавального транспортера V від $1,2$ до $1,6$ м/с та кутової швидкості ω шнека в межах від 7 до 10 рад/с коефіцієнт проходження $K_{\Pi}^{(5)}$ коренеплодів до відминальних вальців монотонно зростає (див. рис. 3, а), а максимальне апроксимоване значення коефіцієнта проходження коренеплодів $K_{\Pi}^{(5)} = 84$ % досягається за факторів $V = 1,6$ м/с та $\omega = 10$ рад/с (див. рис. 3, б), при цьому за подальшого збільшення V від $1,6$ до $1,8$ м/с та ω від 10 до 15 рад/с приросту коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(5)}$ коренеплодів до відминальних вальців практично не відбувається;

- за збільшення швидкості руху подавального транспортера V від $1,2$ до $1,5$ м/с коефіцієнт проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(15)}$ і $K_{\Pi}^{(20)}$ коренеплодів до відминальних вальців монотонно зростає від $K_{\Pi}^{(10)} = 22$ %, $K_{\Pi}^{(15)} = 18$ %, $K_{\Pi}^{(20)} = 10$ % до свого максимальноможливого апроксимованого значення, відповідно, $K_{\Pi}^{(10)} = 52$ % (див. рис. 3, в), $K_{\Pi}^{(15)} = 29$ % (див. рис. 4, а), $K_{\Pi}^{(20)} = 21$ % (див. рис. 4, в), при цьому за подальшого збільшення V від $1,5$ до $1,8$ м/с приросту коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(15)}$ і $K_{\Pi}^{(20)}$ коренеплодів до відминальних вальців практично не відбувається;

- за збільшення кутової швидкості ω шнека від 7 до 11 рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 10$ см (рис. 3, в) та $d_k = 20$ см (див. рис. 4, з) коефіцієнт проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(20)}$ коренеплодів до відминальних вальців монотонно зростає від значення $K_{\Pi}^{(10)} = 21$ % (див. рис. 3, в), $K_{\Pi}^{(20)} = 9$ % (див. рис. 4, з) до свого максимально можливого апроксимованого значення, відповідно $K_{\Pi}^{(10)} = 52$ %, $K_{\Pi}^{(20)} = 21$ % (див. рис. 4, з), при цьому за подальшого збільшення ω від 11 до 14 рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 10$ см (див. рис. 3, з), від 11 до $13,5$ рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 20$ см (див. рис. 4, з) приросту коефіцієнта проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(20)}$ коренеплодів до відминальних вальців практично не відбувається, а за подальшого збільшення кутової швидкості шнека від 14 до 15 рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 10$ см і від $13,5$ до 15 рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 20$ см коефіцієнт проходження $K_{\Pi}^{(10)}$, $K_{\Pi}^{(20)}$

коренеплодів до відминальних вальців зменшується до значення $K_n^{(10)} = 44 \%$, $K_n^{(20)} = 19 \%$;

- за збільшення кутової швидкості ω шнека від 7 до 10 рад/с для коренеплодів діаметром $d_k = 15$ см (див. рис. 4, а) коефіцієнт проходження $K_n^{(15)}$ коренеплодів до відминальних вальців монотонно зростає від значення $K_n^{(15)} = 18 \%$ (див. рис. 4, а) до свого максимально можливого апроксимованого значення, відповідно $K_n^{(15)} = 29 \%$ (див. рис. 4, б), при цьому за подальшого збільшення ω від 10 до 13 рад/с приросту коефіцієнта проходження $K_n^{(15)}$ коренеплодів до відминальних вальців практично не відбувається, а за подальшого збільшення кутової швидкості шнека від 13 до 15 рад/с коефіцієнт проходження $K_n^{(15)}$ коренеплодів до відминальних вальців зменшується до значення $K_n^{(15)} = 25 \%$.

Висновки. У результаті аналізу рівнянь регресії (2-5) і побудованих поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів встановлено, що критерій оптимізації, або коефіцієнт проходження $K_n^{(i)}$ коренеплодів кормових буряків діаметром від 50 до 20 см до відминальних вальців КОС, набуває максимально можливого апроксимованого значення $K_n^{(i)} = 21...82 \%$ за таких оптимальних конструктивно-кінематичних параметрів: меж зміни швидкості руху подавального транспортера $V = 1,5...1,6$ м/с, меж зміни кутової швидкості шнека $\omega = 10...13$ рад/с; радіального зазору між робочою гілкою подавального транспортера та витком шнека $H_1 = 0,05$ м, кроку витків шнека $T \geq 0,5$ м.

Бібліографічний список

1. Барановський В. М. Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини. *Сільськогосподарські машини*. 2013. Вип. 24. С. 18–28.
2. Барановський В. М., Войтюк Д. Г., Виговський А. Ю. Конструктивні та кінематичні параметри комбінованого очисника вороху коренеплодів. *Вісник ТДТУ*. 2002. Т. 7, № 2. С. 90-94.
3. Гурченко О. П., Барановський В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Київ : Урожай, 1995. Вип. 81. С. 57-60.
4. Гурченко О. П., Барановський В. М., Кобець А. С. Конструювання універсальної коренезбиральної машини. *Вісник ХДТУСГ*. 2001. Вип. 8, т. 2. С. 63-68.
5. Идентификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины / В. Дубровин та ін. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. 2013. Vol. 15, № 3. P. 243-255.

6. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів комбінованого очисника вороху кормових буряків : монографія / Войтюк Д. Г. та ін. Київ : Аграр Медіа Груп, 2013. 226 с.
7. Основи розробки робочих органів комбінованих систем коренезбиральних машин : монографія / Герасимчук Г. А та ін. Київ : ЦП Компринт, 2016. 286 с.
8. Рогатинський Р., Гевко І., Рогатинська Л. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 123–230.
9. Устройство для отделения примесей от корнеплодов : а.с. 1547752 СССР. 1990. Бюл. № 9.
10. Baranovsky V., Dubchak N., Pankiv M. Experimental Research of Stripping the Leaves from Root Crops. *Acta Technologica Agriculturae* 3. 2017. – Vol. 20, is. 3 (Sep. 2017). P. 69–73.

Барановський В., Паньків М., Теслюк В., Онищенко В. Результати експериментальних досліджень коефіцієнта проходження коренеплодів

У статті наведено результати експериментальних досліджень кількості пройдених коренеплодів до відминальних вальців очисника вороху. Очисник складається з транспортера та встановленого над ним шнека. За шнеком встановлено одну пару відминальних вальців. Кількість пройдених коренеплодів через зазор між шнеком і транспортером позначено як «коефіцієнт проходження коренеплодів». Описано методику проведення експериментальних досліджень і процес переміщення дерев'яних макетних зразків коренеплодів до відминальних вальців. Наведено аналіз рівнянь регресії, які характеризують функціональну зміну коефіцієнта проходження коренеплодів від основних параметрів комбінованого очисника та діаметра коренеплодів кормових буряків.

Ключові слова: очисник вороху, залишки гички, транспортер, шнек, відминальні вальці, діаметр, кутова швидкість.

Baranovsky V., Pankiv M., Teslyuk V., Onyshchenko V. The results of experimental studies of the coefficient of passage of root crops

The article presents the results of experimental studies of the number of roots passed to the hopper rolls of the combined heap cleaner. Combined cleaner consists of a conveyor and a screw mounted above it. Behind the auger is installed one pair of hearth rollers. The number of passed root crops through the gap between the screw and conveyor is known as the "coefficient of passage of root crops." The technique of carrying out experimental studies and the process of moving wooden prototypes of root crops to the knocking rolls is described. The analysis of the regression equations that characterize the functional change in the coefficient of passage of root crops from the main parameters of the combined cleaner, as well as the diameter of the root crops of fodder beet, is given.

Key words: heap cleaner, remains of the tops, conveyor, screw, chopping rollers, diameter, and speed.

Барановский В., Паньков М., Теслюк В., Онищенко В. Результаты экспериментальных исследований коэффициента прохождения корнеплодов

В статье приведены результаты экспериментальных исследований количества корнеплодов, которые прошли к рубильным вальцам очистителя вороха.

Очиститель состоит из транспортера и установленного над ним шнека. За шнеком установлена одна пара рубильных валцов. Количество корнеплодов, прошедших через зазор между шнеком и транспортером, обозначено как «коэффициент прохождения корнеплодов». Описаны методика проведения экспериментальных исследований и процесс перемещения деревянных макетных образцов корнеплодов к рубильным валцам. Приведен анализ уравнений регрессии, характеризующих функциональное изменение коэффициента прохождения корнеплодов в зависимости от основных параметров комбинированного очистителя и диаметра корнеплодов кормовой свеклы.

Ключевые слова: очиститель вороха, остатки ботвы, транспортер, шнек, рубильные валцы, диаметр, угловая скорость.

УДК 621.86.067.3

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОЛИВНОГО ЖИВИЛЬНИКА

*П. Коруняк, к. т. н., С. Баранович, к. т. н., І. Властюк, інженер
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. У багатьох галузях промисловості під час виконання різноманітних технологічних процесів здійснюється безперервна і рівномірна, а іноді регульована подача (живлення) матеріалів з бункерів і завантаження машин безперервної дії або технологічного обладнання. Порушення стабільності їх роботи під час, наприклад, приготування суміші або продукту призводить до перевитрати матеріалів або погіршення їх якості. Відомий цілий ряд конструкцій живильників, які знайшли своє застосування у сучасному виробництві, зокрема: стрічкові, ланцюгові, плунжерні, гвинтові, тарілчасті, барабанні, коливні, вібраційні тощо. Вибір типу пристрою залежить від вологості, об'ємної маси, гранулометричного складу, кута природного укусу тощо [1-5].

Технологічна ефективність процесу живлення значною мірою визначає показники роботи всього технологічного процесу і залежить від чинників, зумовлених технологічними властивостями матеріалів, а також від режиму роботи, параметрів та умов експлуатації обладнання. Тому вибір обладнання залежить від конкретних умов виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Займаючись технологічними операціями, що характерні для сипких матеріалів (подача, живлення, дозування), ми звернули увагу на конструкції пристроїв для їх реалізації. Зокрема, було запропоновано і розроблено конструкцію коливного тарілчастого живильника та досліджено його роботу через вплив конструктивних параметрів на процес розсіювання [7; 8]. На підставі методики дослідження плоского шарнірного чотириланкового механізму [6] проведено розрахунок його кінематичних параметрів залежно від кута повороту робочого органа (тарілки). Основним кінематичним показником робочого процесу, що впливає на його ефективність, є частота обертання початкової ланки приводу робочого органа. Суттєвими під час виконання технологічної операції є також і конструктивні параметри бункера живильника, а саме діаметр робочого циліндра та його довжина.

Основним же технологічним параметром роботи живильника, який характеризує його придатність до виконання технологічної операції, є пропускна здатність. Нерівномірність подачі можна визначити середньоквадратичним відхиленням потоку і коефіцієнтом варіації [1; 2].

Постановка завдання. Аналізуючи відомі конструкції та одержані результати [8], ми поставили завдання дослідити ефективність роботи запропонованого пристрою за допомогою зміни конструктивних параметрів його елементів і режиму роботи.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 запропонована конструкція живильника, що містить завантажувальний бункер 1 із телескопічним регулювальним циліндром 2, всередині якого знаходиться вал із закріпленою на ньому тарілкою. Робочий орган (тарілка) приводиться в рух кривошипно-коромисловим механізмом, розташованим над бункером. Під час роботи пристрою сипкий матеріал із бункера надходить на поверхню тарілки. Кількість вивантажуваного матеріалу визначається розміром кільцевого зазору між поверхнею робочого органа та рухомих телескопічних регулювальних циліндром (патрубком). Завдяки приводу реалізується обертально-коливальний рух тарілки, під час якого під дією відцентрових сил відбувається вивантаження матеріалу. Отже, характер вантажного потоку залежатиме від кінематичних параметрів робочого органа, які визначаються конструктивними параметрами ланок важільного механізму та частотою обертання кривошипа. Стабільність роботи цих пристроїв досягається правильним розрахунком параметрів роботи їх коливної системи.

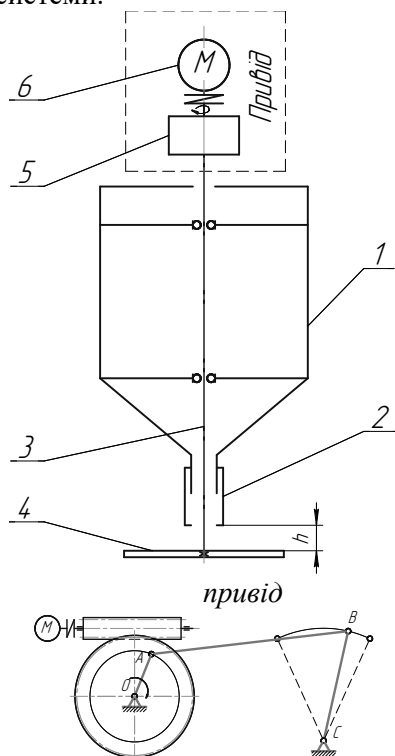


Рис. 1. Принципова схема коливного тарілчастого живильника.

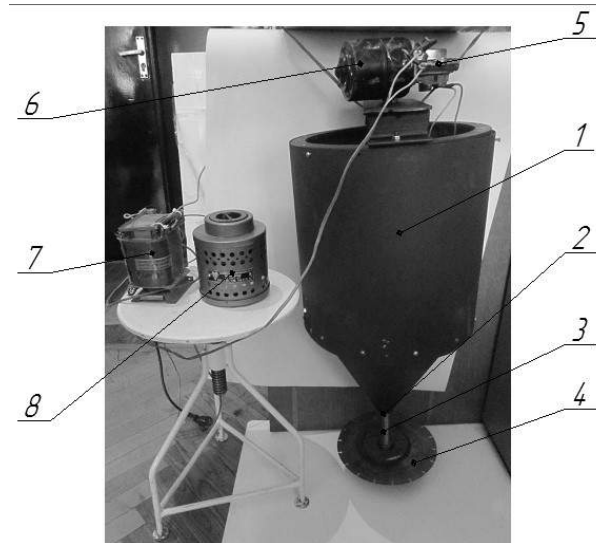


Рис. 2. Експериментальна установка:
1 – бункер; 2 – патрубок; 3 – вал; 4 – тарілка;
5 – кривошипно-коромисловий механізм;
6 – двигун; 7 – знижувальний трансформатор 220/12;
8 – трансформатор типу ЛАТР.

Якщо у відомих тарілчастих (дискових) живильниках кількісна подача матеріалу визначається конструктивними параметрами робочого органа та режимом його роботи [1–3], то в цих пристроях полягає у приводі руху тарілки. Реалізація використання коливальних рухів під час розробки нових інерційних механічних систем сприяє створенню нових та підвищенню ефективності існуючих технологічних процесів. На визначення оптимальної продуктивності та рівномірності подачі (розсіювання) сипких компонентів впливає декілька складових.

Продуктивність тарілчастого живильника залежно від зміни кута укосу насипного вантажу, що лежить на тарілці, обчислюється за формулою

$$Q_{\varphi} = \frac{\pi d^3 \rho n}{24} \operatorname{tg}(\varphi - \varphi_p) \quad (1)$$

де d – діаметр тарілки, м;

n – частота обертання кривошипа, об./хв;

ρ – об’ємна маса насипного вантажу кг/м³;

φ – кут укосу спокою насипного вантажу на тарілці, град.;

φ_p – кут укосу руху насипного вантажу на тарілці, град.

Продуктивність тарілчастого живильника залежно від сил інерції, які діють на сипкий матеріал:

$$Q_p = \frac{P_{ip} \cdot n}{\rho \cdot a_p}, \quad (2)$$

де $P_{ip} = \rho V a_p$ – сила інерції;

a_p – робоче прискорення, м/с²,

$a_p = a - gf$,

де f – коефіцієнт тертя матеріалу по тарілці живильника.

Загальна продуктивність тарілчастого живильника становитиме:

$$Q = \frac{\pi d^3 \rho n}{24} \operatorname{tg}(\varphi - \varphi_p) + \frac{P_{ip} \cdot n}{\rho \cdot a_p}. \quad (3)$$

Змінюючи геометричні параметри у кривошипно-коромисловому механізмі за однакової частоти обертання привідної ланки, можна отримати широкий діапазон зміни продуктивності під час роботи тарілчастого живильника. На рис. 3, 4 подано залежність продуктивності від кута повороту тарілки. За допомогою довжин ланок розраховано відповідно максимальне (див. рис. 3) і мінімальне (див. рис. 4) значення продуктивності у граничних положеннях роботи механізму приводу.

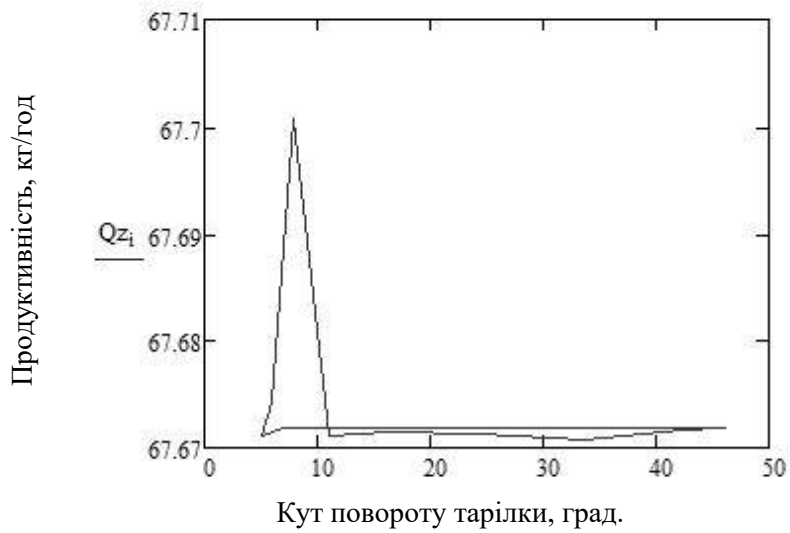


Рис. 3. Продуктивність живильника в крайніх положеннях диска збільшена.

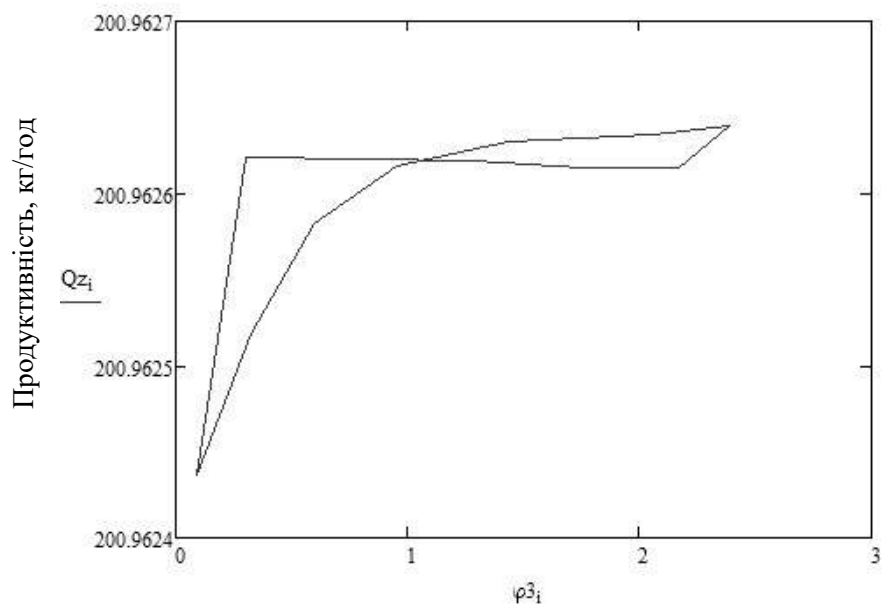


Рис. 4. Продуктивність живильника в крайніх положеннях диска зменшена.

Розрахунки і дослідження показали, що за умови сталості кільцевого зазору і властивостей матеріалу у коливних тарілчастих живильниках, на противагу традиційним тарілчастим живильникам, їх продуктивність можна змінювати не лише завдяки режиму роботи (частоти обертання), а й за допомогою кінематично-конструктивних параметрів ланок привідного механізму.

Висновки. Дослідженням результатів роботи коливого тарілчастого живильника встановлено, що його використання є одним з ефективних засобів живлення технологічного обладнання, оскільки дозволяє забезпечити необхідну продуктивність і задану ширину розсіювання. Застосування запропонованої конструкції дає змогу забезпечити необхідну продуктивність у суміжних зонах, а також регулювання продуктивності в зонах перекривання. Окрім зазначеного, на роботу живильника впливає сам коливальний процес, бо із зміною розмаху коливань змінюється фізичний стан матеріалу, кут природного укусу. Отже, залежно від геометричних параметрів механізму приводу і тарілки, матеріалу, що подається живильником, можна отримати різноманітний характер залежності продуктивності та рівномірності роботи живильника.

Бібліографічний список

1. Рогинский Г. А. Дозирование сыпучих материалов. Москва : Химия, 1978. 176 с.
2. Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І. Пакувальне обладнання. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2008. 436 с.
3. Зенков Р. Л., Иванов И. И., Колобов Л. Н. Машины непрерывного транспорта. Москва : Машиностроение, 1980. 304 с.
4. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. Москва : Машиностроение, 1983. 487 с.
5. Вібраційний дозатор сыпучих матеріалів : пат. України на корисну модель №3957, МПК 7 А01К5 / 02; опубл. 15.12.2004., Бюл. №12.
6. Артоблевский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. пособие. Москва : Наука, 1988. 640 с.
7. Живильник тарілчастий : пат. України на корисну модель №99637, МПК G01F11/8; опубл. 10.06.2015, Бюл. №11.
8. Дослідження кінематичних параметрів коливого тарілчастого живильника / П. Коруняк, С. Баранович, І. Власюк, Д. Федорина, І. Малик. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 78-84.

Коруняк П., Баранович С., Власюк І. Вплив параметрів робочого органа на ефективність роботи коливого живильника

Розглянуто конструкцію приводу тарілчастого живильника, що забезпечує ефективне живлення технологічного обладнання. Застосування запропонованої конструкції приводу дає змогу забезпечити необхідну продуктивність у суміжних зонах розсіювання завдяки кінематичним і конструктивним параметрам ланок привідного механізму.

Ключові слова: живильник, тарілка, бункер, ланка, коромисло.

Korunyak P., Baranovych S., Vlasyuk I. Influence of parameters of the working body on the efficiency of the vibrating feeder

The design of the drive of the container feeder is considered, which provides an efficient supply of technological equipment. Application of the proposed design of the drive enables to provide the necessary performance in adjacent scattering zones due to the kinematic and constructive parameter of the links of the drive mechanism.

Key words: feeder, plate, tank, link, rocker

Коруняк П., Баранович С., Власюк И. Влияние параметров рабочего органа на эффективность работы колеблющегося питателя

Рассмотрена конструкция привода тарельчатого питателя, которая обеспечивает эффективное питание технологического оборудования. Применение предложенной конструкции привода позволяет обеспечить необходимую производительность в смежных зонах рассеивания благодаря кинематическим и конструктивным параметрам звеньев приводного механизма.

Ключевые слова: питатель, тарелка, бункер, звено, коромысло.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМИХ ЗАТРАТ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

*М. Пилипець, д. т. н., В. Паньків, здобувач
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

Постановка проблеми. Транспортні машини застосовують як транспортувальні механізми в галузі важкої промисловості, будівництві, сільськогосподарському виробництві тощо для переміщення насипних (вугілля, цемент, пісок, ґрунт, зерно, коренеплоди тощо) і штучних (цегла, пиломатеріали, труби тощо) вантажів [1; 3].

Машини безперервного транспорту є основою комплексної механізації вантажно-розвантажувальних і виробничих процесів, що значно підвищує продуктивність праці та ефективність виробництва. Вони дозволяють доцільно організувати потокові механізовані та автоматизовані виробничі процеси [9].

В аграрному секторі виробництва сільськогосподарських культур, переробній та харчовій галузях промисловості переважно використовують механічні конвеєри, специфіка застосування яких зумовлена наявністю широкої гами технологічних процесів збирання та переробки продукції. При цьому механічні конвеєри за ознакою своїх конструктивних особливостей можуть одночасно виконувати суміжні функції – змішування продуктів, дроблення матеріалів, їх дозування, сепарацію домішок тощо [2].

Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових конвеєрів дозволяє істотно підвищити продуктивність та розширити функціональні можливості роботи транспортних механізмів, що сприяє подальшому розвитку виробництва.

Підвищення функціональних можливостей гвинтових механізмів або вдосконалення технологічного процесу транспортування досягають завдяки розробці комбінованих гвинтових конвеєрів (КГК), які забезпечують одночасне переміщення та подрібнення матеріалів.

Поставлені завдання вирішують на основі вдосконалення методології оптимізації технологічних показників процесу транспортування коренеплодів, параметрів і режимів роботи транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз стану функціонування гвинтових транспортних механізмів [6; 8; 10] показав, що існують певні передумови для проведення подальших наукових робіт, які спрямовані на розробку та дослідження енергоощадних, багатофункціональних КГК, які забезпечують ефективне виконання суміжних операцій транспортування і одночасного подрібнення сировини з продуктів сільськогосподарського виробництва в процесі її переробки.

Постановка завдання. У загальному аспекті об'єктом дослідження макетного зразка КГК є технологічний процес одночасного переміщення та

подрібнення коренеплодів, а складовими компонентами – дослідження зміни затрат споживаної енергії залежно від конструктивно-технологічних параметрів структурних елементів КГК або основного робочого органа – шнекового конвеєра.

Для визначення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} КГК провели експериментальні дослідження макетного зразка лабораторної установки, конструктивну схему та загальний вигляд якої наведено на рис. 1. Будову та принцип роботи лабораторної установки наведено в праці [7].

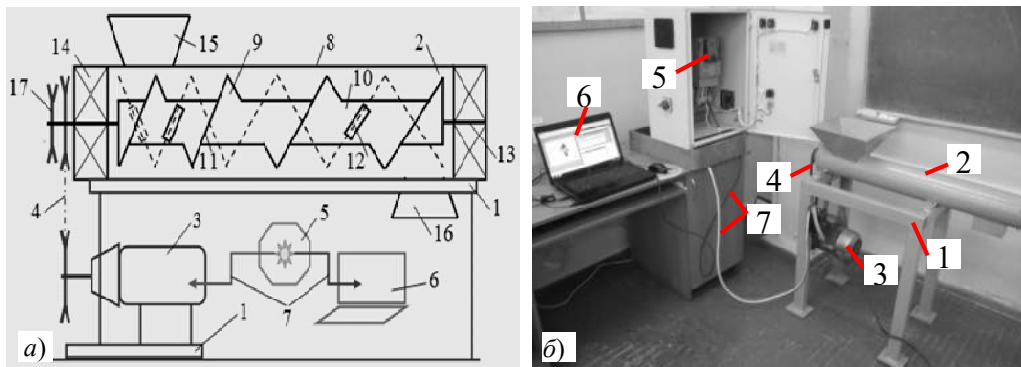


Рис. 1. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки: 1 – рама; 2 – комбінований ГК; 3 – електродвигун; 4 – клинопасова передача; 5 – керуючий пристрій Altivar 71; 6 – комп’ютер; 7 – комутаційне з’єднання; 8 – напрямна труба; 9 – шнековий конвеєр; 10 – барабан; 11 – спіральний виток; 12 – ніж; 13 – вал; 14 – підшипникова опора; 15, 16 – завантажувальна та вивантажувальна горловини; 17 – шків.

Експериментальні дослідження питомих затрат споживаної потужності P_{ke} провели на основі реалізації чотирифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або планованого експерименту типу ПФЕ 3^4 , структурну схему моделі якого наведено на рис. 2.

При цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнека $100 \leq n_k \leq 300$ об./хв; діаметр шнека $0,12 \leq D_k \leq 0,2$ м; крок шнека $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$ м, кут установлення ножа $15 \leq \alpha_y \leq 45$ град.

Порядок побудови і реалізації експериментальних досліджень з визначення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} , або функціональної залежності $P_{ke} = f_p(x_1; x_2; x_3; x_4)$, був таким: проводили кодування вхідних факторів ($n_k \rightarrow x_1$, $D_k \rightarrow x_2$, $T_1 \rightarrow x_3$, $\alpha_y \rightarrow x_4$) та визначали інтервал варіювання фактору; складали план-матрицю порядку проведення планованого чотирифакторного експерименту типу ПФЕ 3^4 , при цьому для зменшення кількості експериментів застосували схему некомпозиційного плану другого порядку Бокса-Бенкіна [9].

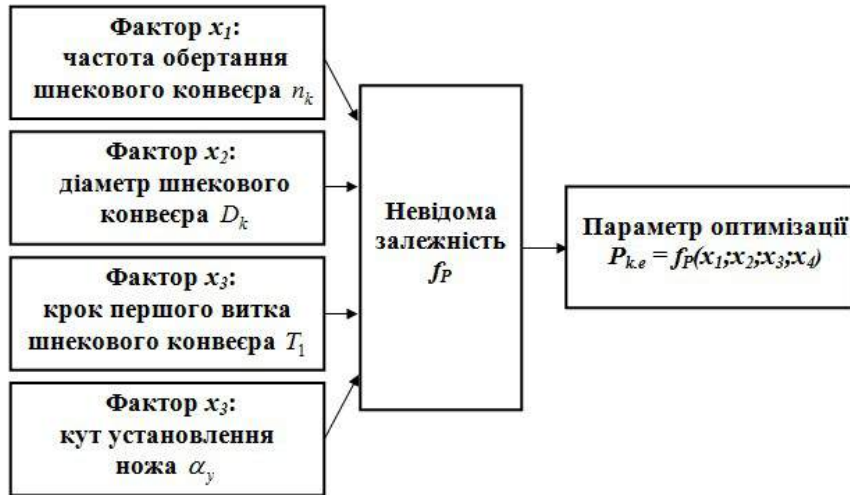


Рис. 2. Структурна схема моделі планованого експерименту типу ПФЕ 3⁴.

Загальний вигляд лабораторної установки в роботі наведено на рис. 3.

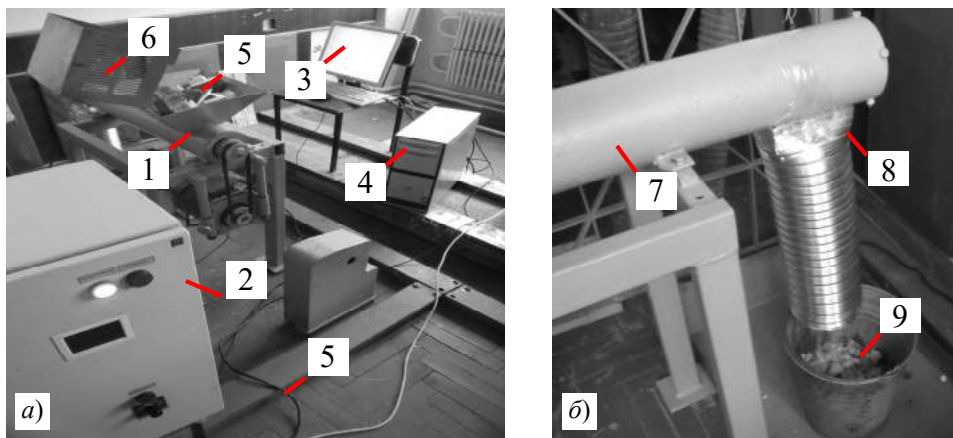


Рис. 3. Загальний вигляд: *a* – макетного зразка лабораторної установки в роботі; *б* – вивантажувальної горловини з подрібненими коренеплодами; 1 – КГК; 2 – керуючий пристрій Altivar 71; 3 – монітор; 4 – комп'ютер; 5 – комутаційне з'єднання; 6 – цілі коренеплоди; 7 – завантажувальна горловина; 8 – вивантажувальна горловина; 9 – подрібнені коренеплоди.

Методику проведення експериментальних досліджень наведено в [7], при цьому питомі затрати потужності P_{ke} КГК визначали за формулою

$$P_{ke} = K_z \cdot N_{ne} / 100 Q_{ke} L_k, \quad (1)$$

де K_z – коефіцієнт використання номінальної потужності електродвигуна під час проведення експерименту, %;

N_{ne} – номінальна потужність електродвигуна макетного зразка лабораторної установки, кВт;

Q_{ke} – продуктивність роботи КГК, кг/с;

L_k – довжина робочої частини шнекового конвеєра, м.

Виклад основного матеріалу. Для визначення функціонального характеру зміни питомих затрат споживаної потужності P_{ke} КГК на першому етапі проведення експериментальних досліджень було встановлено закон функціонального розподілу значень випадкових величин P_{ke} .

Реалізацію даних досліджень здійснено за допомогою статистичної обробки отриманого масиву експериментальних даних генеральної вибірки, яку проведено згідно зі стандартною методикою [5].

Після статистичної обробки генеральної вибірки питомих затрат споживаної потужності P_{ke} КГК отримано числові значення середнього квадратичного відхилення σ_i та математичного сподівання μ_i . Числові значення σ і μ для питомих затрат споживаної потужності P_{ke} наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Числові значення σ і μ

$P_{ke} = f(x_p)$	σ	μ
	2,7	0,52

Перевірку адекватності характеру зміни випадкової величини емпіричному логнормальному закону розподілу питомих затрат споживаної потужності P_{ke} провели за критерієм відповідності $K(\lambda)$ Колмогорова-Смирнова [4].

Після обробки генеральної вибірки та перевірки адекватності емпіричної моделі отримано функціональну залежність, яка описує диференціальний закон вірогідності щільності розподілу питомих затрат P_{ke} :

$$P_{ke} = f(x_p) = \frac{1}{2,7\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x_p - 0,52}{1,21}\right)^2}. \quad (2)$$

Графічна побудова, яку наведено на рис. 4, характеризує функціональну залежність зміни розподілу випадкових величин, або диференціальний закон розподілу питомих затрат споживаної потужності P_{ke} КГК на основі обробки генеральної вибірки.

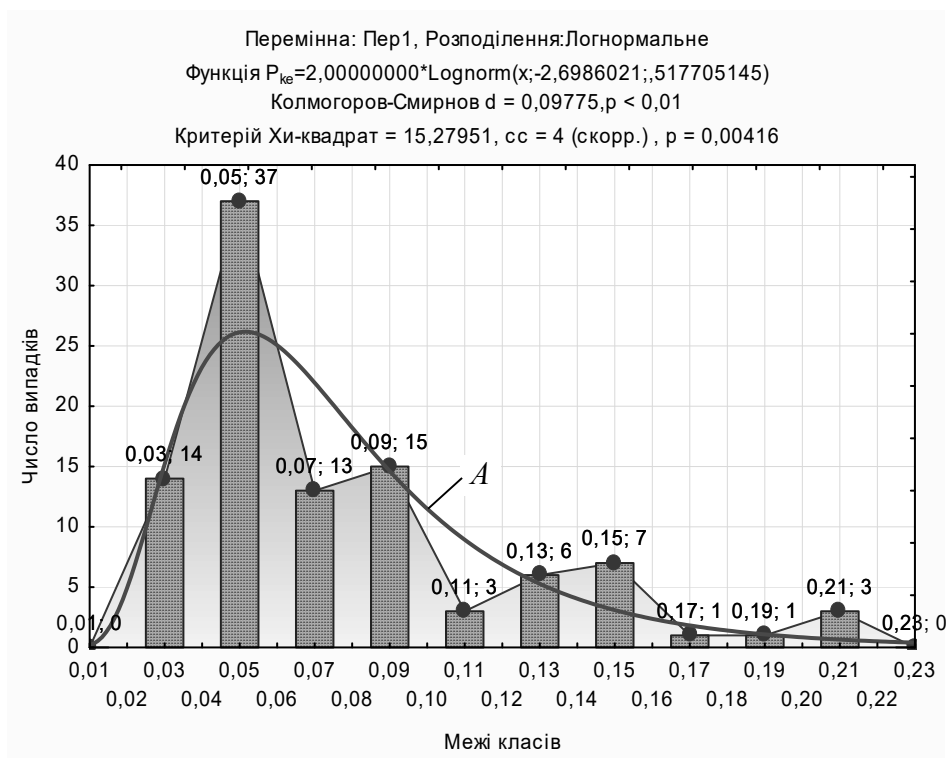


Рис. 4. Гістограма та полігон щільності розподілу питомих затрат споживаної потужності P_{ke}

Аналіз побудованих гістограм і полігону щільності розподілу випадковості процесу питомих затрат споживаної потужності P_{ke} КГК показує, що диференціальний закон щільності розподілу P_{ke} близький до нормального та описується кривою A (див. рис. 4).

Встановлено, що домінуючі значення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} лежать у діапазоні від 0,03 до 0,09 кВт с/кг м, при цьому частота спостережень є такою: для $P_{ke}=0,03$ кВт с/кг м – 14 випадків; для $P_{ke}=0,05$ кВт с/кг м – 25 випадків; для $P_{ke}=0,07$ кВт с/кг м – 13 випадків; для $P_{ke}=0,09$ кВт с/кг м – 15 випадків.

Апроксимуючу функцію в натуральних величинах, яка функціонально описує затрати споживаної потужності P_{ke} залежно від змінних вхідних факторів, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного полінома другого степеня:

$$P_{ke} = b_0 + b_1 n_k + b_2 D_k + b_3 T_1 + b_4 \alpha_y + b_{12} n_k D_k + b_{13} n_k T_1 + b_{14} n_k \alpha_y + b_{23} D_k T_1 + b_{24} D_k \alpha_y + b_{34} T_1 \alpha_y + b_{11} n_k^2 + b_{22} D_k^2 + b_{33} T_1^2 + b_{44} \alpha_y^2, \quad (3)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$ – коефіцієнти відповідних значень змінних вхідних факторів.

Розраховані натуральні числові значення коефіцієнтів рівняння регресії (3) наведено у табл. 2. Було встановлено, що коефіцієнти рівняння регресії $b_{12} = 0,22 \cdot 10^{-2}$, $b_{14} = 0,48 \cdot 10^{-5}$, $b_{24} = 0,82 \cdot 10^{-2}$, $b_{11} = 0,77 \cdot 10^{-6}$ є незначущими, тобто ними можна знехтувати.

Таблиця 2

Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії зміни затрат споживаної потужності P_{ke}

$P_{ke} = f_P(n_k; D_k; T_1; \alpha_y)$	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії			
	b_0	b_1	b_2	b_3
	1,26	-0,11 10^{-2}	-7,59	-5,04
	b_4	b_{12}	b_{13}	b_{14}
	-0,88 10^{-2}	0,22 10^{-2}	0,66 10^{-3}	0,48 10^{-5}
	b_{23}	b_{24}	b_{34}	b_{11}
	22,92	0,82 10^{-2}	0,33 10^{-2}	0,77 10^{-6}
	b_{22}	b_{33}	b_{44}	
12,25	3,05	0,97 10^{-4}		

Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі і оцінки значущості коефіцієнтів рівняння регресії (2) та переходу від кодованих факторів до натуральних величин отримано рівняння регресії зміни P_{ke} :

$$P_{ke} = 1,26 - 0,11 \cdot 10^2 n_k - 7,59 D_k - 5,04 T_1 - 0,88 \cdot 10^{-2} \alpha_y + 0,66 \cdot 10^{-3} n_k T_1 + 22,92 D_k T_1 + 12,25 D_k^2 + 3,05 T_1^2 + 97 \cdot 10^{-4} \alpha_y^2. \quad (4)$$

Аналіз рівняння регресії (4) і побудованої згідно з ним поверхні відгуку (рис. 5, а, 7, а) та її двомірного перерізу (рис. 5, б, 7, б) у вигляді функціонала $P_{ke} = f_P(n_k; D_k)$, $P_{ke} = f_P(D_k; T_1)$, $P_{ke} = f_P(T_1; \alpha_y)$ показує, що основний масив апроксимованих експериментальних значень питомих затрат споживаної потужності P_{ke} лежить у межах: відносно характеру зміни частоти обертання n_k та діаметра D_k шнекового конвеєра – у межах 0,03...0,16 кВт с/кг м, або 108...576 кВт год/кг м; відносно характеру зміни D_k та кроку першого спірального витка T_1 шнекового конвеєра – у межах 0,03...0,17 кВт с/кг м, або

108...612 кВт год/кг м; відносно характеру зміни T_1 та кута установлення ножа α_y ,
 – у межах 0,025...0,11 кВт с/кг м, або 90...396 кВт год/кг м.

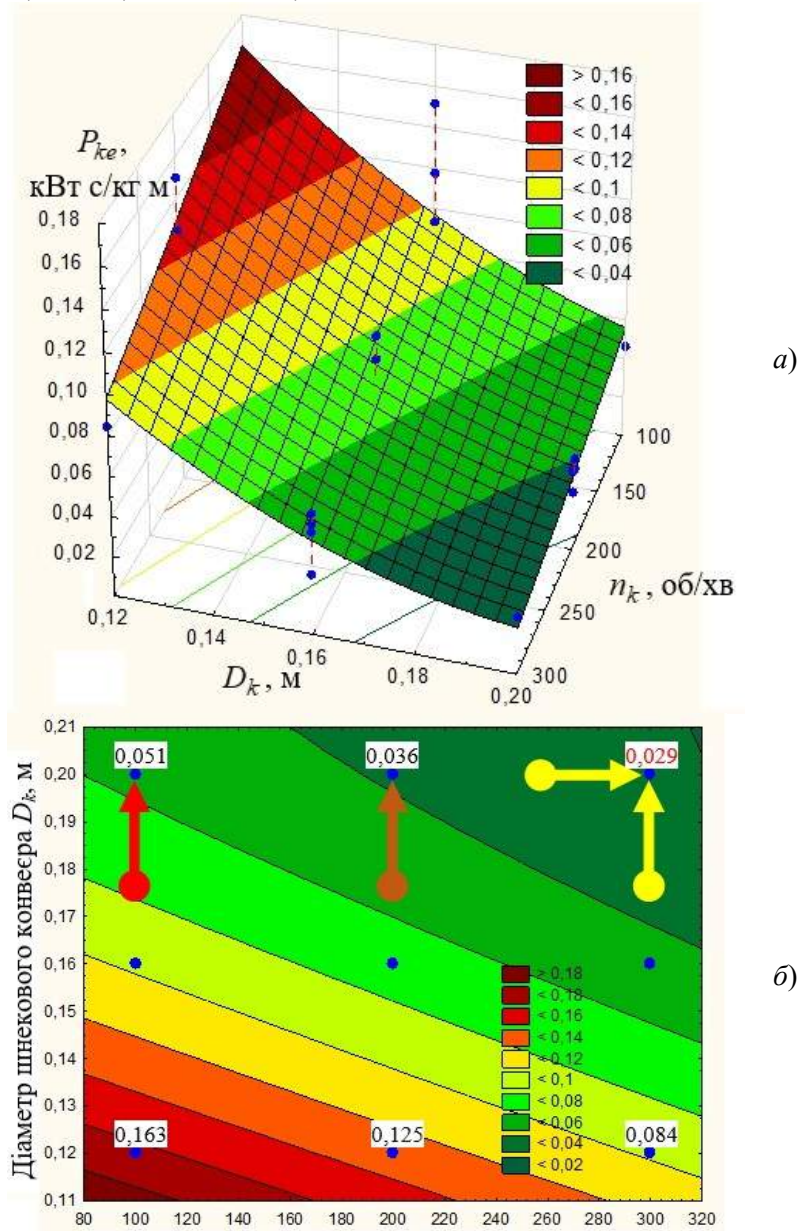
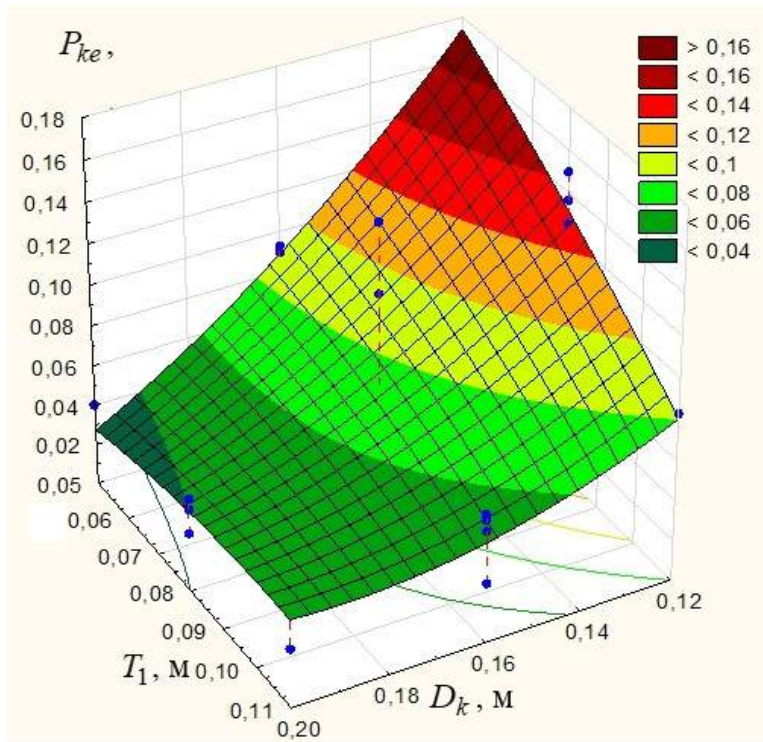
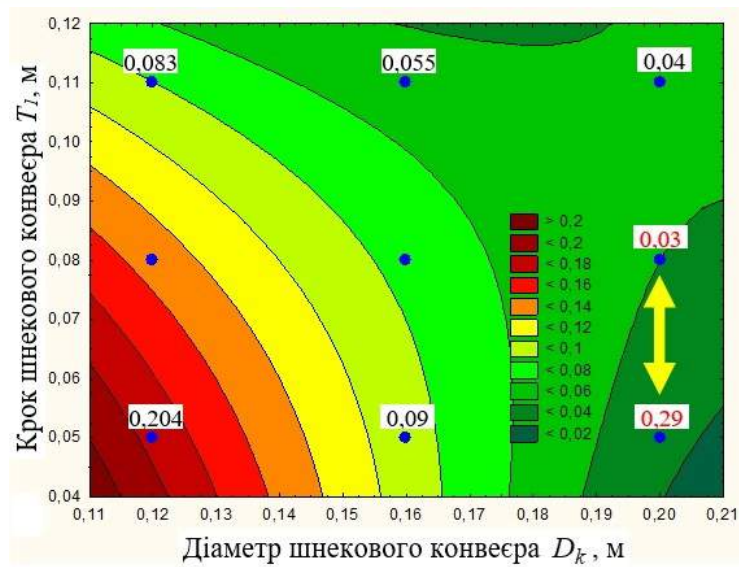


Рис. 5. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності P_{ke} як функціонал $P_{ke} = f_p(n_k; D_k)$.

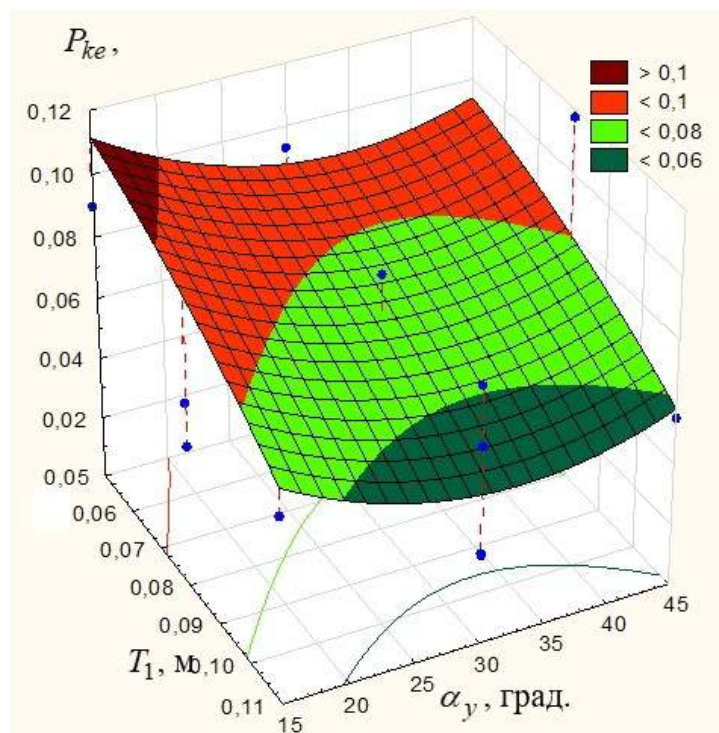


a)

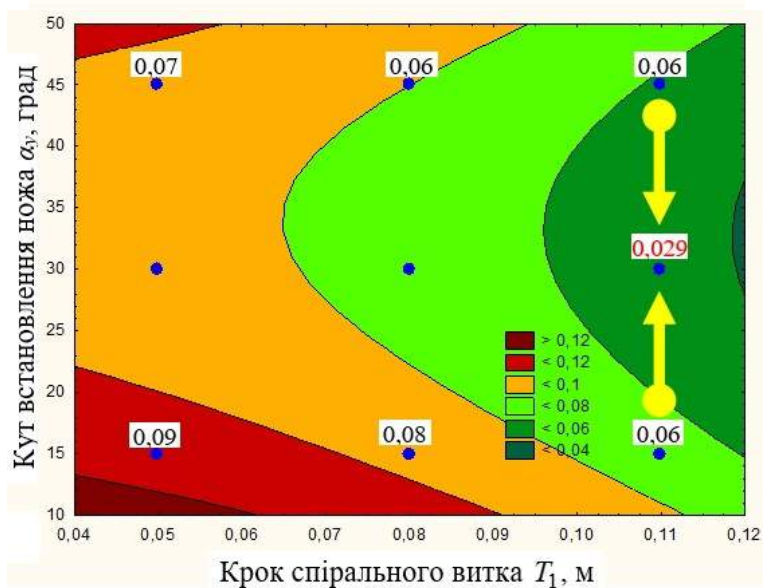


b)

Рис. 6. Поверхня відгуку (a) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності P_{ke} як функціонал $P_{ke} = f_p(D_k; T_1)$.



a)



b)

Рис. 7. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності P_{ke} як функціонал $P_{ke} = f_p(T_1; \alpha_y)$.

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності P_{ke} залежно від зміни частоти обертання n_k і діаметра D_k шнекового конвеєра має пропорційний зворотний характер – за збільшення частоти обертання n_k та діаметра D_k шнекового конвеєра питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зменшуються пропорційно збільшенню n_k і D_k (рис. 8, а).

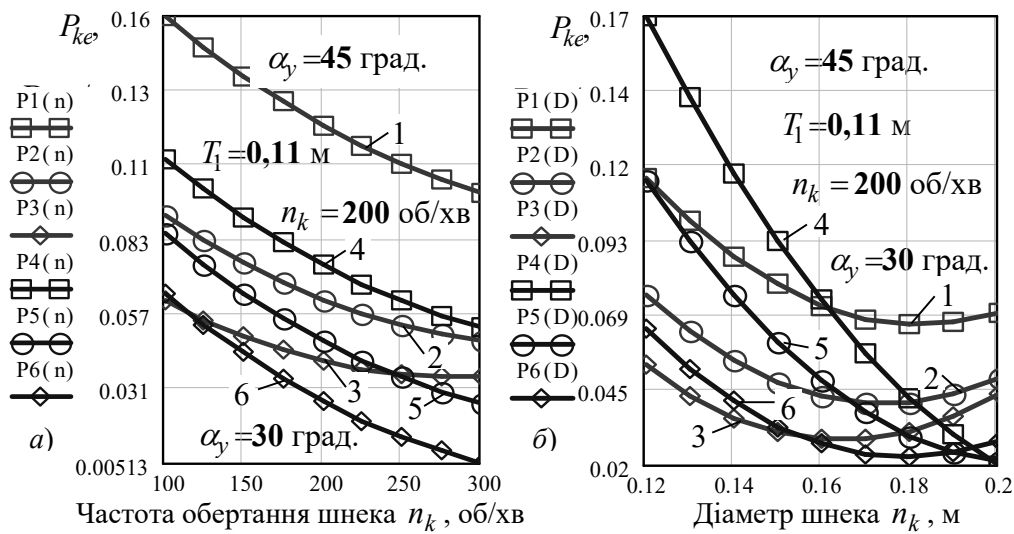


Рис. 8. Залежність зміни питомих затрат споживаної потужності P_{ke}

як функціонал: а – $P_{ke} = f_p(n_k)$, 1, 2, 3 – $D_k = 0,12; 0,16; 0,2$ м; 4, 5,

6 – $T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$ м; б – $P_{ke} = f_p(D_k)$: 1, 2, 3 – $n_k = 100; 200; 300$ об./хв; 4, 5, 6 – $T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$ м.

Зворотний характер функціональної залежності зменшення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} відносно збільшення частоти обертання n_k та діаметра D_k шнекового конвеєра є прямим наслідком збільшення продуктивності роботи Q_{ke} згідно з (1). При цьому в межах зростання частоти обертання n_k шнекового конвеєра $100 \leq n_k \leq 300$ об./хв питомі затрати споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК зменшуються в середньому на $0,03 \dots 0,06$ кВт с/кг м залежно від відповідного значення діаметра шнекового конвеєра D_k (див. рис. 8, а).

Домінуючим фактором, який має суттєвий вплив на параметр оптимізації P_{ke} , тобто збільшення якого призводить до значного зменшення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} , є діаметр D_k шнекового конвеєра – за збільшення D_k

від 0,12 до 0,2 м питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зменшуються в середньому на 0,06...0,1 кВт с/кг м (216...360 кВт год/кг м). Найбільш вагоме зменшення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} відносно збільшення діаметра шнекового конвеєра D_k отримано за значення кроку першого спірального витка $T_1 = 0,05$ м, при цьому питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зменшуються у 8,5 рази – від 0,17 кВт с/кг м за $D_k = 0,12$ м до 0,02 кВт с/кг м за $D_k = 0,2$ м (крива 4 P4(D), рис. 8, б).

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 5, б) встановлено, що найменші значення питомих затрат споживаної потужності $P_{ke} = 0,029$ кВт с/кг м (104 кВт год/кг м) макетного зразка КГК отримано за частоти обертання $n_k = 300$ об./хв та діаметра $D_k = 0,2$ м шнекового конвеєра.

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК залежно від кроку першого спірального витка T_1 шнекового конвеєра має зворотний пропорційний характер – за збільшення T_1 шнекового конвеєра в межах $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$ м питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зменшуються пропорційно збільшенню T_1 за рахунок збільшення продуктивності роботи Q_{ke} комбінованого ГТ (див. рис. 6). Найбільш вагоме зменшення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} відносно збільшення кроку першого спірального витка T_1 шнекового конвеєра отримано за значення діаметра шнекового конвеєра $D_k = 0,12$ м, при цьому P_{ke} зменшуються в три рази – від 0,15 кВт с/кг м за $D_k = 0,12$ м до 0,05 кВт с/кг м за діаметра шнекового конвеєра $D_k = 0,2$ м і кута встановлення ножа $\alpha_y = 45$ град. (крива 1 P1(T) рис. 8, б).

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 6, б) встановлено, що найменші значення $P_{ke} = 0,029...0,03$ кВт с/кг м (104...108 кВт год/кг м) отримано за кроку першого спірального витка T_1 шнекового конвеєра у межах $0,05 \leq T_1 \leq 0,08$ м та діаметра шнекового конвеєра $D_k = 0,2$ м.

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК залежно від кута встановлення ножа-подрібнювача α_y має двоякий характер (рис. 9):

- за збільшення кута α_y у межах від 15 до 30 град. питомі затрати споживаної потужності P_{ke} значно зменшуються – від $P_{ke} = 0,08...0,086$ до значення

$P_{ke}=0,05\dots0,056$ кВт с/кг м, тобто питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зменшуються в середньому в 1,5 раза;

- подальше збільшення кута встановлення ножа α_y від 30 до 45 град. призводить до зростання питомих затрат споживаної потужності до значення $P_{ke}=0,058\dots0,065$ кВт с/кг м, або питомі затрати споживаної потужності P_{ke} зростають у середньому в 1,15 раза.

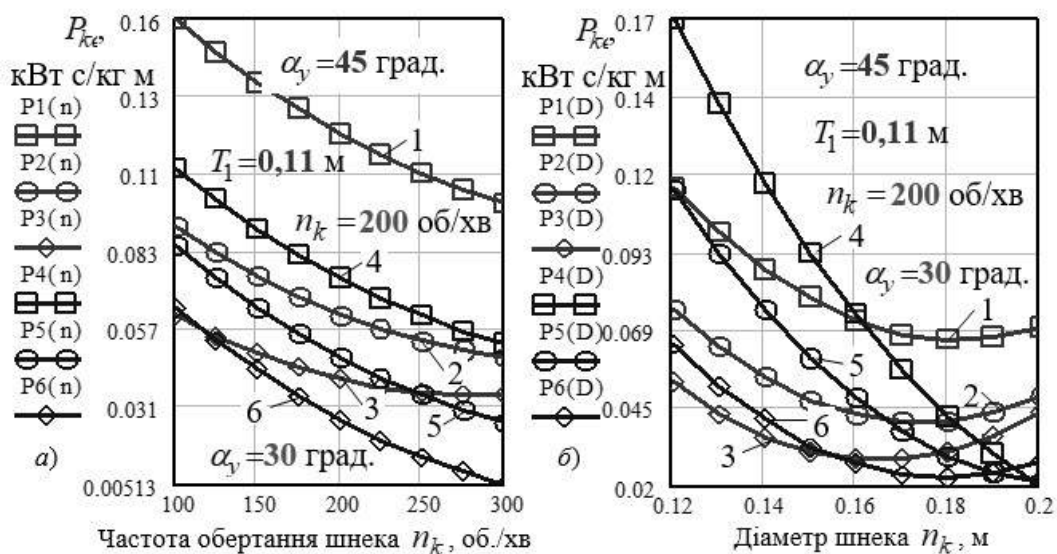


Рис. 9. Залежність зміни питомих затрат споживаної потужності P_{ke}

комбінованого ГТ як функціонал $P_{ke} = f_p(\alpha_y)$:

$a - 1, 2, 3 - T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$ м; $b - 1, 2, 3 - n_k = 100; 200; 300$ об./хв.

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 7) встановлено, що найменші значення питомих затрат споживаної потужності $P_{ke} = 0,029$ кВт с/кг (104 кВт год/кг м) отримано за $\alpha_y = 30$ град., кроку першого спірального витка $T_1 = 0,11$ м та частоти обертання шнекового конвеєра $n_k = 300$ об./хв, що також характерно для аналізу кривої 3 P6(a) (див. рис. 9, б).

Висновки. Аналіз графічних побудов (див. рис. 6–9) показує, що функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності макетного зразка КГК залежно від дії вхідних змінних факторів має виражений оптимум: мінімальні значення функції відгуку $P_{ke} = 0,029\dots0,04$ кВт с/кг, яку записано у вигляді функціонала $P_{ke} = f_p(n_k; D_k; T_1; \alpha_y)$, забезпечуються за значень діапазону зміни частоти обертання $n_k = 200\dots300$ об./хв, діаметра $D_k = 0,2$ м, кроку першого

спірального витка шнекового конвеєра $T_1 = 0,08 \dots 0,11$ м та кута встановлення ножа $\alpha_y = 30$ град.

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії (4) за допомогою методу подвійного взяття похідної та згідно з графічними побудовами двомірних перерізів (див. рис. 5, б – 7, б) ми встановили, що для даних умов протікання технологічного процесу одночасного транспортування та подрібнення коренеплодів питомі затрати споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК набувають мінімального значення за $n_k = 300$ об./хв, $D_k = 0,2$ м, $T_1 = 0,11$ м, $\alpha_y = 30$ град.

Критерій оптимізації апроксимованого числового значення питомих затрат споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК, який розрахований за допомогою рівняння регресії (4) у цій точці, складає $P_{ke_{min}} = 0,029$ кВт с/кг або 104 кВт год/кг м.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу питомих затрат споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК можна констатувати, що його раціональне функціонування у аспекті забезпечення мінімальних питомих затрат споживаної потужності $P_{ke} \rightarrow \min$ досягається за таких параметрів: частота обертання шнекового конвеєра $n_k = 300$ об./хв; діаметр шнекового конвеєра $D_k = 0,2$ м; крок першого спірального витка шнекового конвеєра $T_1 = 0,11$ м; кут встановлення ножа-подрібнювача $\alpha_y = 30$ град.

Отримані результати експериментальних досліджень питомих затрат споживаної потужності P_{ke} макетного зразка КГК є подальшим кроком у розвитку методології та методики оптимізації параметрів і режимів роботи удосконалених комбінованих гвинтових транспортних механізмів. Вони можуть бути застосовані спеціалістами спеціалізованих конструкторських бюро під час розробки нових або удосконалення існуючих КГК.

Бібліографічний список

1. Вайсон А. А. Подъёмно-транспортные машины. Москва : Машиностроение, 1975. 431 с.
2. Гевко І., Любачівський Р., Дячун А. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2012. № 16. С. 237–246.
3. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 307 с.
4. Крутов В. И., Попов В. В. Основы научных исследований / под ред. В. И. Крутова. Москва : Высш. шк., 1989. 363 с.
5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. Москва : Мир, 1972. 374 с.
6. Рогатинський Р., Гевко І. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями. *Вісник ТНТУ*. 2012. № 3 (67). С. 197–210.

7. Пилипець М. І., Паньків В. Р. Методологія проведення експериментальних досліджень комбінованого гвинтового транспортера. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2017. № 60. С. 187–192.
8. Рогатинський Р., Гевко І., Рогатинська Л. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 123–230.
9. Hevko R. B., Klendiy O. M. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation. *INMATEH – Agricultural engineering*. 2014. Vol. 42, No.1. P. 55–60.
10. Hevko R. B., Dzyura V. O., Romanovsky R. M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. *INMATEH – Agricultural engineering*. 2014. Vol. 44, No. 3. P. 103–110.

Пилипець М., Паньків В. Експериментальні дослідження питомих затрат споживаної потужності комбінованого гвинтового конвеєра

Гвинтові конвеєри як транспортні механізми застосовуються в аграрно-промисловому комплексі, переробній та харчовій галузях промисловості. Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових конвеєрів та обґрунтування їх раціональних параметрів і режимів роботи дозволяє істотно розширити функціональні спроможності та можливості виконання технологічних операцій. Наведено результати експериментальних досліджень макетного зразка комбінованого гвинтового конвеєра, який виконано у вигляді напямної труби, усередині якої розміщено шнековий конвеєр, між витками якого встановлено ножи-подрібнювачі. За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну питомих затрат споживаної потужності комбінованого гвинтового конвеєра залежно від параметрів шнекового конвеєра. Встановлено, що в межах варіювання вхідних факторів (частоти обертання $100 \leq n_k \leq 300$ об./хв; діаметра шнекового конвеєра $0,12 \leq D_k \leq 0,2$ м; кроку шнека $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$ м) питомі затрати споживаної потужності знаходяться в діапазоні від 108 до 612 кВт год/кг м. Результати досліджень є подальшим кроком з розробки методики обґрунтування параметрів транспортних машин.

Ключові слова: шнековий конвеєр, транспортування, подрібнення коренеплодів, планований експеримент, вхідні фактори, рівняння регресії, конструктивно-кінематичні параметри.

Pylypets M., Pankiv V. Experimental researches of specific power unit costs of combined screw conveyor

Screw conveyors as transport mechanisms are used in agro-industrial complex, processing and food industries. Improving the existing designs of screw conveyors and justifying their rational parameters and operating modes can significantly expand the functional and technological operations capabilities. Are shown the results of experimental research of the combined screw conveyor prototype. Which is executed in the form of a guide tube, in the middle of which placed screw conveyor, between which turns are installed knife-shredders. This equation characterizes the change of input power combined screw conveyor depending on the parameters of the screw conveyor. It is

established that within the variation of input factors (rotation frequency $100 \leq n_k \leq 300$ rpm; diameter of the screw conveyor $0,12 \leq D_k \leq 0,2$ m; screw step $0,05 \leq T_1 \leq m$) specific costs of consumer power are in range from 108 to 612 kWh/kg m. The results of the research are further step on developing a methodology for justifying transport parameters conveyors.

Key words: screw conveyor, transportation, root crops shredding, planned experiment, input factors, regression equation, structural and kinematic parameters.

Пилипец М., Панькив В. Экспериментальные исследования удельных затрат потребляемой мощности комбинированного винтового конвейера

Винтовые конвейеры как транспортные механизмы применяются в аграрно-промышленном комплексе, перерабатывающей и пищевой отраслях промышленности. Совершенствование существующих конструкций винтовых конвейеров и обоснование их рациональных параметров и режимов работы позволяет существенно расширить функциональные возможности и возможности выполнения технологических операций. Приведены результаты экспериментальных исследований макетного образца комбинированного винтового конвейера, выполненный в виде направляющей трубы, внутри которой размещен шнековый конвейер, между витками которого установлены ножи-измельчители. По результатам экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, характеризующее изменение удельных затрат потребляемой мощности комбинированного винтового конвейера в зависимости от параметров шнекового конвейера. Установлено, что в пределах варьирования входных факторов (частоты вращения $100 \leq n_k \leq 300$ об./мин; диаметра шнекового конвейера $0,12 \leq D_k \leq 0,2$ м; шага шнека $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$ м) удельные затраты потребляемой мощности находятся в диапазоне от 108 до 612 кВт ч/кг м. Результаты исследований являются дальнейшим шагом в разработке методики обоснования параметров транспортных машин.

Ключевые слова: шнековый конвейер, транспортировка, измельчение корнеплодов, планируемый эксперимент, входные факторы, уравнение регрессии, конструктивно-кинематические параметры.

УДК 631.358.

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ РОТОРНОГО УДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

С. Крунич, аспірант

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

*О. Крунич, к. т. н., Д. Кузенко, к. т. н, С. Левко, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Збирати горіхи розпочинають у стадії їх технічної стиглості. Ознаками стиглості є розтріскування оплодня, забарвлення шкаралупи в злегка брунатний або світло-жовтий колір та пожовтіння листя. Оплодень у цей час зелений, з досяганням стає жовто-зеленим чи трохи брунатним, на ньому з'являються тріщини, далі оплодень розкривається, а горіх легко струшується на землю. Починають збирати горіхи, як тільки почнуть падати здорові, стиглі горіхи, збираючи їх на землі і зриваючи плоди на периферії крони. Застосовують три-, а то й чотириразове збирання переважно опалих горіхів із землі. Щоб полегшити збирання горіхів із землі, площу навколо дерев очищають від бур'янів та опалого листя. Під дерево можна підстилати брезент або мішковину [4].

Найпримітивнішим методом збирання плодів є збивання їх на землю довгими жердинами і короткими палицями. Кінці жердин і палок повинні бути обмотані м'якою тканиною для зменшення різкості ударів. На збивання чи струшування недостиглих плодів затрачають більше часу, ніж на збивання достиглих [5; 6].

Продуктивним методом збирання горіхів є застосування механічних струшувачів різних конструкцій, які монтуються на тракторі [5; 6; 8].

Одними з найбільших виробників обладнання для механізації збирання горіхів в Європі є французькі фірми «AMB ROUSSET» і «Recolt – Concept», італійська фірма BERARDINUCCI, голландська фірма «Munckof». Техніка для механізованого збирання горіхів складається зі струшувачів дерев, вловлювачів плодів та затарювачів. Механізми для струшування дерев можуть бути виконані у вигляді автономних агрегатів або навісного обладнання на тракторне шасі [3; 7; 8].

Сучасні машини для струшування плодів, у тому числі волоського горіха, переважно позиційної дії, а тому мають невисоку продуктивність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями струшування плодів займалася низка дослідників: Г. П. Варламов, М. О. Демидка, Б. Х. Кульчієв, Г. А. Хайліс, В. П. Бабій, Х. А. Хачатрян, Р. С. Шевчук, О. М. Крунич та ін. У їхніх працях наведено аналіз способів і засобів збирання плодів, а також результати досліджень, присвячених вказаній проблемі.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методики розрахунку та визначення основних конструктивних і кінематичних параметрів запропонованого роторного ударного струшувача горіхів з механізмом захисту кори штамба від пошкоджень.

Виклад основного матеріалу. Запропонований струшувач (рис. 1) складається з роторного ударника і механізму захисту кори штаба дерева від пошкоджень. Роторний ударник містить ступицю 1, на якій кріпляться кривошипи 2, до яких шарнірно на осях 6 монтуються повідки 4 з роликами 5. Кутове переміщення повідка 4 обмежується упорами 3. Кожен із роликів являє собою обід із пустотілою гумовою оболонкою, повністю заповненою сипким матеріалом для зменшення коефіцієнта пружності удару.

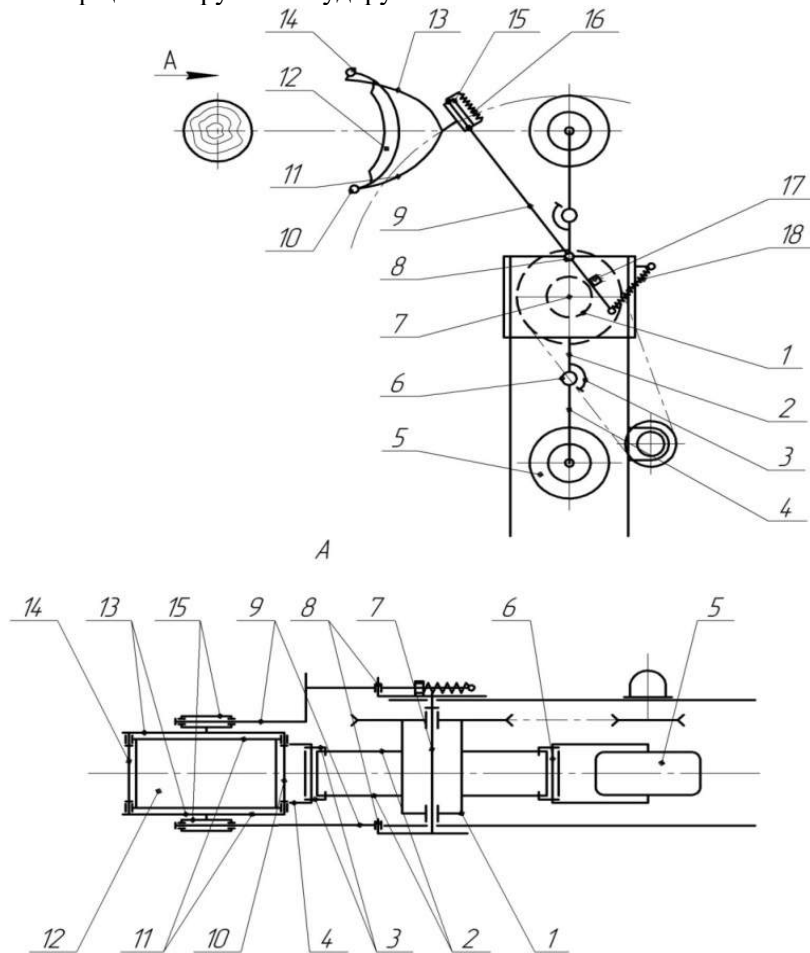


Рис. 1. Конструктивна схема роторного ударного струшувача:
 1 – ступиця; 2 – кривошипи; 3 – упори; 4 – повідки; 5 – ролики; 6,7,10,14 – осі;
 8 – піввісь; 9 – напрямні балки; 11,13 – балки утримувальні; 12 – фартух захисний;
 15 – каретки; 16 і 18 – пружини; 17 – упор-фіксатор.

Ступиця 1 на підшипниках монтується на вісь 7, яка кріпиться до плити рами струшувача. Захисний фартух 12 являє собою еластичну пустотілу оболонку, частково заповнену сипким матеріалом, яка важільним механізмом кріпиться до

рами струшувача. Механізм забезпечує введення фартуха в зону нанесення ударів і складається з двох балок 9, виготовлених з труб круглого перерізу. Балки одним кінцем шарнірно кріпляться до півосей 8 плит рами струшувача, а другим з'єднані між собою віссю. На напрямних балках 9 розміщені каретки 15 із закріпленими на них утримувальними балками 11 і 13. Кінці балок з'єднані між собою осями 10 і 14, до яких чотирма шарнірами прикріплені захисний фартух.

У вихідному положенні каретки 15 тримаються пружинами 16, а напрямні балки притискаються до упора фіксатора 17 пружиною 18. Привід струшувача здійснюється через клинопасову передачу гідродвигуном, з'єднаним з гідросистемою трактора. Захисний фартух 12 щільно облягає штабм у результаті розтікання сипкого матеріалу в незаповненому об'ємі фартуха.

Для забезпечення ефективної роботи в садах грецького горіха необхідно провести дослідження взаємодії механізму захисту кори від пошкоджень і ударного ролика зі штабмом дерева.

Запропонована конструкція струшувача плодів (див. рис. 1) передбачає охоплення штамба захисним фартухом, після чого під час руху агрегату штабм входить у зону взаємодії з ударними роликами. Процес взаємодії штамба з важливим механізмом кріплення захисного фартуха до рами струшувача можна поділити на такі три етапи: підготовчий, робочий та завершальний.

На першому етапі штабм починає взаємодіяти із захисним фартухом та під дією сил попереднього натягу пружин 16 і 18 формується зона контакту за рахунок витіснення сипкого матеріалу в незаповнений об'єм оболонки фартуха. Після закінчення заповнення сипким матеріалом вільного об'єму оболонки фартуха закінчується охоплення штамба й утворення зони контакту штамба із захисним фартухом, що є початком другого етапу. При подальшому русі трактора під дією сил реакції штамба відбувається поворот напрямної балки 9 навколо осі 8 та переміщення каретки 15 по ній. У певний час по штабму наноситься серія ударів із змінною за значенням та напрямом силою внаслідок прямолінійного переміщення струшувача із швидкістю V і обертанням ударних роликів з кутовою швидкістю ω відносно струшувача. Штабму передається ударний імпульс, який спричинює струшування горіхів під дією прискорень плодоносних гілок.

Слід зазначити, що удари по штабму можуть наноситися за різних взаємних розташувань осі обертання ударника, ролика, захисного механізму і штамба. За положення (рис. 2) $\delta=90^\circ$, штабму передається ударний імпульс, який викликає відрив плодів швидше, ніж при положеннях $\delta>90^\circ$ і $\delta<90^\circ$. Отже, робота роторного ударного струшувача найкраще відбувається в положенні $\delta=90^\circ$ (див. рис. 2).

Початок взаємодії ролика зі штабмом відбувається за умови:

$$l_{O_3O_1} = r_{ш} + h_{ф} - \Delta h_{ф} + r_{р} + l_1 + l_2, \quad (1)$$

де $l_{O_3O_1}$ – відстань між центром перерізу штамба та віссю обертання ротора;

$r_{ш}, r_{р}$ – відповідно радіуси штамба та ролика;

$h_{ф}, \Delta h_{ф}$ – товщина та деформація фартуха;

l_1, l_2 – довжина кривошипа O_1A і повідка AB ротора.

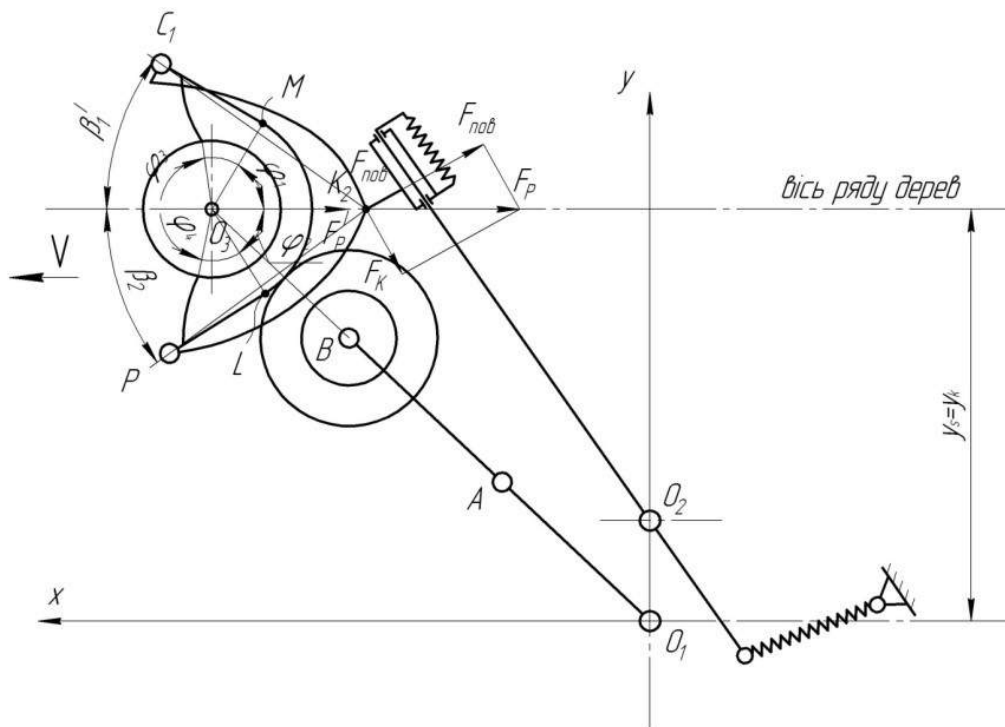


Рис. 2. Схема взаємодії штамба з механізмом захисту кори і ролика (коли кут взаємодії $\delta > 90^\circ$).

На завершальному етапі важільний механізм кріплення захисного фартуха до рами струшувача виходить із взаємодії зі штамбом і займає вихідне положення, що обмежується упором фіксатора.

Вибирати конструкційну схему важільного механізму необхідно з урахуванням особливості взаємодії штамба та захисного фартуха. Поворот напрямної балки та переміщення каретки по ній здійснюється внаслідок сили реакції F_p^1 (див. рис. 2). Якщо сила F_p^1 напрямлена по осі ряду через точку K_2 кріплення утримувальних балок, то

$$\begin{aligned} \vec{F}'_p &= \vec{F}_p, \\ \vec{F}'_p &= \vec{F}_{\text{пов}} + \vec{F}_K, \end{aligned} \quad (2)$$

де F_p – сила реакції штамба, що діє на важільний механізм;

$F_{\text{пов}}$ – сила, що сприяє повороту напрямної балки навколо осі O_2 (рис. 2);

F_K – сила, що відповідає за переміщення каретки по напрямній балці.

Коли сила F_p діє під кутом до осі ряду (рис. 3), тоді

$$\begin{aligned} \vec{F}'_p &= \vec{F}_p + \vec{F}_{p1}, \\ \vec{F}'_p &= \vec{F}_{\text{пов}} + \vec{F}_K + \vec{F}_{p1}, \end{aligned} \quad (3)$$

де F_{p1} – сила, яка створює момент M_{p1} відносно точки K_2 .

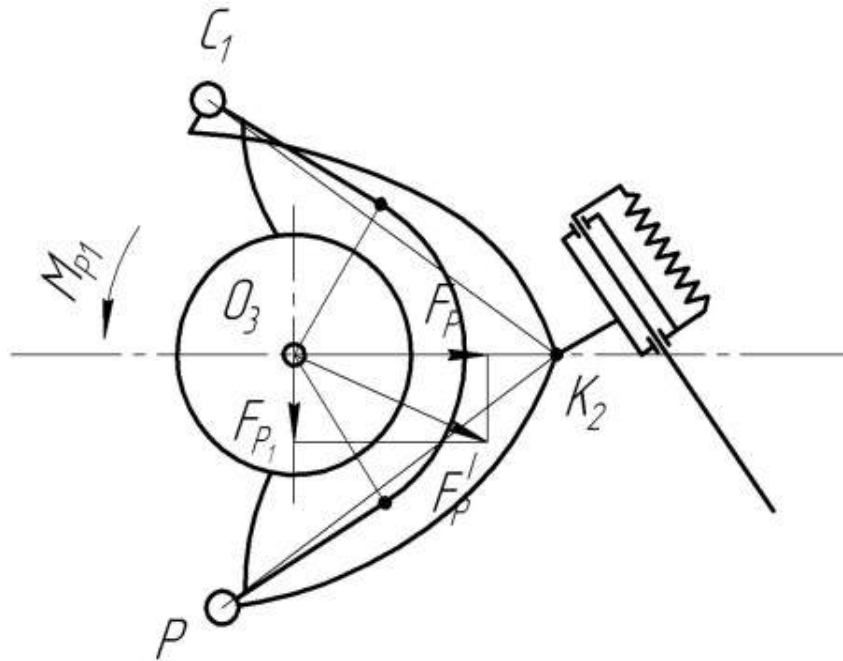


Рис. 3. Схема взаємодії штамба з механізмом захисту кори при виникненні моменту $M_{p1} = 0$ від сили реакції штамба.

Момент M_{p1} напрямлений на зміщення захисного фартуха відносно штамба, що практично неможливо через виникнення моменту тертя ковзання і моменту опору коченню за рахунок охоплення штамба та деформації оболонки захисного фартуха. Тому виникнення моменту M_{p1} внаслідок дії реакції F_{p1}' під кутом до осі ряду (рис. 4) викликає додаткове напруження в елементах конструкції важільного механізму та кори штамба дерева.

Момент M_{p1} дорівнює нулю, якщо реакція штамба F_p' дерева напрямлена вздовж бісектриси кута охоплення, тобто активні кути охоплення ϕ_1 і ϕ_2 рівні.

Умова рівності кутів охоплення ϕ_1 і ϕ_2 виконується, коли точка K_2 лежить на осі ряду дерев, а $l_{C_1K_2} = l_{PK_2}$ і $\beta_1' = \beta_2$, де $l_{C_1K_2}$, l_{PK_2} – відповідно відстані від точок C_1 та P кріплення фартуха до утримувальних балок до точки K_2 ; β_1' , β_2 – кути розташування утримувальних балок.

Коли $\beta_1' \neq \beta_2$, $l_{C_1K_2} \neq l_{PK_2}$ чи точка K_2 зміщена відносно ряду, тоді $\phi_1 \neq \phi_2$ і $M_{p1} \neq 0$, тому при розробці важільного механізму кріплення захисного фартуха необхідно, щоб точка K_2 лежала на осі ряду, а $l_{C_1K_2} = l_{PK_2}$ і $\beta_1' = \beta_2$.

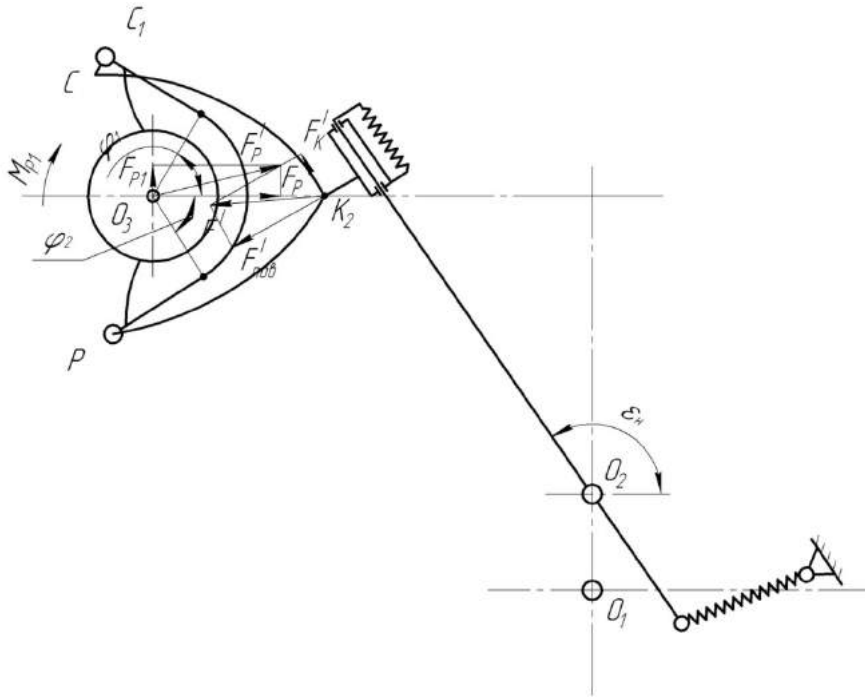


Рис. 4. Схема дії сил на механізм захисту кори від попереднього натягу пружин між собою.

Вибір жорсткості та місця розташування пружин 16 і 18 (див. рис. 1) (відповідно пружини переміщення каретки і повернення напрямної балки у вихідне положення) необхідно проводити виходячи з умови відношення сил, що створюються цими пружинами (див. рис. 3):

$$F'_K \leq F'_{\text{пов}} \operatorname{tg}(\epsilon_n - 90^\circ), \quad (4)$$

де F'_K – сила, що створюється пружиною переміщення каретки;

$F'_{\text{пов}}$ – сила, що створюється пружиною повороту напрямної балки;

ϵ_n – початковий кут розташування напрямної балки, що контролюється упором-фіксатором.

За виконання умови (4) момент M_{p1} дорівнює нулю чи напрямком його прикладання сприяє переміщенню каретки, тобто момент напрямлений за годинниковою стрілкою відносно точки K_2 (див. рис. 4).

Крім цього, початкова деформація пружин 16 і 18 (див. рис. 1) повинна створювати зусилля, достатнє для витіснення сипкого матеріалу в оболонці захисного фартуха і формування зони контакту зі штаблом. Також пружини повинні забезпечувати повернення каретки і напрямної балки у початкове положення.

Відстань y_s (рис. 5) від осі ряду до осі O_1 обертання ротора ударника струшувача також впливає на взаємодію ударного ролика зі штаблом і штамба з важільним механізмом, що впливає на роботу струшувача.

Умова зміни відстані y_s :

$$y_s = y_K + \Delta, \quad (5)$$

де y_s – відстань від осі обертання ротора до осі ряду;

y_K – відстань від осі обертання ротора до осі ряду, при якій можлива взаємодія ролика зі штаблом без виникнення тангенціальної складової сили удару,

$$y_K = \sqrt{(r_{ш} + h_{\phi} - \Delta h_{\phi} + r_p)^2} + \sqrt{(l_1 + l_2)^2}, \quad (6)$$

де Δ – зміщення агрегату відносно осі ряду при неточному його водінні.

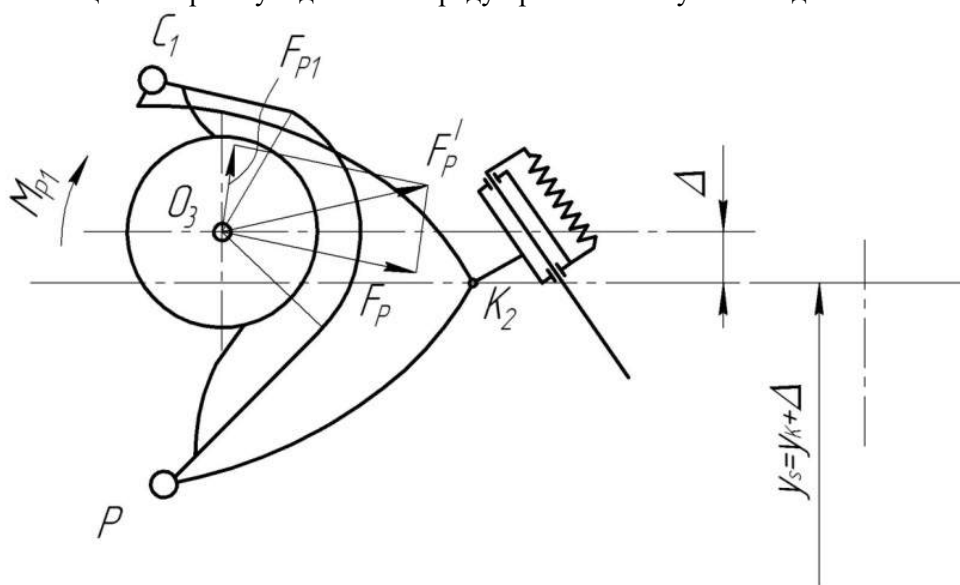


Рис. 5. Схема дії сил на механізм захисту кори при умові, що $y_s = y_K + \Delta$.

За виконання умови (5), у тому числі, коли $\Delta=0$, отримуємо сприятливі умови роботи струшувача. По-перше, відсутні додаткові динамічні сили дії на вузли ротора і його привід [2]. По-друге, момент M_{p1} дорівнює нулю при $\Delta=0$ чи його напрямок дії (див. рис. 3) сприяє переміщенню гілки по напрямній балці, коли $\Delta>0$. Якщо умова (5) не виконується, тобто $y_s < y_K$ ($\Delta<0$), тоді під час взаємодії ролика зі штаблом зростає навантаження на привід ротора і порушується рівномірність його обертання, що негативно впливає на роботу струшувача [1].

У результаті проведених теоретичних досліджень згідно з виведеними залежностями проведено розрахунки за допомогою програми Microsoft Office Excel та побудовано відповідні графіки.

За залежністю (6) побудовано графіки зміни відстані y_K від осі обертання ротора до осі ряду від діаметра штабма $r_{ш}$ за різних значень товщини фартуха h_{ϕ} (рис. 6).

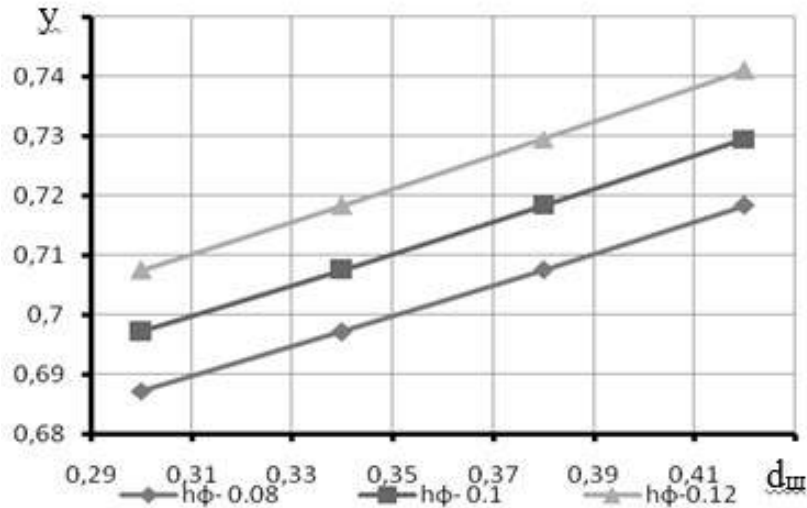


Рис. 6. Залежність відстані y_k від осі обертання ротора до осі ряду від діаметра штамба $d_{ш}$ для різних значень товщини фартуха h_{ϕ} .

Графічні залежності на рис. 6 показують, що із зростанням діаметра штамба $d_{ш}$ збільшується відстань від осі обертання ротора до осі ряду. Так, за товщини фартуха від мінімального значення $h_{\phi} = 0,08$ до максимального значення $h_{\phi} = 0,12$ м відстань y_k збільшується від 0,687 м за $d_{ш} = 0,30$ м до 0,817 м за $d_{ш} = 0,42$ м.

За залежністю (6) побудовано графіки зміни відстані y_k від осі обертання ротора до осі ряду від діаметра штамба $d_{ш}$ за різних значень деформації фартуха Δh_{ϕ} (рис. 7).

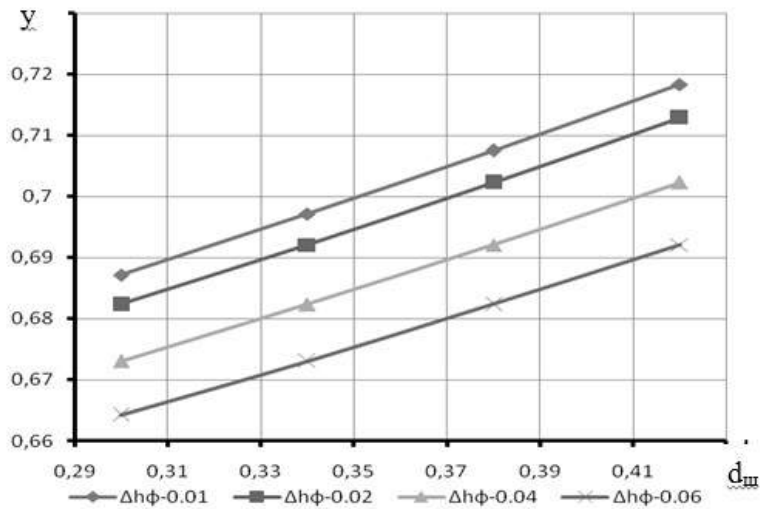


Рис. 7. Залежність відстані y_k від осі обертання ротора до осі ряду від діаметра штамба $d_{ш}$ для різних значень деформації фартуха Δh_{ϕ} .

Графічні залежності на (див. рис. 7) показують, що із зростанням діаметра штамба $d_{шт}$ збільшується відстань від осі обертання ротора до осі ряду. Так для деформації фартуха від мінімального значення $\Delta h_{\phi} = 0,01$ м до максимального $\Delta h_{\phi} = 0,06$ м відстань y_k збільшується від найменшого (0,665 м) за $d_{шт} = 0,30$ м до найбільшого (0,719 м) значення за $d_{шт} = 0,42$ м.

Висновки. Роторний ударний струшувач плодів забезпечує струшування горіхів передачею ударного імпульсу штамбу дерева. Для захисту кори штамба від нормальних і тангенціальних напружень запропоновано оснастити струшувач механізмом захисту, що містить захисний фартух. Ефективна взаємодія ролика зі штаблом через захисний фартух відбувається зміною відстані від осі обертання ротора до осі ряду y_k . За зміни товщини фартуха від 0,08 до 0,12 м відстань y_k збільшується від 0,687 м за діаметра штамба $d_{шт} = 0,30$ м до 0,817 м за $d_{шт} = 0,42$ м. З урахуванням деформації фартуха Δh_{ϕ} у діапазоні 0,01...0,06 м відстань y_k становить 0,665...0,719 м за $d_{шт} = 0,30...0,42$ м, що відповідає деревам горіха волоського віком близько 30 років.

Бібліографічний список

1. Плодоуборочная машина : а.с. 1565390 СССР. №198204021 ; заявл. 17.05.88 ; опубл. 21.12.90, Бюл. № 19.
2. Крупич О. М. Исследование процесса съема сливы роторным ударным стряхивателем с механизмом защиты коры от повреждений и обоснование его параметров: дис ... канд. техн. наук: 05.20.01. Москва, 1991. 200 с.
3. Неговский А. Н., Пахно В. Г. Переработка грецких орехов. URL: <http://www.nutexim.com/pererabotka-hretskyh-orehov#more-497>.
4. Стрела Т. Е. Орех грецкий. Киев : Наук. думка, 1990. 192 с.
5. Щепотьев Ф. Л., Павленко Ф. А., Рихтер А. А. Орехи. Киев : Урожай, 1975. С. 118-122.
6. Крупич О. М., Шевчук Р. С., Крупич Р. О. Засоби механізації для збирання горіхоплідних культур. *Науково-технічні та енергетичні засади агропромислового виробництва* : кол. монографія. Львів : ЛНАУ, 2012. 244 с.
7. Гошко М., Гошко З. Придатність плодівих насаджень до механізованого збирання. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2009. № 13. С. 148-154.
8. Семен Я. В. Енергетичний аналіз процесу знімання плодів тросовим струшувачем. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2002. № 6. С. 131-135.

Крупич С., Крупич О., Кузенко Д., Левко С. Кінематичний аналіз роботи роторного ударного струшувача волоських горіхів

Проведено аналіз існуючих засобів для збирання волоських горіхів. Запропоновано використовувати для струшування волоських горіхів роторний ударний струшувач плодів із механізмом захисту кори від пошкоджень. Описано взаємодію ударного ролика зі штаблом дерева через захисний фартух. Подано розрахунок основних конструктивних параметрів механізму захисту кори. Подано

графічні залежності відстані між віссю обертання ротора та віссю ряду дерев від діаметра штамба і різних товщин та деформацій фартуха.

Ключові слова: волоський горіх, роторний ударний струшувач, штамп дерева, захисний фартух, конструктивні параметри.

Krupych S., Krupych O., Kuzenko D., Levko S. Kinematic analysis of rotary percussion shakers walnuts

An analysis of the existing tools for walnut harvesting has been carried out. It is suggested to use a shaft of shaking fruit with a mechanism of protection of the cortex from damage to shake walnuts. The interaction of a shock roller with a tree shaft through a protective headlamp is described. Posted calculation of the basic design parameters protection mechanism crust. Posted graphics depending of the distance between the axis of rotation of the rotor axis and the number of trees on the diameter of the trunk and different thicknesses and strain apron.

Key words: walnut, rotary percussion shaker, tree shaft, protective headlamp, design parameters.

Крупич С., Крупич А., Кузенко Д., Левко С. Кинематический анализ работы роторного ударного встряхивателя грецких орехов

Проведен анализ существующих средств для сбора грецких орехов. Предложено использовать для встряхивания грецких орехов роторный ударный встряхиватель плодов с механизмом защиты коры от повреждений. Описаны взаимодействие ударного ролика с штамбом дерева через защитный фартук. Представлен расчет основных конструктивных параметров механизма защиты коры. Представлены графические зависимости расстояния между осью вращения ротора и осью ряда деревьев от диаметра штамба и различных толщин и деформаций фартука.

Ключевые слова: грецкий орех, роторный ударный встряхиватель, штамп дерева, защитный фартук, конструктивные параметры.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ГНУЧКОГО ЕЛЕМЕНТУ ЗВОРУШУВАЧА РОТАЦІЙНОЇ КОСАРКИ

Я. Семен, к. т. н.

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Традиційні технології заготівлі кормів з бобових трав характеризуються значними втратами кормів через нерівномірне просихання стебел і листочків [1; 2]. Листки пересихають, стають ламкими і під час проведення технологічних операцій втрачаються. Тому важливе значення має вдосконалення методів сушіння трав.

Очевидно, що найкращий варіант полягає в тому, щоб диференціювати механічний обробіток стебла в довжину для пришвидшення процесу сушіння трави. Верхня частина рослин із суцвіттям, молодими пагонами, значною кількістю листочків (до 84%) є найніжнішою, а листки, розміщені в прикореневій частині стебла, більш сухі, пожовклі, а тому в кормовій придатності є малоцінними.

Одним із способів підвищення ефективності заготівлі сіна є використання косарок, обладнаних плющильними апаратами. Застосування таких машин дозволяє суттєво зменшити втрати каротину під час висушування трав, які не перевищують 20 %. Існує й недолік використання плющильних апаратів – вони не тільки плющать стебла, а й ламають, розривають та розбивають їх, відривають від стебел листочки [3].

Під час скошування трав ротаційною косаркою вони укладаються у валок в ущільненому вигляді, що утруднює процес підсихання. Тому для деформації і розпушеного укладання скошених трав на стерню доцільно використати запропонований зворушувач до ротаційної косарки, який дозволить провести «м'який» обробіток рослинної маси за підвищеної кутової швидкості робочих органів [4]. Ефективність його роботи залежить від гнучких елементів, розміщених над різальним апаратом, а це вимагає додаткових досліджень їх жорсткості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення характеристик і вибору матеріалу пружного елемента його розглядають як консольну балку, навантажену на вільному кінці зосередженою силою [5]. При цьому в науковій праці [6] автори подають аналітичні методи визначення найбільшого кута прогину та повороту защемленого стрижня, а також умову жорсткості при його згинанні. Через те що безпосереднє інтегрування диференціального рівняння пружної лінії є доволі громіздким, пропонується визначати переміщення у балках за допомогою енергетичних методів, зокрема інтеграла Максвелла–Мора [6]. Але остаточні висновки щодо доцільності застосування того чи іншого матеріалу для гнучкого елемента запропонованого зворушувача можна зробити після експериментальних досліджень.

Постановка завдання. Мета дослідження – визначити жорсткість окремих гнучких елементів для обладнання зворушувача валка ротаційної косарки робочим органом з оптимальними характеристиками.

Виклад основного матеріалу. Гнучкий елемент навантажений зусиллям, що чинять на нього зрізані стебла рослинної маси, яка переміщується через різальний брус косарки і утримується в такому ж положенні під час укладання на поверхню поля. Використовуваний гнучкий елемент характеризується коефіцієнтом жорсткості, зведеним до місця прикладання сил, що на нього діють. Визначальними факторами, від яких залежить цей коефіцієнт, є площа поперечного перерізу та матеріал, з якого виготовлений гнучкий елемент, і зусилля навантаження, яке можливе під час роботи модернізованої ротаційної косарки [4].

Для визначення жорсткості гнучкого елемента використовували лабораторне обладнання, що складається з лещат 4 (рис. 1), в яких закріплено гнучкий елемент 2, до якого прикладається змінне зусилля Q , що відхиляє вільний кінець гнучкого елемента від плити 3 на відстань x .

Суть методики полягала у визначенні жорсткості гнучкого елемента зворушувача валка, послідовно навантажуючи його прикладеним зусиллям до вільного кінця на максимальній відстані l , яка відповідає радіусу дискового ротаційного робочого органа косарки. Під час проведення досліджень систему виводили з рівноваги за допомогою динамометра 1 (див. рис. 1). При цьому створювались навантаження Q_1, Q_2, \dots, Q_n . У кожне наступне навантаження включали попередні навантаження і щоразу вимірювали переміщення вільного кінця гнучкого елемента.

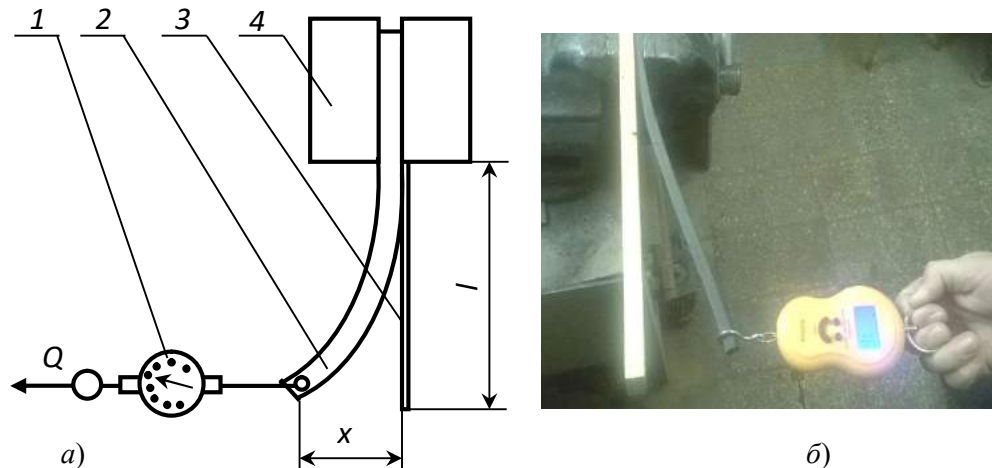


Рис. 1. Лабораторне обладнання для визначення жорсткості гнучкого елемента:
а) схема: 1 – динамометр, 2 – гнучкий елемент; 3 – плита; 4 – лещата;
б) загальний вигляд.

Досліди проводили у триразовій повторюваності для гнучких елементів різного перерізу, кожен з яких доповнювався пружною металевою пластиною 3 (рис. 2).

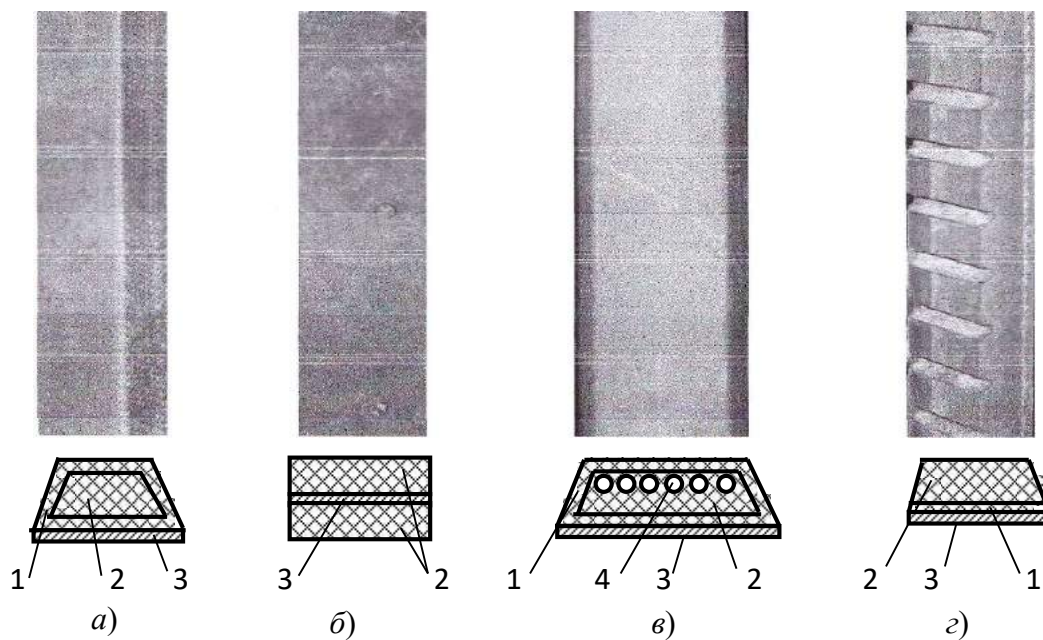


Рис. 2. Досліджувані гнучкі елементи зворушувача валка:
 а) гумовий з кордом; б) подвійний гумовий; в) гумовий з кордом і шпагатом;
 г) гумовий з кордовою основою; 1 – щільна тканина; 2 – гума;
 3 – пружна металева пластина; 4 – шпагат (шнур).

За результатами експериментів для кожного навантаження Q_i отримували переміщення l_i вільного кінця гнучкого елемента і таким чином розраховували середнє значення його жорсткості, закономірність якої визначається співвідношенням

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1)$$

де Q_i , l_i – відповідно навантажувальне зусилля та переміщення вільного кінця гнучкого елемента під час i -го вимірювання в досліді;
 n – число вимірювань досліду.

На підставі проведених експериментальних досліджень окремих гнучких елементів побудовано графіки (рис. 3) закономірностей відхилення від положення рівноваги їх вільного кінця від прикладеного до них навантаження.

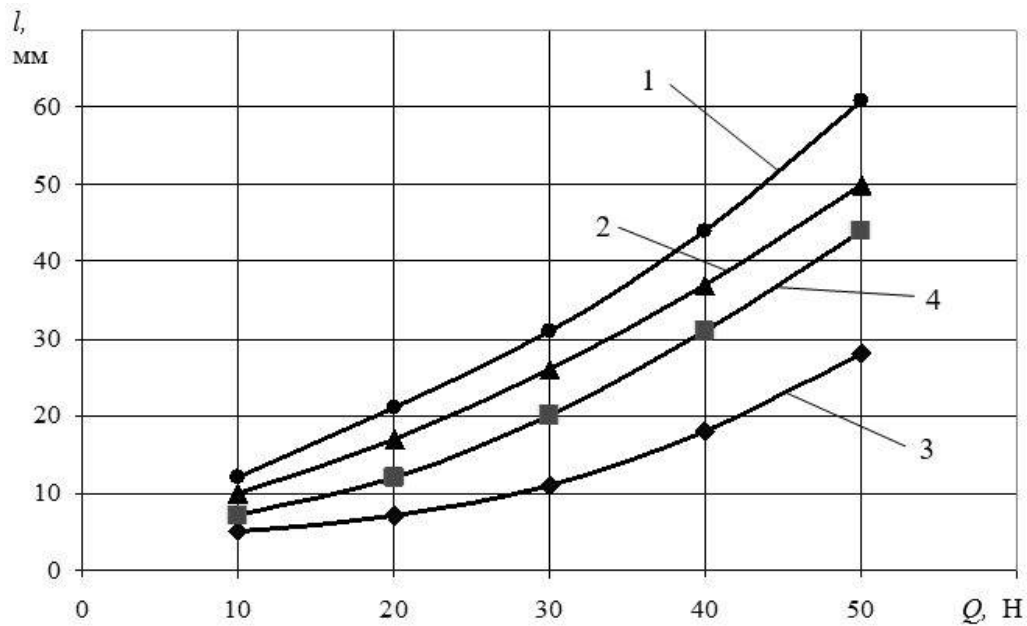


Рис. 3. Закономірність переміщення вільного кінця гнучкого елемента зворушувача валка від прикладеного навантаження для гнучких елементів, підсиленних пружною сталлю пластинною: гумового з кордовою основою (1); гумово-кордового (2); гумового з кордом і шпагатом (3); подвійного гумового (4).

Як видно з наведених графіків, спостерігається певна закономірність переміщення вільного кінця окремих типів гнучких елементів зворушувача валка під дією прикладеного навантаження, що відображена вигнутими кривими. Це вказує на те, що у досліджуваних гнучких елементів нелінійна жорсткість незалежно від їх типу. Водночас найбільшою жорсткістю характеризується гнучкий елемент, що складається з металевої пластини, виготовленої з пружної сталі, товщиною 2 мм, у поєднанні з пасом, серцевиною якого є гума зі шпагатом, охоплені ззовні кордом.

Виконані дослідження дозволили визначити середню жорсткість гнучких елементів зворушувача валка ротаційної косарки, кожен з яких доповнювався металевою пружною пластинною, на підставі співвідношення (1). Так, для гумового гнучкого елемента з кордовою основою $C_{(1)} = 0,91$ Н/мм; для гумово-кордового – $C_{(2)} = 1,1$ Н/мм; для подвійного гумового – $C_{(1)} = 1,41$ Н/мм; для гумового з кордом і шпагатом – $C_{(1)} = 2,38$ Н/мм.

Висновки. На основі виконаних експериментів можна стверджувати, що зворушувач валків ротаційної косарки доцільно обладнувати гнучкими елементами,

що складаються з пружної металевої пластини у поєднанні з гумовим пасом зі шпагатом, охоплених ззовні кордом, які характеризуються найбільшою жорсткістю серед досліджуваних взірців. Кріпити їх доцільно над ножами різального апарата в декілька рядів на певній відстані один від одного за висотою зворушувача, щоб сформувавши гнучку гребінку, якою захоплюватимуться зрізані стебла й одразу укладатимуться у валок у розпушеному вигляді.

Бібліографічний список

1. Технології вирощування бобових та злакових трав на насіння / уклад.: В. Д. Бугайов та ін. ; за ред. В. Ф. Петриченко ; УААН, Ін-т кормів. Вінниця, 2005. 52 с.
2. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник : у 2 т. Київ : Агроосвіта, 2012. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. ; за ред. А. В. Рудя. 584 с.
3. Матюх В. В., Затхей Б. І. Особливості дослідження процесу плющення бобових трав. *Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2007. № 11. С. 130-133.
4. Семен Я. В., Пальчикевич І. М., Тисовський Т. І. Пристрій для розпушування валка до ротаційної косарки. *Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2016 : XII Mizařarodni vědecko-praktická conference. Díl 11 : Zemědělství. Geografie a geologie. Matematika. Praha : Publishing House «Education and Science», 2016. S. 9-12.*
5. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів : навч. посіб. Київ : Знання, 2009. 380 с.
6. Розрахунки на міцність та жорсткість при згинанні. URL : [http://web.kpi.kharkov.ua/sopromat/wp-content/ .../Izgif.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/sopromat/wp-content/.../Izgif.pdf).

Семен Я. Експериментальні дослідження жорсткості гнучкого елемента зворушувача ротаційної косарки

Розглянуто проблему підвищення ефективності скошування трав ротаційною косаркою з одночасним укладанням їх у валок у розпушеному вигляді. Проаналізовано існуючі методи визначення жорсткості гнучких стрижнів. Проведено експериментальні дослідження з визначення жорсткості гнучких елементів попередньо розробленої конструкції зворушувача валка до ротаційної косарки. Встановлено основні закономірності переміщення вільного кінця досліджуваних гнучких елементів зворушувача валка від прикладеного навантаження.

Ключові слова: зворушувач валка, гнучкий елемент, ротор, косарка, трава, жорсткість.

Semen Ya. Experimental research of inflexibility of flexible element of scarifier of rotary mower

The problem of increase of efficiency of mowing of herbares is considered by a rotary mower with a simultaneous conclusion them in a roller in a loosening kind. The existent methods of determination of inflexibility of flexible bars are analysed. Experimental studies are undertaken from determination of inflexibility of flexible elements of the preliminary worked out construction of scarifier of roller to the rotary

mower. The basic regularities of moving the free end of the studied flexible elements of the roller upright from the applied load are established.

Key words: scarifier of roller, flexible element, rotor, mower, grass, inflexibility.

Семен Я. Экспериментальные исследования жесткости гибкого элемента ворошителя ротационной косилки

Рассматривается проблема повышения эффективности скашивания трав ротационной косилкой с одновременной укладкой их в валок в рыхлом состоянии. Проанализированы существующие методы определения жесткости гибких стержней. Проведены экспериментальные исследования по определению жесткости гибких элементов предварительно разработанной конструкции ворошителя валка ротационной косилки. Установлены основные закономерности перемещения свободного конца исследуемых гибких элементов ворошителя от прилагаемой нагрузки.

Ключевые слова: ворошитель валка, гибкий элемент, ротор, косилка, трава, жесткость.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НОЖА ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ СТРИЖНЯ З ГОЛОВОК КАПУСТИ

*О. Швець, к.т.н., І. Власюк, інженер, Д. Федорина, інженер
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. У технологічному процесі переробки капусти одне з важливих місць посідають операції підготовки головок до подрібнення. Суть підготовки полягає в очищенні головок від сухих, брудних та уражених гниллю вільних листків, видаленні неякісних листків головки та вирізання її стрижня. Залежно від типу виробництва (дрібне чи промислове) цей процес може здійснюватися вручну робітниками на очисних столах, а також механізовано за допомогою очисних машин (очисників) та очисних ліній [2].

На сьогодні відомо багато різних конструкцій машин і пристроїв для видалення зовнішніх листків та стрижнів з головок капусти. Однак ми не знайшли чіткої методики визначення необхідних параметрів робочого органа таких машин, зокрема ножа для видалення стрижня. На нашу думку, геометричні параметри ножа будуть залежати від параметрів стрижня, які для різних сортів капусти можуть бути різними. Тому обґрунтування параметрів ножа машини для видалення стрижнів з головок капусти є важливим питанням підвищення ефективності операцій її підготовки до переробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. До параметрів, які впливають на вибір технології, машин, а також робочих органів, що використовуються в процесі післязбиральної переробки білоголової капусти, належать розмірно-вагові характеристики, опір і зусилля різання, а також значення коефіцієнти тертя по різних матеріалах [1].

Розміри головки капусти білоголової вимірюються в горизонтальній (діаметр D) і вертикальній (висота H) площинах. Діаметр качана в кінці періоду дозрівання ранніх сортів становить 11,8...15,5 см; середніх сортів – 16,0...19,9 см; пізніх – 16,0...22,4 см. Висота качанів відповідно коливається в межах 9,2...14,6 см для ранніх, 12,0...17,3 см для середньостиглих і 14,0...19,7 см для пізніх сортів капусти.

Сортові відмінності головок капусти, які можуть впливати на вибір машин післязбиральної обробки качана, характеризуються не тільки вищенаведеними показниками, а й розмірами стрижнів.

Згідно з [3] розміри зовнішнього стрижня капусти розділені умовно на три частини (рис. 1): прикореневу зону (задеревеніла частина стрижня), вільний стрижень (зелена частина стрижня без листя) і стрижень, покритий листям.

Пізні сорти мають найдовший зовнішній стрижень, у середньому 21,1 см, середньостиглі сорти – найкоротший зовнішній стрижень, у середньому 14,6 см, у ранніх сортів середня висота зовнішнього стрижня становить 16,1 см.

У ранніх сортів середній діаметр стрижня в зоні його зрізання становить 3,92 см. Для середньостиглих сортів цей показник становить 5,17 см. У пізніх сортів стрижень найтовстіший. Його середній діаметр у листовій частині становить 5,32 см.

Однак у літературі ми не знайшли характеристик частини стрижня, яка знаходиться всередині головки і вкрита листям.

Виклад основного матеріалу. Дослідження розмірних характеристик стрижнів головок капусти проводили з трьома сортами капусти: Колобок, Суддя,

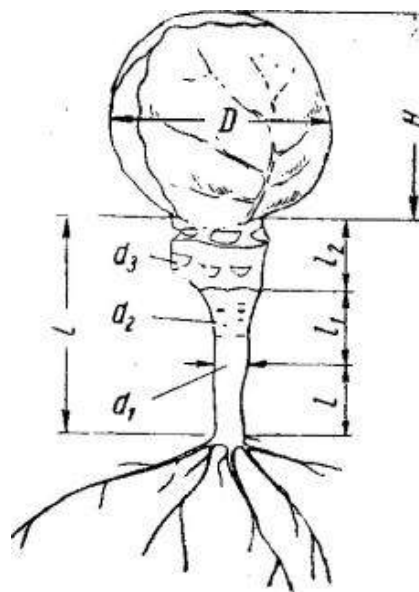


Рис. 1. Схема замірів капусти.

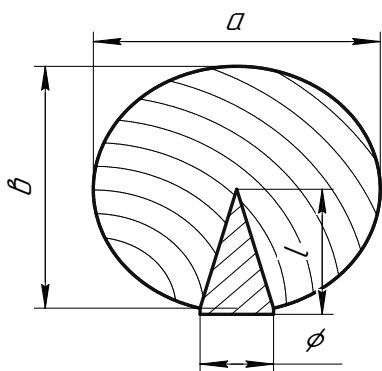


Рис. 2. Схема вимірювання геометричних параметрів головки капусти.

Фараон. Вимірювання геометричних розмірів капусти проводили на розрізі капусти в найбільшому діаметрі у двох площинах – горизонтальній та вертикальній. Визначали основні розміри качана капусти, а також розміри стрижня серцевини. Для більшої точності вимірювань капусту розрізали в найбільшому діаметрі. Визначали геометричні параметри головки за висотою (b) та шириною (a), а також довжину стрижня (l) та його діаметр при основі (d) (рис. 2).

За отриманими результатами вимірювання визначали середнє значення досліджуваних параметрів, а також виконували їх математичну обробку. Визначені довжина та діаметр стрижня головки капусти визначатимуть основні параметри ножа (рис. 3).

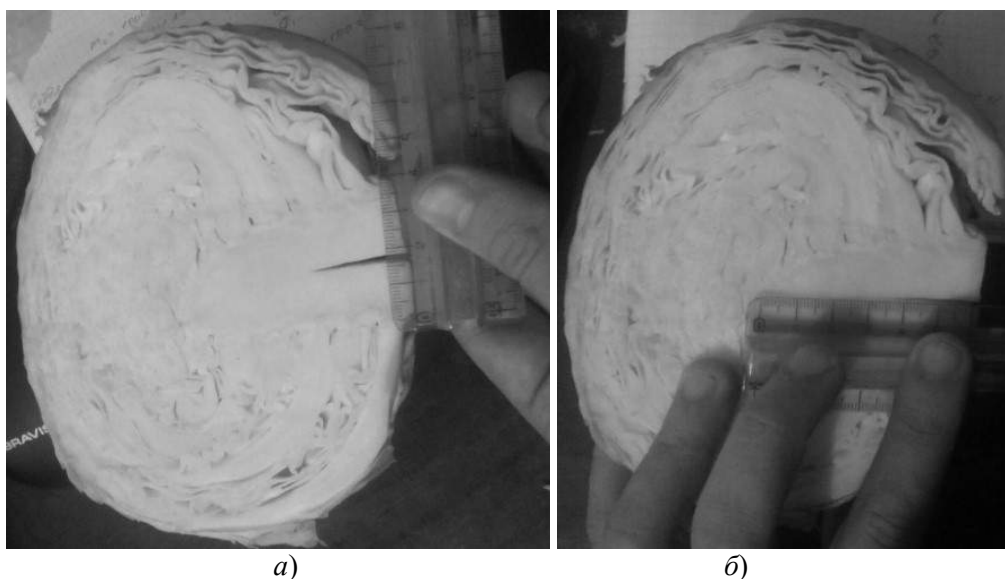


Рис. 3. Вимірювання геометричних параметрів стрижня:
а) діаметр основи стрижня d ; б) довжина стрижня головки капусти l_c .

За результатами замірів побудовано криві розподілу розмірних характеристик стрижнів головок капусти (рис. 4 і 5).

Аналізуючи криві (див. рис. 4), бачимо діапазон коливань діаметра стрижня головок капусти сорту Колобок від 32 до 38,1 мм, середній діаметр стрижня становить 35,8 мм, а відсотковий вміст – 24%.

Для сорту Суддя діапазон коливань становить від 35,2 до 38,5 мм, середній діаметр стрижня – 37 мм, а відсотковий вміст – 33%.

Для сорту Фараон діапазон коливань становить від 32 до 39 мм, середній діаметр стрижня – 37,3 мм, а відсотковий вміст – 20%.

Аналізуючи графік (див. рис. 5), бачимо, що досліджуваний показник коливається в проміжку від 67 до 72,5 мм, середнє значення довжини стрижня становить 69,2 мм, відсотковий вміст – 45%.

Для сорту Суддя показник коливається в проміжку від 62 до 72,5 мм, середнє значення довжини стрижня 67,9 мм, а відсотковий вміст становить 22%.

Для сорту Фараон показник коливається від 65 до 73 мм, середнє значення довжини стрижня головки капусти 67,8 мм, відсотковий вміст становить 16 %.

Результати дослідження геометричних параметрів стрижня головки капусти (довжина і діаметр) свідчать, що він має форму, наближену до конуса.

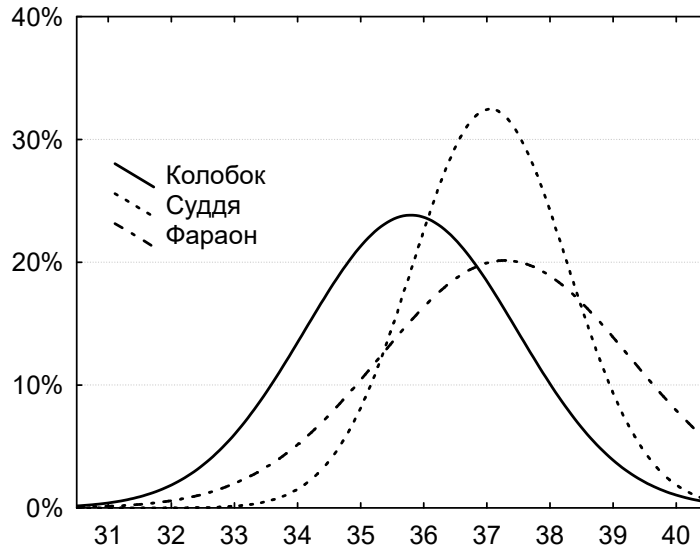


Рис. 4. Криві розподілу діаметра d стрижня головки капусти, мм

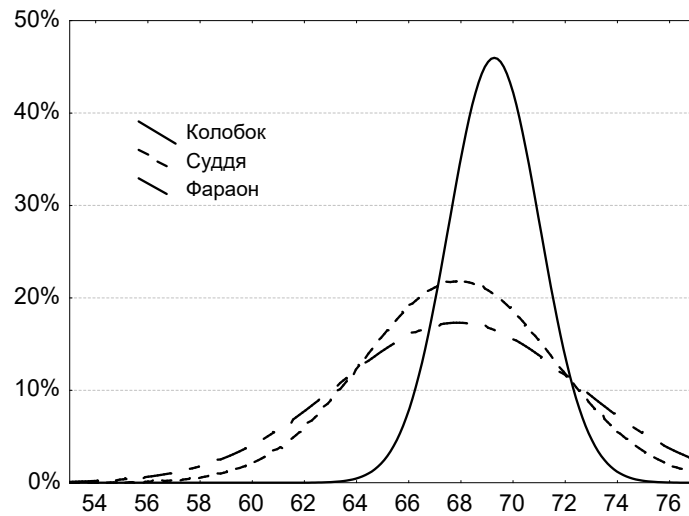


Рис. 5. Гістограма розподілу довжини l стрижня капусти.

Для досягнення максимальної повноти видалення стрижня з головки капусти робочий орган установки (ніж) має повторювати контур стрижня. У такому разі має виконуватись умова

$$P_c = P_n = P_{рн}, \text{ мм}^2, \quad (1)$$

де P_c , P_n , $P_{рн}$ – відповідно площа повздовжнього перерізу стрижня головки капусти, ножа і контуру, описуваного ножем.

Цього можна досягти двома способами:

- 1 – геометрична форма ножа повторює контур стрижня;
- 2 – траєкторія руху ножа повторює контур стрижня.

Для виконання умови (1) можна використовувати сегментний ніж, форма проєкції якого відповідає прямокутному трикутнику (ABC), більший з катетів якого рівний довжині ножа $CB=l_n$, а менший – половині діаметра основи стрижня ($AC=0,5d$), причому він має здійснювати обертовий рух навколо довшого з катетів і переміщуватись уздовж нього.

Для зменшення опору різанню під час видалення стрижня з головки білоголової капусти ми пропонуємо сегментний ніж криволінійної форми, який здійснює обертовий рух. Він являє собою $\frac{1}{4}$ частину циліндра діаметром d та висотою h , зрізану по гвинтовій лінії (рис. 6).

Різальна кромка ножа утворюється по гвинтовій лінії обрізу частини циліндра. Лінія контуру різальної кромки ножа (леза) утворюється переміщенням довільної точки вздовж твірної циліндра з одночасним її обертанням навколо його осі. Оскільки довільна точка здійснює одночасно сталий поступальний і обертовий рух, то вона буде рухатись відносно горизонтальної площини під кутом α , який визначається так:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d}, \quad (2)$$

де P – крок гвинтової лінії, мм;
 d – діаметр основи циліндра, мм.

Оскільки для виготовлення ножа використовується $\frac{1}{4}$ стінки циліндра, то довжина ножа становить

$$l = \frac{1}{4} \cdot P, \text{ мм або } P = 4 \cdot l \text{ мм.} \quad (3)$$

Тоді, враховуючи (2) і (3), кут підйому гвинтової лінії леза становитиме

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{4 \cdot l}{\pi \cdot d} \right), \text{ град.} \quad (4)$$

Для визначення довжини різальної кромки ножа (леза) використовуємо метод побудови розгортки циліндричної гвинтової лінії за заданим діаметром d , кроком P та напрямом обертання (рис. 7).

Основу циліндра ділимо на довільну кількість рівних частин. Точки поділу нумеруємо за напрямом гвинтової твірної. Потім на контурній твірній циліндра

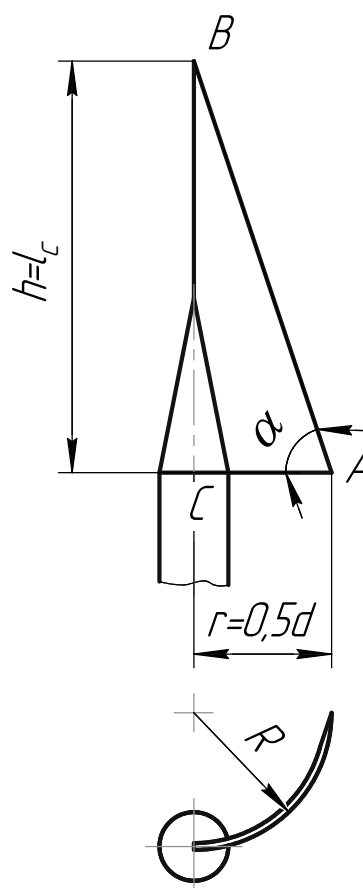


Рис. 6. Геометричні параметри ножа.

відкладаємо заданий крок, який ділимо горизонтальними прямими на таку ж саму кількість рівних частин. Їх нумеруємо знизу вгору. Через точки поділу основи проводимо вертикальні лінії зв'язку до перетину з відповідними горизонтальними прямими, проведеними через точки поділу кроку, і отримуємо точки, які належать фронтальній проекції гвинтової лінії. З'єднавши їх, отримуємо контур різальної кромки.

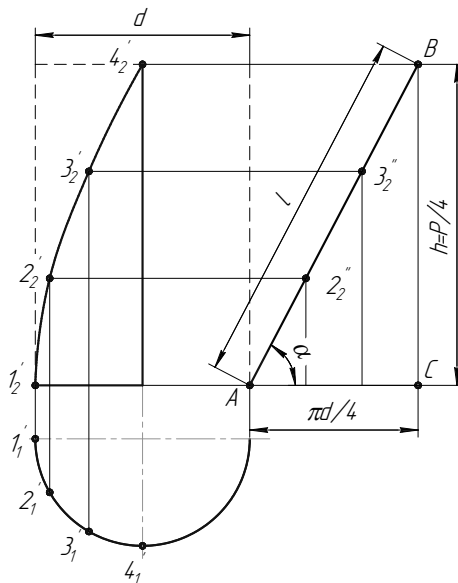


Рис. 7. Схема визначення довжини леза.

Розгортка частини циліндричної поверхні, обмеженої гвинтовою лінією на довжині $\frac{1}{4}$ витка, являє собою трикутник ABC ($\triangle ABC$), гіпотенуза якого AB – розгортка гвинтової лінії (леза), катер AC – розгортка основи $\pi d/4$, менший катет BC – частина кроку гвинтової лінії, рівна $h = 1/4 P$.

Тоді з $\triangle ABC$ довжина леза ножа буде визначатись за формулою

$$l = AB = \sqrt{AC^2 + BC^2}, \text{ мм}, \quad (5)$$

або

$$l = AB = \frac{DC}{\cos \alpha} = \frac{h}{\cos \alpha}, \text{ мм}, \quad (6)$$

чи

$$l = AB = \frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{\frac{\pi \cdot d}{4}}{\sin \alpha}, \text{ мм}. \quad (7)$$

За формулами (5 – 7) можна визначити довжину різальної кромки (леза) сегментного ножа спіральної форми з різними співвідношеннями параметрів R і h , або кута α .

Висновки. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що стрижень головок капусти має форму конуса з основою діаметром 35–39 мм та довжиною 66–70 мм. Для його видалення найкраще підходить сегментний ніж криволінійної форми, який здійснює обертовий рух, причому в процесі вирізання вісь його обертання має збігатися з віссю стрижня. Така форма ножа дає змогу зменшити зусилля різання. Для запропонованого ножа запропоновано методику визначення його основних параметрів, а саме довжини h , довжини різальної кромки l , кута підйому лінії леза α .

Бібліографічний список

1. Анохіна В. І., Сердюк Т. Л. Довідник по переробці овочів. Київ : Урожай, 1987. 126 с.
2. Дацишин О. В., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю., Рогач Ю. П. Механізація переробки і зберігання плодовоовочевої продукції : навч. посіб. / за ред. О. В. Дацишина. Київ : Мета, 2003. 288 с.
3. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений / М. Ф. Бурмистрова и др. Москва : ГИСЛ, 1956. 346 с.

Швец О., Власюк І., Федорина Д. Обґрунтування параметрів ножа для видалення стрижня з головок капусти

На основі досліджень геометричних параметрів стрижнів головок капусти різних сортів обґрунтовано форму ножа для їх видалення. Встановлено умову максимальної якості видалення стрижня. Запропоновано методику визначення геометричних параметрів ножа.

Ключові слова: головка капусти, розміри стрижня, ніж для видалення стрижня, геометричні параметри та форма ножа.

Shvets O., Vlasiuk I., Fedoryna D. Grounding of the knife parameters for removal of the cabbage head stump

On the basis of the geometric parameters study of the cabbage heads stump of different varieties the shape of a knife (corer) for the stump removal was grounded. The condition for maximum quality of the stump removal was set. The method of determining of the knife geometric parameters was proposed.

Key words: cabbage head, size of a cabbage head stump, knife for stump removal, geometrical parameters and shape of a knife.

Швец А., Власюк И., Федорина Д. Обоснование параметров ножа для удаления кочерыжки из кочанов капусты

На основании исследований геометрических параметров кочерыжек кочанов капусты разных сортов обоснована форма ножа для их удаления. Установлено условие максимального качества удаления кочерыжки. Предложена методика определения геометрических параметров ножа.

Ключевые слова: кочан капусты, размеры кочерыжки, нож для удаления кочерыжки, геометрические параметры и форма ножа.

МАШИНА ДЛЯ САДІННЯ ЗУБКІВ ЧАСНИКУ

*Д. Кузенко, к. т. н., О. Семен, аспірант
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Садіння часнику – один із дуже трудомістких і найвідповідальніших етапів у технології його вирощування, під час механізованого проведення якого й надалі залишається невирішеною основна проблема – безпосереднє укладання зубка в ґрунті денцем униз, а ростком вгору. Використовувані при цьому машини можуть задовільно укладати зубки часнику на бік в утворену борозенку, що частково вирішує вказану проблему [1].

Зважаючи на підвищену увагу і зростання виробництва часнику в нашій країні та у світі, питання якості механізованого його садіння набирає актуальності. Але якщо вдалося створити робочі органи саджалок, які знижують імовірність пошкодження зубків під час їх захоплення, зменшують огріхи через непотрапляння зубків у ложечки садильного апарата, зберігають задану відстань між насінинами у рядку, то процес безпосереднього укладання зубків у ґрунт і надалі залишається некерованим [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблеми напівмеханізованого садіння часнику зі строгою орієнтацією зубків денцем униз присвячена наукова публікація [3]. Автори пропонують нову напівмеханізовану технологію садіння та машину для її реалізації, що базується на використанні органо-мінеральної суміші, розміщеної в бункері саджалки, з якого вона дозовано, за допомогою шнеків, подається через окремі тукопроводи до скерувачів потоків сошника одночасно з потраплянням туди зубка часнику. Але через відсутність одночасного примусово-скерованого потоку органо-мінеральної суміші зубки під час безпосереднього укладання у борозенку огортаються нерівномірно, що порушує їх правильне розташування в ґрунті, тобто денцем униз.

Усунутий вказаний недолік у саджалці часнику [4]. Автори запропонували на задній частині бункера додатково змонтувати вентилятор з двома пневмопроводами, кожен з яких з'єднаний з одним із тукопроводів подачі органо-мінеральної суміші. Вентилятор створює підвищену рівномірність і безперервність подачі органо-мінеральної суміші в зону укладання зубка, огортаючи його одночасно з усіх сторін. При цьому для подачі зубків часнику запропоновано пристрій, що забезпечує їх захоплення, внутрішньомашинне транспортування і укладання в ґрунт в орієнтованому положенні денцем униз [5].

На основі проведеного аналізу публікацій можна зробити висновок, що питанням створення робочих органів машин для механізованого садіння часнику приділяється певна увага. Але якість і ефективність їх роботи повинна бути підтверджена практично, з використанням діючих моделей саджалок.

Постановка завдання. Мета дослідження – обґрунтування конструкції саджалки для садіння зубків часнику, орієнтованих денцем униз, а ростком угору.

Виклад основного матеріалу. Запропонована машина має бункер 1 (див. рис.) для зберігання зубків часнику. Його особливістю є те, що він скеровує зубки до барабана 2 перпендикулярно до напрямку його обертання.

Зубки при цьому присмоктуються до отворів барабана паралельно один до одного, але хаотично за орієнтуванням. Для цього нижня частина (днище) бункера 1 здійснює коливні рухи, що зумовлюють однонасінний рух зубків, причому профіль дна бункера дещо звужений, щоб орієнтувати зубок у момент його присмоктування до отворів у поверхні барабана, що обертається.

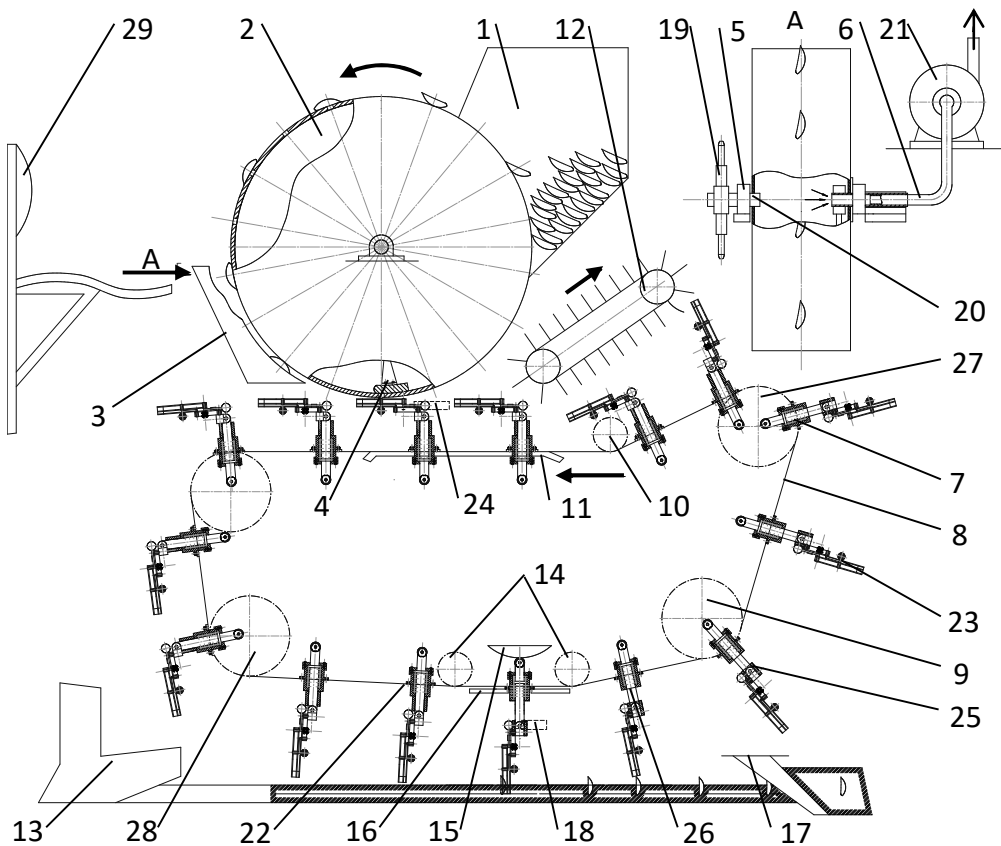


Рис. Конструктивно-технологічна схема саджалки зубків часнику.

Сам барабан 2 – це циліндр, обмежений з двох сторін плитами. На поверхні барабана зроблені отвори через кожні 40 градусів. Він обертається на підшипникових опорах 5, а його привід здійснюється через зірочку 19 і цапфу 20. З іншої сторони підшипник кріпиться на пустотілій осі, всередині барабана на якій кріпиться відсікач вакууму 4, який перекриває отвір у момент, коли присмоктуваний до неї зубок знаходиться над розкритою вилкою, а ззовні до неї приєднано

вакуумпровід 6 вентилятора 21. У нижній частині барабана 2 змонтовано кожух 3 для запобігання випаданню зубків.

Садильний апарат машини ланцюгово-плунжерного типу. Він складається з двох паралельних віток ланцюгів 8, з'єднаних між собою поперечними планками 22, на яких жорстко закріплені плунжери 7 з вилками 23. Для приводу й переміщення садильного апарата застосовують зірочки 9.

У верхній частині плунжери 7 садильного апарата опираються на напрямні 11, забезпечуючи оптимальний зазор між зігнутою вилкою 23 і барабаном 2. Вилка має два пальці, які утримуються у положенні «розкрито» перед захопленням зубка і закриваються в момент його захоплення (одночасно зі спрацюванням відсікача вакууму) завдяки кронштейнам 24, на які набігають кульки паралелограмного механізму вилки. Пальці вилки виготовляють алюмінієвими. Для підвищення надійності захоплення і фіксування між ними зубка часнику на їх внутрішніх поверхнях закріплені прогумований еластичний матеріал з високим коефіцієнтом зовнішнього тертя [6].

На плунжері 7 встановлена втулка 25, що має здатність вільно переміщуватися вздовж штока 26 плунжера, забезпечуючи фіксацію вилки у вертикальному (у момент безпосереднього садіння зубка часнику в ґрунт) або горизонтальному (у момент захоплення зубка пальцями вилки) положеннях. Коли транспортер 8 з плунжером огинає зірочку 27, втулка 25 починає вільно переміщуватися на штоці 26 униз, звільняючи вилку 23, а під час огинання зірочки 28 – втулка 25, переміщуючись униз, фіксує вилку 23 у вертикальному положенні.

Транспортер 12, змонтований під бункером 1, має робочі органи у вигляді еластичних щіток і виконує роль очисника пальців вилок 23 від ґрунту та примусово нахиляє вилку на плунжері одразу після того, як рухома втулка 25 перемістилася вздовж штока 26 вниз. При цьому вилка займає горизонтальне положення і рухається пальцями вперед до моменту їх розкриття і захоплення зубка часнику, який відділяється від барабана 2 через дію відсікача вакууму 4.

Сошник 13 саджалки має бокові крила, а в передній частині загострений носок, який утворює клиноподібну борозенку з ущільненим дном на глибину 7–9 см. Для утримання зубка у вертикальному положенні сошник 13 повинен сформувати борозенку, профіль якої має бути не тільки максимально пристосованим до укладання в неї зубків денцем униз, а й утримувати зубок у такому положенні після звільнення його від пальців вилки та остаточного загортання загортачами 17.

У нижній частині садильного апарата змонтовані зірочки 14, упор 16 та напрямна 15. Під час технологічного процесу ланцюги 8 переміщуються між зірочками 14 і упором 16, утримуючи плунжер 7 у вертикальному положенні в момент, коли його підпружинений шток 26, взаємодіючи через ролик з напрямною 15, переміщується вниз і заглиблює вилку 23 із зубком часнику у клиноподібну борозенку, утворену сошником 13. Пальці вилки розходяться в момент, коли кульки її паралелограмного механізму взаємодіють із кронштейном 18 і звільняють зубок. У попереднє положення вони повертаються під дією пружини.

Працює саджалка таким чином. Обертаючись проти годинникової стрілки, барабан 2 захоплює зубки часнику завдяки вакууму, що створюється вентилятором 21. Працівник, що перебуває на робочому місці 29, слідкує за правильною орієнтацією зубків, розміщених на барабані, і за необхідності повертає їх на кожному з отворів в одному напрямку – ростком униз. Одночасно транспортер 8 з плунжерами 7 переміщується за ходом руху саджалки, підводячи розкриті вилки 23 до нижньої частини барабана, де зубки звільняються відсікачем вакууму 4 й одразу захоплюються пальцями вилки, які утримують їх до моменту набігання ролика поршня 26 плунжера 7 на напрямну 15. Унаслідок їх взаємодії поршень з вилкою миттєво переміщується вниз, застромляючи зубок у борозенку, утворену сошником 13, а після набігання роликів паралелограмного механізму вилки на упор 18 її пальці розходяться і звільняють зубок, який загортається загортачем 17.

Висновки. Запропонована конструкція машини для напівмеханізованого садіння часнику дозволяє вирішити одну з основних проблем, а саме – строге орієнтування зубків денцем униз, а ростком вгору під час їх безпосереднього укладання в ґрунт на задану глибину. Наступним етапом досліджень має бути виготовлення експериментальної установки та перевірка її працездатності під час садіння зубків різних сорто-розмірних груп.

Бібліографічний список

1. Семен О. Я. Аналіз конструкцій машин для садіння часнику. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій* : матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів : Ліга-Прес, 2016. С. 254-261.
2. Сажалка, сеялка автоматическая для чеснока. URL : http://prom.ua/p36318852-sazhalka-seyalka-avtomaticheskaya.html#attributes_block.
3. Кузенко Д. В., Семен О. Я. Машина для садіння часнику. *Materials of the XII International scientific and practical conference Conduct of modern science – 2016*. Vol. 17: Agriculture. Construction and architecture. Sheffield : Science and education LTD, 2016. P. 24-28.
4. Саджалка часнику : пат. 117567 Україна, МПК А01С 5/08. № и 201701310 ; заявл. 13.02.2017 ; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.
5. Пристрій для орієнтованої подачі зубків часнику : пат. 117501 Україна, МПК А01С 7/20. № и 201700876 ; заявл. 31.01.2017 ; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.
6. Семен О. Я. Визначення коефіцієнта та кута зовнішнього тертя зубків часнику. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 162-167.

Кузенко Д., Семен О. Машина для садіння зубків часнику

Розглянуто проблему механізованого садіння зубків часнику з примусовим їх розміщенням у ґрунті денцем униз, а ростком угору. Проаналізовано існуючі машини й окремі робочі органи, призначені для орієнтованого садіння зубків часнику. Запропоновано конструкцію машини для напівмеханізованого садіння зубків часнику з ланцюгово-плунжерним садильним апаратом й наведено її конструктивно-технологічну схему. Висвітлено конструктивні особливості і принцип роботи окремих вузлів та робочих органів розробленої саджалки. Описано

технологічний процес садіння часнику з укладанням його в клиноподібну борозенку денцем вниз, а ростком угору. Наведено основні напрями подальших досліджень.

Ключові слова: зубок часнику, саджалка, садильний апарат, плунжер, вилка, барабан, вентилятор.

Kuzenko D., Semen O. The machine for planting garlic teeth

The problem of mechanized gardening of garlic teeth with forced placement in the soil with a bottom down, and a germ upwards is considered. The existing machines and separate working bodies intended for the orientation of the garlic planting orientation are analyzed. The construction of a machine for semi-mechanized planting of garlic teeth with a chain-plunger saddle machine is proposed and its structural and technological scheme is presented. The constructive features and the principle of work of separate units and working bodies of the developed seedlings are highlighted. The technological process of garlic sawing is described with its laying in a wedge-shaped groove with a bottom down, and a germ up. The main directions of further research are given.

Key words: garlic sauce, seedlings, seedling unit, plunger, fork, drum, fan.

Кузенко Д., Семен О. Машина для посадки зубков чеснока

Рассматривается проблема механизированной посадки зубков чеснока с принудительным их размещением в почве доньшком вниз, а ростком вверх. Проанализированы существующие машины и отдельные рабочие органы, предназначенные для ориентированной посадки зубков чеснока. Предложена конструкция машины для полумеханизированной посадки зубков чеснока с цепно-плунжерным посадочным аппаратом и приведена ее конструктивно-технологическая схема. Освещены конструктивные особенности и принцип работы отдельных узлов и рабочих органов разработанной посадочной машины. Описан технологический процесс посадки чеснока с укладкой его в клиновидную бороздку доньшком вниз, а ростком вверх. Приведены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: зубок чеснока, сажалка, посадочный аппарат, плунжер, вилка, барабан, вентилятор.

УДК 621.313:63(075.8)

**СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ
ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ**

*Д. Гречин, к. т. н., І. Дробот, В. Сокач.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Існуюча система електроприводу механізму завантаження подрібнювача кормів побудована на принципі ввімкнення-вимкнення механізму завантаження залежно від рівня навантаження основного двигуна і має низку вагомих недоліків: прямий пуск АД з короткозамкненим ротором; двигуни працюють у повторно-короткочасному режимі; використовуються двигуни завищеної потужності, оскільки двигуни з розрахунковими номінальними параметрами, як показала практика, виходять з ладу через часті пуски; недовантажені двигуни мають низький $\cos \varphi$ і ККД; низький коефіцієнт потужності призводить до необхідності встановлення додаткових компенсуювальних пристроїв на підстанціях.

З погляду сучасного стану в електроприводі ця система потребує реконструкції з підвищенням її економічності та підвищення продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для регулювання продуктивності механізму завантаження подрібнювача кормів доцільно використовувати регулювання швидкості обертання двигуна завантажувального транспортера.

Доцільність та актуальність модернізації вказаного електроприводу пов'язана з енергозбереженням в електроприводі та раціональним використанням існуючого обладнання [1]. Для аналізу роботи обладнання проводять експерименти. За допомогою моделювання можна швидко отримати результати за мінімальних матеріальних та часових витрат [2]. Тому для дослідження роботи модернізованого електроприводу доцільно побудувати структурно-математичну модель автоматизованого електроприводу механізму завантаження подрібнювача кормів та її дослідити.

Постановка завдання. Основне завдання дослідження – оцінити можливість роботи системи електроприводу подрібнювача з номінальним навантаженням, тобто максимальною продуктивністю, за рахунок автоматизованого електроприводу механізму завантаження, побудованого на основі перетворювача частоти. Для цього необхідно побудувати структурно-математичну модель автоматизованого електроприводу та провести моделювання.

Виклад основного матеріалу. Для сучасних досліджень далеко не завжди є потреба у проведенні повноцінних експериментів, часто достатньо виконати лише моделювання. При цьому нема потреби у написанні складних програм, можна використовувати спеціальні математичні пакети. Для проведення дослідження скористаємось програмою MATLAB/Simulink.

На рис. 1 зображено функціональну схему модернізованого електроприводу подачі механізму завантаження подрібнювача кормів. Двигун M1 приводить у рух механізм подрібнення, двигун M2 – механізм завантаження подрібнювача кормів, який живиться від перетворювача частоти. Оскільки структура сировини неоднорідна, то за допомогою від'ємного зворотного зв'язку за струмом від двигуна M1 здійснюється контроль рівня його завантаження, у разі його зміни автоматично змінюється вихідна частота перетворювача частоти і відповідно швидкість обертання двигуна подачі.

З використанням матеріалів [2 – 5] побудовано структурно-математичну модель системи автоматизованого електроприводу механізму завантаження подрібнювача кормів. Цілісну модель показано на рис. 2. Схема складається з таких елементів: блока сигналу завдання (Constant); суматора; I – регулятора з обмеженням вихідного сигналу; перетворювача частоти (аперіодична ланка першого порядку); моделі асинхронного двигуна механізму завантаження AD2; елементів, що імітують навантаження даного двигуна (Product, Gain1); моделі асинхронного двигуна механізму подрібнення AD1; сигналу зворотного зв'язку, пропорційного споживаній ним потужності (Product1, Gain2); сигналу, що імітує навантаження двигуна AD1 (Product, Gain), а також ступінчасту зміну його навантаження (Step, Step1); блока завдання швидкості обертання двигуна AD1 (Constant1); блоків відображення результату моделювання: числове значення сигналу зворотного зв'язку (Display), графічні значення швидкості w_2 та моменту M_2 двигуна AD2, сигналу зворотного зв'язку P_1 , швидкості w_1 та моменту M_1 двигуна AD1 (Scope).

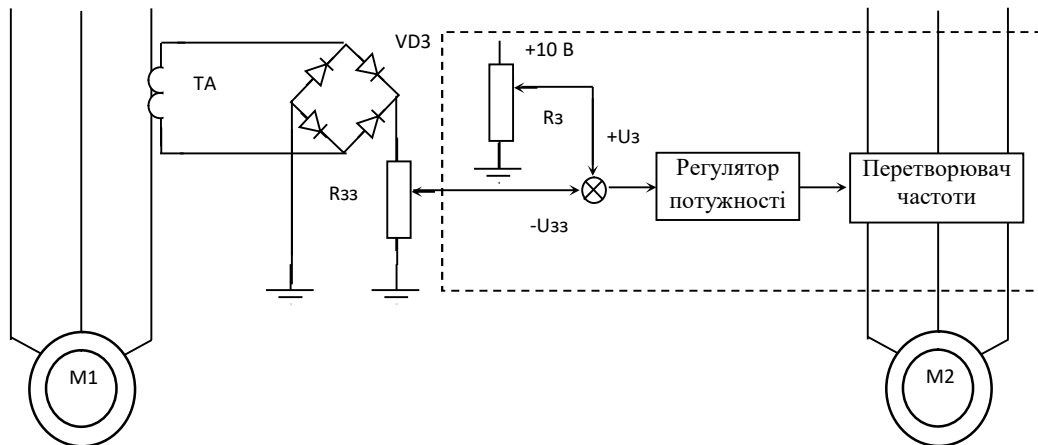


Рис. 1. Функціональна схема модернізованого механізму завантаження подрібнювача кормів.

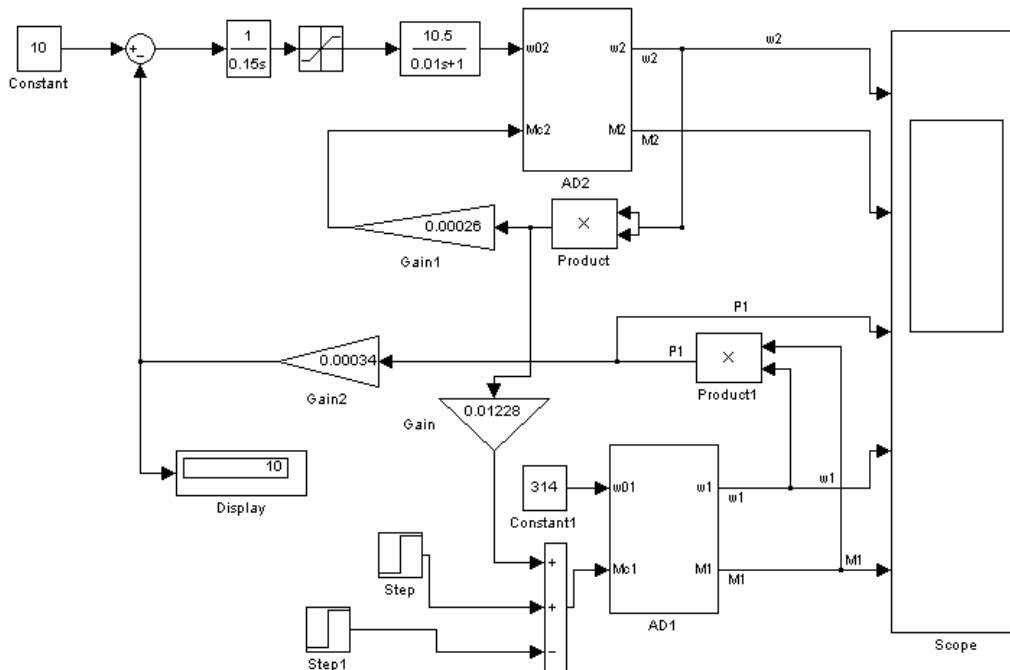


Рис. 2. Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу подачі подрібнювача.

Завантаження електроприводу дробарки AD1 залежить від швидкості обертання двигуна завантажувального транспортера AD2. За допомогою перетворювача частоти здійснюється регулювання швидкості AD2 і тим самим зменшується або збільшується навантаження подрібнювача. Коли змінюється навантаження на двигуні подрібнювача, змінюється величина сигналу зворотного зв'язку. І – регулятор формує сигнал керування, який відпрацьовує система, таким чином, що навантаження вирівнюється.

У схемі блоки Step і Step1 примусово ступінчасто змінюють навантаження головного двигуна AD1, спочатку збільшують, приблизно на 40%, у момент часу 4 с, а в 6 с зменшують на таку ж величину. З графіків перехідних процесів (рис. 3) видно, що перехідний процес закінчується приблизно за 0,4 с.

Висновки. У дослідженні запропоновано модернізовану схему автоматизованого електроприводу подрібнювача, побудовано її структурно-математичну модель, проведено моделювання її роботи. Так, при стрибкоподібній зміні навантаження як у бік збільшення, так і в бік зменшення, автоматизований електропривод швидко відпрацьовує збурення, внаслідок зміни швидкості двигуна подачі, і стабілізує рівень навантаження.

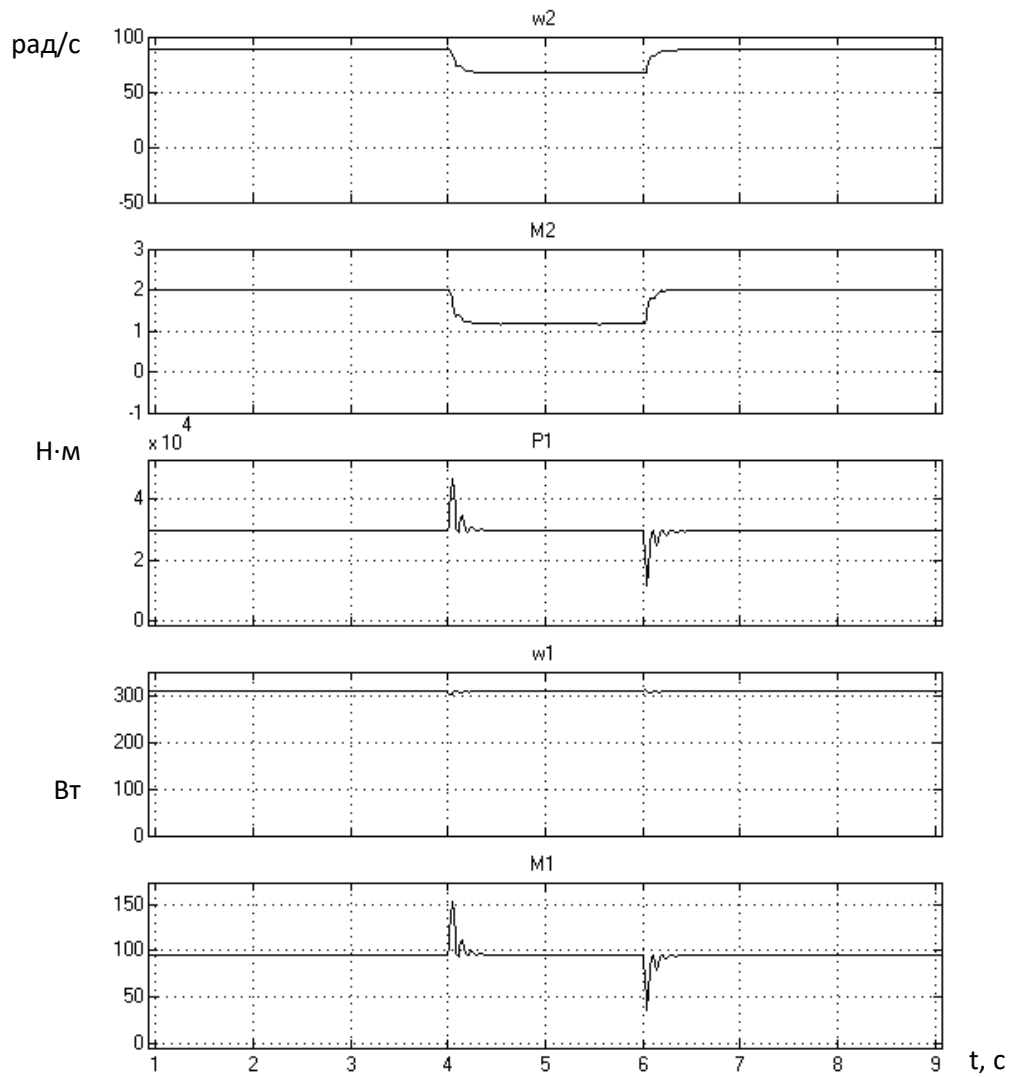


Рис. 3. Графіки перехідних процесів: швидкість та момент AD2, потужність, швидкість та момент AD1.

Отже, запропонована модернізація дає змогу підтримувати рівень потужності навантаження головного двигуна на заданому рівні. Зміна рівня навантаження швидко компенсується регулюванням продуктивності механізму завантаження, а тому подрібнювач можна завантажувати до номінальної потужності.

Бібліографічний список

1. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода : навч. посіб. – Київ : Кондор, 2005. 839 с.

2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – Москва : ДМК Прес ; Санкт-Петербург : Питер, 2008. 288 с.
3. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов. Ленинград : Энергоиздат, 1982. 389 с.
4. Костинюк Л. Д., Мороз В. І., Паранчук Я. С. Моделювання електроприводів : навч. посіб. Львів : Львів. політехніка, 2004. –404 с.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. Москва : Энергоатомиздат, 1983. 616 с.
6. Гречин Д. П., Дробот І. М., Мельник П. В. Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу лісопильної рами / Вісник Львівськ. нац. аграрн. ун-ту : агроінженерні дослідження. 2016. № 20.

Гречин Д., Дробот І., Сокач В. Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу механізму завантаження подрібнювача кормів

Побудовано структурно-математичну модель модернізованої системи електроприводу механізму завантаження подрібнювача кормів, у середовищі MATLAB/Simulink, з використанням частотно-керованого асинхронного двигуна, проведено моделювання перехідних процесів при зміні навантаження та отримано графіки перехідних процесів.

Ключові слова: електропривод, математична модель, перехідні процеси.

Grechin D., Drobot I., Sokach V. Structural-mathematical model of the system of automated electric drive of the mechanism of loading of feeder shredder

The structural and mathematical model of the modernized electric drive system of the feeder loading mechanism in the MATLAB/Simulink environment using a frequency controlled asynchronous motor was constructed, transient processes were simulated during loading changes, and graphs of transients were obtained.

Key words: electric drive, mathematical model, transients.

Гречин Д., Дробот І., Сокач В. Структурно-математическая модель системы автоматизированного электропривода механизма загрузки измельчителя кормов

Построена структурно-математическая модель модернизированной системы электропривода механизма загрузки измельчителя кормов в среде MATLAB/Simulink, с использованием частотно-управляемого асинхронного двигателя, проведено моделирование переходных процессов при изменении нагрузки и получены графики переходных процессов.

Ключевые слова: электропривод, математическая модель, переходные процессы.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ДРОБАРОК ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ

*В. Буртак, к. т. н., Т. Кохана, к. е. н.,
Р. Гуменюк, к. т. н., Р. Шеремета, здобувач
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Процеси подрібнення застосовують у багатьох галузях, зокрема в харчовій та переробній промисловості, де гранулометричний склад подрібненого продукту і ступінь подрібнення мають важливе значення. Складність явищ, які спостерігаються під час подрібнення зерна різних культур, компонентів харчових продуктів чи комбікормів або їх сумішей, практично унеможливило створення єдиної універсальної дробарки, яка б задовольняла всі вимоги харчової та переробної промисловості в якісних і кількісних характеристиках вихідних продуктів [2]. Для отримання одних продуктів необхідні дробарки, подрібнення в яких відбувається на основі таких принципів, як удар та перетирання, інших – на основі зсуву та стиску або ламання, різання чи розколювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження зернових дробарок розглядається в низці робіт [3; 5; 6], в яких описані методики визначення їх основних геометричних, кінематичних і динамічних параметрів, а також розроблені моделі їх функціонування.

У подрібнювальній камері дробарки, у зоні руху робочих органів, виникає рухомий повітряно-продуктовий шар, кінематичні та динамічні показники якого визначають основні експлуатаційні характеристики машини. Однією з них є кратність циркуляції матеріалу – перебування матеріалу в подрібнювальній камері, що відповідає кількості повних обертів за час подрібнення його до заданого показника гранулометричного складу [7]. Зменшення кратності циркуляції – основний шлях до підвищення ефективності роботи дробарок. У дробарках цього можна досягти інтенсифікацією процесу стирання та реалізацією додатково такого принципу, як розколювання.

Розглянуто технічне рішення [4], згідно з яким було дробарки з'єднане з ротором за допомогою пружного елемента у вигляді плоскої пружини. Внаслідок деформації цього пружного елемента, зміни його кінетичної енергії, а також зазору між робочими елементами та внутрішньою стінкою корпусу стало можливим збільшити участь інших способів руйнування матеріалу, що, своєю чергою, підвищує ефективність робочого процесу подрібнення в цілому.

Постановка завдання. Метою нашого дослідження є розробка теоретичних засад і конструктивних схем дробарок із залученням інших видів руйнування в робочому процесі подрібнення.

Виклад основного матеріалу. У розвиток цієї ідеї запропоноване кріплення робочих елементів за допомогою циліндричних пружин, яке сприяє додатковому перемішуванню подрібнюваного матеріалу та його руйнуванню за рахунок сил пружності пружини і відцентрової сили молотків, які працюють в обертально-коливальному режимі (див. рис.).

Дробарка містить завантажувальний бункер 1, циліндричний корпус 2, сито 3, ротор 4 з молотками 5, які закріплені за допомогою циліндричних пружин 6 до маточини, та вивантажувальний патрубок 7. Привід та дебалансний вібратор, що знаходяться на валу ротора 4, надають коливального руху молоткам 5 (на кресленні не показані). Корпус 2 дробарки прикріплений до основи через пружну підвіску 8.

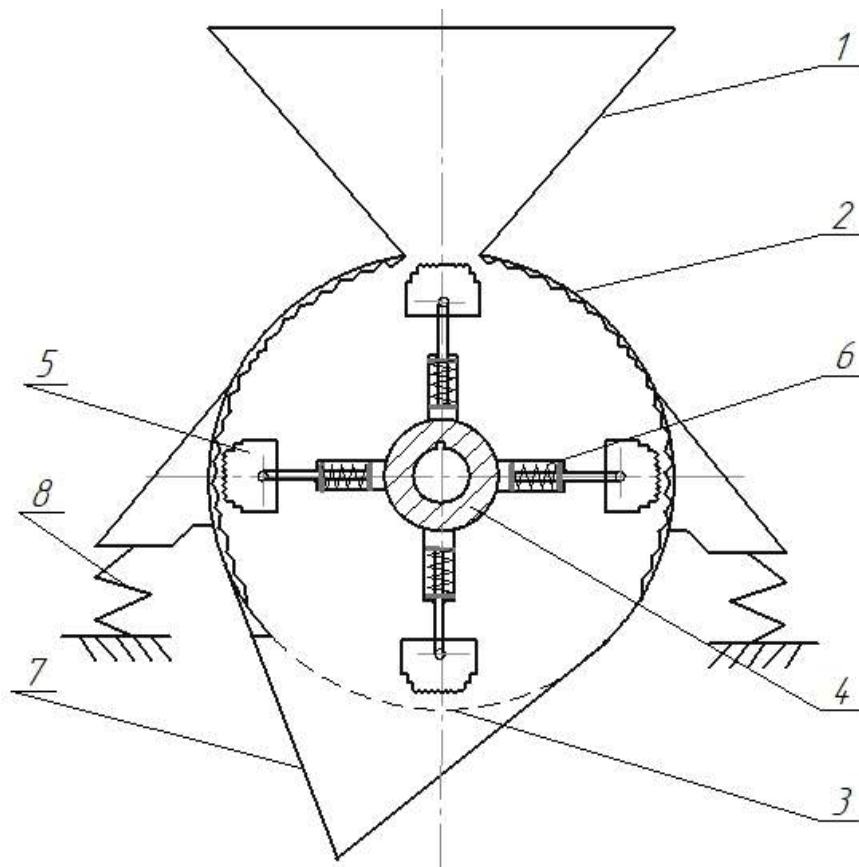


Рис. Схема дробарки.

Принцип роботи дробарки полягає в тому, що внаслідок радіального переміщення молотків, які закріплені за допомогою циліндричних пружин до маточини ротора, під дією відцентрових сил та вібрації корпусу створюється технологічний ефект, суть якого в тому, що молотки за ударного руйнування

матеріалу під час обертального руху ротора додатково подрібнюють матеріал у радіальному напрямі за допомогою стирання та розколювання [1].

Дослідженням процесу стирання встановлено, що під час проходження робочого органа в зоні процесу подрібнення зі швидкістю V_1 (швидкість повітряно-продуктового шару) на цю частинку діє тиск, що характеризується рівністю

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_1^2}{2}, \quad (1)$$

де P_1 і P_2 – відповідно тиск, який утворюється між робочими органами, і тиск у повітряно-продуктовому шарі, причому $P_2 < P_1$;

ρ – середня густина повітряно-продуктового шару;

V_1 – швидкість робочого органа.

Внаслідок такої різниці тисків частинка подрібнюваного матеріалу притискається до зубців робочого органа і відбувається процес руйнування (стирання) частинки. Використовуючи результати досліджень [1], можна визначити силу стирання:

$$F_{\text{ст}} = \frac{K_0 \times (\text{tg}\alpha + f) \times F_n}{(1 + K_0 f) \times \text{tg}\alpha + (f - K_0)}. \quad (2)$$

Під час робочого процесу стирання можливі такі випадки:

- 1) частинки, які менші від зазору між робочими органами, проковзують між поверхнями і рухаються за кільцевою траєкторією з повітряно-продуктовим шаром;
- 2) взаємодіючи з одним робочим елементом, частинка матеріалу, яка не встигла стертись до номінальних розмірів, потрапляє під дію наступного робочого органа.

Розглядаючи процес розколювання, запишемо диференціальне рівняння руху робочого органа [2]:

$$I_0 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -F_{\text{кв}} \times R \cos\beta, \quad (3)$$

де I_0 – момент інерції робочого органа відносно осі обертання;

$F_{\text{кв}}$ – сила контактної взаємодії робочого органа з подрібнюваною частинкою;

β – кут між силою $F_{\text{кв}}$ і дотичною до траєкторії руху периферійної точки робочого органа.

У цьому разі на подрібнювану частинку відповідної маси з боку рухомого робочого органа діє відповідна сила контактної взаємодії:

$$F_{\text{кв}} = K \left(\varphi \times R \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від геометричних та фізичних характеристик тіл, які взаємодіють;

φ – значення кута повороту робочого органа, що відповідає деформації частинки подрібнюваного матеріалу.

Максимально можливе значення сили, з якою робочий орган діє на частинку подрібнюваного матеріалу:

$$F = K^{\frac{2}{5}} \times \left(\frac{5 I_0 \times \omega^2}{4 \cos \beta} \right)^{\frac{3}{5}}. \quad (5)$$

Залежно від положення частинки подрібнюваного матеріалу відбудеться той чи інший вид руйнування:

$$\frac{F \cos \beta}{A_{\text{зр}}} \geq \tau_{\text{зр}} - \text{умова руйнування від стирання};$$

$$\frac{F}{A_{\text{р}}} \geq \sigma_{\text{роз}} - \text{умова руйнування від розколювання}.$$

Висновки. Отже, на основі результатів досліджень можна оптимізувати конструктивні параметри робочих органів дробарок та режими роботи дробарок для досягнення готового продукту відповідної якості та заданого ступеня подрібнення за рахунок залучення таких видів руйнування, як стирання та розколювання.

Бібліографічний список

1. Буртак В. В., Ванкевич П. І., Ніщенко І. О. Кінетика подрібнення матеріалів стиранням, зрізом і розколюванням. *Стан і перспективи розвитку переробної галузі АПК* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь : Таврійська державна агротехнічна академія, 2005. С. 106-111.
2. Демидов А. Р., Чирков С. Е. Измельчающие машины ударного действия. Москва : ЦНИИТЭИ ЛЕГПИЩЕМАШ, 1969. 70 с.
3. Іващук І. М, Буртак В. В., Коруняк П. С. Модернізація засобів подрібнення зерна ударно-протираальної дії. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві* : тези доп. XII Міжнар. наук.-техн. конф. Глеваха : ННЦ «ІМЕСГ», 2004. С. 15.
4. Коруняк П. С., Боровець В. М. Динаміка дробарки з пружним ротором. *Вісник НУ «Львівська політехніка» : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні*. 2002. № 442. С. 94-97.
5. Коруняк П. С., Буртак В. В. Аналіз шляхів покращення показників роботи засобів ударного подрібнення матеріалів. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2008. № 12, Т. 1. С. 332-335.
6. Коруняк П. С., Семкович О. Д., Лозовий І. С. Розвиток засобів ударного подрібнення матеріалу. *Вісник НУ «Львівська політехніка» : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні*. 2002. № 442. С. 61-66.
7. *Машини для подрібнення зерна та виробництва комбікормів* : навч. посіб. Ванкевич П. І. та ін. Львів, 2001. 51 с.

Буртак В., Кохана Т., Гуменюк Р., Шеремета Р. Модернізація та аналіз роботи дробарок зернових продуктів

Конструкція дробарки пропонується з кріпленням робочих елементів за допомогою циліндричних пружин, яке сприяє додатковому перемішуванню подрібнюваного матеріалу та його руйнуванню внаслідок стирання і розколювання, за рахунок сил пружності пружини і відцентрової сили молотків, які працюють в обертально-коливальному режимі.

Ключові слова: дробарка, молотки, руйнування, циліндричні пружини, стирання, розколювання.

Burtak V., Kokhana T., Gumenyuk R., Sheremeta R. Modernizaciya and analysis of work of crushers of corn products

The construction of crusher is offered with fastening of workings elements by cylinder springs, which is instrumental in additional interfusion of a crush material and his destruction by elimination and cleaving, due to forces of resiliency of spring and centrifugal force of hammers which work in to rotation-vibration mode.

Key words: crusher, hammers, destruction, cylindrical springs, abrasion, cracking.

Буртак В., Кохана Т., Гуменюк Р., Шеремета Р. Модернизация и анализ работы дробилок зерновых продуктов

Конструкция дробилки предлагается с креплением рабочих элементов с помощью цилиндрических пружин, которое способствует дополнительному перемешиванию измельчаемого материала и его разрушению путем стирания и раскалывания, за счет сил упругости пружины и центробежной силы молотков, которые работают в вращательно-колебательном режиме.

Ключевые слова: дробилка, молотки, разрушение, цилиндрические пружины, истирание, раскалывание.

КОМПЛЕКТ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕНЬ

*Р. Крутич, магістр
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Експериментальні дослідження в галузі механізованого збирання плодів доволі вагомі, проте цих досліджень недостатньо для встановлення параметрів, перевірки результатів теоретичних досліджень засобів механізованого знімання урожаю, особливо ручних віброударних струшувачів плодів. Основний обсяг досліджень відповідає машинам, які діють на штамби, а не на скелетні гілки крони дерев. Саме тому сформовано комплект обладнання для вимірювання прискорень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прискорення гілок плодкових дерев досліджувало багато вчених, зокрема Г. П. Варламов, В. О. Іванченков, Р. М. Тавасієв, О. С. Миرونюк, Г. І. Кадикало, О. В. Драний, Я. В. Семен, З. О. Гошко. Для досліджень використовували вимірювальне обладнання, до складу якого входили акселерометри АНС 014-03 та світлопроменеві осцилографи. Основним недоліком цього обладнання є утруднена реєстрація отриманих даних, оскільки осцилограми записуються на спеціальну плівку або зберігаються на екрані осцилографа, що не завжди ефективно. Тому замість осцилографів доцільніше використовувати аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), які підключають до портативного персонального комп'ютера (ППК), що полегшує процес запису і обробки даних [1–5].

Постановка завдання. Коливання плодової гілки можна представити як згасаючі коливання дисипативної системи, що характеризується розсіюванням енергії внаслідок внутрішнього тертя волокон деревини під час згину та опором повітря відхиленню гілки.

Серед методів визначення коефіцієнта згасання коливань і частоти вільних коливань дисипативних систем найпростішим є метод реєстрації коливань [6; 7], згідно з яким коефіцієнт згасання n , c^{-1} , визначають з виразу

$$n = -\frac{2\pi}{T_1} \ln \frac{a_{i+1}}{a_i}, \quad (1)$$

де a_i , a_{i+1} – послідовні значення амплітуди, мм, однаково спрямованих згасаючих коливань з періодом T_1 , с.

Частота вільних коливань ω , c^{-1} , скелетних гілок становить:

$$\omega = \sqrt{\omega_1^2 + n^2}, \quad (2)$$

де ω_1 – частота згасаючих коливань гілки, що дорівнює $\omega_1 = 2\pi / T_1$, c^{-1} .

Маса m , кг, скелетної гілки, зведена на відстань ℓ_r від її основи, тобто до місця захвату, складає:

$$m = \frac{c}{\omega^2}, \quad (3)$$

де c – зведений на вказану відстань коефіцієнт жорсткості гілки, Н/м.

Коефіцієнт в'язкого опору гілки c_v , Н·с/м, розраховують за формулою

$$c_v = 2nm. \quad (4)$$

Під час виконання дослідів з визначення T_1 , a_i і a_{i+1} потрібно записати осцилограми прискорень коливань гілки. Для цього необхідно сформувати комплект обладнання для вимірювання прискорень (див. рис.).

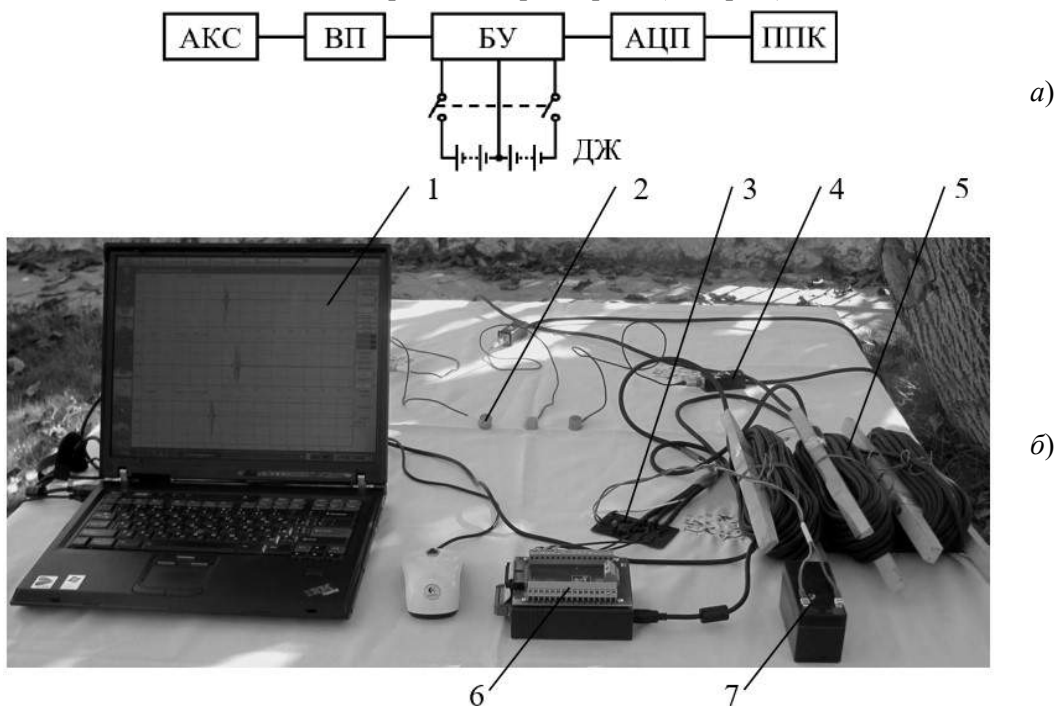


Рис. Комплект обладнання для вимірювання прискорень:

- a* – схема вмикання акселерометра (АКС – акселерометр АНС 114-02; ВП – вихідний повторювач; БУ – блок узгоджень; ДЖ – джерело живлення; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач ZET-210; ППК – портативний персональний комп'ютер);
- б* – загальний вигляд обладнання (1 – портативний персональний комп'ютер; 2 – акселерометр; 3 – блок узгоджень; 4 – вихідний повторювач; 5 – кабель; 6 – аналогово-цифровий перетворювач; 7 – блок живлення).

Виклад основного матеріалу. На гілці дерева в місці збурення коливань стрічкою кріплять акселерометр АКС (див. рис., *a*), що підключається до портативного персонального комп'ютера ППК через вихідний повторювач ВП, блок узгоджень БУ та аналогово-цифровий перетворювач АЦП.

Для проведення експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей скелетних гілок, а також параметрів процесу віброударного знімання плодів використовують акселерометри АНС 114-02 з верхньою межею вимірювань за вібраційного й ударного режимів роботи відповідно 600 й 1200 м/с². Акселерометри протаровано в лабораторії ТзОВ Науково-виробничого підприємства «Фізприлад», м. Львів, що підтверджують їх паспорти з технічними даними.

До комплекту обладнання для вимірювання прискорень (див. рис., б) входять три акселерометри 2, що дозволяє одночасно проводити заміри прискорень трьома каналами. Аналоговий сигнал через вихідний повторювач 4, з'єднувальний екранований кабель 5 надходить до модуля аналогово-цифрового перетворювача 6 марки ZET-210, де аналоговий сигнал трансформується у цифровий і передається до портативного персонального комп'ютера 1.

На комп'ютер встановлюють програмне забезпечення ZetLab, що входить до комплекту модуля ZET-210. Фіксація та обробка вхідного сигналу відбувається багатоканальним осцилографом вказаного програмного забезпечення. Дані одночасно записуються у вибрану папку названим файлом (з розширенням «.dtn») з можливістю відкриття стандартними текстовими редакторами WordPad або Блокнот і відображаються на екрані портативного персонального комп'ютера (ППК) у вікні багатоканального осцилографа як осцилограма. По осі абсцис осцилограми фіксуються поточний час у секундах, а по осі ординат – відповідні прискоренням параметри сигналу. Для переведення цих параметрів у розмірність прискорень, м/с², використовують тарувальні коефіцієнти, наведені в технічних даних акселерометрів.

Перед проведенням експериментів у налаштуваннях багатоканального осцилографа відповідно до параметрів досліджуваного процесу встановлюється частота дискретизації замірів, тобто кількість замірів за одну секунду, що в запропонованому осцилографі можна змінювати від 0,533 Гц до 66,667 МГц, а також встановлюється максимальний час запису. Чим більша частотна характеристика фізичного процесу, наприклад частота коливань, тим більшу частоту дискретизації і менший час запису необхідно встановлювати.

Якість передачі сигналу і можливість кріплення акселерометрів у кроні дерева на різних висотах забезпечуються мікрофонним кабелем Klotz MY250CN завдовжки 10 – 20 м.

Для використання обладнання в польових умовах передбачено автономне живлення блока узгоджень 3 (див. рис.) акумуляторною батареєю 12 В, а модуля 6 аналогово-цифрового перетворювача – від ППК 1.

Після кріплення акселерометра на гілці і вмикання вимірювальної апаратури записуються згасаючі коливання на ППК у вікні багатоканального осцилографа як осцилограми зміни прискорення в часі.

З осцилограм визначають період згасаючих коливань T_1 , що дозволяє за формулами (1–4) розрахувати послідовно коефіцієнт згасання n , частоту ω вільних коливань, зведену масу m та коефіцієнт c_v в'язкого опору гілки.

Висновки. Запропоноване обладнання дозволяє записати та обробити осцилограми прискорень коливань гілок, переміщення і швидкості гілок у місці їх захвату залежно від параметрів процесу знімання плодів. На цій основі визначають режими роботи ручного струшувача, за яких досягається агротехнічно необхідна повнота знімання плодів.

Бібліографічний список

1. Варламов Г. П. Машины для уборки фруктов. Москва : Машиностроение, 1978. 216 с.
2. Семен Я. В., Шевчук Р. С., Підстригач І. Я. Гідравлічний привід струшувачів плодів з почерговим увімкненням пневмогідравлічних акумуляторів. / *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2005. № 9. С. 227-234.
3. Миронюк О. С., Драний А. В., Кадыкало Г. И. Условия реализации равномерного съёма плодов. *Плодоводство и ягодоводство России*. Москва : Всерос. селекцион.-технол. ин-т садоводства и питомниководства. 2001. Т. 8. С. 292-297.
4. Шевчук Р. С., Крунич О. М., Гошко З. О., Гошко М. О. Методика дослідження передатної функції крони плодового дерева. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. / Волин. обл. відділення ІАУ. Луцьк, 1997. Вип. 3. С. 42–47.
5. Иванченков В. А., Тавасиев Р. М. Физико-механические свойства плодовой ветки. *Труды молодых ученых* / Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО-Алания. Владикавказ : Терек, 2006. Вып. 2. С.104-109.
6. Иориш Ю. И. Виброметрия. Москва : Машгиз, 1963. 569 с.
7. Яблонский А. А. Курс теоретической механики. Москва : Высш. шк., 1977. Ч. 2. 411 с.

Крунич Р. Комплект обладнання для вимірювання прискорень

Репрезентовано комплект обладнання для вимірювання прискорень, в якому замість осцилографів використовуються аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), які підключаються до портативного персонального комп'ютера (ППК). Серед методів визначення коефіцієнта згасання коливань і частоти вільних коливань дисипативних систем найпростішим є метод реєстрації коливань. Під час виконання дослідів потрібно записати осцилограми прискорень коливань гілки. Для цього й було сформовано комплект обладнання для вимірювання прискорень. Запропоноване обладнання дає змогу записати та обробити осцилограми прискорень коливань гілки, отримати залежності в місці передачі збурювальних зусиль від параметрів процесу знімання плодів.

Ключові слова: гілка, плодове дерево, горіхи, прискорення, обладнання, аналогово-цифровий перетворювач, акселерометр.

Krupych R. A set of equipment for measuring acceleration

A set of equipment for measuring accelerations is presented in which, instead of oscilloscopes, analogue-to-digital converters are used (ADCs) that connect to portable personal computer (PPC). Among the methods of determining the coefficient of fading of oscillations and the frequency of free oscillations of dissipative systems, the simplest method of recording oscillations is. During the execution of experiments it is necessary to

write oscillograms of acceleration of oscillation of a branch. To do this, a set of equipment for measuring accelerations was formed. The proposed equipment allows to write and process oscillograms of acceleration of oscillation of a branch, to obtain dependences in the place of transmission of disturbing efforts on the parameters of the process of removal of fruits.

Key words: branch, fruit tree, nuts, acceleration, equipment, analog-to-digital converter, accelerometer.

Крупыч Р. Комплект оборудования для измерения ускорений

Представлен комплект оборудования для измерения ускорений, в котором вместо осциллографов используются аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), которые подключаются к портативному персональному компьютеру (ППК). Среди методов определения коэффициента затухания колебаний и частоты свободных колебаний диссипативных систем наиболее простым является метод регистрации колебаний. Во время выполнения опытов нужно записать осциллограммы ускорений колебаний ветви. Для этого и был сформирован комплект оборудования для измерений ускорений. Предложенное оборудование позволяет записать и обработать осциллограммы ускорений колебаний ветви, получить зависимости в месте передачи возмущающих усилий от параметров процесса съема плодов.

Ключевые слова: ветка, плодвое дерево, орехи, ускорения, оборудование, аналогово-цифровой преобразователь, акселерометр.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДОЇННЯ

*І. Дмитрів, к. т. н., Б. Красниця, аспірант
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Для забезпечення адекватного доїння не можна недооцінювати роль співвідношення тактів, числа пульсацій у процесі молоковидедення, оскільки вони є основними подразниками рецепторів дійок, які стимулюють ефективну молоковіддачу.

На сьогодні суттєвий недолік роботи виконавчих механізмів сучасних доїльних систем полягає в неадекватності здійснюваних подразнень рецепторів молочної залози, через що у корів не виникає активного рефлексу молоковіддачі або проявляється рефлекс з великим латентним періодом.

Технічна реалізація адаптування технічної системи доїльного апарата повинна забезпечити параметри, які відповідають європейським і світовим стандартам ISO 3918, ISO 5707, ISO 6690, ASAE EP445.1, ASAE S518 [1-5].

Тому розроблення та дослідження методів і засобів для діагностики та контролю параметрів систем доїння є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Діагностичні параметри систем доїння регламентуються міжнародними стандартами [1-5]. Регламентуються і допустимі відхилення, однак при цьому не враховано динаміки процесу молоковіддачі. Проте низка дослідників вважає, що найкращими показниками характеристики доїльної системи є результати діагностування в процесі доїння [6-12].

Стандарт ISO 5707:2007 [2] регламентує лише рекомендовані середні значення робочого вакуумметричного тиску, які для молокопроводу з верхнім розташуванням становлять 47-50 кПа, для молокопроводу середнього розташування (не вище ніж 1,25 м) – 45-48 кПа та для молокопроводу з нижнім розташуванням – 42-46 кПа. Коливання вакуумметричного тиску в системі в процесі машинного доїння корів не повинно перевищувати 2 кПа.

Згідно зі стандартами ISO 3918:2007 [1] та ISO 5707:2007 [2] вимірювальні прилади повинні підключатись до відповідних контрольних точок доїльної установки та забезпечувати необхідну точність вимірювань [3; 12].

У роботі [12] наведено узагальнену схему доїльної установки на основі досліджень [8-11] і доопрацьовано додатковими контрольними точками тестування й діагностики відповідно до ISO 6690 [3].

Сучасні тенденції розвитку конструкцій доїльних систем демонструють насичення автоматизації і мікропроцесорної техніки, що уможлиблює розширення функціональних можливостей доїльного обладнання і ускладнює адаптацію технічної системи до фізіології молоковіддачі.

Тому виникає необхідність дослідження та розроблення методів і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів засобів контролю основних технологічних параметрів систем доїння.

Постановка завдання. Наше завдання – підвищити ефективність та якість діагностики параметрів роботи доїльних систем.

Виклад основного матеріалу. Нами проведено аналіз низки професійних вимірювальних приладів для комплексної діагностики доїльних установок: MilkoTest MT 52 (Bevro AG, Швейцарія) [13]; PulsoTest Comfort (GEA Farm Technologies, ФРН) [14]; тестер доїльних установок, прилад контролю пульсацій (Інститут механізації тваринництва НААН України) [15]; вимірювач параметрів доїльної установки TEST-1 (Науково-дослідний інститут «ELIRI» S.A., Молдова) [16]; тестер доїльних установок, прилад контролю пульсацій (Інститут механізації тваринництва НААН України) [14] та експериментальний лабораторний комплекс АКФСД (див. рис.) (кафедра механізації і автоматизації тваринництва, Львівський НАУ) [10, 12, 17]. Дані аналізу наведено в таблиці.

Забезпечення роботи системи в режимі реального часу можливе за алгоритмічно-апаратного узгодження виконавчих елементів з програмним забезпеченням, яке полягає у визначенні допустимої величини підпрограм управління асинхронним двигуном у динамічному режимі.

Частота комутації керування за окремими елементами діагностики буде розраховуватися за формулою

$$f_k = \frac{1}{f_\phi \cdot n_T}, \text{ с}, \quad (1)$$

де f_ϕ – мінімально допустима частота зчитування даних, Гц;
 n_T – кількість елементів опитування (керування).

Час на виконання підпрограм зчитування даних, формування і видачі керуючих сигналів розрахуємо за формулою

$$\tau_{\text{під}} = \frac{1}{f_\phi \cdot n_T} \cdot \frac{1}{2}, \text{ с}. \quad (2)$$

Множник 1/2 використано за умови звертання до об'єкта двічі за один повний цикл роботи експериментального комплексу АКФСД.

Знаючи допустимий час роботи підпрограми і тривалість одного циклу виконання команди $\tau_{\text{цк}}$, можна розрахувати максимально допустиму кількість циклів для конкретної підпрограми за формулою

$$N_{\text{цк.під}} = \frac{\tau_{\text{під}}}{\tau_{\text{цк}}}, \text{ байт}. \quad (3)$$

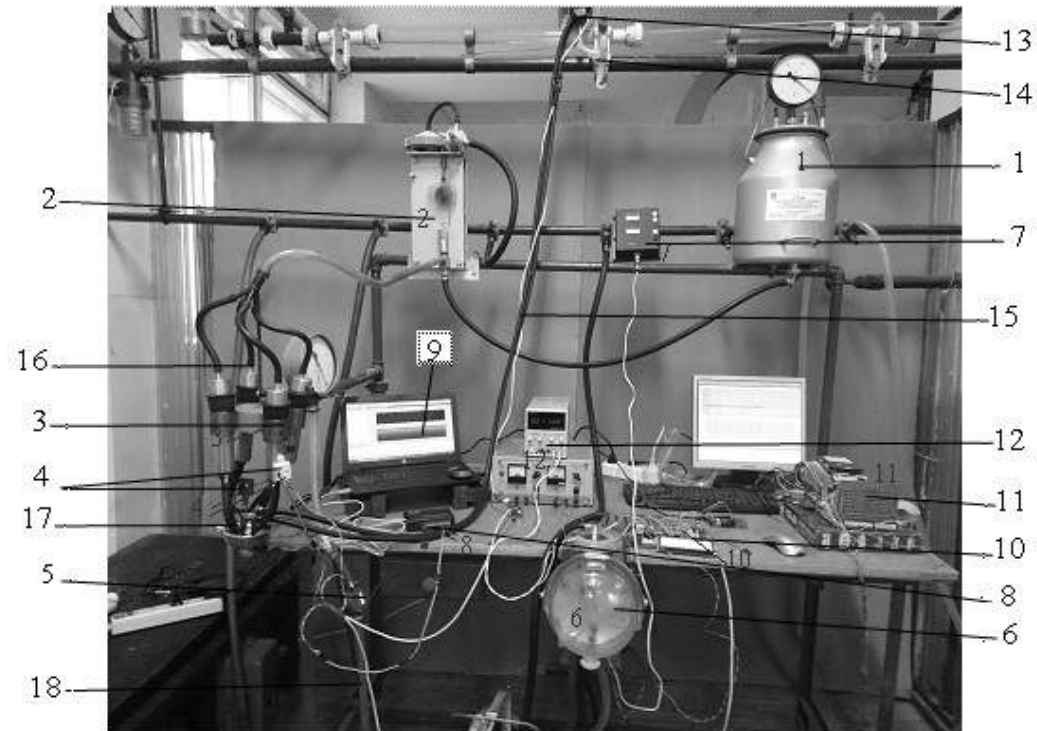


Рис. Загальний вигляд експериментального лабораторного комплексу АКФСД [10, 17]: 1 – місткість імітатора молока; 2 – імітатор інтенсивності молоковіддачі; 3 – доїльні стакани; 4 – сенсори тиску у міжтінковій і піддійковій камерах доїльного стакана; 5 – сенсор тиску в молочному шланзі; 6 – калібрувальний вимірювач молоковіддачі; 7 – електронний блок вимірювача молоковіддачі; 8 – ЦАП-АЦП; 9 – система керування (центральный комп'ютер); 10 – система опрацювання даних від сенсорів тиску; 11 – електронний блок візуалізації інформаційно-вимірювальних параметрів; 12 – блоки стабілізованих напруг; 13 – пульсатор пневмоелектромагнітний; 14 – молочний кран; 15 – вакуумний шланг; 16 – штучне вим'я; 17 – колектор; 18 – молочний шланг.

Таблиця

Порівняльні характеристики приладів для комплексної діагностики систем доїння [10; 12-17]

Тип, марка, фірма	Діагностичний параметр										
	Вакуумметричний тиск			Вакуумний насос (частота обертання ротора)	Частота пульсації, співвідношення між тактами				Температура		
	межі вимірювань	частота опитування	похибка		межі вимірювань				межі вимірювань	похибка	
					частота пульсації	похибка	співвідношення тактів	похибка			
MilkoTest MT52 (BEPRO Industrielle Elektronik, Швейцарія)	від 20 до 100 кПа	До 400 Гц	±0,6 кПа	від 500 до 5000 об./хв з похибкою ≤5 об./хв	оцінка за ISO, розширена оцінка				-	від -50 до +150 °C	± 0,1 °C
PulsoTest Comfort (GEA Farm Technologies, ФРН)*	від 20 до 60 кПа	до 400 Гц	±0,6 кПа	від 10 до 9999 об./хв. з похибкою ≤10 об./хв.	вимірювання фази стимуляції та фази пульсації молока				-	від -20 до +140°C	-
Тестер доїльних установок (ІМТ, НААН України)	від 0 до 100 кПа	-	±0,6 кПа	-	від 40 до 200 імп./хв	±1 імп./хв	+	-	-	-	
TEST – 1, TEST - 3 (НДІ «ELIRI» S.A., Молдова)	від 0 до 90 кПа	-	від 0,3 до 0,5%	безконтактний тахометр	оцінка за ISO				-	+	-
Експериментальний лабораторний комплекс АКФСД (МіАТ, ЛНАУ)*	від 0 до 60 кПа	200 Гц	±0,1 кПа	-	від 0,3 до 0,6 Гц	0,003 Гц	від 5 до 95 %	1, %	від -10 до +50 °C	до 1 %	

* - наявність функції збереження отриманих вимірювань дозволяє створювати бази даних тестів;

Тривалість одного циклу команди формується тактовою частотою однокристального мікроконтролера і розраховується за формулою

$$\tau_{\text{цк}} = \frac{K_{\text{під}}}{f_{\text{так}}}, \text{ с}, \quad (4)$$

де $f_{\text{так}}$ – тактова частота процесора, Гц;

$K_{\text{під}}$ – коефіцієнт перерахунку формування машинних циклів формування сигналу САВП, для мікроконтролера K1816 BE48(35) $K_{\text{под.}} = 15$ [17].

Для конкретного алгоритму розробленої підпрограми керування та процесора розраховують мінімальну допустиму тактову частоту процесора з урахуванням рівнянь (1-4) за формулою

$$f_{\text{так}} = 2 \cdot f_{\phi} \cdot n_{\text{T}} \cdot 15 \cdot N_{\text{цк.під}}, \text{ Гц}. \quad (5)$$

Таким чином, тривалість вимірювання (зчитування даних) повинна відповідати часу, який визначається за формулою $\tau_{\text{вим}} = 1/f_{\text{мак}}$. При цьому необхідно враховувати сталу часу перехідних процесів елементів технологічного обладнання і сенсорів, які зчитують параметри.

Висновки. Аналіз показує, що для складних алгоритмів обробки даних, які вимагають достатньо великих об'ємів підпрограм та забезпечення фазової синхронізації режиму керування, необхідно підвищувати тактову частоту процесора. Дотримання режиму реального часу роботи модулів вимагає вимірювання реальної частоти синхронізації модулів.

Підвищення частоти звертання до елементів системи забезпечить зменшення втрат інформації та похибки вимірювального параметра. У режимі реального часу діагностики доільної системи параметри є відтворювальними, а їх прецизійність зумовлює простежуваність адаптації технічної системи за відсутності еталона функціонування систем доільної установки залежно від молоковіддачі корови.

Бібліографічний список

1. ISO 3918. Milking machine installations. Vocabulary. Geneva, Switzerland : The International for Standardization Organization, 2007. 42 p.
2. ISO 5707. Milking machine installations. Construction and performance. Geneva, Switzerland : The International for Standardization Organization, 2007. 52 p.
3. ISO 6690. Milking machine installations. Mechanical tests. Geneva, Switzerland : The International for Standardization Organization, 2007. 46 p.
4. ASAE. Test Equipment and Its Application for Measuring Milking Machine Operating Characteristics, ASABE EP445.1: Standard by The American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1996.
5. ASAE. Milking machine installations – construction and performance, ASAE S518: Standard by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1996.
6. Китиков В. О. Ресурсоэффективные технологии производства молока / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского

- хозяйства». Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2011. 233 с.
7. Дашков В. Н., Китиков В. О., Сорокин Э. П. Диагностирование, техническое обслуживание, условия эффективной эксплуатации доильных установок. Минск : ГУ «Учеб.-метод. центр Минсельхозпрода», 2007. 137 с.
 8. Побединский В., Иойшер А., Михайленко П., Мартин А. Принципы и эффективность сервиса доильного оборудования. URL : http://dspace.uasm.md/bitstream/handle/123456789/1186/Vol_45_120-23.pdf?sequence=1&isAllOpen=true (дата звернення: 13.08.2017).
 9. Mein G., David MD Williams, Douglas J. Reinemann. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1. Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat. *ANNUAL MEETING-NATIONAL MASTITIS COUNCIL INCORPORATED*. 2013. Vol. 42. P. 114-123. URL : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.524.4606&rep=rep1&type=pdf> (дата звернення: 14.08.2017).
 10. Дмитрів В. Т., Дмитрів І. В. Методологія діагностування параметрів і режимів роботи елементів доїльної установки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві*. Харків : ХНТУСГ, 2011. Вип. 108. С. 210-221.
 11. Dmytriv I. Влияние технологических параметров доильного аппарата на режимы адаптации системы “машина-корова”. *V International Scientific Congress Agricultural Machinery, 21-24.06.2017*. Varna (Bulgaria), 2017. Vol. 2(2). P. 219-221.
 12. Дмитрів В. Т. Комплекс для діагностики і дослідження доїльного обладнання. *Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2004. № 8. С. 388-396.
 13. MilkoTest MT52. URL : <http://www.bepro.ch/milkotest-mt52/milkotest-mt52/> (дата звернення: 11.08.2017).
 14. PulsoTest Comfort. URL : <https://www.yumpu.com/en/document/view/1491207/pulso-test-comfort-gea-farm-technologies> (дата звернення: 12.08.2017).
 15. Алієв Е. Б., Тісліченко О. С. Конструкційно-технологічна схема комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів доїльного обладнання. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : Кіровоград : Кіровоградський національний технічний університет. 2011. Вип. 41. С. 429-432.
 16. ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ TEST – 1 / Науково-дослідний інститут «ELIRI» S.A. ГКДЖ. URL : <http://www.eliri.Md/index.php?lang=ru&f=mctest1> (дата звернення: 11.08.2017).
 17. Дмитрів В. Т., Дмитрів І. В. Калібратор пульсатора доїльного апарата. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб.* Глеваха, 2010. Вип. № 84. С. 143-147.

Дмитрів І., Красниця Б. Аналіз методів та засобів оцінки параметрів сучасних систем доїння

У статті зазначені основні проблеми, що виникають у разі неадекватності здійснюваних подразнень корови технічною системою. Проведено аналіз низки професійних вимірювальних приладів для комплексної діагностики систем доїння.

Наведено основні діагностичні параметри для визначення відповідності технічної системи фізіологічним вимогам процесу молоковіддачі. Вказані межі вимірювання параметрів, наявні похибки.

Ключові слова: доїльний апарат, алгоритм тестування, діагностування, вакуумметричний тиск, співвідношення тактів, частота пульсації, температура.

Dmytriv I., Krasnytsia B. Analysis of methods and means for evaluating the parameters of modern milking systems

The article describes the main problems that arise in the case of inadequate cow stimulations by the technical system. The analysis of a number of professional measuring devices for complex diagnostics of milking systems is carried out. The basic diagnostic parameters for determining the readiness of the technical system for the physiological requirements of the milk yield process are given. The specified limits of measuring parameters, the available errors.

Key words: milking machine, testing algorithm, diagnosing, vacuum pressure, ratio of cycles, pulsation frequency, temperature.

Дмитрив И., Красница Б. Анализ методов и средств оценки параметров современных систем доения

В статье указаны основные проблемы, возникающие при неадекватности осуществляемых раздражений коровы технической системой. Проведен анализ ряда профессиональных измерительных приборов для комплексной диагностики систем доения. Приведены основные диагностические параметры для определения соответствия технической системы физиологическим требованиям процесса молокоотдачи. Указаны пределы измерения параметров, имеющиеся погрешности.

Ключевые слова: доильный аппарат, алгоритм тестирования, диагностика, вакуумметрическое давление, соотношение тактов, частота пульсации, температура.

КІНЕМАТИКА ПОДРІБНЕННЯ ПЛАСТА РОТОРАМИ КОМБІНОВАНОГО ПЛУГА

*М. Василич, аспірант, Ю. Панцир, к. т. н.
Подільський державний аграрно-технічний університет*

Постановка проблеми. Механічний обробіток ґрунту є важливим технологічним процесом у землеробстві, який проводиться з метою створення пухкого верхнього шару, перемішування частинок ґрунту з добривами, попередньо внесеними на поверхню.

Доведена агрономічна доцільність та економічна ефективність об'єднання основного обробітку ґрунту та фрезерування орного шару [1].

Перспективним напрямом вважається розробка механізованих технологій, які будуть об'єднувати операції подрізання пласта (основний обробіток), внесення мінеральних добрив та активного кришення орного шару (роторний обробіток, фрезерування).

Відповідно теоретичне обґрунтування технологічних параметрів робочих органів комбінованих машин є сьогодні актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням створення комбінованих плугів та обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи активних елементів роторів, фрез присвячені наукові дослідження І. М. Панова, В. А. Шмоніна, З. В. Ловкіса, М. Д. Поскребко, І. М. Бендери [1-8].

У результаті наукового супроводу технічної ідеї обґрунтовані технологічні параметри корпусів плуга, форми ротора, його ріжучих (ударних) елементів, взаєморозміщення пасивної і активної складових, частоти обертання роторів, режимів роботи приводу.

Вивченню одночасного внесення добрив та основного обробітку ґрунту присвячені роботи В.С. Муштая, В.Я. Коваля [9; 10].

Постановка завдання. Метою досліджень є визначення радіуса та частоти обертання роторів комбінованого плуга завдяки дослідженню рівномірності і повноти покриття подрібненого ґрунту та рівномірності внесення мінеральних добрив.

Виклад основного матеріалу. У Подільському державному аграрно-технічному університеті запропонована конструкція лемішно-полицевого плуга з вертикальними роторами та системою внесення мінеральних добрив.

Технологічний процес роботи комбінованого плуга.

Під час руху плуга лемеші подрізають пласт розміром $a \times b$. Пласт переміщається по полиці і в момент проходження позиції (A' , B' , C' , D') вертикального положення подрібнюється ножами вертикального ротора, який обертається з частотою ω .

Одночасно з бункера (ящика), змонтованого на рамі плуга, тукопроводами до внутрішньої частини ротора подаються мінеральні добрива. Останні підхоплюються робочими елементами ротора – ножами – і перемішуються з подрібненим пластом.

Актуальним є питання вибору основних технологічних параметрів ротора – радіуса R , частоти обертання ω – і вивчення характеру впливу їх на якість кришення ґрунту та загортання рослинних решток.

Дальність польоту подрібненого пласта при швидкості удару V_p та висоті ротора H :

$$L = V_p \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (1)$$

Швидкість удару V_p вибирають більшою за критичну, за якої виникає руйнування комків.

Критичну швидкість $V_{кр}$, за якої відбувається кришення пласта, вибирають, за даними досліджень процесу удару робочими елементами роторів по пласту, проведених В.А. Шмоніним [3]:

$$V_{кр} \geq \sigma \sqrt{\frac{g}{E\gamma}} \quad (2)$$

де σ – межа міцності розпушення ґрунту від безпідпiрного удару;
 g – прискорення вільного падіння;

E – модуль Юнга для ґрунту;

γ – щільність ґрунту.

Критичну швидкість слід розглядати як межу мінімальної, при якій відбудеться кришення пласта за умови безпідпiрної взаємодії: $V_{мін} \geq V_{кр}$.

Ніж ротора взаємодіє з пластом, який подається в результаті руху плуга із результуючою швидкістю (рис. 1):

$$\vec{V}_p = \vec{V}_n + \vec{V}_{кол}. \quad (3)$$

У точці входження ножа в пласт (A):

$$V_p^A = \sqrt{V_n^2 + V_{кол}^2}. \quad (4)$$

У будь-якій іншій точці (наприклад, B) значення результуючої швидкості буде більше, ніж V_p^B , а саме:

$$V_p^B = \sqrt{V_{кол}^2 + V_n^2 + 2V_{кол} \cdot V_n \cos \varphi}. \quad (5)$$

Відповідно визначення робочої колової швидкості проводимо за мінімальним значенням V_p^A :

$$V_p^A \geq V_{кр}. \quad (6)$$

Підставивши в рівняння (5), отримаємо формулу

$$V_{\text{кол}} \geq \sqrt{\left(\sigma \sqrt{\frac{g}{By}}\right)^2 - V_{\text{п}}^2}. \quad (7)$$

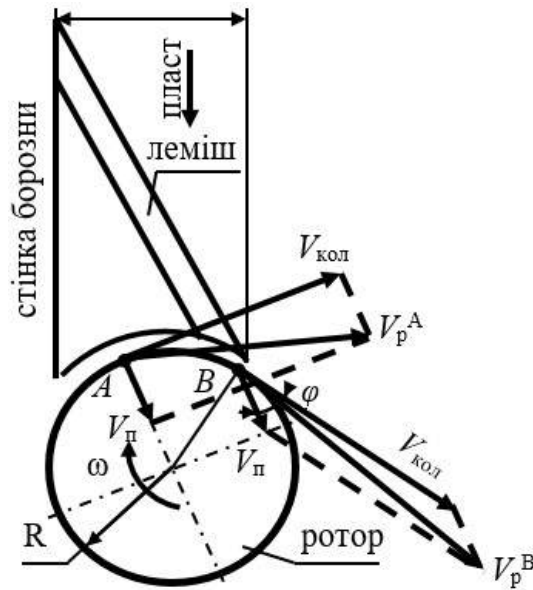


Рис. 1. Визначення колової швидкості.

Враховуючи, що $V_{\text{кол}} = \omega R$, мінімальна частота обертання ротора, при якій відбуватиметься кришення ґрунту, визначиться так:

$$\omega_{\text{мін}} \geq \frac{\sqrt{\left(\sigma \sqrt{\frac{g}{By}}\right)^2 - V_{\text{п}}^2}}{R}. \quad (8)$$

Робочу швидкість дії ножа на пласт вибирають з огляду повного покриття повернутого пласта $A_0B_0C_0D_0$ при висоті H (рис. 2):

$$H = h_1 + h_2 + \Delta h; \quad (9)$$

Величину h_1 визначають з $\triangle ABF$ та з урахуванням кута стійкості повернутого пласта:

$$h_1 = a \cos \alpha. \quad (10)$$

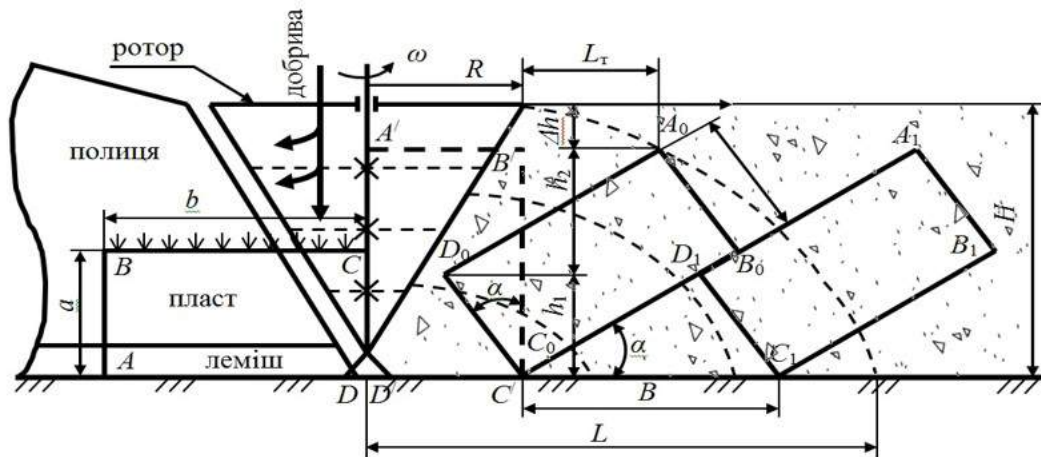


Рис. 2. Технологічний процес роботи комбінованого плуга.

Величину h_2 визначають з ΔBCK :

$$h_2 = b \cos \alpha. \quad (11)$$

Величина Δh вибирають з умови повного покриття гребенів подрібненою масою та добривами, а також непересипання пласта через ротор, $\Delta h = 5 \dots 8$ см.

Враховуючи значення h_1 , h_2 , Δh , з формули (2) визначають швидкість удару, при якій подрібнений ґрунт повністю покриває рослинні рештки:

$$V_0 = \frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}. \quad (12)$$

Технологічну дальність польоту вибирають зі схеми:

$$L_T = b \cos \alpha - 2a \sin \alpha. \quad (13)$$

Беручи до уваги, що радіус ротора повинен бути не меншим $2/3a$, з формули (12), робоча частота обертання дорівнюватиме:

$$\omega = \frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot R}. \quad (14)$$

Таким чином, наведена аналітика дає підстави для вибору основних параметрів комбінованого корпусу – висоти H , радіуса R , частоти обертання ω залежно від розмірів пласта ($a \times b$) при граничній швидкості руйнування пласта $V_{кр}$.

Якщо ґрунт вологий і процес взаємодії робочих елементів має більше ріжучий характер, ніж ударний, то частоту обертання вибирають за технологічною величиною стружки, параметр якої – товщина S_z (вибирається з агротехнічних вимог, залежно від поступальної швидкості $V_{п}$, числа ножів):

$$S_z = \frac{2\pi V_{п}}{\omega z}. \quad (15)$$

Вважаючи що S_z – агропоказник, необхідна частота буде визначатися так:

$$\omega = \frac{2\pi V_n}{S_z \cdot Z} \quad (16)$$

Використовуючи формулу (16), доцільно побудувати номограму з оперативного вибору технологічних параметрів залежно від бажаної якості та фіксованої кількості ножів Z (рис. 3).

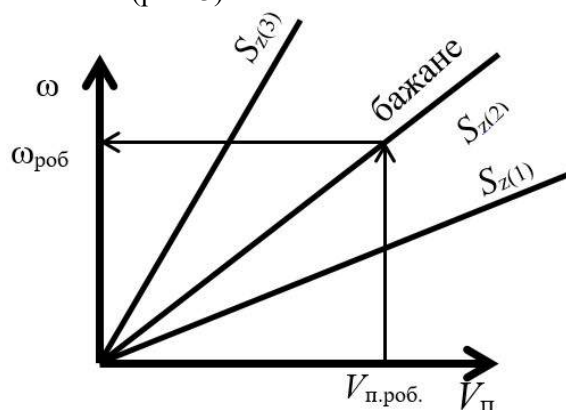


Рис. 3. Номограма з визначення технологічних параметрів роторів.

На горизонтальній осі ($V_{п}$) номограми вибирають поступальну робочу швидкість руху $V_{п\text{ роб}}$, через вертикаль до перетину з лінією (бажане $S_{z(2)}$) на вертикальній осі вибирають необхідну робочу кутову частота обертання $\omega_{роб}$.

Висновки. Отримано аналітичні залежності для визначення дальності польоту подрібненого пласта комбінованого плуга, при якому забезпечується загортання рослинних решток.

Визначені мінімальне та робоче значення частоти обертання ротора, при яких забезпечується якісне кришення (різання при вологому ґрунті) пласта.

Запропонована номограма з визначення робочої частоти обертання ротора при заданій поступальній швидкості руху агрегату та необхідній якості обробітку ґрунту.

Бібліографічний список

1. Ветохин В. И., Панов И. М., Шмонин В. А., Юзбашев В. А. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины : Теория, расчет, результаты испытаний: монография. Киев : Феникс, 2009. 264 с.: илл.
2. Панов И. М., Токушев Ж. Е. Теория, конструкция и расчет ротационных почвообрабатывающих машин. Кокшетау: Изд-во Кокшетауского университета, 2005. 314 с.
3. Шмонин В. А. Теоретическое и экспериментальное исследование работы комбинированных плужных корпусов. *Сб. науч. тр. ВИСХОМ*. 1972. Вып. 69. С. 19-26.

4. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Обоснование взаимного расположения корпуса и ротора комбинированного плуга. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1986. Вып. 29.
5. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Плуг для обработки тяжелых переувлажненных почв с гидроприводом роторов. *Тракторы и сельхозмашины*. 1987. № 1. С. 12-14.
6. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Обоснование формы ротора комбинированного плуга. *Земледельческая механика*. Москва : МИИСП, 1985. С. 17-19.
7. Бендера И. Н., Лахмаков В.С. Обоснование геометрических параметров режущих элементов ротора комбинированного плуга. *Механизация возделывания и уборки картофеля в Белорусской ССР*. Горки, 1987. С. 53-58.
8. Бендера И. Н. Применение комбинированного плуга для обработки почвы под картофель. *Механизация возделывания и уборки картофеля в Белорусской ССР*. Горки, 1987. С. 84-87.
9. Коваль В. Я., Муштай В. С. Результаты экспериментальных исследований локального внесения минеральных удобрений распределяюще заделывающими устройствами. *Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Технічні науки*. Луганськ: Вид-во ЛДАУ, 2000. № 6/17. С. 98-101.
10. Муштай В. С. Определение качества внесения минеральных удобрений распределяюще-заделывающими устройствами. *Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Технічні науки*. Луганськ : ЛДАУ, 2001. № 10(22). С. 137-140.

Василинич М., Панцир Ю. Кінематика подрібнення пласта роторами комбінованого плуга

Класичні схеми обробітку ґрунту під посів та посадку сільськогосподарських культур передбачають основний, передпосівний та активний обробітки.

Пропонується технологічна схема комбінованого плуга, яка об'єднує всі операції в одну. У наукових матеріалах наведена аналітика з визначення основних технологічних параметрів та режимів роботи активного робочого органа ротора: радіуса, кутової частоти обертання, висоти, дальності польоту подрібненої маси – з огляду на забезпечення якісних показників: кришення ґрунту, загортання рослинних решток та мінеральних добрив, дроблення (ґрунту) від безпідпирного удару робочими органами ротора по пласту.

Під час визначення технологічних параметрів та режимів роботи використовувалися методи математичного моделювання процесу польоту подрібненої маси ґрунту як тіла, кинутого із початковою швидкістю паралельно до горизонту робочим елементом з висоти розміщення ротора.

Ключові слова: комбінований плуг, ротор, ґрунт, корпус, добрива, політ частинок, параметр, режим роботи, кришення, загортання рослинних решток, якість.

Vasylynych N., Pantsyr Y. Kinematics of layer crushing by the combined plow rotors

Classical schemes of soil cultivation for sowing and planting crops provides for certain operation manufacturing operation - fertilization, main and preplant active tillage.

The technological scheme of the combined plow is offered that integrates all operations into one. In scientific materials we present an analytics of determining the basic technological parameters and operating modes of rotor active working body - radius, angle speed rotation, altitude, flight distance of crushed mass with a view to quality ensuring indicators - soil crushing, preparation of vegetable residues and fertilizers, crushing soil materials without retaining impact of rotor working bodies on the layer.

While determining of the certain process parameters and operating modes we used methods of mathematical modeling, the flight process of crushed soil mass as the body thrown with an initial velocity parallel to the horizon by the working part from the the rotor placement height.

Key words: combined plow, rotor, soil, building, fertilizers, particles flight, parameter, setting mode, crushing, plant residues preparation, quality.

Василинич М., Панцирь Ю. Кинематика измельчения пласта роторами комбинированного плуга

Классические схемы обработки почвы под посев и посадку сельскохозяйственных культур предусматривают основной, предпосевной и активный возделывания.

Предлагается технологическая схема комбинированного плуга, которая объединяет все операции в одну. В научных материалах приведена аналитика по определению основных технологических параметров и режимов работы активного рабочего органа ротора: радиуса, угловой частоты вращения, высоты, дальности полета измельченной массы – с учетом обеспечения качественных показателей: измельчения почвы, заделки растительных остатков и минеральных удобрений, дробления (почвы) от безподпорного удара рабочими органами ротора по пласту.

При определении технологических параметров и режимов работы использовались методы математического моделирования, процесса полета измельченной массы почвы как тела, брошенного с начальной скоростью параллельно горизонту рабочим элементом с высоты размещения ротора.

Ключевые слова: комбинированный плуг, ротор, почва, корпус, удобрения, полет частиц, параметр, режим работы, измельчение, заделки растительных остатков, качество.

Розділ 3

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ

УДК 005:631

ОБГРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОГОДНОСТІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОБОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ МАШИННО- ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

*В. Тимочко, к. т. н., П. Луб, к. т. н., Р. Падюка, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Природно-кліматичні та агрометеорологічні фактори є суттєвим чинником впливу на землеробство. Цим рільнича галузь сільського господарства відрізняється від інших галузей народного господарства. Внаслідок дії природно-кліматичних та агрометеорологічних факторів виникають значні втрати продукції рослинництва. Запобігти цим втратам можна за рахунок прогнозування, планування і своєчасного виконання відповідних агротехнічних заходів, які диференційовані залежно від погодних умов.

Для планування сільськогосподарського виробництва у рільництві використовують агрометеорологічні прогнози, які істотно відрізняються від прогнозів погоди. Агрометеорологічні прогнози вивчають атмосферні умови та їх взаємозв'язок з об'єктами землеробства і процесами сільськогосподарського виробництва.

Якщо довгострокові прогнози погоди поки що не задовольняють вимоги практики сільськогосподарського виробництва, то агрометеорологічні прогнози внаслідок інерційності кількісних накопичень впливу в рослинах і ґрунті мають більшу вірогідність, що задовольняє вимоги планування [1]. Це зумовлює доцільність врахування метеорологічних і агрометеорологічних чинників під час прогнозування добової продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив погодних умов на функціонування виробничих процесів у рослинництві, зокрема виконання польових робіт, розглянуто у роботі [2]. Для характеристики метеорологічних умов пропонується використовувати коефіцієнт погодності, який визначається відношенням кількості днів, під час яких погодні умови не заважають виконанню польових робіт до кількості календарних днів. Цей коефіцієнт у [2] пропонується розраховувати за формулою

$$K_{\text{пог}} = \frac{D(O > O_{\text{дон}} \vee \rho > \rho_{\text{дон}} \vee \underline{t} < t < \bar{t})}{D_k}, \quad (1)$$

де O і $O_{\text{доп}}$ – кількість опадів відповідно фактичних і допустимих, мм;
 ρ і $\rho_{\text{доп}}$ – продуктивна вологість ґрунту відповідно фактична і допустима;
 t – фактична температура,

\underline{t} – нижня допустима температурна межа;

\bar{t} – верхня допустима температурна межа;

D_k – кількість календарних днів у досліджуваному періоді;

знак \vee - логічного додавання, який означає, що з кількості календарних днів необхідно відняти кількість днів, для яких хоча б один з параметрів виходить за допустимі межі.

Авторами визначено коефіцієнти погодності для умов Новосибірської області в результаті обробки статистичних даних всіх метеостанцій області за 15 років. Коефіцієнт погодності знаходиться в діапазоні від 0,52 до 0,84, причому найменшого значення він досягає раною весною (квітень) і восени (жовтень), а максимального значення – у травні та липні. У роботі також наводяться дані щодо допустимих умов виконання механізованих робіт. Значення максимально допустимих опадів коливається в межах 0...3 мм, а мінімально допустима температура – у межах 5...8 °С залежно від виду робіт. Зазначимо, що під час визначення коефіцієнтів погодності авторами не наведено даних щодо фактичної та допустимої продуктивної вологості ґрунту. Цей показник залежить від кількості опадів та фізико-механічних властивостей ґрунту. Оскільки поля сільськогосподарського підприємства можуть мати різні типи ґрунтів, то врахування показника продуктивної вологості ґрунту суттєво ускладнить визначення та використання на практиці коефіцієнта погодності. Коефіцієнт погодності залежить від кліматичної зони, тому для його визначення необхідно використовувати дані метеорологічної станції, що знаходиться в досліджуваній кліматичній зоні.

У роботах [3-6] узагальнено результати досліджень впливу агрометеорологічних умов на виконання робіт у проектах технологічних систем вирощування сільськогосподарських культур. Обґрунтовано диференціальні функції розподілів погожих та непогожих проміжків для основних видів механізованих робіт. Ці результати можуть бути застосовані для розроблення статистичних імітаційних моделей віртуальних проектів і оцінення на їх підставі ефективності управлінських рішень щодо реакцій на технологічний ризик. Однак отримані результати не можуть бути використані для річного календарного планування механізованих робіт у рослинництві.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування методики визначення коефіцієнта погодності за даними метеорологічних спостережень для прогнозування добової продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

Виклад основного матеріалу. Ефективність виробництва рільничої сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від якості річного календарного планування механізованих сільськогосподарських робіт.

Побудова графіків механізованих робіт дає змогу визначити календарну потребу у тракторах та сільськогосподарських машинах, у пально-мастильних матеріалах, трудових та інших ресурсах, які необхідні для виконання механізованих робіт у технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур.

Під час побудови графіків механізованих робіт тривалість t_i виконання кожної технологічної операції з урахуванням кількості наявних технічних ресурсів визначається за формулою [3]:

$$t_i = \frac{Q}{W_v \cdot K_v \cdot n}, \quad (2)$$

де Q – обсяг робіт, га, т, м³;

W_v – продуктивність агрегату за зміну (норма виробітку агрегату), га/зм.;

K_v – коефіцієнт змінності,

n – кількість залучених до роботи агрегатів на даній операції.

Застосування формули (2) під час розробки календарного графіка робіт призводить до значної похибки у розрахунках, оскільки в ній не враховується вплив погодного чинника на можливості виконання технологічних операцій. Цей недолік можна усунути за рахунок врахування під час розрахунку тривалості виконання робіт коефіцієнта погодності K_n за формулою

$$t_i = \frac{Q}{W_v \cdot K_v \cdot n \cdot K_n}. \quad (3)$$

Для того, щоб отримати цей коефіцієнт для умов Західного Полісся, використали дані метеорологічних спостережень Яворівської метеорологічної станції впродовж 1970-2016 рр., які представлені у таблицях метеорологічних і агрометеорологічних спостережень (форма ТСХ-1).

Однак, для того щоб визначити цей коефіцієнт, потрібно обробити великий масив даних. Для автоматизації обробки даних ми розробили програму в середовищі Excel, блок-схему якої подано на рисунку.

На першому етапі було проведено введення даних форм ТСХ-1 у електронні таблиці Excel та проведено розрахунок середньодобового значення температури повітря t_{cp_i} та сумарного значення добової кількості опадів O_i для кожного i -го дня досліджуваного періоду спостережень. Отримані результати сформовано у табл.1.

На третьому етапі виконано ідентифікацію можливості виконання механізованих робіт за метеорологічними умовами a_i для всіх днів вибірки. Для цього було використано залежність:

$$a_i = \begin{cases} 1 \text{ за умови } O_{\text{сум}_i} < O_{\text{дон}} \wedge t_{\text{cp}_i} < t_{\text{дон}} \\ 0 \text{ за умови } O_{\text{сум}_i} > O_{\text{дон}} \vee t_{\text{cp}_i} < t_{\text{дон}} \end{cases} \quad (4)$$

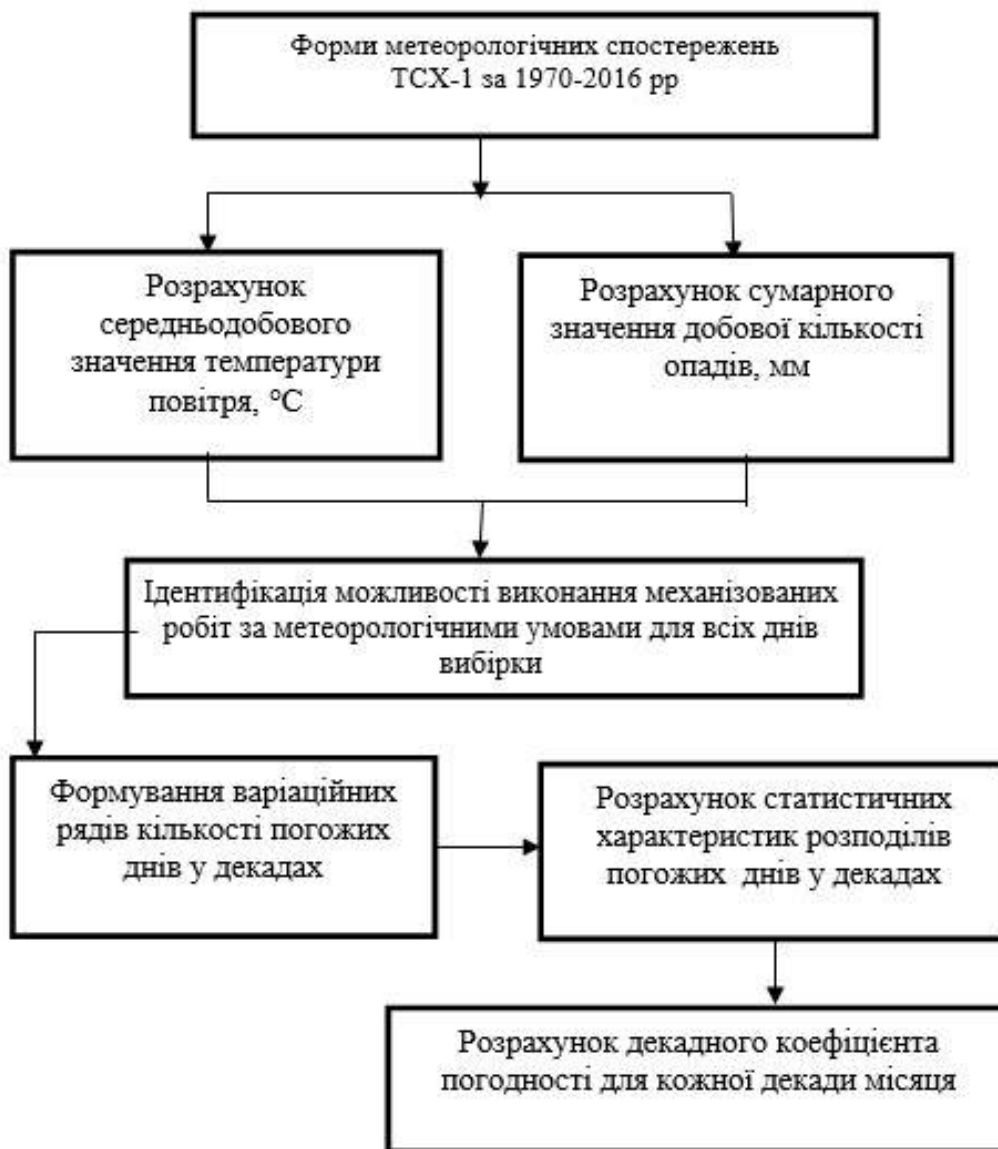


Рис. Схема алгоритму розрахунку декадного коефіцієнта погодності.

Таблиця 1

Параметри погодних умов та характеристики можливості виконання робіт

День декади	1970 р.			...	2016 р.		
	t_{cp}	$O_{сум}$	Х-ка можливості виконання роботи	...	t_{cp}	$O_{сум}$	Х-ка можливості виконання роботи
1	2	3	4	5	6	7	8
1	t_{cp1}	$O_{сум1}$	a_1	...	t_{cp1}	$O_{сум1}$	a_1
2	t_{cp2}	$O_{сум2}$	a_2	...	t_{cp2}	$O_{сум2}$	a_2
3	t_{cp3}	$O_{сум3}$	a_3	...	t_{cp3}	$O_{сум3}$	a_3
...
10	t_{cp10}	$O_{сум10}$	a_{10}	...	t_{cp10}	$O_{сум10}$	a_{10}

На наступному етапі для кожної j -ї декади було визначено кількість днів, у яких забезпечувалась можливість виконання механізованих робіт за метеорологічними умовами ($a_i = 1$) та проведено формування варіаційних рядів кількості погожих днів у декадах для кожного року спостережень $\langle n_{1j}, n_{2j}, \dots, n_{kj} \rangle$, де $n_{1j}, n_{2j}, \dots, n_{kj}$ – кількість погожих днів, відповідно у $1, \dots, k$ році досліджуваного періоду спостережень, для j -ї декади.

Опрацювання сформованих рядів емпіричних даних за допомогою методів математичної статистики дало змогу встановити статистичні характеристики розподілів цих випадкових величин, а саме: математичне сподівання, дисперсію, середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації.

Коефіцієнт погодності K_{nj} для кожної j -ої декади року розраховується за формулою

$$K_{nj} = \frac{n_{ej}}{D_k}, \quad (5)$$

де n_{ei} – математичне сподівання кількості погожих днів у j -й декаді року;

D_k – кількість календарних днів у досліджуваному періоді ($D_k = 10$).

Результати розрахунку коефіцієнтів погодності, які визначені для періоду з березня по листопад за даними метеорологічних спостережень у зоні Полісся подано у табл. 2.

Таблиця 2

Декадні коефіцієнти погодності.

Декада	Місяць								
	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад
I	0,09	0,50	0,65	0,67	0,62	0,68	0,69	0,61	0,28
II	0,14	0,46	0,69	0,62	0,64	0,70	0,66	0,49	0,21
III	0,15	0,63	0,66	0,59	0,71	0,74	0,61	0,33	0,12

Упродовж періоду польових робіт коефіцієнт погодності може коливатися в значних межах, що свідчить про суттєву мінливість погодних умов. Коефіцієнт погодності коливається в діапазоні від 0,09 до 0,74. Найменшого значення він досягає у першій декаді березня та третій декаді листопада, а максимального значення в третій декаді серпня.

Висновки. Під час календарного планування механізованих сільськогосподарських робіт у рільництві необхідно враховувати вплив природно-кліматичних та агрометеорологічних факторів на тривалість виконання робіт. Тому для кожної природно-кліматичної зони потрібно визначати декадні коефіцієнти погодності для періоду виконання механізованих робіт у рослинництві.

Визначення коефіцієнта погодності за даними багаторічних спостережень метеорологічних станцій потребує виконання значного обсягу розрахунків. Тому для автоматизації цього процесу розроблено алгоритм розрахунку декадного коефіцієнта погодності з використанням середовища Excel.

Визначені декадні коефіцієнти погодності для умов Західного Полісся можуть бути використані для планування сільськогосподарського виробництва у рільництві, що дасть змогу уникнути значних втрат продукції рослинництва.

Бібліографічний список

1. Арютов Б. А., Важенин А. Н., Пасин А. В. Методы повышения эффективности механизированных производственных процессов по условиям их функционирования в растениеводстве : учеб. пособие / Академия естествознания. Москва, 2010. URL: <https://monographies.ru/ru/book/view?id=81>. (дата звернення: 27.11.2017)
2. Павлов Б. В., Пушкарева П. В., Щеглов П. С. Проектирование комплексной механизации сельскохозяйственных предприятий. 2-е изд., перераб. и дополн. Москва : Колос, 1982. С. 288.
3. Ільченко В. Ю. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ : Урожай, 1993. С. 288.
4. Вплив агрометеорологічної складової на ризик проектів вирощування сільськогосподарських культур / О. В. Сидорчук та ін. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2012. №1/10 (55). С.49-51.

5. Тригуба А. М., Шолудько П. В., Михалюк М. А., Рудинець М. В. Моделі подій агрометеорологічної складової проектів хімічного захисту рослин обприскуванням. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2012. № 1/11 (55). С. 44-47.
6. Тригуба А. М., Луб П. М., Шарибура А. О. Результати дослідження агрометеорологічних причин ризику у проектах технологічних систем вирощування сільськогосподарських культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвідом. наук.-тех. зб.* Кіровоград : КНТУ, 2015. Вип. 45, ч. 2. С. 157-162.

Тимочко В., Луб П., Падюка Р. Обґрунтування коефіцієнта погодності для прогнозування добової продуктивності машинно-тракторних агрегатів

Обґрунтовано доцільність використання коефіцієнта погодності для календарного планування механізованих сільськогосподарських робіт. Розроблено методику обробки даних метеорологічних спостережень для розрахунку коефіцієнта погодності. Обґрунтовано значення коефіцієнта погодності, який дає змогу прогнозувати добову продуктивність машинно-тракторних агрегатів в умовах Західного Полісся.

Ключові слова: коефіцієнт погодності; продуктивність, машинно-тракторний агрегат, метеорологічні умови.

Tymochko V., Lub P., Padyuka R. Justification of the weathering factor for prediction of daily productivity of machine-tractor aggregates

The expediency of using the weathering factor for the scheduling of mechanized agricultural work is substantiated. The method of data processing of meteorological observations for calculating the weathering factor is developed. The value of the weathering factor, which allows to predict the daily productivity of machine-tractor aggregates in the conditions of western Polissya, is substantiated.

Key words: coefficient of weathering; productivity, machine-tractor unit, meteorological conditions.

Тымочко В., Луб П., Падюка Р. Обоснование коэффициента погодности для прогнозирования суточной производительности машинно-тракторных агрегатов

Обоснована целесообразность использования коэффициента погодности для календарного планирования механизированных сельскохозяйственных работ. Разработана методика обработки данных метеорологических наблюдений для расчета коэффициента погодности. Обосновано значение коэффициента погодности, который позволяет прогнозировать суточную производительность машинно-тракторных агрегатов в условиях Западного Полесья.

Ключевые слова: коэффициент погодности; производительность, машинно-тракторный агрегат, метеорологические условия.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНОГО ПОЛІССЯ

*В. Дідух, д. т. н., Ю. Онюх, С. Ягелюк, к. т. н.
Луцький національний технічний університет*

Постановка проблеми. На виробництво сільськогосподарської сировини суттєво впливають кліматичні умови. Це вимагає пошуку для сівозміни альтернативних культур з урахуванням вимог сучасного ринку. Тому на заміну льону-довгунцю, який широко культивувався на території Північного Полісся, приходять льон олійний, який традиційно вважали культурою Півдня. Активна селекційна робота науковців дозволяє отримувати насіння льону у межах 20 ц/га з таких сортів, як Айсберг, Південна Ніч, Орфей, Лірина, Сонячний, в умовах Північного Полісся. Останні польові дослідження показали, що найефективнішим сортом для кліматичних умов Північного Полісся є сорт Лірина. Проте варто звернути увагу на погодні умови від весняної підготовки площ під посів до збирання льону. За температурними показниками та випаданням опадів у 2015–2017 рр. вони суттєво відрізняли помісячно, і це впливало на формування продуктивної частини врожаю льону олійного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З переміщенням льону олійного на північні території особливостям його вирощування приділяють усе більшу увагу. Дослідники намагаються виявити ті особливості, які дозволять отримати максимальні прибутки від продуктивної частини врожаю цієї культури [1]. До такої слід відносити не тільки насінневу, а й стеблову частину льону олійного [2]. Адже окремі сорти, вирощені на території Північного Полісся, можуть досягати висоти понад 100 см. У стеблах по всій довжині формується високоякісне волокно, яке ускладнює збирання насіння льону олійного. Окрім того, стебловій частині врожаю необхідно знайти застосування, якщо умови не дозволяють видалити волокно [3].

При застосуванні десикантів на територіях Північного Полісся льон олійний намагаються збирати прямим комбайнуванням. Насіння очищають і зберігають за вологості, що не перевищує 12 % [4]. Але важко передбачити погодні умови в період досягання та жнив льону олійного. Тому пряме комбайнування стає проблемним при розтягуванні строків збирання через складності роботи сегментно-пальцевих різальних апаратів [5].

Постановка завдання. Наше завдання – пошук напрямів удосконалення технології збирання льону олійного на території Північного Полісся.

Виклад основного матеріалу. Загалом, з урахуванням досвіду використання зернозбиральної техніки, льон олійний на насіння краще розпочинати збирати в середині липня двофазним способом. Скошування у валки розпочинають при досягнанні 50-75 % коробочок за вологості насіння 25-35 %. Висота зрізу має бути

12-14 см. Така стерня забезпечує швидке й рівномірне підсихання валка. За високих добових температурних показників і низької вологості навколишнього середовища насіння досягає вологості 12 % через 6-8 діб. Це дозволяє підбирати та обмолочувати валки.

Максимальне використання продуктивної частини врожаю льону олійного можливе при мінімальній висоті зрізу. За умови відділення насінневої частини, розстелення валків за комбайном для перетворення стебел у тресту висота зрізу становить не менше 10 см. Для цього необхідні також відповідні погодні умови. За сирої і теплої погоди стебла льону можуть вилежуватися за 10-12 діб. Пізніше їх підбирають і відправляють на переробку на льонозавод. Складність процесу перетворення стебelloвої частини у тресту полягає у значних розмірах валка в поперечному перерізі. Адже для збільшення продуктивності зернозбиральних комбайнів ширину їх захвату прагнуть збільшити до 12 м. Окремі дослідники намагаються вирішити проблему введенням у технологічний процес додаткових операцій із розстилання валків та механічного впливу на них у процесі вилежування стебел [6]. Це не сприяє отриманню якісного волокнистого матеріалу.

Новим напрямом у технології збирання є створення технічного засобу на базі зернозбирального комбайна для реалізації схеми, показаної на рис. 1.

У такому випадку стебelloву частину льону зрізають чи беруть залежно від фази стиглості стебelloстою, відділяють насінневу частину та руйнують стебла за допомогою механічної обробки, видаляють кострицю. Якщо волокнистий матеріал зрілий, то його формують у рулони і транспортують до місця отримання однотипного волокна. Якщо зруйновані стебла перебували у фазі ранньої стиглості, то їх вкладають у валки для вилежування. Після вилежування та дозрівання волокнистого матеріалу до фази повної стиглості додатковими технічними засобами здійснюють формування рулонів з наступним транспортуванням їх до місця отримання однотипного волокна. Таким чином, усі технологічні операції, крім формування рулону з валків після вилежування та їх транспортування, можна виконувати зернозбиральним комбайном. Реалізація запропонованої технології допоможе отримувати волокно з льону олійного з невеликими втратами, знизити енерговитрати на процес, максимально зібрати всі складові вирощеного врожаю.

Основним змінним робочим органом зернозбирального комбайна має бути бральний апарат, робочими елементами якого є пари вальців. Залежно від ширини захвату зернозбирального комбайна кількість вальців є різною.

Особливість роботи пари вальців полягає в одночасному захопленні та створенні умов витягування з ґрунту від 1 до 15 стебел, що підтверджується розрахунком робочої зони. При цьому враховано кутову швидкість обертання вальців та поступальну швидкість переміщення збирального агрегату. Для цього розглянемо процес переміщення стебел льону робочою зоною вальцьового брального апарата при витягуванні їх з ґрунту (рис. 2). Приймаємо, що кутові швидкості обертання вальців рівні, а витягування стебел відбувається без проковзування по поверхні вальця. За цих умов стебла переміщуватимуться як у

вертикальному, так і в напрямі, протилежному руху комбайна. Число обертів вальців у такому разі, яке необхідне для звільнення від стебел уздовж вальців на відстань l_p , визначатиметься за формулою

$$n = l_p / (L_c + L_k), \quad (1)$$

де L_c – відстань від точки початкового контакту (створення сили брання) стебел з вальцями до поверхні поля, м;

L_k – довжина кореня, м.

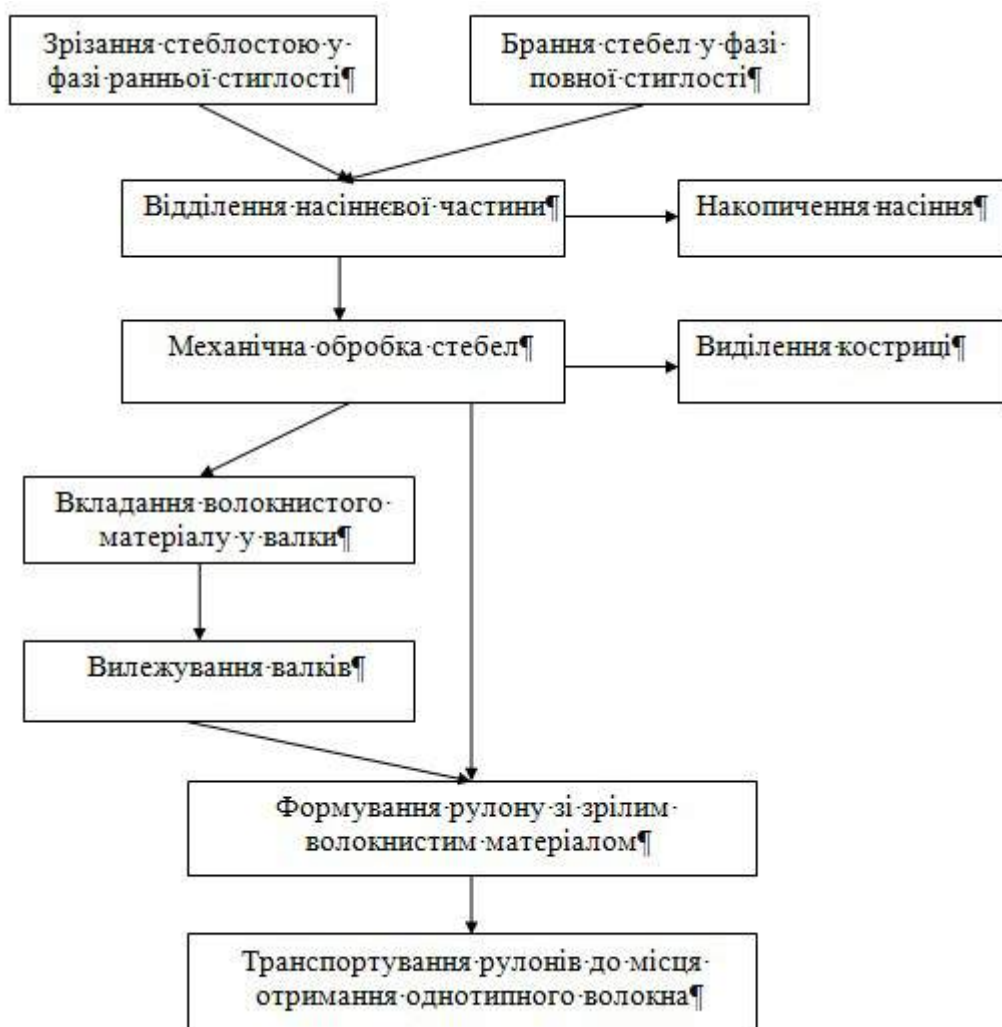


Рис. 1. Структурна схема технологічного процесу збирання льону олійного.

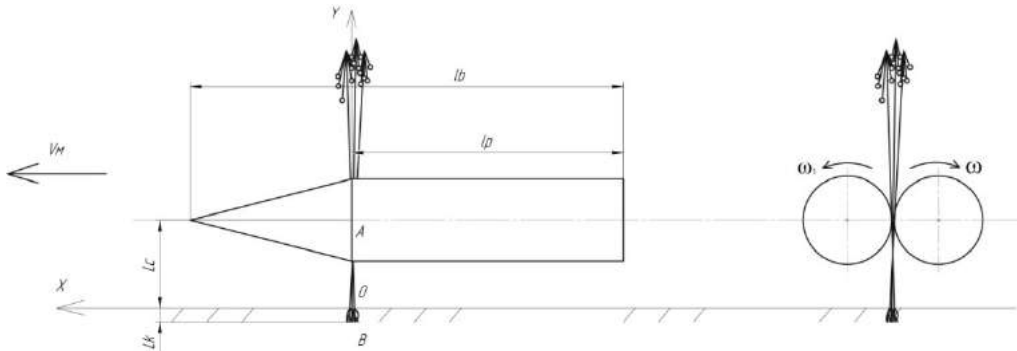


Рис. 2. Розрахункова схема до визначення довжини робочої зони вальців льонобрального апарата.

Значення кутової швидкості обертання вальців ω_1 , яка необхідна для переміщення стебла вздовж вальців на відстань l_p за час t :

$$\omega_1 = 2\pi n / t, \quad (2)$$

Відповідно за такий самий час t комбайн для збирання льону олійного переміститься з початкового положення, яке визначається початком контакту стебла з вальцями (на рис. 2 цьому моменту відповідає точка А), вздовж осі x на відстань S . Таким чином, можна записати:

$$S = V_k \cdot t, \quad (3)$$

де V_k – робоча швидкість комбайна для збирання льону олійного, м/с.

Для роботи льонобрального апарата без утворення заторів на вході у зазор між вальцями (на вході у робочу зону) необхідно, щоб виконувалася умова:

$$S \leq l_p. \quad (4)$$

Або з врахуванням швидкості льонозбирального комбайна та висоти розміщення брального апарата над поверхнею поля:

$$\omega_1 \geq 2\pi V_k / (L_c + L_k). \quad (5)$$

Ефективна робота брального апарата буде забезпечена з врахуванням моменту, коли кінці кореня стебел звільняються з ґрунту. При цьому їх шлях становить відстань від точки В до точки А в напрямі осі y . Переміщення у вертикальному напрямі має відбуватися швидше, ніж переміщення комбайна. Після цього стебла граблинами мотвила спрямовуються на платформу жатки.

Очевидно, що таке явище можливе, якщо у (5) поставити знак рівності. Тоді стебло буде рухатись у напрямі осі y , а вальці мають повернутись на певний кут для витягування кореня з ґрунту. Цей кут визначають за формулою

$$\varphi = (L_c + L_k) / r_b, \quad (6)$$

де r_b – радіус циліндричного вальця, м.

Час брання стеблостою до передачі його на платформу жатки становить:

$$t = \varphi / \omega_1. \quad (7)$$

З урахуванням швидкості руху комбайна для збирання льону олійного та часу витягування кореня з ґрунту можна встановити мінімальну та максимальну довжини робочої зони (зони створення зусилля витягування стебел льону олійного):

$$l_p^{min} = V_k \cdot t = L_k \cdot \varphi / 2\pi = L_k \cdot L_c + L_k^2 / 2\pi r_b, \quad (8)$$

$$l_p^{max} = V_k \cdot t = (L_c + L_k) \varphi / 2\pi = (L_c + L_k)^2 / 2\pi r_b, \quad (9)$$

Підставивши відповідні значення $L_c = 50$ мм та $L_k = 100$ мм, отримаємо $l_p = 31,5 \dots 47,0$ мм. З конструктивних міркувань довжину робочої зони збільшуємо у два рази, а геометрично – робоча зона веденого вальця виконана конічною, ведучого – циліндричною.

Висновки. Підвищення ефективності вирощування льону олійного на території Північного Полісся залежить від адаптації технологій у період збирання до кліматичних умов. Запропоновано структурну схему, яка враховує фази дозрівання льону олійного та вказує на потребу вдосконалення збирального агрегату на базі зернозбирального комбайна, для якого необхідно передбачити апарат брального типу. Проведено розрахунок робочої зони пари вальців, де робоча зона веденого виконується конічною, а ведучого – циліндричною. Він вказує на можливість одночасного брання від 1 до 15 стебел, що є умовою якісного збирання льону олійного у фазі його повної стиглості. Подальші дослідження, відповідно до структурної схеми, необхідно спрямувати на конструктивне обґрунтування пристрою для механічного руйнування стеблової маси з метою її зменшення при вкладанні на поле для вилежування.

Бібліографічний список

1. Юник А. Особливості вирощування льону олійного. *Пропозиція*. URL : <http://propozitsiya.com/.../osoblivosti-viroshchuvannya-lonu-oliyn>.
2. Онюх Ю. М., Дідух В. Ф., Тараймович І. В. Дослідження умов вирощування льону олійного. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. / Луцький НТУ. Луцьк, 2016. Вип. 30. С. 104-110.
3. Дідух В. Ф., Дударев І. М., Онюх Ю. М. Использование стеблей льна масличного для изготовления брикетов и гранул. *Материалы Международ. науч.-техн. конф.*, 16-21 окт. 2016 г. Минск, 2016. Т. 2. С. 215-220.
4. Шувар А. М., Войтович Р. М. Оцінка способів збирання льону олійного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2012. № 17. С. 149-153.
5. Дідух В. Ф., Буснюк В. В. Вдосконалення жатки зернозбирального комбайна. *Інноваційні технології в АПК* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. Луцький НТУ. Луцьк, 2017. С. 17-18.
6. Спосіб отримання однотипного волокнистого матеріалу з льону : пат. 36522А, Україна, кл. D01C 1/00. № 99127177; заявл. 28.12.99. опубл. 2009, Бюл. № 1. 2 с.

Дідух В., Онюх Ю., Ягелюк С. Підвищення ефективності збирання льону олійного на території Північного Полісся

На зміну льону-довгунцю, який широко культивувався на території Північного Полісся, приходять льон олійний. Активна селекційна робота науковців дозволяє отримувати насіння льону у межах 20 ц/га з таких сортів, як Айсберг, Південна Ніч, Орфей, Лірина, Сонячний, в умовах Північного Полісся. Останні польові дослідження показали, що найефективнішим сортом для кліматичних умов Північного Полісся є сорт Лірина. Проте варто звернути увагу на погодні умови від весняної підготовки площ під посів до збирання льону.

Для використання біологічного потенціалу льону олійного, вирощеного в кліматичних умовах Північного Полісся, запропоновано технологію збирання льону олійного з урахуванням фази дозрівання.

Запропонована структурна схема, яка враховує фази дозрівання льону олійного та вказує на потребу вдосконалення збирального агрегату на базі зернозбирального комбайна, для якого необхідно передбачити апарат брання типу. Проведений розрахунок робочої зони пари вальців, де робоча зона веденого виконується конічною, а ведучого – циліндричною. Він вказує на можливість одночасного брання від 1 до 15 стебел, що є умовою якісного збирання льону олійного у фазі його повної стиглості.

Подальші дослідження, відповідно до структурної схеми, необхідно спрямувати на конструктивне обґрунтування пристрою для механічного руйнування стеблової маси з метою її зменшення при вкладанні на поле для вилежування.

Ключові слова: технологія, льон олійний, збирання, брання, комбайн.

Didukh V., Onyuh Yu., Yaheliuk S. The efficiency of oil flax harvesting on the Northern Polesye territory

In place of long fibred flax, widely cultivated on the territories of Northern Polissya, oil flax comes in. Active breeding work of scientists allows them to receive flax seeds in the range of 20 c/ha from varieties such as Aysberg, Pivdenna Nich, Orpheus, Lyryna, Sonyechnyu in the conditions of Northern Polissya. The latest field research has shown that the most effective variety for the climatic conditions of Northern Polissya is the Lyryna variety. However, it is worth paying attention to the weather conditions from spring preparation of areas under sown till harvesting of flax.

To use the biological potential of oil flax, grown in Northern Polissya climatic conditions, the oil flax harvesting technology, according to the ripening phase, is proposed.

The structural scheme, which takes into account the maturation phases of oil flax, and indicates the need for harvesting unit improvement on the combine harvester basis, for which it is necessary to provide a device of the breeding type is proposed. A calculation of the working area of a pair of rollers, where the working area is carried out by the conic, and the leading – cylindrical is done. It indicates the possibility of

simultaneous breeding from 1 to 15 stems, which is a condition of quality harvesting of oil flax in the phase of its full ripeness.

Further research, in accordance with the structural scheme, should be directed to the structural justification of the device for mechanical destruction of the stem mass in order to reduce it when placed on the field for climbing.

Key words: technology, oil flax, cleaning, pulling, harvester.

Дидух В., Онюх Ю., Ягелюк С. Повышение эффективности уборки льна масличного на территории Северного Полесья

На смену льна-долгунца, который широко культивировался на территориях Северного Полесья, приходит лен масличный. Активная селекционная работа ученых позволяет получать семена льна в пределах 20 ц / га из таких сортов, как Айсберг, Южная Ночь, Орфей, Лирина, Солнечный в условиях Северного Полесья. Последние полевые исследования показали, что наиболее эффективным сортом для климатических условий Северного Полесья является сорт Лирина. Однако стоит обратить внимание на погодные условия от весенней подготовки площадей под посев до уборки льна.

Для использования биологического потенциала льна масличного, выращенного в климатических условиях Северного Полесья, предложена технология сбора льна масличного с учетом фазы созревания.

Предложена структурная схема, которая учитывает фазы созревания льна масличного и указывает на необходимость совершенствования уборочного агрегата на базе зерноуборочного комбайна, для которого необходимо предусмотреть аппарат теребильного типа. Проведен расчет рабочей зоны пары вальцов, где рабочая зона ведомого выполняется конической, а ведущего – цилиндрической. Он указывает на возможность одновременного теребления от 1 до 15 стеблей, что является условием качественной уборки льна масличного в фазе его полной спелости.

Дальнейшие исследования, в соответствии со структурной схемой, необходимо направить на конструктивное обоснование устройства для механического разрушения стеблевой массы с целью ее уменьшения при укладке на поле для созревания.

Ключевые слова: технология, лен масличный, уборка, теребление, комбайн.

ВПЛИВ ОБСТАВИН НА ФОРМУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

*І. Городецький, к. т. н., І. Мазур, к. с.-г. н.,
Н. Городецька, к. психол. н., А. Березовецький, к. т. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. У зв'язку з низкою особливостей сучасне аграрне виробництво характеризується значним впливом на працівників параметрів кліматичних і мікрокліматичних умов, позанормових впливів фізичних, біологічних, хімічних, психофізіологічних чинників, що з врахуванням сезонності виробництва, територіальності тощо досить часто спричинює виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій і відповідно травмування працівників [1]. Останніми роками (2014-2016) загальна кількість травмованих у агропромисловому комплексі становить близько 600–700 осіб щороку. За узагальненими статистичними даними, переважають причини організаційного характеру (60–70 %) (недотримання режимів праці, негативні зміни технологічних процесів, порушення вимог безпеки використання машин, механізмів, відсутність засобів індивідуального захисту тощо). Інші причини – технічні (незадовільний технічний стан засобів виробництва, виробничих об'єктів, конструктивні недоліки, недостатня надійність засобів виробництва тощо) та психофізіологічні (стан здоров'я, алкогольне, токсикологічне отруєння та ін.) теж мають важливе значення [2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низка наукових публікацій свідчить про актуальність досліджень функціонування систем безпеки у різних фазах життєвого циклу проектів аграрного виробництва, а також використання різних методик аналізу небезпек виробничих процесів [1-3]. При цьому важливе значення мають розроблені рекомендації щодо зниження професійних ризиків трактористів-машиністів та інших працівників під час механізованих процесів в агропромисловому комплексі, у тому числі на основі розроблення і використання моделей та методів управління проектами з охорони праці [4-5].

Подальше вивчення і обґрунтування нових схем процесів формування травмонебезпечних ситуацій з використанням методів оцінки ризиків та методик менеджменту безпеки процесів [6], а також систематизація й узагальнення небезпечних умов та обставин аграрного виробництва є важливими напрямками вдосконалення систем управління безпекою праці, зниження виробничого травматизму і захворювань.

Постановка завдання. Завданням статті є теоретичне обґрунтування і узагальнена класифікація умов та обставин аграрного виробництва, які призводять до зародження процесів формування та розвитку небезпечних ситуацій.

Виклад основного матеріалу. Характеризуючи роль обставин у процесах формування та розвитку небезпечних ситуацій аграрного виробництва, важливо означити суть цього поняття. Як відомо, обставина – це явище, подія, факт виникнення чогось і т. ін., що пов'язані з чим-небудь, супроводжують або викликають що-небудь, впливають на щось [5]. Обставина пояснює значення дії або ознаки, виражає якісно-означальну характеристику дії, стану чи позначає, за яких обставин відбувається дія, вказує на спосіб, міру або ступінь вияву дії або ознаки. Небезпечні обставини (НО) розпізнають аналогічно звичайним обставинам, на що вказує та чи інша небезпечна подія. Небезпечні обставини розкривають відповідно небезпечні дії, стан чи ознаки небезпечного чинника і особливості, за яких вони діють на оператора:

$$P_{НО} = f(P_{НД}, P_{Нч}, P_{Нчс}, P_{Нчо}), \quad (1)$$

де $P_{НО}$ – ймовірність виникнення небезпечної обставини;

$P_{НД}$ – ймовірність настання події внаслідок небезпечної дії;

$P_{Нч}$ – ймовірність настання події внаслідок впливу небезпечного чинника;

$P_{Нчс}$ – ймовірність настання події внаслідок зміни стану небезпечного чинника;

$P_{Нчо}$ – ймовірність настання події внаслідок зміни ознаки небезпечного чинника.

Небезпечні обставини можна умовно класифікувати відповідно до їх значення на такі види:

- місця ($НО_л$ – характеризують локалізацію небезпечної дії, стану чи ознаки, напрями дії небезпечних чинників – до об'єкта, від об'єкта) – змінна чи постійна небезпечна зона, біля рухомих частин стаціонарних верстатів, обладнання і сільськогосподарських машин, у зоні досяжності небезпечних тварин (ВРХ), під вантажем (піднятий кузов, рух краном-балкою) та ін.;

- часу ($НО_ч$ – вказують на час дії, стану, ознаки, тобто коли трапляються небезпеки, відколи почалися і доки будуть тривати – під час робочої зміни – на початку операції механізованого годування тварин, у середині, у кінці, на різних етапах робіт, у нічну зміну польових збиральних робіт тощо);

- мети ($НО_м$ – позначають досягнення мети за рахунок небезпечних дій, стану чи ознаки небезпечного чинника, пріоритетність дії відносно вимог безпеки – рух транспорту у важких дорожніх і погодних умовах – польові дороги восени під час дощу, хімічний захист рослин – за вітряної погоди, робота на глибині і висоті тощо);

- причини ($НО_п$ – позначають або причину небезпек, або підставу небезпечної дії, або причину виникнення небезпечного стану, тобто чому та з якої причини виникають небезпеки – організаційні, технічні, психофізіологічні);

- умови ($НО_у$ – позначають умову, за якої відбувається небезпечна дія, тобто за якої умови чи умов виникає небезпека – за використання несправного агрегату, за порушення правил безпеки, за свідомого нехтування вимогами безпеки, за несприятливої погоди тощо);

- допустовості ($НО_д$ – позначають умову, у супереч якій щось відбувається, тобто небезпека виникає незважаючи на створені запобіжні заходи – раптовий

вихід з ладу агрегату, несправність систем блокування, запобігання, дистанційного контролю електричних апаратів на фермі тощо);

- способу дії (HO_{cd} – позначають якість небезпечної дії, стану, ознаки або вказують на різні способи здійснення небезпечної дії чи ознаки або вияву ознаки – як чи яким чином працівник потрапляє у небезпечну зону – відсутність попереджувальних написів на електричних щитах, знаків безпеки, відсутність огороження небезпечної зони на тоці, помилкові дії під час збирання зернових тощо);

- міри і ступеня (HO_{mc} – характеризують небезпечну дію, стан чи ознаку за ступенем або мірою їх вияву, тобто наскільки чи якою мірою проявляються небезпеки), часто можуть бути кількісною характеристикою небезпек.

Небезпечні обставини – це, як правило, сукупність умов, за яких відбуваються небезпечні дії, стани, події, проявляються ознаки.

Небезпечні необхідні обставини (особливості реальної дійсності, сукупність даних, положення, що лежать в основі чого-небудь), які уможливають здійснення, створення, утворення небезпечних подій, явищ, фактів їх виникнення тощо або сприяють їм, називають небезпечними умовами (НУ).

Аналіз значної кількості небезпечних умов, які є наявними чи періодично виникають в аграрному виробництві, показує, що за характером дії їх можна узагальнено класифікувати на такі групи відповідно до [5]: HU_1 – вказують на небезпечні чинники машин, виробничого обладнання, робочих місць, будівель, фермських споруд тощо (відсутність чи несправність/невідповідність огороження рухомих деталей, робочих органів, відсутність, несправність або недосконалість технічних засобів безпеки: запобіжних, блокувальних, обмежувальних пристроїв, засобів звукової чи світлової сигналізації машинно-тракторних агрегатів тощо), конструктивні недоліки агрегатів, вузлів чи технічного засобу та інші; HU_2 – спонукають працівника помилятися під час праці (конструктивні недоліки, що є результатом помилок під час проектування, виготовлення, транспортування, зберігання чи експлуатації як технічного засобу чи окремого обладнання, так і недоліки технологічного процесу чи окремої операції), низький рівень кваліфікації працівника і відповідно знань вимог безпеки праці, а також відсутність ступеневого контролю за дотриманням інструкцій з охорони праці; HU_3 – допускають працівника чи інших осіб у небезпечну зону (відсутність попереджувальних знаків і написів на об'єктах електричних підстанцій, силових щитів, відсутність чи несправність захисних блокувальних пристроїв і огорожень небезпечної зони чи різних видів сигналізації про наближення до небезпечних об'єктів, у тому числі неправильно організоване робоче місце та інші); HU_4 – безпосередньо призводять до травмонебезпечної ситуації (раптовий вихід з ладу технічного засобу – трактора, сільськогосподарської машини, порушення режимів роботи обладнання – металорізального верстата, наявність додаткових зовнішніх і внутрішніх небезпек, порушення вимог безпеки під час планування і організації виробничої зони, робочого місця тощо).

З урахуванням впливу різних груп небезпечних обставин ($\Sigma\text{НО}$) і їх складових умов ($\Sigma\text{НУ}$) за допущеної множини небезпечних дій ($\Sigma\text{НД}$) працівником, за дії небезпечних ($\Sigma\text{НВЧ}$) і/або шкідливих ($\Sigma\text{ШВЧ}$) виробничих чинників може трапитися небезпечна ситуація (НС), як сукупність умов та обставин, що створюють певне небезпечне становище. Узагальнена схема процесів формування небезпечних ситуацій, які призводять до виникнення аварій, травматизму, захворювань:

$$(\Sigma\text{НО} + \Sigma\text{НУ}) \rightarrow (\Sigma\text{НД}, \Sigma\text{НВЧ}, \Sigma\text{ШВЧ}) \rightarrow \Sigma\text{НС} \rightarrow \text{А, Т, З.} \quad (2)$$

Небезпечна дія, як поведінка оператора, що суперечить науково обґрунтованим нормам дії під час виконання виробничих завдань, може бути таких видів: НД_1 – свідоме чи несвідоме порушення технологічного процесу, режимів роботи обладнання, черговості операцій, недотримання термінів робіт з різних причин тощо; НД_2 – порушення вимог безпеки під час виконання виробничих завдань; НД_3 – помилкова дія внаслідок зовнішніх чи внутрішніх чинників під час виконання виробничих завдань; НД_4 – злочинні дії інших осіб.

У результаті процесів формування і виникнення небезпечних ситуацій, як поєднання зазначених структурних складових, настають такі події: аварії (А), травми (Т), катастрофи, захворювання (З), а також виняток – результат без небезпечних чи шкідливих наслідків (ПС – сприятлива подія) або їх мінімальні рівні, якими теоретично можна знехтувати, а практично важливо зробити правильні висновки, детально проаналізувати схему і забезпечити недопущення її повторення у майбутньому.

Висновки. Наявність у аграрних підприємствах небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які за певних умов і обставин спричиняють небезпечні ситуації і аварії, зумовлює потребу вдосконалення методів їх виявлення, що дасть змогу ефективнішого управління змінами. Для зниження ризиків в аграрному виробництві виконано теоретичне обґрунтування і розроблена узагальнена класифікація небезпечних умов та обставин, які призводять до зародження процесів формування та розвитку небезпечних ситуацій. Удосконалено схему взаємодії небезпечних умов, обставин та дій, що за впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників показує процеси формування небезпечної ситуації.

Бібліографічний список

1. Городецький І., Березовецький А., Городецька Н. Використання методик аналізу небезпек процесів для удосконалення охорони праці. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 5-8.
2. Стан виробничого травматизму по галузях. URL: <http://dsp.gov.ua/category/diyalnist/travmatyzm-na-vyrobnytstvi/> (дата звернення 12.12.2017).
3. Гнатюк О. А. Зниження професійного ризику трактористів-машиністів на механізованих процесах в агропромисловому комплексі України : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. Київ, 2015. 161 с.
4. Москалюк А. Ю. Моделі та методи управління ініціацією проектів охорони праці : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22. Одеса, 2016. 145 с.

5. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ : Урожай, 1993. 272 с.
6. Horodetskyu I. Risk assessment of the system safety in agrarian production. *Conditions of Development of Village and Rural Areas*. Wroclaw : Uniwersytet Przyrodniczy we Wroclawiu, 2007. P. 19-22.

Городецький І., Мазур І., Городецька Н., Березовецький А. Вплив обставин на формування небезпечних ситуацій аграрного виробництва

На основі аналізу особливостей процесів формування небезпечних ситуацій в аграрному виробництві розроблено узагальнену класифікацію небезпечних обставин та умов, які призводять до зародження процесів формування та розвитку небезпечних ситуацій. Деталізовано схему взаємодії небезпечних умов, обставин, дій, небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що показує розвиток процесу формування небезпечної ситуації.

Ключові слова: безпека праці, небезпечні: умова, обставина, дія і ситуація.

Horodetskyu I., Mazur I., Horodetska N., Berezovetskyi A. Influence of circumstances on the formation of dangerous situations of agrarian production

On the basis of the analysis of the peculiarities of the processes of formation of dangerous situations in agrarian production a generalized classification of dangerous circumstances and conditions that lead to the origin of processes of formation and development of dangerous situations is developed. The scheme of interaction of dangerous conditions, circumstances, actions, dangerous and harmful industrial factors is detailed. Detailed scheme shows the development of the process of forming a dangerous situation.

Key words: safety of work, dangerous: condition, circumstance, action and situation.

Городецкий И., Мазур И., Городецкая Н., Березовецкий А. Влияние обстоятельств на формирование опасных ситуаций аграрного производства

На основе анализа особенностей процессов формирования опасных ситуаций в аграрном производстве разработана обобщенная классификация опасных обстоятельств и условий, которые приводят к зарождению процессов формирования и развития опасных ситуаций. Детализирована схема взаимодействия опасных условий, обстоятельств, действий, опасных и вредных производственных факторов, которая показывает развитие процесса формирования опасной ситуации.

Ключевые слова: безопасность труда, опасные: условие, обстоятельство, действие и ситуация.

Розділ 4

ЕНЕРГЕТИКА АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 621.359:621.31

АНАЛІЗ НЕУСТАЛЕНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ФРАГМЕНТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КЛАСИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ

*А. Чабан, д. т. н., В. Левонюк
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Сучасна електроенергетична система являє собою складний комплекс різноманітних взаємопов'язаних елементів: генераторів, трансформаторів, ліній електропередачі, електродвигунів тощо. Її робота в будь-який момент часу характеризується певним значенням потужності на виводах генераторів і в споживачів, напругою у різних вузлових точках, струмом у різних елементах, частотою та іншими величинами. Стан системи визначається зміною цих параметрів. Під час аварійних ситуацій ці параметри змінюються дуже швидко й досягають аварійних значень і можуть пошкодити коштовне електроенергетичне обладнання, що негативно вплине на стан роботи системи. Апарат математичного моделювання дає змогу уникнути використання дорогих натурних експериментів для дослідження перехідних процесів в елементах електроенергетичних систем. Тому дослідження неусталених процесів в електроенергетичних системах на основі математичного моделювання є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі аналізу електромагнітних перехідних процесів у фрагменті електроенергетичної системи присвячено велику кількість наукових робіт та публікацій як вітчизняних, так і закордонних дослідників. Детальний аналіз останніх досліджень і публікацій було здійснено нами в [1], натомість у нинішній праці ми розглянемо лише ті роботи, які найближчі до теми цієї праці.

У роботі [2] розроблено математичну модель електроенергетичної системи для дослідження процесів при розв'язанні задач несиметричних режимів. Як основний елемент уніфікації схем заміщення використано багатополіусник, вузлові провідності якого враховують групи з'єднання фазних обмоток і особливості схем регулювання напруги трансформаторів.

Описуються проблеми, які виникають під час розроблення математичних моделей та макромоделей ліній електропередачі, у роботі [3]. Також розроблено дискретну макромодель лінії електропередачі в однофазному вигляді з

використанням «чорного ящика». Представлено опис моделі, порядок її створення та отримані результати досліджень.

У [4] розглядається побудова математичної моделі лінії електропередачі, що дозволяє отримати розподіл напруг та струмів у лінії в усталеному та перехідному станах. Особлива увага приділяється обчисленню взаємних ємностей проводів, що визначають витік енергії між провідниками і землею.

Розроблено математичну модель дво- та трипровідної лінії електропередачі змінного струму для дослідження неусталених процесів та явищ перенапруг у лінії 500 кВ у праці [5]. На основі програмного комплексу АТР-ЕМТР було розраховано перехідні процеси та досліджено явища перенапруг під час аварійного стану лінії.

У роботі [6] проведено аналіз електромагнітних неусталених процесів в електричній мережі, яка має таку конфігурацію: джерело живлення – силовий трансформатор – лінія електропередачі – автотрансформатор – навантаження. Математичну модель мережі сформовано в координатному базисі напруг та струмів віток електричних кіл, поточкозчеплень та магнітних напруг віток магнітних кіл електромагнітних апаратів на підставі окремих моделей кожного елементу. Виконано комп'ютерне моделювання блока електропередачі у середовищі MATLAB/Simulink та наведено результати досліджень перехідних процесів.

Постановка завдання. Метою роботи є побудова математичної моделі фрагмента електроенергетичної системи та з її допомогою проведення аналізу неусталених електромагнітних процесів, які відбуваються у мережі.

Виклад основного матеріалу. Під час побудови математичних моделей електроенергетичних систем науковці використовують два основних підходи: класичні та варіаційні. Кожен із цих підходів, за словами Уайта й Вудсона [7], призводить до вірних результатів, якщо, зрозуміло, правильно їх застосовувати. Оскільки в нинішній праці ми не будемо враховувати електростатичних впливів (явище корони), термодинамічних впливів (нагрівання електропроводів, особливо під час плавлення ожеледі), механічних впливів на проводи, зокрема різного роду коливань (особливо резонансних й близьких до резонансу (биття коливань) процесів) тощо, то можна обмежитися й класичними підходами, які ґрунтуються на законі збереження енергії.

На рис. 1 репрезентовано фрагмент досліджуваної електричної мережі електроенергетичної системи, основним елементом якої є довга лінія. Очевидно, що для аналізу неусталених електромагнітних процесів у довгій лінії потрібно використати телеграфне рівняння [8]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (C_0 R_0 + g_0 L_0) \frac{\partial u}{\partial t} + g_0 R_0 u \quad (1)$$

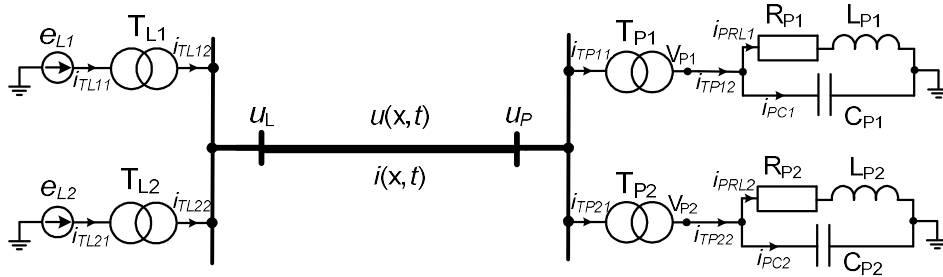


Рис. 1. Фрагмент електричної мережі електроенергетичної системи.

Перепишемо рівняння (1) у такому вигляді:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = (C_0 L_0)^{-1} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v - g_0 R_0 u \right), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = v, \quad (2)$$

де R_0 , C_0 , g_0 , L_0 – погонні параметри лінії (активний опір, ємнісна провідність, активна провідність та індуктивність).

Запишемо рівняння Ψ -типу для трансформаторів:

$$\frac{d\Psi_{TLj1}}{dt} = e_{Lj} - r_{TLj1} i_{TLj1}, \quad \frac{d\Psi_{TLj2}}{dt} = u_L - r_{TLj2} i_{TLj2}, \quad j = 1, 2; \quad (3)$$

$$\frac{d\Psi_{TPj1}}{dt} = u_P - r_{TPj1} i_{TPj1}, \quad \frac{d\Psi_{TPj2}}{dt} = V_{Pj} - r_{TPj2} i_{TPj2}, \quad j = 1, 2, \quad (4)$$

де Ψ – потокозчеплення обмоток трансформаторів; r_{TLj1} , r_{TLj2} , r_{TPj1} , r_{TPj2} – активні опори обмоток трансформаторів; $u_L \equiv u_1$ – напруга з лівого боку лінії; $V_{Pj} \equiv u_{CPj}$ – напруга на шинах трансформатора з правого боку на нижчій стороні; j – номер трансформатора.

Також запишемо рівняння для опису струмів та напруг в інших елементах мережі:

$$\frac{di_{PRLj}}{dt} = \frac{1}{L_{Pj}} (V_{Pj} - R_{Pj} i_{PRLj}), \quad \frac{du_{CPj}}{dt} = \frac{i_{TPj2} - i_{PRLj}}{C_{Pj}}, \quad j = 1, 2. \quad (5)$$

Замінивши рівняння Ψ -типу трансформатора (3), (4) на рівняння A -типу [9], отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{di_{TLj1}}{dt} &= A_{11Lj} (e_{Lj} - r_{TLj1} i_{TLj1}) + A_{12Lj} (u_L - r_{TLj2} i_{TLj2}), \\ \frac{di_{TLj2}}{dt} &= A_{21Lj} (e_{Lj} - r_{TLj1} i_{TLj1}) + A_{22Lj} (u_L - r_{TLj2} i_{TLj2}); \quad j = 1, 2. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{TPj1}}{dt} &= A_{11Pj}(u_P - r_{TPj1}i_{TPj1}) + A_{12Pj}(V_{Pj} - r_{TPj2}i_{TPj2}), \\ \frac{di_{TPj2}}{dt} &= A_{21Pj}(u_P - r_{TPj1}i_{TPj1}) + A_{22Pj}(V_{Pj} - r_{TPj2}i_{TPj2}); \quad j = 1, 2, \end{aligned} \quad (7)$$

де A_{km} – коефіцієнти, що залежать від обернених індуктивностей трансформатора [9],

j – номер трансформатора.

Для розв’язання телеграфного рівняння (2) потрібно знайти крайові умови до нього. Запишемо рівняння зв’язку між елементами заступної схеми лінії з розподіленими параметрами (рис. 2), застосувавши другий закон Кірхгофа:

$$-\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = R_0 i(x,t) + L_0 \frac{\partial i(x,t)}{\partial t}. \quad (8)$$

Дискретизуючи рівняння (2) та (8) за методом скінченних різниць, отримаємо:

$$\frac{dv_j}{dt} = (C_0 L_0)^{-1} \left(\frac{u_{j-1} - 2u_j + u_{j+1}}{(\Delta x)^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v_j - g_0 R_0 u_j \right), \quad u_1 = u(x,t)|_{x=0}, \quad u_N = u(x,t)|_{x=l} \quad (9)$$

$$-\frac{u_{j+1} - u_{j-1}}{2\Delta x} = R_0 i_j + L_0 \frac{di_j}{dt}, \quad \frac{du_j}{dt} = v_j, \quad j = 1, \dots, N. \quad (10)$$

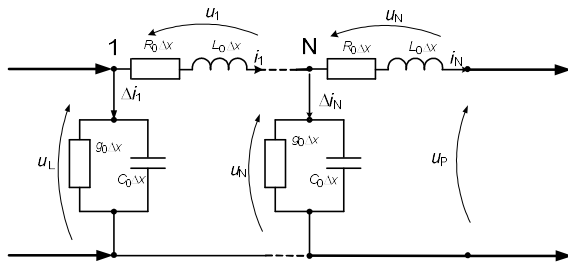


Рис. 2. Заступна схема довгої лінії із розподіленими параметрами.

Проаналізувавши рівняння (9) і (10), бачимо, що для знаходження напруги на першому та останньому вузлах дискретизації необхідно знайти невідомі напруги у фіктивних вузлах u_0 та u_{N+1} .

Запишемо рівняння стаціонарних зв’язків, використавши перший закон Кірхгофа (див. рис. 1, 2):

$$i_{TL12} + i_{TL22} - i_1 - \Delta i_{1C} - \Delta i_{1g} = 0, \quad i_N - i_{TP11} - i_{TP21} = 0, \quad (11)$$

де

$$\Delta i_{1g} = \Delta x g_0 u_1, \quad \Delta i_{1C} = \Delta x C_0 \frac{du_1}{dt} = \Delta x C_0 v_1. \quad (12)$$

Продиференціювавши перше рівняння в (11) та рівняння (12) за часом із урахуванням початкових умов, отримаємо:

$$\frac{di_{TL12}}{dt} + \frac{di_{TL22}}{dt} - \frac{di_1}{dt} - \frac{d\Delta i_{1C}}{dt} - \frac{d\Delta i_{1g}}{dt} = 0, \quad \frac{d\Delta i_{1g}}{dt} = \Delta x g_0 v_1, \quad \frac{d\Delta i_{1C}}{dt} = \Delta x C_0 \frac{dv_1}{dt}. \quad (13)$$

Тепер на основі першого виразу в (10) запишемо рівняння для визначення струму в першій та останній вітках лінії:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_0} \left(\frac{u_0 - u_2}{2\Delta x} - R_0 i_1 \right), \quad \frac{di_N}{dt} = \frac{1}{L_0} \left(\frac{u_{N-1} - u_{N+1}}{2\Delta x} - R_0 i_N \right), \quad \frac{di_N}{dt} = \frac{1}{L_0} \left(\frac{u_N - u_P}{\Delta x} - R_0 i_N \right). \quad (14)$$

Перше та друге рівняння в (14) ми отримали шляхом дискретизації (8) методом скінченних різниць із застосуванням центральної похідної, а третє рівняння – правої похідної.

Підставивши у перше рівняння в (13) друге рівняння з (6), перше рівняння з (14), друге та третє рівняння з (13), отримаємо:

$$A_{21L1} (e_{L1} - r_{TL11} i_{TL11}) + A_{22L1} (u_L - r_{TL12} i_{TL12}) + A_{21L2} (e_{L2} - r_{TL21} i_{TL21}) + A_{22L2} (u_L - r_{TL22} i_{TL22}) - \frac{1}{L_0} \left(\frac{u_0 - u_2}{2\Delta x} - R_0 i_1 \right) - \Delta x C_0 \frac{dv_1}{dt} - \Delta x g_0 v_1 = 0. \quad (15)$$

З урахуванням першого рівняння в (9), записаного для першого вузла дискретизації, отримаємо вираз для знаходження напруги u_0 у фіктивному вузлі з лівого боку заступної схеми довгої лінії (див. рис. 2):

$$u_0 = \frac{2\Delta x L_0}{3} \left[A_{21L1} (e_{L1} - r_{TL11} i_{TL11}) + A_{22L1} (u_L - r_{TL12} i_{TL12}) + A_{21L2} (e_{L2} - r_{TL21} i_{TL21}) + A_{22L2} (u_L - r_{TL22} i_{TL22}) + \frac{2 + \Delta x^2 g_0 R_0}{\Delta x L_0} u_1 - \frac{1}{2\Delta x L_0} u_2 \frac{R_0}{L_0} i_1 + \left(\frac{\Delta x (g_0 L_0 + C_0 R_0)}{L_0} - \Delta x g_0 \right) v_1 \right]. \quad (16)$$

Прирівнявши між собою друге та третє рівняння в (14), отримаємо:

$$\frac{1}{L_0} \left(\frac{u_{N-1} - u_{N+1}}{2\Delta x} - R_0 i_N \right) = \frac{1}{L_0} \left(\frac{u_N - u_P}{\Delta x} - R_0 i_N \right). \quad (17)$$

Звідси отримуємо вираз для визначення напруги u_{N+1} у фіктивному вузлі з правого боку заступної схеми довгої лінії (див. рис. 2):

$$u_{N+1} = u_{N-1} - 2(u_N - u_P). \quad (18)$$

Проаналізувавши вираз (18), можемо бачити, що у виразі є невідома напруга u_P . Для пошуку цієї напруги продиференціюємо за часом друге рівняння в (11), тоді отримаємо:

$$\frac{di_N}{dt} - \frac{di_{TP11}}{dt} - \frac{di_{TP21}}{dt} = 0. \quad (19)$$

Підставивши в рівняння (19) третє рівняння з (14) та перше рівняння із (7), отримаємо:

$$\frac{1}{L_0} \left(\frac{u_N - u_P}{\Delta x} - R_0 i_N \right) - A_{11P1} (u_P - r_{TP11} i_{TP11}) - A_{12P1} (V_{P1} - r_{TP12} i_{TP12}) - \\ - A_{11P2} (u_P - r_{TP21} i_{TP21}) - A_{12P2} (V_{P2} - r_{TP22} i_{TP22}) = 0. \quad (20)$$

Звідси отримаємо вираз для знаходження напруги з правого боку лінії:

$$u_P = \frac{\Delta x L_0}{1 + \Delta x L_0 (A_{11P1} + A_{11P2})} \left[\frac{1}{\Delta x L_0} u_N - \frac{R_0}{L_0} i_N + A_{11P1} r_{TP11} i_{TP11} - A_{12P1} (V_{P1} - r_{TP12} i_{TP12}) + \right. \\ \left. + A_{11P2} r_{TP21} i_{TP21} - A_{12P2} (V_{P2} - r_{TP22} i_{TP22}) \right]. \quad (21)$$

Струм у лінії знаходимо дискретизуючи рівняння (8) за методом скінченних різниць, але тепер використовуємо праву похідну [8]:

$$\frac{di_j}{dt} = \frac{1}{L_0 \Delta x} (u_j - u_{j+1}) - \frac{R_0}{L_0} i_j, \quad j = 1, \dots, N-1. \quad (22)$$

Сумісному інтегруванню підлягає така система рівнянь: (5) – (7), (9), (10), (22), з урахуванням (12), (16), (18), (21).

Комп'ютерну симуляцію здійснювали для аналізу перехідних процесів у фрагменті електричної мережі електроенергетичної системи, зображеної на рис. 1, зокрема досліджували стан виходу системи на усталений процес. Досліджувана система живиться від двох джерел безмежної потужності $E_{L1} = E_{L2} = 330$ кВ. Марки усіх трансформаторів Тр – АОДЦТН-333000/750/330. Параметри лінії: $R_0 = 1.9 \cdot 10^{-5}$ Ом/м, $L_0 = 9.24 \cdot 10^{-7}$ Гн/м, $C_0 = 1.31 \cdot 10^{-11}$ Ф/м, $g_0 = 3.25 \cdot 10^{-11}$ См/м, $l = 360$ км. Параметри навантаження: $R_{P1} = R_{P2} = 145$ Ом, $L_{P1} = L_{P2} = 0,36$ Гн, $C_{P1} = C_{P2} = 0,05 \cdot 10^{-6}$ Ф.

На рис. 3, 4 показано просторовий розподіл напруги та струму у лінії в момент часу $t = 0,002$ с та $t = 0,004$ с. Проаналізувавши графіки, бачимо, що в момент часу $t = 0,002$ с напруга та струм найбільше значення мають на початку лінії 310 кВ та 1,1 кА, коли в кінці лінії напруга дорівнює 180 кВ, а значення струму практично рівне нулю. У момент часу $t = 0,004$ с картина істотно змінилася, напруга на початку лінії має значення 625 кВ, поступово збільшується ближче до середини лінії до 700 кВ і знову зменшується у кінці лінії до 675 кВ. Щодо змін струму, то струм

на початку лінії має значення 1,025 кА, поступово зменшуючись при збільшенні довжини лінії, і в кінці набуває значення 0,65 кА. Такий перебіг процесів можна пояснити тим, що як тільки відбулась комутація електрорушійних сил (див. рис. 1), по лінії почали підніматися електромагнітні хвилі струму та напруги, тому на початку лінії струми та напруги є більшими, а коли хвилі доходять до кінця лінії і відбиваються – вони починають накладатися і характер процесів змінюється (крива 1, див. рис. 4).

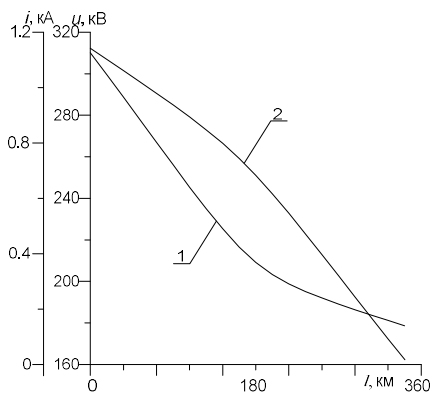


Рис. 3. Просторовий розподіл напруги (1) та струму (2) у лінії в момент часу $t = 0,002$ с.

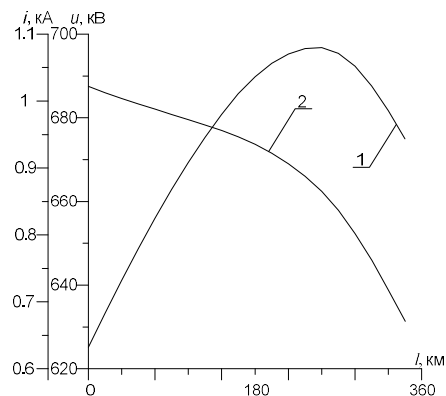


Рис. 4. Просторовий розподіл напруги (1) та струму (2) у лінії в момент часу $t = 0,004$ с.

На рис. 5 – 8 репрезентовано графіки перехідних процесів струму та напруги на початку та посередині лінії. З рис. 5 та 7 бачимо, що під час комутації значних перенапруг не було. Напруга на початку лінії збільшилася до 620 кВ, а посередині – до 700 кВ, після чого система вийшла в усталений стан і напруга на початку та посередині лінії набула значення 612 кВ.

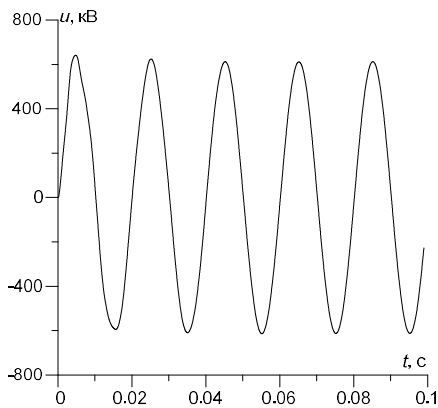


Рис. 5. Функція напруги на початку лінії.

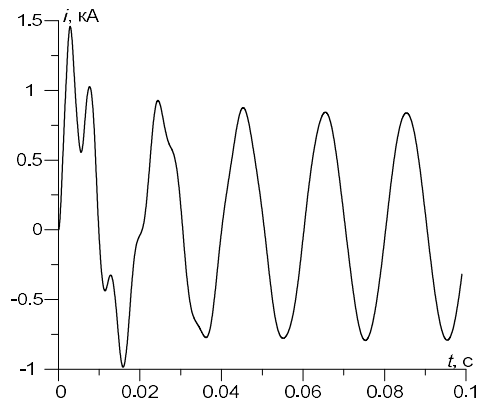


Рис. 6. Функція струму на початку лінії.

Аналізуючи графіки (див. рис. 6, 8), можемо сказати, що характер перебігу неусталених процесів функцій струму є набагато складнішим. Функція струму на початку лінії під час комутації набуває значення 1,5 кА, а посередині лінії – 1,2 кА, після чого в усталеному стані функції набувають значення 0,9 кА на початку та посередині лінії.

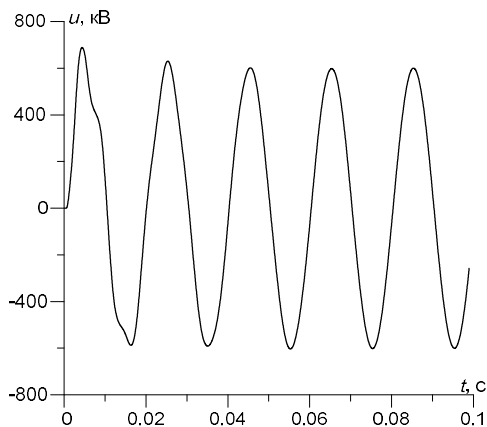


Рис. 7. Функція напруги посередині лінії.

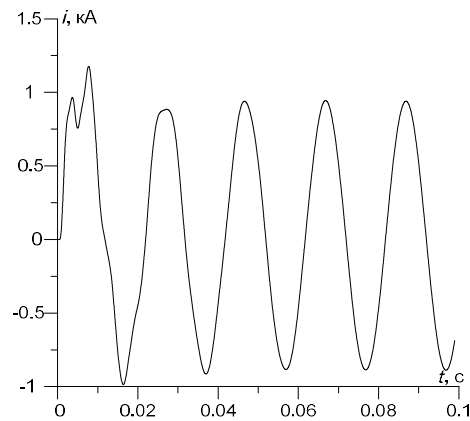


Рис. 8. Функція струму посередині лінії.

Рисунки 9 та 10 репрезентують напругу та струм лінії як функцію часової та просторової координат. Ці рисунки представлені у 3D форматі. Варто зазначити досить високу інформативність цих рисунків, яка полягає в тому, що і просторовий, і часовий розподіли створюють тривимірний простір. Доцільно згадані рисунки аналізувати, порівнюючи з рис. 3 – 8. Бачимо, як у початковий момент часу електромагнітні хвилі напруги та струму піднімаються на початку лінії і спадають до кінця й приблизно через 0,004 с відбиваються і фронти цих хвиль рухаються у зворотному напрямку. Згадані рисунки підтверджують фізичні засади стосовно хвильових електромагнітних процесів у довгих лініях електропередачі.

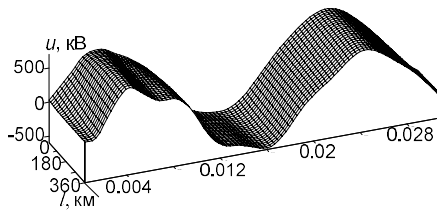


Рис. 9. Часово-просторовий розподіл функції напруги в момент часу $t [0; 0,032]$ с.

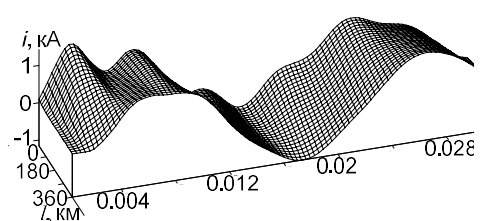


Рис. 10. Часово-просторовий розподіл функції струму в момент часу $t [0; 0,032]$ с.

Висновки. У роботі розроблено математичну модель фрагмента електричної мережі електроенергетичної системи, на основі якої проведено аналіз неусталених електромагнітних процесів у згаданій мережі. Показано один із можливих способів пошуку крайових умов до телеграфного рівняння, який дозволяє не заангажувати при цьому елементів заступної схеми самої лінії.

Бібліографічний список

1. Левонюк В. Порівняльний аналіз математичних моделей перехідних електромагнітних процесів в елементах електроенергетичних систем. *Вісник Львівського національного аграрного університету, Агроінженерні дослідження*. – 2016. – № 20. – С. 155-161.
2. Рагозин А. А. Моделирование электроэнергетических систем при решении задач несимметричных режимов. *Повышение эффективности работы энергосистем*. Москва : Энергоатомиздат, 2001. С. 51.
3. Stakhiv P., Kozak Yu., Hoholyuk O. Discrete mathematical macromodel of electric transmission line. *Przegląd elektrotechniczny*. – 2013. – № 4. – P. 272-274.
4. Нестеров Р. Е., Канев Ф. Ю., Макенова Н. А. Математическое моделирование линий электропередач и систем заземления. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1.1. С. 15-21.
5. Nayir A. Simulation of transient processes on overvoltage in electric transmission lines using ATP-EMTP. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 2013. № 5. P. 1553-1556.
6. Гоголюк О. П. Дослідження електропередачі в сучасних комп'ютерних середовищах. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 671. С. 24-31.
7. Уайд Д., Вудсон Г. Электромеханическое преобразование энергии. Ленинград : Энергия, 1964. 539 с.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника. Москва : Мир, 1964. 776 с.
9. Чабан А. В. Принцип Гамильтона-Остроградского в электромеханических системах : монография. Львів : Вид-во Тараса Сороки, 2015. 464 с.

Чабан А., Левонюк В. Аналіз неусталених електромагнітних процесів у фрагменті електроенергетичної системи на основі класичних підходів до моделювання

Виконано аналіз перехідних електромагнітних процесів у фрагменті електричної мережі електроенергетичної системи на основі побудованої математичної моделі з використанням класичних підходів. Також у роботі для розв'язування хвильового телеграфного рівняння здійснено пошук крайових умов до нього.

Ключові слова: математична модель, перехідні процеси, електроенергетична система.

Chaban A., Levoniuk V. Analysis of transient electromagnetic processes in the fragment of the electric power system on the basis of classical approaches to modeling

The analysis of transient electromagnetic processes in the fragment of the electric network of the electric power system on the basis of the constructed mathematical model with the use of classical approaches is carried out. Also in the work for solving the wave telegraph equation, the boundary conditions were searched for him.

Key words: mathematical model, transient processes, power system.

Чабан А., Левониук В. Анализ неустановившихся электромагнитных процессов в фрагменте электроэнергетической системы на основе классических подходов к моделированию

Выполнен анализ переходных электромагнитных процессов в фрагменте электрической сети электроэнергетической системы на основе построенной математической модели с использованием классических подходов. Также в работе для решения волнового телеграфного уравнения осуществлен поиск краевых условий к нему.

Ключевые слова: математическая модель, переходные процессы, электроэнергетическая система.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 10 кВ СКОЛІВСЬКОГО РЕМ

*Чумакевич В., к.т.н., Лапинський В., магістр
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Більшість ліній електропередачі (ЛЕП) 10 кВ експлуатується доволі тривалий час тому спостерігається низка негативних тенденцій:

старіння електротехнічного обладнання ліній, трансформаторних підстанцій та розподільних пристроїв;

відчутний брак коштів на реконструкцію та заміну обладнання;

технічні та комерційні втрати електроенергії зростають;

вкрай низький рівень резерву з електропостачання споживачів I та II категорій;

ЛЕП 10 та 35 кВ не завжди спроможні пропускати задані обсяги електроенергії, особливо в «години пік»;

на стадії дослідження та дослідної експлуатації лінії 20 кВ тощо.

Перелічені тенденції вимагають модернізації існуючих мереж, але шляхи її потрібно обирати в кожному конкретному варіанті окремо і обґрунтовано.

На основі дослідження втрат ділянки ЛЕП 10 кВ Сколівського РЕМ необхідно запропонувати варіант модернізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато досліджень визначення втрат у ЛЕП і впливу різних чинників на них [1 – 8].

У посібниках [1 – 3] наведено загальні методики визначення втрат у ЛЕП та можливі шляхи їх зменшення. У [4; 5] досліджується динаміка втрат під час експлуатації ліній. У [6; 7] пропонується зменшити втрати за рахунок оптимізації режимів роботи ліній електропередачі та основі обліку електроенергії. У [8] запропоновано три алгоритми розв'язання задач високої складності, до яких і належить задача визначення планового значення технічних втрат потужності.

Постановка завдання. Відповідно до планів реконструкції ЛЕП 10 кВ плануються роботи з модернізації ділянки Сколівського РЕМ без зміни режимів роботи та номінальної напруги мережі.

Міжнародний досвід підказує, що за рахунок оптимізації ресурсного потенціалу електромереж можливо зменшити втрати в електромережі. На початку експлуатації електромереж, наприклад на початку 90-х років XX ст., втрати в лініях становили лише 6 – 8 %, натомість зараз вони складають 12 – 14 %, а за іншими джерелами – до 18 %. Такі великі втрати зумовлені необлікованим використанням

електроенергії, але значну частку цих втрат мають технологічні втрати в ЛЕП [1 – 3]:

навантажувальні втрати в елементах ЛЕП та трансформаторних підстанціях і в розподільних пристроях;

втрати в трансформаторах у режимі неробочого ходу;

втрати на власні потреби;

втрати на корону тощо.

Для ЛЕП 10 кВ втрати в трансформаторах у режимі неробочого ходу можливо компенсувати заміною існуючих трансформаторів на сучасні, з більшим ККД. Втратами на корону для ліній 10 кВ можна нехтувати [1 – 3].

У літературі [1 – 3] вказується, що значного економічного ефекту можливо досягти за рахунок впровадження технічних заходів з компенсації реактивної потужності. На основі аналізу втрат електроенергії при поточній експлуатації та можливій заміні проводів або встановленні компенсаційних пристроїв необхідно запропонувати модернізацію ділянки ЛЕП 10 кВ.

Виклад основного матеріалу. Загалом обсяг втрат у ЛЕП та електричних мережах визначається їх технічними параметрами і струмом навантаження [1 – 4]:

$$\Delta P_{\text{л}} = 1,1 \cdot n \rho I^2 \frac{L}{S_{\text{л}}} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де 1,1 – конструктивний коефіцієнт;

n – кількість фаз ЛЕП;

L – протяжність ЛЕП, км;

$S_{\text{л}}$ – поперечний переріз проводу, мм²;

ρ – питомий опір матеріалу проводу за температури 20 °С;

I – середній струм навантаження, А.

Для визначення необхідної потужності установок повздожньої компенсації (УПК) реактивної потужності мережі можна записати:

$$X_{\text{УПК}} = \frac{Q_{\text{УПК}}}{3I^2}. \quad (2)$$

Для заданої ділянки протяжністю 1150 м та середніми робочими струмами на поточний рік 14,8 А, 22 А, 29,5 А і перспективними на 10 років – 17,6 А, 26,5 А, 35,3 А проведемо дослідження значення напруги ЛЕП, у відносних одиницях, залежно від типу проводу та струму навантаження. Використовуючи метод заморожених коефіцієнтів та скориставшись формулою (1), отримали ряд значень, для яких побудували гістограми (рис. 1 – 5). На рис. 6 – 8 наведено результати дослідження втрат напруги в ЛЕП у відносних одиницях при застосуванні УПК.

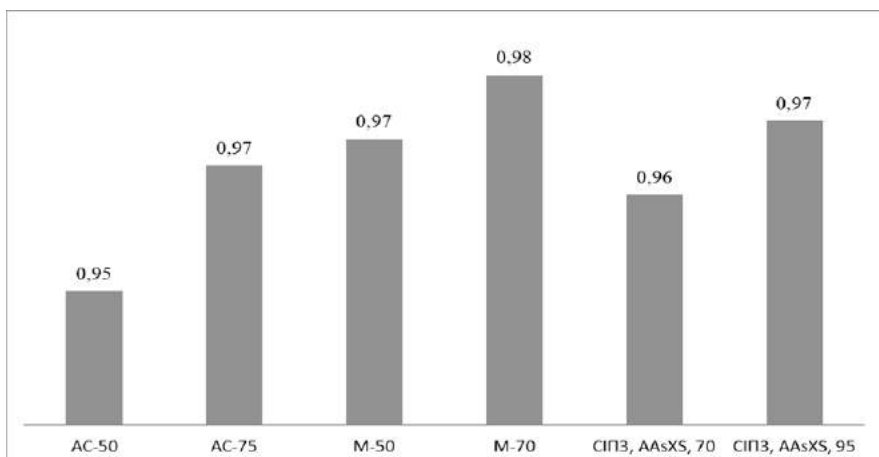


Рис. 1. Напряга у відносних одиницях при струмі 14,7А.

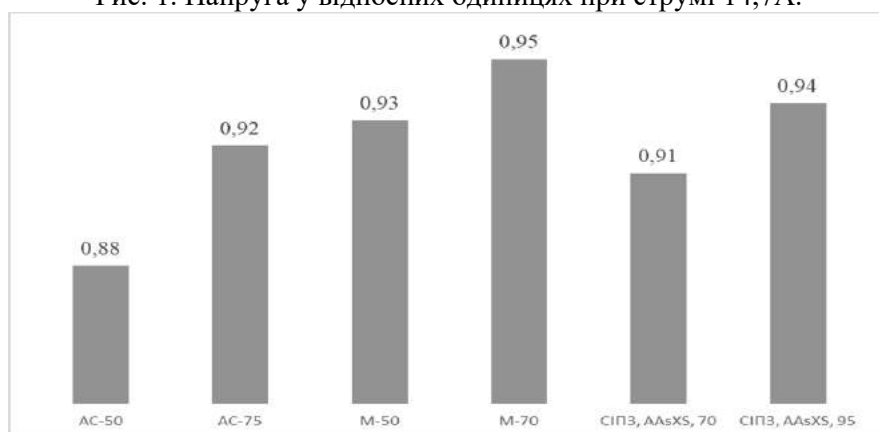


Рис. 2. Напряга у відносних одиницях при струмі 22 А.

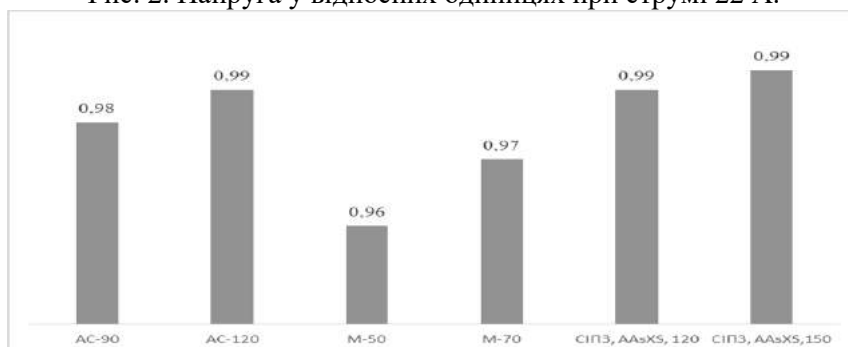


Рис. 3. Напряга у відносних одиницях при струмі 17,65 А.

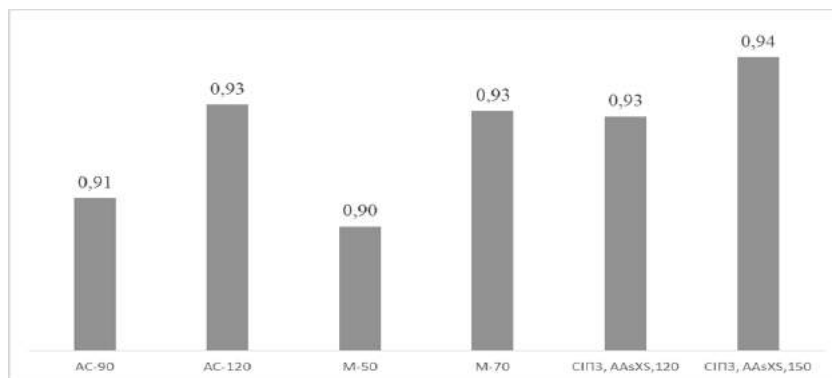


Рис. 4. Напруга у відносних одиницях при струмі 29,5 А.

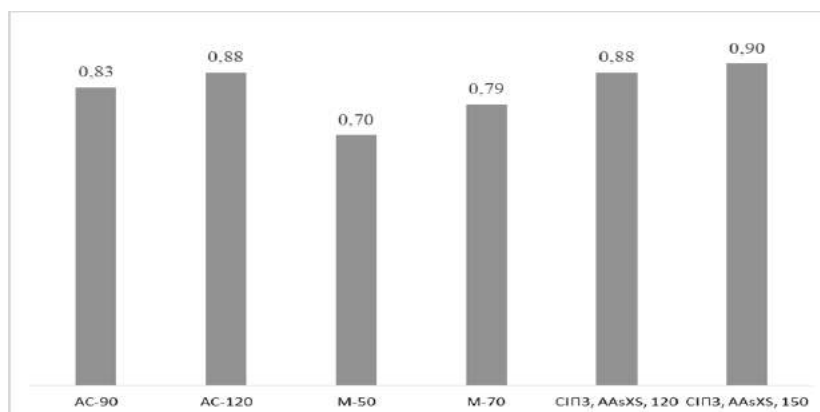


Рис. 5. Напруга у відносних одиницях при струмі 35,29 А.

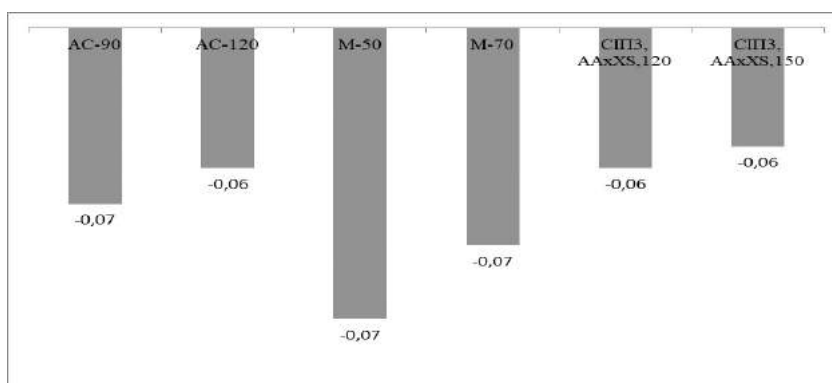


Рис. 6. Залежність ємнісного опору у відносних одиницях лінії при струмі 17,65 А.

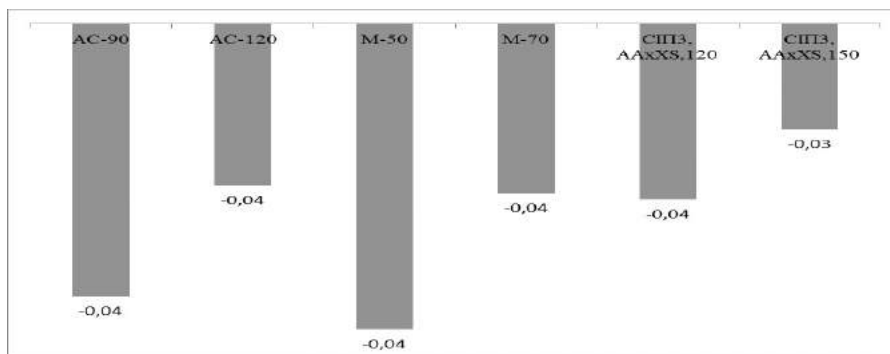


Рис. 7. Залежність ємнісного опору лінії, у відносних одиницях, при струмі 26,47 А.

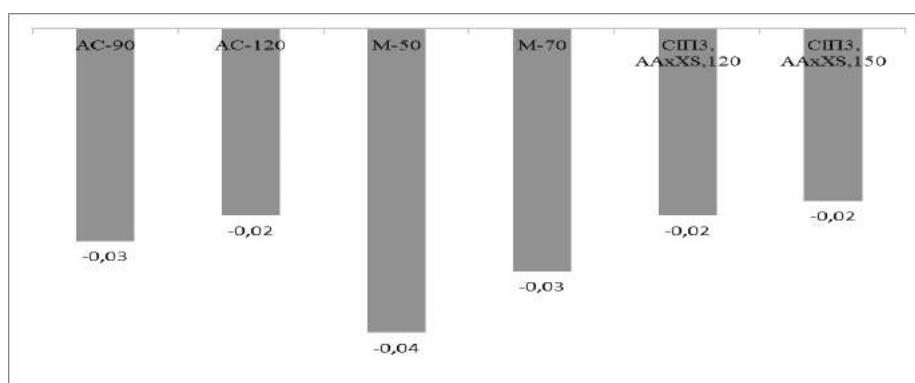


Рис. 8. Залежність ємнісного опору лінії, у відносних одиницях, при струмі 35,29 А.

Застосування УПК дозволяє не лише поліпшити режим напруги в мережах, а й отримати запас до 2 – 4 % за напругою. Проте такі установки є досить дорогими та складними в експлуатації, тому що для них необхідно застосовувати спеціальний захист від перенапруг та від коротких замикань у мережі. У районних мережах УПК використовують для підвищення пропускної здатності ЛЕП.

Звичайно вважають, що в зовнішніх повітряних мережах 10 кВ може бути допущена втрата напруги 6...8 %. Для заданої ЛЕП 10 кВ без заміни проводів АС-50 падіння напруги за використання УПК під час режиму максимальних навантажень становить 0,7 %, що задовольняє вимоги ПУЕ.

Висновки. За підсумками проведених досліджень можна зробити такі висновки:

збільшення поперечного перерізу провідників не дозволяє суттєво збільшити пропускну спроможність лінії;

використання УПК дає змогу підвищити пропускну здатність ЛЕП без заміни провідників та підвищує економічність її роботи;

отримані результати дослідження збіглися з рекомендаціями, які наведено у [2; 3], що підтверджує їх адекватність.

Бібліографічний список

1. Козирський В. В., Каплун В. В., Волошин С. М. Електропостачання агропромислового комплексу. Київ : Аграрна освіта, 2011. 448 с.
2. ГНД 34.09.204-2004. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження / М-во палива та енергетики України. Київ : ГРІФРЕ; М-во палива та енергетики України, 2004. 159 с.
3. Логинова С. Е., Логинов А. В. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами Санкт-Петербург, 2013. 291 с.
4. Шкрабец Ф. П., Красовский П. Ю. Эксплуатационная динамика потерь электроэнергии в системах электроснабжения : монография / М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. Днепропетровск : НГУ, 2015. 152 с.
5. Ципленков Д. В., Красовский П. Ю. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання. *Електротехніка та електроенергетика*. 2015. № 1. С. 77 – 82.
6. Горемикін С. О., Корольов М. І. До вдосконалення обліку втрат електроенергії в ЛЕП і обмотках трансформаторів. *Електротехнічні комплекси і системи управління*. URL: <http://www.energsovet.ru/stat385.html>.
7. Мацора В. С. Проблема втрат електричної енергії в мережі ліній електропередач. Один із способів її вирішення. *Технічні науки*. 2015. Т. 4, № 30. С. 217–222. URL: <https://sibac.info/studconf/tech/xxxi/41824>.
8. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. О. Нормування втрат електроенергії в мережах агропромислового комплексу критеріальним методом з застосуванням нейрон-нечіткого моделювання. Вісник НТУ «ХПІ». *Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, 2016. № 18 (1190). С. 60-65.

Чумакевич В., Лапинський В. Дослідження втрат в лінії електропостачання 10 кВ Сколівського РЕМ

Проаналізовано втрати в лініях електропередач 10 кВ ділянки Сколівського РЕМ. Отримано графіки втрат електроенергії за використання різних проводів для забезпечення пропускання заданої потужності. Отримані результати підтвердили низьку ефективність збільшення площі поперечного перерізу провідників. Аналітично підтверджено доцільність використання методу компенсації реактивної потужності в цих мережах.

Ключові слова: лінії електропередач, визначення втрат, компенсація реактивної потужності.

Chumakevych V., Lapinsky V. Investigation of losses in the line of electrical supply of 10 kv Scole Distribution Zone

The losses in the 10 kV power transmission lines of the Skolovskiy Distribution Zone are analyzed. The graphs of electric power losses are obtained using different wires to ensure transmission of a given power. The results obtained confirmed the low efficiency of increasing the cross-sectional area of the conductors. The expediency of using the method of reactive power compensation in these networks is analytically confirmed.

Key words: power lines, loss detection, reactive power compensation.

Чумакевич В., Лапинский В. Исследование потерь в линии электроснабжения 10 кВ Сколовского РЭС

Проанализированы потери в линиях электропередач 10 кВ участка Сколовского РЭС. Получены графики потерь электроэнергии при использовании различных проводов для обеспечения пропускания заданной мощности. Полученные результаты подтвердили низкую эффективность увеличения площади поперечного сечения проводников. Аналитически подтверждена целесообразность использования метода компенсации реактивной мощности в данных сетях.

Ключевые слова: линии электропередач, определение потерь, компенсация реактивной мощности.

УДК 621.313.333: 621.314.54: 621.316.765

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ВНУТРІШНЬОЮ ЄМНІСНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ

*А. Герман, ст. викладач
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Одним із перспективних напрямів створення й розвитку автономних систем електроживлення (АСЕЖ) є розробка автономних генераторів з використанням явища внутрішньої ємнісної компенсації [2].

Режими роботи автономних джерел електроживлення характеризуються різкозмінюваним навантаженням і вимагають застосовувати спеціалізоване обладнання [5]. Особливо це стосується випадків, коли від автономного джерела здійснюється прямий пуск асинхронних короткозамкнених двигунів сумірної потужності. Значні пускові струми впливають на зменшення напруги на шинах автономного джерела і без прийняття спеціальних заходів усталена робота увімкнених паралельно з асинхронними двигунами сумірної потужності споживачів стає неможливою, а електродвигуни, що вмикаються, розганяються досить повільно або й зовсім не розганяються. Традиційне обрання завищеної потужності автономних джерел електроживлення, що забезпечує успішний запуск асинхронних двигунів, неминуче призводить до зростання їх масогабаритних показників, надлишкових капітальних затрат, а також затрат на експлуатацію.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади створення АСЕЖ з ємнісною системою збудження запропоновано [2]. Великомасштабний обсяг роботи в плані математичного моделювання АСЕЖ на базі асинхронізованого генератора виконано в [1]. Для математичного моделювання як базова була використана теорія математичного моделювання електромашинно-вентильних систем [3], за допомогою якої можна здійснювати на високому рівні моделювання електромагнітних і електромеханічних процесів. Суть теорії полягає у використанні методу вузлових потенціалів і дає змогу побудувати математичну модель асинхронного генератора з внутрішньою ємнісною компенсацією за модульним принципом, що істотно підвищує ефективність роботи як під час розроблення математичної моделі, так і для її програмної реалізації.

Постановка завдання. Завдання дослідження полягає в розробці математичної моделі асинхронного генератора з внутрішньою ємнісною компенсацією (рис. 1) та на її підґрунті алгоритму і відповідного програмного комплексу, який дасть змогу за допомогою комп'ютерів досліджувати електромагнітні процеси, що відбуваються в автономній системі електроживлення.

Виклад основного матеріалу. Завдання полягає в розробці математичної моделі системи за схемою: „Асинхронний генератор з внутрішньою ємнісною

компенсацією – активно-індуктивне навантаження”, яка складається з асинхронної машини АМ, обмотка якої розділена на дві частини компенсуючою ємністю; активно-індуктивного навантаження Н.

Літерами φ , i , C позначено відповідно потенціали незалежних вузлів, струми гілок схеми та ємність. У нижньому індексі цифрами при потенціалах φ позначено номери незалежних вузлів, а при струмах i – номери гілок у межах відповідного структурного елемента.

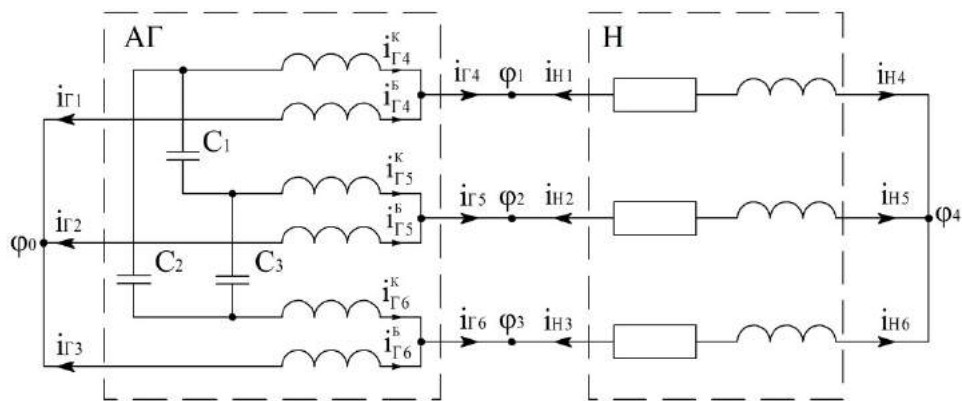


Рис. 1. Схема асинхронного генератора з внутрішньою ємнісною компенсацією.

Математичні моделі асинхронного генератора. Математична модель розроблена на базі таких вихідних допущень [3], які дають змогу розробити математичну модель асинхронної машини, яка з достатньою для практики точністю відображає перебіг електромагнітних та електромеханічних процесів.

Отже, математичною моделлю асинхронної машини слугує система диференціальних рівнянь електричного і механічного стану. Першу групу рівнянь формуємо на базі рівнянь Кірхгофа, а механічний стан опишемо рівнянням Даламбера. Згідно з [1; 3; 4; 6] електромагнітні процеси, які відбуваються в асинхронному генераторі (АГ), опишемо диференціальними рівняннями електричного стану. У матричній формі ці рівняння мають такий вигляд:

$$p i_r + G_r \cdot \varphi_r + T_r = 0, \quad (1)$$

де i_r – вектор струмів зовнішніх гілок;

φ_r – вектор потенціалів зовнішніх вузлів;

G_r, T_r – матриця коефіцієнтів і вектор вільних членів.

Структура матриці коефіцієнтів та вектора вільних членів описана в [1; 3].

Диференціальні рівняння електричного та механічного стану повною мірою описують електромагнітні та електромеханічні процеси, які відбуваються в асинхронних машинах. Ці моделі дають змогу моделювати поведінку асинхронних машин як структурних елементів довільних систем.

Математична модель активно-індуктивного навантаження. Рівняння електричного стану. Враховуючи модульний принцип побудови математичних моделей електротехнічних комплексів і систем, електричний стан статичного навантаження згідно з [1; 3; 5] опишемо зовнішнім рівнянням, яке має такий вигляд:

$$p i_H + G_H \cdot \varphi_H + T_H = 0, \quad (2)$$

де

$$i_H = (i_{H1}, i_{H2}, i_{H3}, i_{H4}, i_{H5}, i_{H6}) \quad (3)$$

– вектор зовнішніх струмів;

$$\varphi_H = (\varphi_{H1}, \varphi_{H2}, \varphi_{H3}, \varphi_{H4}) \quad (4)$$

– вектор потенціалів вузлів;

G_H, T_H – матриця коефіцієнтів та вектор вільних членів, структура яких докладно описана [1].

Повна система рівнянь електричного стану записується в базисі потенціалів незалежних вузлів і має такий вигляд:

$$A \cdot \varphi + B = 0, \quad (5)$$

де

$$A = \sum_{j=\Gamma}^{\Pi} \Pi_j G_j \Pi_j^t \quad B = \sum_{j=\Gamma}^{\Pi} \Pi_j^t T_j \quad (6)$$

– матриця коефіцієнтів та вектор вільних членів відповідно;

$$\varphi = (\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4) \quad (7)$$

– вектор потенціалів незалежних вузлів схеми, а Π_j, G_j, T_j, Π_j^t – матриця інциденції, матриця коефіцієнтів, вектор вільних членів та матриця, транспонована до Π_j для j -го структурного елемента схеми ($j=\Gamma, \Pi$).

Кількість рядків матриць інциденції структурних елементів дорівнює кількості незалежних вузлів схеми силового електричного кола (7), а кількість стовпчиків кожної з цих матриць дорівнює кількості зовнішніх гілок відповідних структурних елементів системи. Числові значення елементів матриць інциденції дорівнюють одиниці або нулю. Матриці інциденції структурних елементів відображають топологію схеми силового електричного кола системи. Якщо k -та зовнішня гілка j -го структурного елемента входить до m -го вузла, то елемент відповідної матриці інциденції, який розміщений на перетині m -го рядка та k -го стовпчика, дорівнює одиниці. Якщо ж такого зв'язку не існує, то цей елемент дорівнює нулю.

Алгоритм розрахунку електромагнітних процесів полягає в тому, що вхідні дані поділимо на дві групи. До першої з них віднесемо C, L_{Γ} , – ємність, індуктивність фазних гілок, а також аналогічні величини активно-індуктивного навантаження: L_H, R_H – індуктивність та активний опір.

До другої групи вхідних даних віднесемо початкові умови, об'єднані у вектор інтегрованих змінних V , який є водночас результатом інтегрування системи диференціальних рівнянь.

На підставі алгоритму розроблено програмний код мовою програмування FORTRAN.

З метою дослідження електромагнітних процесів, дослідної системи та з метою перевірки працездатності програмного комплексу проведено розрахунок електромагнітних процесів, що в ній відбуваються.

На рис. 2 зображена залежність 3-фазної напруги u_{Γ} асинхронного генератора з внутрішньою компенсацією від часу. Як бачимо (рис. 2), крива u_{Γ} відображає обвідні контури модульованої напруги і має частоту ковзання.

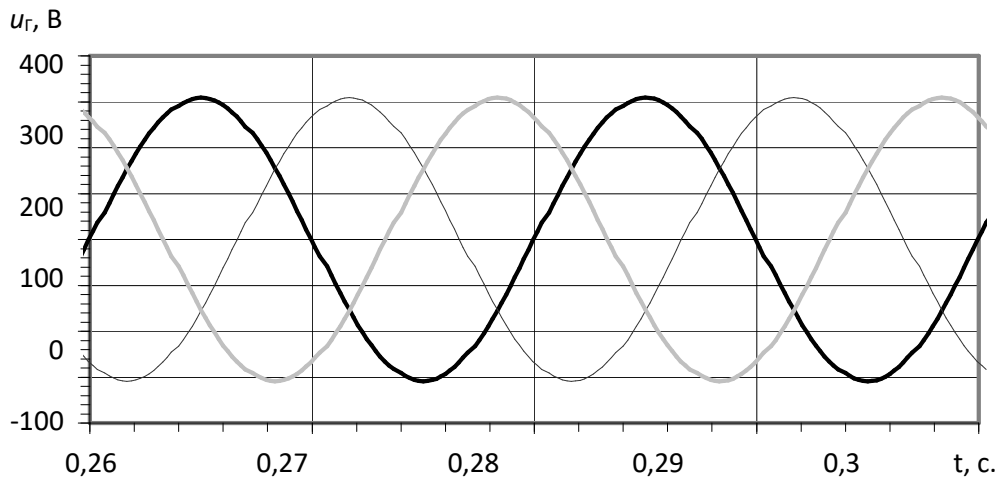


Рис. 2. Залежність напруги асинхронного генератора з внутрішньою компенсацією від часу.

Висновки. На підставі прийятих вихідних допущень, розроблено математичну модель асинхронного генератора з внутрішньою ємнісною компенсацією за модульним принципом.

Програмний комплекс, розроблений на підставі алгоритму, отриманого на підґрунті математичної моделі, дає змогу за допомогою персонального комп'ютера проводити всебічні дослідження електромагнітних і електромагнітних процесів, які відбуваються в автономному асинхронному генераторі з внутрішньою ємнісною компенсацією.

Бібліографічний список

1. Василів К. М. Методи і моделі аналізу процесів автономних систем електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем : дис. ... д-ра техн. наук : 05.09.03. Київ, 2010. 398 с.
2. Мішин В. І., Чуєнко Р. М., Макаревич С. С. Сумісна робота різнорідних асинхронних машин в автономному електромеханічному комплексі. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2012. № 49. С. 49-60.
3. Плахтына Е. Г. Математическое моделирование электромашино-вентильных систем. Львов : Высш. шк., 1986. 164 с.
4. Вольдек А. И. Электрические машины. Ленинград : Энергия, 1974. 840 с.
5. Herman A. Mathematical modeling of asynchronous generators with an active-inductive load. *Motrol*. 2017. Vol. 19, No. 1. P. 71-74.
6. Василів К. М., Герман А. Ф., Левонюк В. Р. Математичне моделювання електромагнітних процесів стартер-генератора електроенергетичної установки на базі газокompресорної станції. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. 2014. №18. С. 301-310.
7. Гречин Д. П., Герман А. Ф., Дробот І. М. Континуальна математична модель електромагнітного поля асинхронної машини із зубчатим феромагнітним ротором. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 34-41.

Герман А. Математичне моделювання асинхронного генератора з внутрішньою ємнісною компенсацією

Об'єкт дослідження – асинхронний генератор з внутрішньою компенсацією як електромеханічний перетворювач енергії. За модульним принципом, який передбачає використання методу вузлових потенціалів, розроблена його математична модель, на підставі якої написаний відповідний програмний комплекс. Це дало змогу за допомогою персонального комп'ютера провести моделювання електромагнітних процесів, які відбуваються в асинхронному генераторі.

Ключові слова: асинхронний генератор, ємнісне збудження, математична модель, електрична мережа, алгоритм.

Herman A. Mathematical modeling of an asynchronous generator with internal capacitive compensation

Object of study – asynchronous generator with internal compensation, as an electromechanical energy converter. According to the modular principle, which involves the use of the method of nodal potentials, its mathematical model is developed, on the basis of which the corresponding software complex is written. This enabled using a personal computer to simulate the electromagnetic processes occurring in the asynchronous generator.

Key words: asynchronous generator, capacitive excitation, mathematical model, electric network, algorithm.

Герман А. Математическое моделирование асинхронного генератора с внутренней емкостной компенсацией

Объект исследования – асинхронный генератор с внутренней компенсацией, в качестве электромеханического преобразователя энергии. По модульному принципу, который предусматривает использование метода узловых потенциалов, разработана его математическая модель, на основании которой написан соответствующий программный комплекс. Это позволило с помощью персонального компьютера провести моделирование электромагнитных процессов, которые происходят в асинхронном генераторе.

Ключевые слова: асинхронный генератор, емкостное возбуждение, математическая модель, электрическая сеть, алгоритм.

Розділ 5

НАДІЙНІСТЬ І ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН

621.793.72

ВПЛИВ ДІАМЕТРА ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА МІКРОГЕТЕРОГЕННІСТЬ ТА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ

М. Студент, д. т. н., О. Калахан, д. т. н., М. Головчук, аспірант,
Х. Задорожна, аспірант, Б. Занько**
*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;
Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед газотермічних методів напилення покриттів метод електродугового напилення є технологічно найпростішим і найдешевшим. Використання для електродугового напилення електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів (ПД) дало змогу розширити сферу застосування методу та одержати відновні й захисні покриття різного функціонального призначення з високими експлуатаційними характеристиками. Проте електродуговим покриттям (ЕДП) притаманні висока пористість, високий рівень залишкових напружень розтягу, низька когезія та адгезія (порівняно з іншими газотермічними покриттями) [1-6]. На відміну від дротів суцільного перерізу, покриття з порошкових дротів мають високу мікрогетерогенність за хімічними елементами, яка суттєво впливає на абразивну зносостійкість покриттів.

Постановка завдання. Наше завдання – дослідити вплив складу порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів.

Виклад основного матеріалу. Методика експериментів. Використані матеріали: ПД виготовляли в одношаровому виконанні (рис. 1), а для оболонки ПД використали стрічку з маловуглецевої сталі 08пс (0,05...0,11 % С, не більше 0,02 % S, 0,025...0,5 % Mn, 0,04 % P).

За шихтові матеріали вибрали доступні, широкоживані і найдешевші матеріали для виробництва ПД, а саме феросплави (ферохром, феромарганець, феромолібден, ферохромбор). Електрометалізаційні покриття з ПД наносили на зразки з вуглецевої сталі 20.

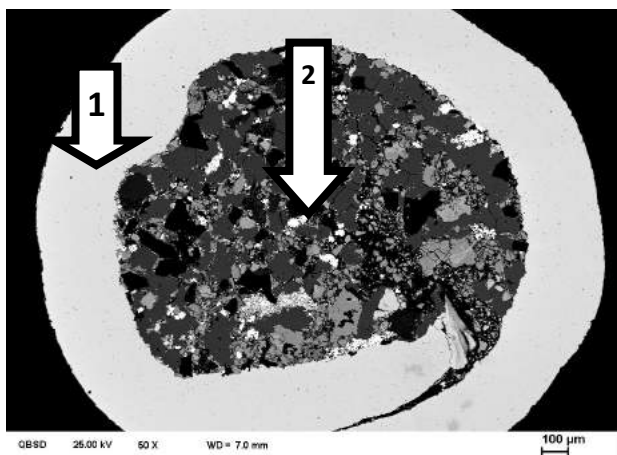


Рис. 1. Конструктивне виконання ПД:
1 – сталева оболонка, 2 – шихта.

Методика визначення мікрогетерогенності (МГ).

Електродуговим покриттям притаманна гетерогенна структура, ступінь гетерогенності якої було запропоновано оцінювати за значенням коефіцієнта мікрогетерогенності (K_{MG}) за формулою:

$$K_{MG} = \left(\sum_{i=1}^n |c_{сер} - c_i| \right) / n \times c_{сер},$$

де n – кількість прямокутних ділянок площею $35 \cdot 10^{-4}$ мм², виділених на фото мікроструктури ЕДП, на яких

визначається спектральним аналізом вміст кожного елемента c_i в межах окремої ламелі та середній вміст елемента $c_{сер}$ покриття.

Коефіцієнт K_{MG} характеризує відхилення вмісту кожного з елементів легування в межах окремої ламелі c_i від його вмісту у покритті. Загалом коефіцієнт K_{MG} свідчить про повноту сплавлення шихти та оболонки. Для визначення коефіцієнта K_{MG} порівнювали інтегральний вміст конкретного елемента легування $c_{сер}$ на ділянці площею 10 мм² з його локальним вмістом c_i на прямокутних ділянках площею $35 \cdot 10^{-4}$ мм², які сумірні із середньою площею ламелей у покриттях (рис. 2). Визначення K_{MG} покриття проводять як мінімум на десяти ділянках, які розташовані одна від одної на відстані 5 мм, по ширині плями пучка наплення, яка становить 25...30 мм. Значення K_{MG} із цих ділянок усереднюють.

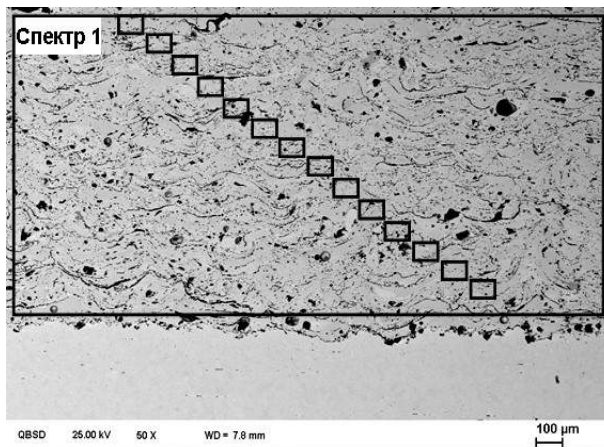


Рис. 2. Схема визначення локального вмісту елементів легування у покритті.

Вплив структурної мікрогетерогенності на зношування покриттів.
Встановлено, що збільшення МГ покриттів сприяє зростанню абразивної зносостійкості за випробувань закріпленим абразивом та зменшує її за випробувань

незакріпленим абразивом (рис. 3). Це зумовлено різними механізмами зношування, що реалізуються за випробувань закріпленим та незакріпленим абразивом. Зокрема, за випробувань закріпленим абразивом останній рівномірно зношує всю поверхню покриття, а зносостійкість забезпечують тверді ламелі в його структурі. Тому в цьому разі більша зносостійкість покриття реалізується за його високої $MГ$, яка забезпечує низький рівень напружень розтягу.

За випробувань незакріпленим абразивом вільний абразив насамперед зношує м'які та пластичні ламелі покриття. При цьому тверді ламелі втрачають зв'язок із матрицею покриття та викришуються. Тому гетерогенні покриття з високим коефіцієнтом K_{MG} , які мають і тверді, і пластичні складові (ламелі), виявляють низьку зносостійкість. Зі зменшенням $MГ$ покриттів їх зносостійкість зростає. Водночас у міру зменшення $K_{MG} < 0,2$ у такому покритті одночасно зростають залишкові колові напруження розтягу. З досягненням їх рівня ~ 100 МПа у покритті виникає мережа мікротріщин і руйнування відбувається внаслідок їх росту та викришування цілих ламелей. Зносостійкість при цьому суттєво знижується.

Залежно від режимів напилювання у покритті формуються ламелі різної товщини. У міру збільшення товщини ламелей зносостійкість покриттів знижується за випробувань закріпленим абразивом та зростає за випробувань незакріпленим абразивом (див. рис. 3). Чим менша товщина ламелей, тим більше міжламелярних меж, які є слабким місцем за випробувань незакріпленим абразивом. У цьому разі зношування інтенсифікується саме вздовж меж ламелей.

Розглядаючи топографію поверхні в плямі тертя, утвореній за випробувань незакріпленим абразивом (рис. 4), слід відзначити, що на поверхні сталі, а також наплавлених матеріалів є характерні однаково орієнтовані подряпини від абразиву та рівномірне зношування. Водночас усім покриттям (гетерогенним більшою мірою) притаманна наявність виступів та заглибин на поверхні тертя та нерівномірне зношування. Визначальними для рельєфу зони зношування покриттів є розмір ламелей, їх хімічна неоднорідність, яка спричинює неоднорідність за твердістю, та кількість міжламелярних меж.

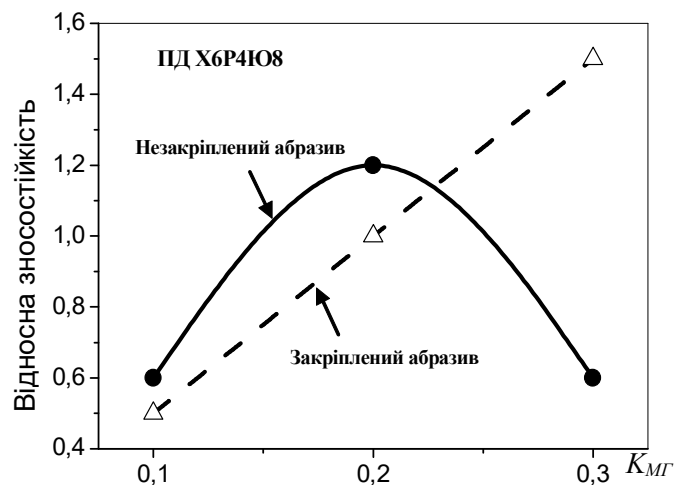


Рис. 3. Вплив коефіцієнта мікрогетерогенності K_{MG} на відносну абразивну зносостійкість покриттів під час тертя закріпленим і незакріпленим абразивом.

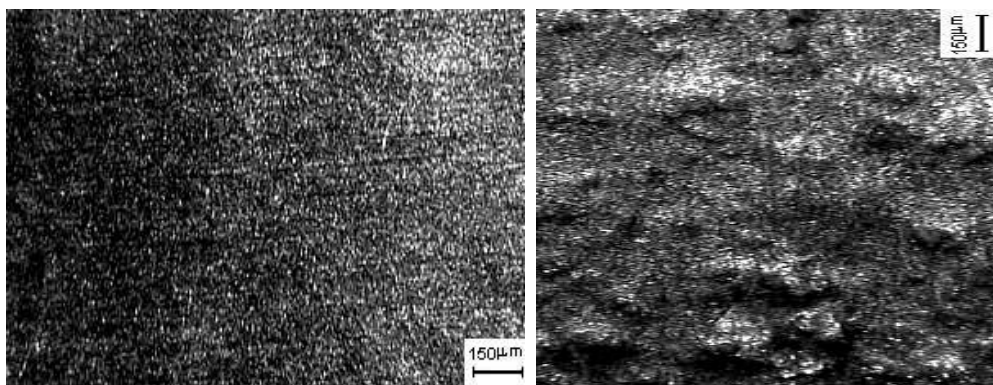


Рис. 4. Топографія поверхні тертя сталі У8 (а) та покриття Х6Р4Ю8 (б) після випробувань незакріпленим абразивом.

Вплив діаметра ПД на гетерогенність покриттів із ПД. Для встановлення впливу діаметра ПД на абразивну зносостійкість електродугових покриттів закріпленим абразивом досліджували покриття із ПД250Х21ВФГС діаметром 1,8 мм та 2,4 мм із вмістом хрому 21 % (табл. 1). Хімічний склад дроту 250Х21ВФГС різного діаметра практично ідентичний, лише вміст кремнію у ПД діаметром 2,4 мм є у два рази більший, ніж у ПД діаметром 1,6 мм (див. табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад та діаметр дроту 250Х21ВФГС

Марка та діаметр дроту	Хімічний склад ПД								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	W
1,6 мм	74,37	2,50	0,30	0,39	0,02	0,03	21,10	0,60	0,40
2,4 мм	74,00	2,51	0,62	0,38	0,01	0,01	21,40	0,52	0,55

Гетерогенність напилених покриттів є достатньо низькою та не перевищує 8,2% мас. відхилення концентрації хрому від його середньої у покритті (табл. 2).

Таблиця 2

Мікрогетерогенність напилених покриттів

Напруга, В	Струм, А	Ø дроту, мм	Мікрогетерогенність K_{MG}
30	180	2,4	0,07
31	150	2,4	0,08
31	125	2,4	0,05
30	150	1,6	0,06
30	125	1,6	0,07
30	100	1,6	0,07

Така низька гетерогенність покриттів зумовлена наявністю ферокремнію та феромарганцю у шихті ПД. Такі компоненти мають низьку температуру плавлення, утворюють евтектику зі сталлю оболонкою (рис. 5) і починають плавитись у шихті ПД за 2-5 мм до торця ПД при напиленні покриттів. Розподіл хрому на торці ПД свідчить про збільшення хрому у розплавленому торці.

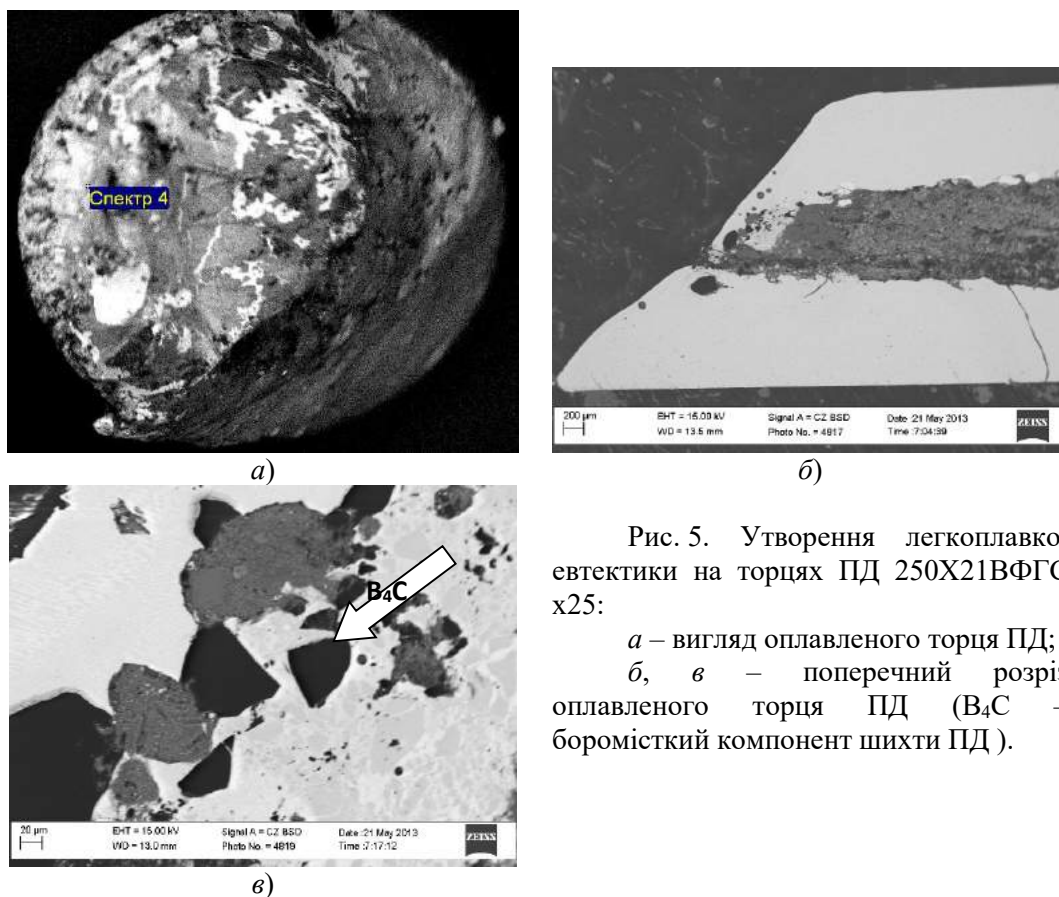


Рис. 5. Утворення легкоплавкої евтектики на торцях ПД 250X21ВФГС х25:

a – вигляд оплавленого торця ПД;
б, в – поперечний розріз оплавленого торця ПД (B₄C – бормісткий компонент шихти ПД).

Цей евтектичний розплав інтенсивно розчиняє у собі тугоплавкі карбіди та сталю оболонку, утворюється гомогенний розплав, внаслідок чого формуються краплини, які утворюють достатньо гомогенне покриття. Як показує рис. 6, покриття із ПД 1,6 мм є дещо більш гомогенне, ніж покриття із ПД 2,4 мм.

Із збільшенням струму для двох діаметрів ПД мікрогетерогенність спочатку зростає, а потім стабілізується навколо значення 0,07 (див. табл. 2). Це означає, що в складових покриттів – ламелях середнє відхилення вмісту хрому у покритті становить 7%.

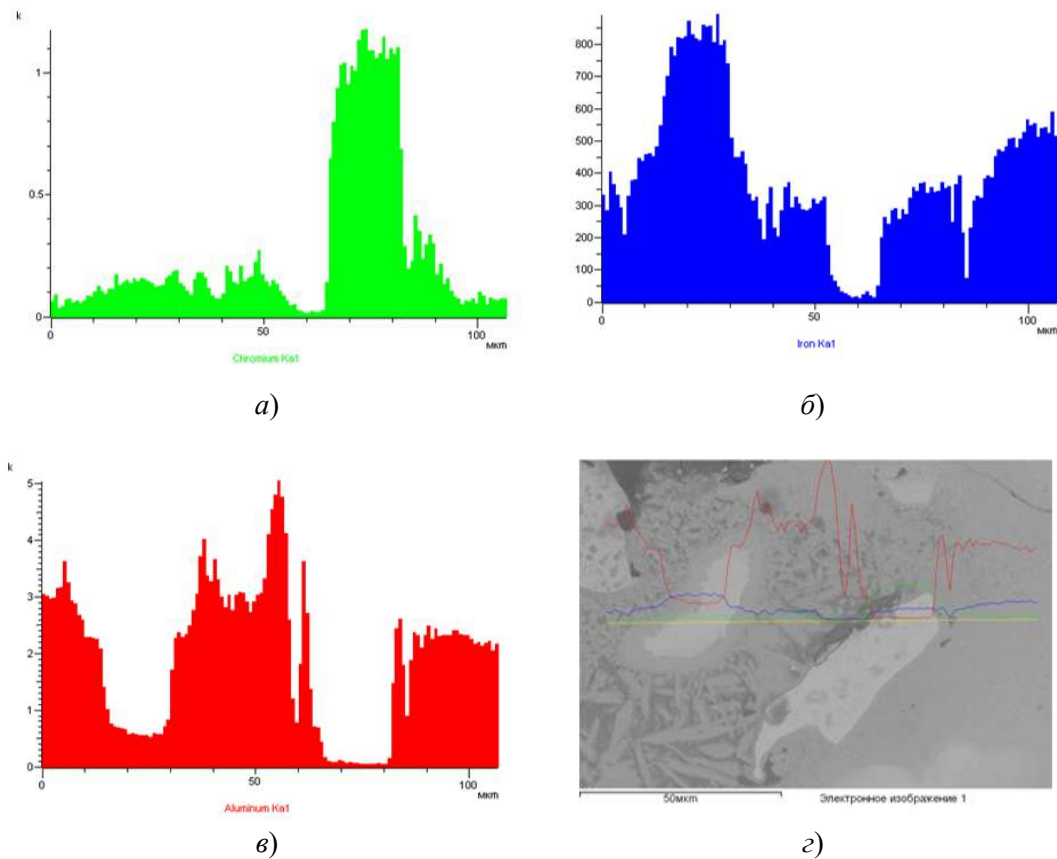


Рис. 6. Розподіл хрому (а), заліза (б) та алюмінію (в) на торці розплавленого ПД (г).

Висновки. Встановлено, що збільшення мікрогетерогенності електродугових покриттів сприяє зростанню їх абразивної зносостійкості за випробувань закріпленим абразивом та зменшує її за випробувань незакріпленим абразивом.

Низька гетерогенність електродугових покриттів забезпечується наявністю ферокремнію та феромарганцю у шихті ПД. Такі компоненти мають низьку температуру плавлення, утворюють евтектику зі сталлю оболонкою і починають плавитись у шихті ПД за 2-5 мм до торця ПД при напиленні покриттів. Цей евтектичний розплав інтенсивно розчиняє у собі тугоплавкі карбіди та сталню оболонку, утворюється гомогенний розплав, унаслідок чого виникають краплини, які формують достатньо гомогенне покриття.

Із збільшенням струму для двох діаметрів ПД мікрогетерогенність K_{MG} спочатку зростає, а потім стабілізується навколо значення 0,07.

Бібліографічний список

1. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures / V. Pokhmurskyi et al. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2013. № 22, iss. 5. P. 808–819.
2. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / B. Wielage et al. *Surface and coating technology*. 2013. № 220. P. 27–35.
3. Pokhmurskyi V., Student M., Chervinska N., Stupnytskyi T. Electrochemical properties of arc sprayed coatings from cored wires on the basis of cheap ferroalloys. *Ochrona przed korozja*. 2013. № 11. S. 516–518.
4. Газоабразивная износостойкость при повышенных температурах покрытий, полученных дуговой металлизацией / В. Похмурский и др. *Автоматическая сварка*. 2013. № 6. С. 16–23.
5. Похмурський В., Студент М., Ступницький Т., Червінська Н. Структура, механічні та електрохімічні характеристики корозійностійких електродугових покриттів із порошкових дротів. *Наукові нотатки*. 2013. 2, № 41. С. 127–132.
6. Засади створення корозійностійких електродугових покриттів із порошкових дротів / В. Похмурський та ін. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2012. Спецвип. № 9, т. 2. С. 600–606.

Студент М., Калахан О., Головчук М., Задорожна Х., Занько Б. Вплив діаметра порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів

Серед газотермічних методів напilenня покриттів метод електродугового напilenня є технологічно найпростішим і найдешевшим. Використання для електродугового напilenня електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів (ПД) уможливило розширення сфери застосування методу та одержання відновних і захисних покриттів різного функціонального призначення з високими експлуатаційними характеристиками. Проте електродуговим покриттям притаманні висока пористість, високий рівень залишкових напружень розтягу, низька когезія та адгезія (порівняно з іншими газотермічними покриттями). На відміну від дротів суцільного перерізу, покриття з порошкових дротів мають високу мікрогетерогенність за хімічними елементами, яка суттєво впливає на абразивну зносостійкість покриттів.

Робота присвячена впливу складу порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів.

Ключові слова: порошковий дріт, зносостійкість, електродугові покриття, гетерогенність.

Student M., Kalakhan O., Golovchuk M., Zadorozhna K., Zanko B. Influence of cored wire diameter on microheterogeneity and abrasive wear resistance of electric arc coatings

Among the gas-thermal methods of spraying coatings, the arc-spraying method is technologically simple and cheap. The use of electrode materials in the form of special powder wires (PW) for electro-arc spraying made it possible to expand the scope of the method and to obtain reducing and protective coatings of various functional purposes with high performance characteristics. However, electric arc coatings are characterized by high porosity, high level of residual tensile stresses, low cohesion and adhesion (compared to other gas-thermal coatings). Unlike wires of solid cross section, coatings from powder wires have high microheterogeneity behind chemical elements, which significantly affects the abrasive wear resistance of coatings. The article is devoted to the study of the effect of the composition of a flux cored wire on microheterogeneity and abrasive wear resistance of electric arc coatings.

Key words: powdered wires, wear resistance, electric arc coatings, heterogeneity.

Студент М., Калахан О., Головчук М., Задорожная Х., Занько Б. Влияние диаметра порошковой проволоки на микрогетерогенность и абразивную износостойкость электродуговых покрытий

Среди газотермических методов напыления покрытий метод электродугового напыления технологически простой и дешевый. Использование для электродугового напыления электродных материалов в виде специальных порошковых проволок (ПП) позволило расширить сферу применения метода и получить восстановительные и защитные покрытия различного функционального назначения с высокими эксплуатационными характеристиками. Однако электродуговым покрытиям свойственны высокая пористость, высокий уровень остаточных напряжений растяжения, низкая когезия и адгезия (по сравнению с другими газотермическими покрытиями). В отличие от проволок сплошного сечения, покрытия из порошковых проволок имеют высокую микрогетерогенность по химическим элементам, которая существенно влияет на абразивную износостойкость покрытий. Работа посвящена изучению влияния состава порошковой проволоки на микрогетерогенность и абразивную износостойкость электродуговых покрытий.

Ключевые слова: порошковые проволоки, износостойкость, электродуговые покрытия, гетерогенность.

УДК 621.317.39.822.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ
ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА,
МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦІАЛУ**

*Я. Шолудько, к. т. н., В. Шолудько, к. т. н., Р. Гуменюк, к. т. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. У значної кількості сільськогосподарської техніки і обладнання конструкцією передбачено використання вузлів тертя ковзання, деталі яких виготовлені зі сплавів на основі заліза. Ці вузли тертя являють собою пару тертя «вал-втулка».

Вал зазвичай виготовляють із різних марок легованої вуглецевої сталі, а втулку – із згаданих раніше сплавів на основі заліза. Матеріали цих пар тертя підбирають за допомогою експериментальних досліджень з визначення триботехнічних характеристик (зношування, коефіцієнта тертя тощо), які потребують значних затрат часу і відзначаються невисокою точністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя деталей із різних сплавів на основі металів, наприклад заліза, міді, алюмінію тощо, здійснюють з використанням, в основному, молекулярно-механічної [1; 2] та структурно-енергетичної [3–8] теорій.

Згідно зі структурно-енергетичною теорією, необхідною умовою високої зносостійкості та антифрикційності тертьових спряжень машин і обладнання є утворення на їх поверхнях тертя нової фази – вторинних структур (ВС), що захищають основний матеріал від механічної і фізико-хімічної деструкції.

Однією з найактуальніших задач сучасної теорії є вивчення кінетики утворення, трансформації і руйнування ВС. Дослідження складу, будови і властивостей ВС здійснюється за залишковими явищами (з допомогою електронної мікроскопії, електронографії, ОЖЕ-спектроскопії [1–3]) та за кінетикою процесів їх утворення і руйнування (з допомогою електродного потенціалу, вентильного ефекту тощо [5; 6]). У працях [5–7] доведена необхідність і перспективність застосування методу електродного потенціалу (ЕП) для дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя.

Постановка завдання. Метою роботи є підтвердження доцільності використання методу ЕП для дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя деталей, виготовлених зі сплавів на основі заліза.

Виклад основного матеріалу. Дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя деталей, виготовлених зі сплавів на основі заліза, здійснювали на лабораторній установці та за методикою, описаними в [3; 6; 7].

У [6; 7] представлено типові закономірності зміни електродного потенціалу залежно від питомого навантаження на дослідні зразки за постійної швидкості

ковзання, а також від швидкості ковзання за постійного питомого навантаження. На цих закономірностях позначено три ділянки: ділянку неусталених процесів (припрацювання зразків); ділянку усталених процесів утворення й руйнування ВС (нормальне механічно-хімічне зношування) і ділянку переходу до підсиленого руйнування (холодний, гарячий задири). У ділянці усталених процесів утворення й руйнування ВС відзначаються два рівні, які відповідають вторинним структурам I і II типів. Мікроскопічний, електронномікроскопічний, електронографічний аналізи та триботехнічні дослідження показали, що ВС I типу – це тверді розчини кисню та інших активних компонентів мастильного середовища в металі, а ВС II типу – це хімічні сполуки кисню та інших активних компонентів мастильного середовища з металом нестехіометричного складу.

Досліджували зразки з чистого заліза (армко) та сплавів на його основі (сталь 20, сталь 45, сталь У10). Контртілом слугував зразок із сталі 9ХВГ, загартований до 62-64 одиниць НРС.

На рис. 1, а відображено експериментальні результати дослідження кінетики утворення трансформації й руйнування ВС за допомогою ЕП залежно від питомого навантаження при терті загартованої сталі 9ХВГ по залізу (армко) в середовищі гліцерину з добавками: 1-10 % 0,1 нормального розчину Na_2SO_3 ; 2-10 % дистильованої води; 3-10 % трипроцентного розчину перекису водню. Тертя здійснювали з постійною швидкістю відносного переміщення твердих тіл.

На рис. 1, б, в представлено ідентифікацію зміщень ЕП для заліза (армко) за зносом і значенням коефіцієнта тертя. Ідентифікація показів ЕП за структурними ознаками (електронні фотографії і електронограми), яка виконана з врахуванням ВС першого і другого типів (рис. 2 і 3). Фотографування й отримання електронограм здійснювали з поверхонь тертя, що працювали в середовищі гліцерину з додаванням 10 % дистильованої води.

Аналіз отриманих результатів показує, що в разі додавання до мастильного середовища (гліцерину) відновника відбувається зміщення ЕП до ділянки більш від'ємних значень, а в разі додавання окиснювача – до ділянки менших від'ємних значень порівняно з показами ЕП поверхонь цього ж зразка, що працював у середовищі гліцерину з додаванням 10 % дистильованої води (див. рис. 1, а).

Криві залежностей коефіцієнта тертя і зносу від навантаження для заліза (армко) (рис. 1, б, в) показують, що між показами ЕП і цими характеристиками існує кореляція. Чим більше зміщення ЕП до ділянки менш від'ємних значень, тим менший знос залізного зразка і більше значення коефіцієнта тертя.

Дослідженнями [3; 6; 7] встановлено, що рівню більш від'ємних значень ЕП відповідають ВС I типу, а рівню менш від'ємних значень ЕП – ВС II типу. Це підтверджується електронномікроскопічними та електронографічними дослідженнями, які були здійснені з використанням електронного мікроскопа ЕМВ-150 і вакуумної універсальної установки ВУП-1.

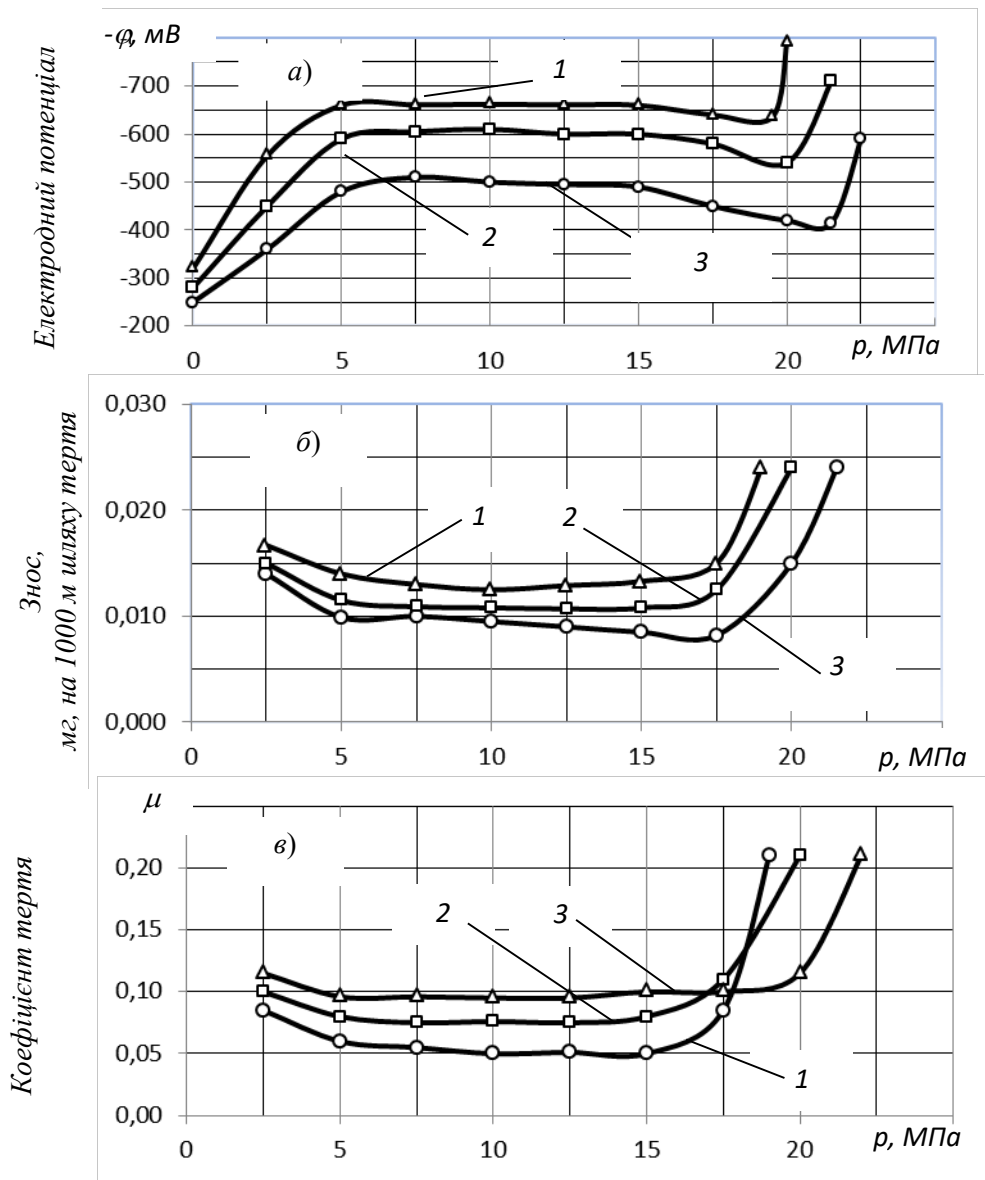


Рис. 1. Кінетика зміни електродного потенціалу, зносу і коефіцієнта тертя залежно від навантаження при терті загартованої сталі 9ХВГ по залізу (армко) в середовищі гліцерину з додаванням:
 1 – відновника; 2 – дистильованої води; 3 – окиснювача.

Фотографування здійснювалось при збільшенні у 10000 разів і роздільною здатністю 5 ангстрем. На електронній фотографії (див. рис. 2, *а*) чітко видно аморфізовані шари (тверді розчини кисню та інших активних компонентів у металі), які за своїми властивостями та будовою відповідають ВС I типу. На рис. 2, *б* наведена електронограма цих же структур, отримана за допомогою електронного мікроскопа в режимі мікродифракції. Під час дослідження ВС I типу в цьому режимі фіксувались дифузні ореоли. Результати розрахунку міжплощинних відстаней досить точно підтверджуються дослідженнями, виконаними в [3; 4; 6; 7].

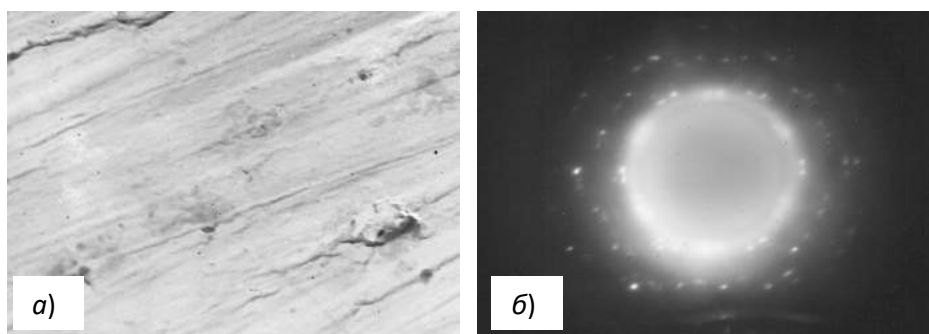


Рис. 2. Вторинні структури I типу на поверхні заліза (армко):
а – субмікроструктура; б – електронограма.

На рис. 3, *а* видно крихкий шар (хімічні сполуки кисню та інших активних компонентів мастильного середовища нестехіометричного складу з основним металом), які за своїми властивостями й будовою відповідають ВС II типу. Електронограма цих ВС показана на рис. 3, *б*.

Для заліза (армко) ділянка ВС I типу (рис. 1, *а*) лежить у границях навантажень: для відновного середовища – 8–16 МПа; для мастильного середовища з додаванням дистильованої води – 5–16 МПа; для окиснюваного мастильного середовища – 6–15 МПа.

Після перехідного періоду, який у даному випадку для всіх наведених мастильних середовищ закінчується приблизно при одному і тому ж навантаженні, рівному 17,5 МПа (рис. 1, *а*), поверхня заліза (армко) покривається тільки ВС II типу (рис. 3, *а, б*).

Суттєвий вплив на кінетику перебігу механохімічних процесів при зовнішньому терті мають матеріали тертьових деталей. Вивчення цих процесів на конструкційних матеріалах викликає зацікавленість і має як теоретичне, так і практичне значення, пов'язане з підбором матеріалів пар тертя у зв'язку з комбінацією ВС на їх прецизійних поверхнях.

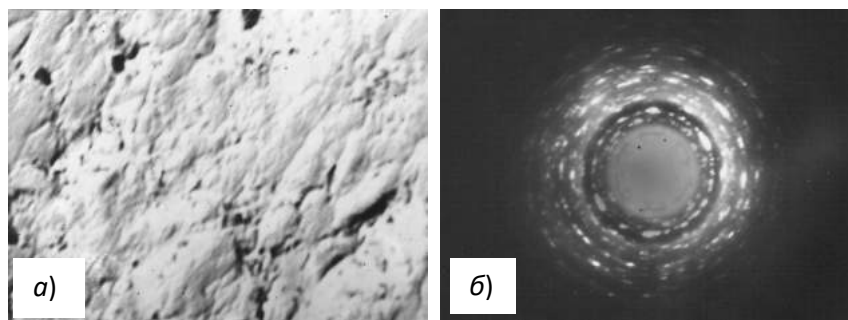


Рис. 3. Вторинні структури II типу на поверхні заліза (армко):
a – субмікроструктура; *б* – електронограма.

На рис. 4, *a* як приклад представлені закономірності зміни ЕП залежно від питомого навантаження при постійній швидкості переміщення для зразків із сталі 45, що працювали в парі із загартованою сталлю 9ХВГ. На цьому ж рисунку (рис. 4, *б, в*) представлена ідентифікація показів ЕП відповідно за зносом і коефіцієнтом тертя. Ідентифікація за структурними ознаками для сталі 45 показана на рис. 5 і 6. Для решти сплавів на основі заліза (сталь 20; сталь У10) ідентифікація проводиться тільки за зносом і коефіцієнтом тертя (рис. 7).

Як видно з наведених даних (див. рис. 4), характер зміни ЕП при терті загартованої сталі 9ХВГ по сталі 45 залежно від навантаження, такий самий, як у заліза (армко), тобто на залежностях чітко виділяються всі ділянки (див. рис. 4, залежність 1): неусталених процесів (від 0 до 5 МПа); ВС I типу (від 5 до 25 МПа); ВС II типу (від 30 до 37 МПа); перехідної ділянки від ВС I типу (від 25 до 30 МПа) і ділянки пошкодження (критичне навантаження).

Кореляція між показами ЕП, зносом і коефіцієнтом тертя для зразків із сталі 45 така ж, як і для зразків заліза (армко). Під час роботи зразків в окиснюваному середовищі відбувається зміщення ЕП до ділянки менш від'ємних значень і спостерігається зменшення зносу та зростання коефіцієнта тертя.

Тертя зразків у відновному середовищі викликає зміщення ЕП до ділянки з більш від'ємним значенням ЕП, при цьому спостерігається збільшення зносу і зменшення коефіцієнта тертя порівняно з цими ж характеристиками зразків, що працювали в середовищі гліцерину з додаванням дистильованої води.

Електронікроскопічні та електроніграфічні дослідження (рис. 5, 6) показують, що ділянці більш від'ємних значень ЕП відповідає поверхня тертя сталю зразка, що вкрита перетікаючими шарами твердих розчинів кисню та інших активних компонентів мастильного середовища – ВС I типу (рис. 5). Ділянці менш від'ємних значень ЕП відповідає поверхня тертя сталю зразка, що вкрита плівками хімічних сполук активних компонентів мастильного середовища з основним металом – ВС II типу (див. рис. 6).

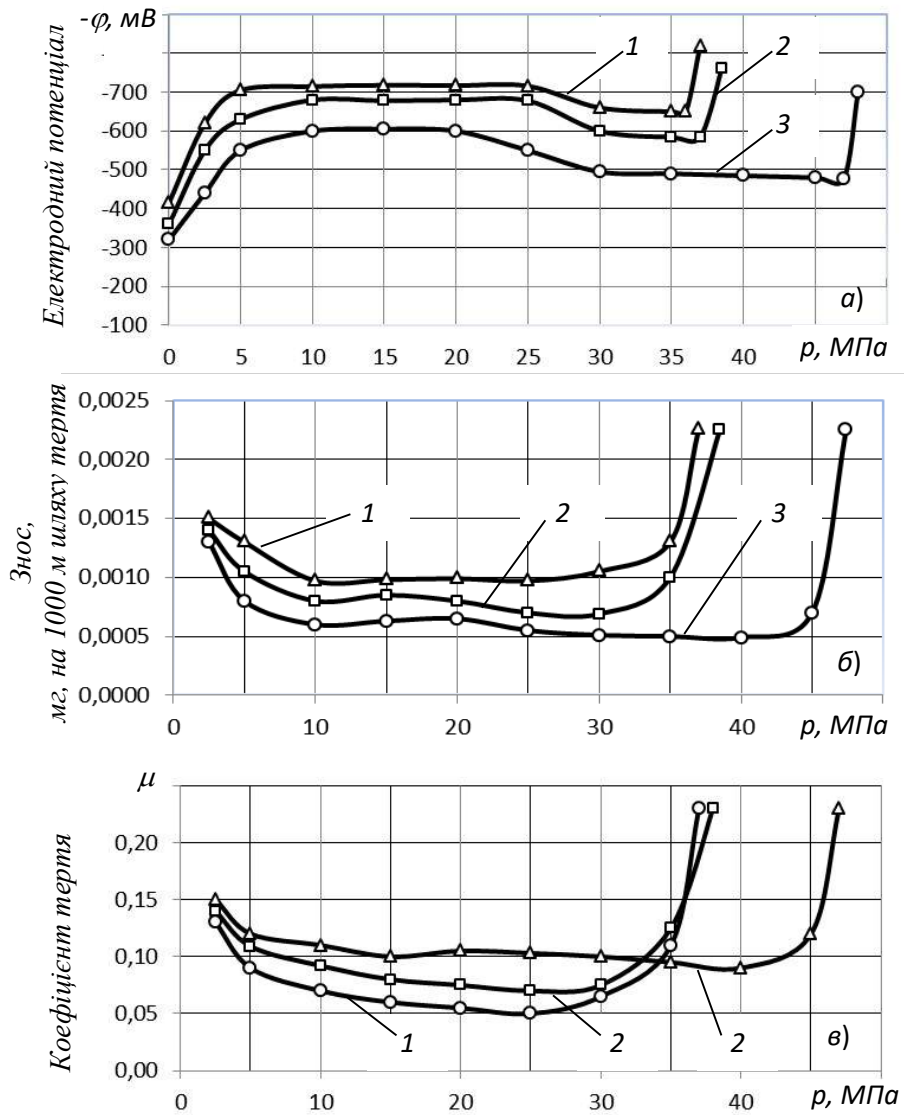


Рис. 4. Кінетика зміни електродного потенціалу, зносу і коефіцієнта тертя залежно від навантаження при терті загартованої сталі 9ХВГ по сталі 45 в середовищі гліцерину з додаванням:
 1 – відновника; 2 – дистильованої води; 3 – окиснювача.

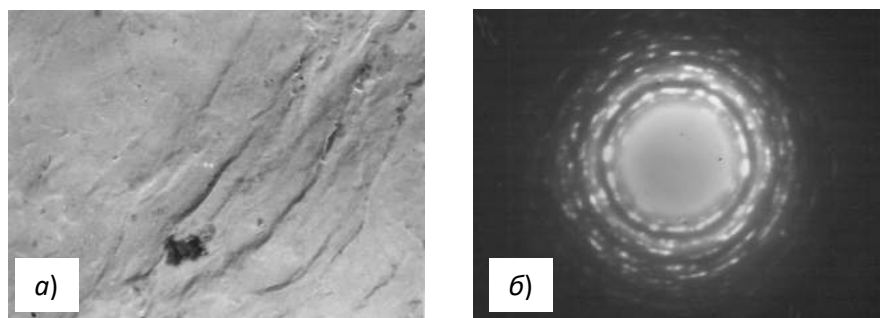


Рис. 5. Вторинні структури I типу на поверхні сталі 45:
а – субмікроструктура; б – електронограма.

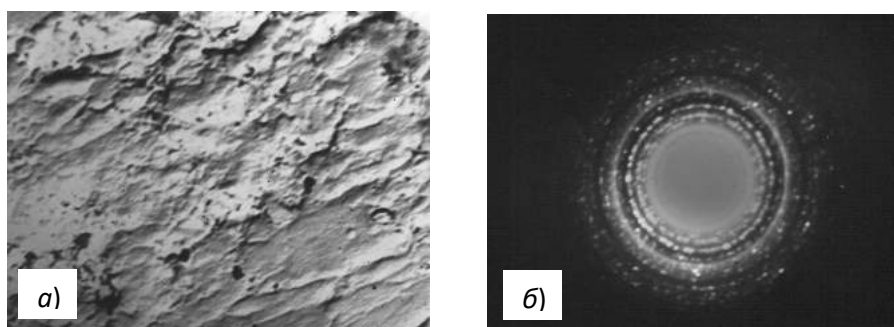


Рис. 6. Вторинні структури II типу на поверхні сталі 45:
а – субмікроструктура; б – електронограма.

Аналогічні експерименти були здійснені на зразках, виготовлених із сплавів на основі заліза (сталь 20; сталь 45 і сталь У10). Результати експериментів відображені на рис. 7.

Аналіз цих експериментальних даних показує, що залежності кінетики зміни ЕП, спрацювання і коефіцієнтів тертя мають такий самий характер, що й залежності, отримані під час дослідження зразків із заліза (армко).

На рис. 4, а чітко видно ділянки значень ЕП поверхонь тертя, вкритих ВС I типу. Ці ділянки обмежуються такими діапазонами навантажень: сталь 20 – від 4,5 до 26 МПа; сталь 45 – від 7,5 до 25 МПа; сталь У10 – від 8,0 до 33 МПа. Для цих же матеріалів існують діапазони навантажень, при яких на їх поверхнях фіксуються ВС II типу (рис. 7): сталь 20 – від 30 до 32,5 МПа; сталь 45 – від 30 до 37,5 МПа; сталь У10 – від 37 до 49 МПа.

Необхідно зазначити, що зміщення ЕП в ділянку менш від'ємних значень відповідає збільшенню протизадірної стійкості і збільшенню зносостійкості матеріалу зразка.

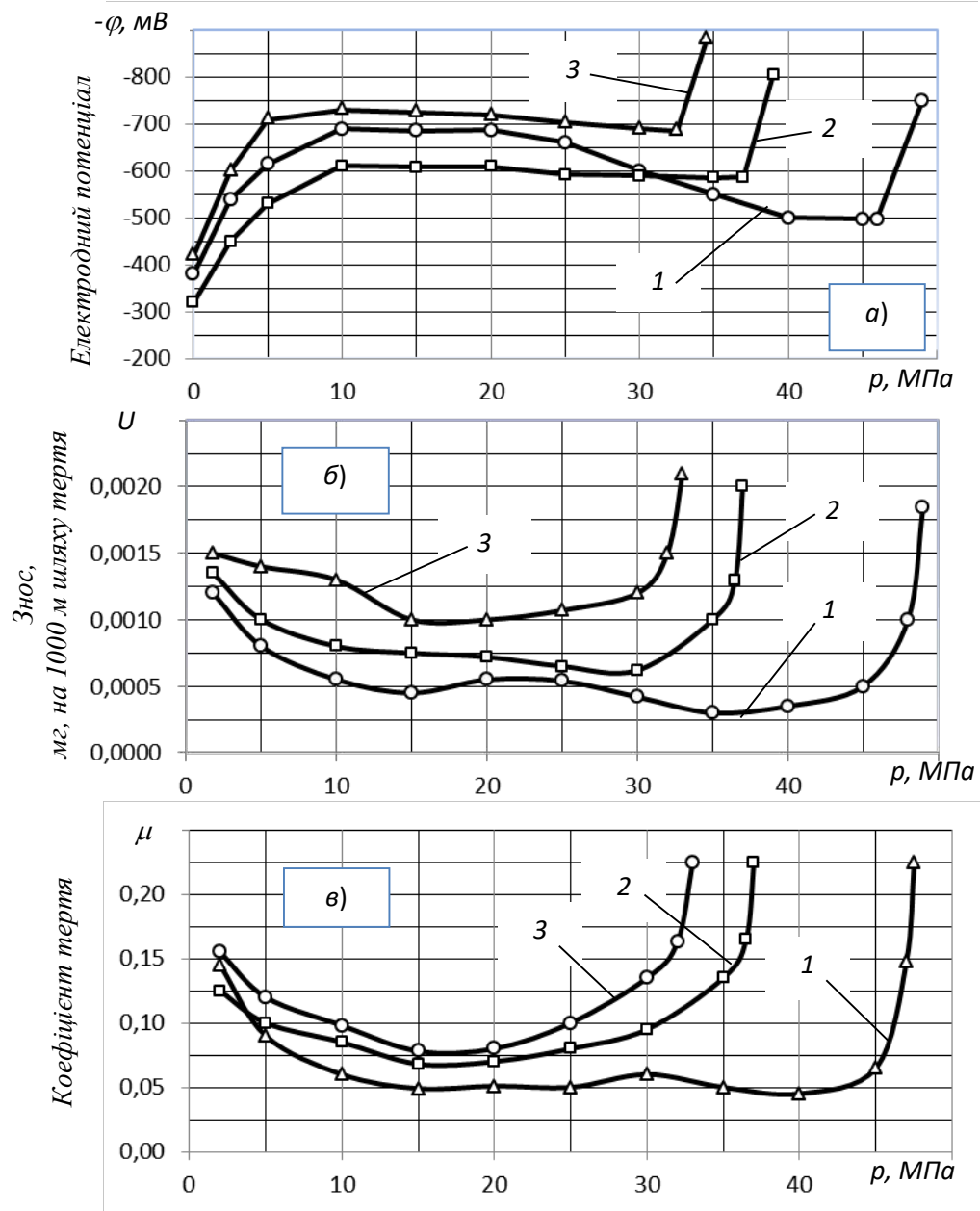


Рис. 7. Кінетика зміни електродного потенціалу, зносу і коефіцієнта тертя залежно від навантаження у разі тертя загартованої сталі 9ХВГ по сплавах на основі заліза: 1 – сталі У10 в середовищі гліцерину + 10% дистильованої води; 2 – сталі 45; 3 – сталі 20.

Як для модельного, так і для конструкційних матеріалів, у загальному випадку, зміщення ЕП до ділянки більш від'ємних значень відповідає зменшенню коефіцієнта тертя і, навпаки, при менш від'ємних значеннях ЕП коефіцієнт тертя збільшується.

Висновки. Дослідження механохімічних процесів на тертьових поверхнях модельних і конструкційних матеріалів з допомогою ЕП дозволило встановити діапазони трансформації поверхневого шару у ВС I і II типів, визначити вплив активних компонентів середовища на їх поверхневу міцність, тобто трибологічні характеристики (спрацювання і коефіцієнт тертя), а також встановити кореляцію між показами ЕП і цими характеристиками.

Наведені результати експериментів показали доцільність застосування методу ЕП для дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя металевих прецизійних пар.

Бібліографічний список

1. Ишлинский А. Ю., Белый В. А. Развитие науки о трении и износе. *Трение и износ*. Минск : Наука и техника, 1980. Т. 1, № 1. С. 7–11.
2. Крагельский И. В. Трение и износ. Москва : Машиностроение, 1968. 478 с.
3. Костецкий Б. И. Поверхностная прочность материалов при трении / под ред. проф. Б. И. Костецкого. Киев : Техніка, 1976. 292 с.
4. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев : Техніка, 1970. 396 с.
5. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию машин. Москва ; Киев : Машгиз, 1959. 476 с.
6. Шолудько В. П. Исследование механических и физико-химических характеристик поверхностей трения методом электродного потенциала. *Физ.-хим. механика материалов*. 1980. № 6. С. 89-92.
7. Шолудько В. П. Установка для исследования процессов трения и изнашивания металлов в электропроводных средах. *Научные труды УСХА : Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин*. 1978. Вып. 212. С. 17-20.
8. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / пер. с англ. А. В. Белого, Н. К. Мышкина ; под ред. А. И. Свириденка. – Москва : Машиностроение, 1986. 360 с.

Шолудько Я., Шолудько В., Гуменюк Р. Дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя деталей, виготовлених зі сплавів на основі заліза, методом електродного потенціалу

Показана доцільність застосування методу електродного потенціалу для дослідження механохімічних процесів на поверхнях тертя сталевих деталей. Здійснено ідентифікацію показів електродного потенціалу з даними зносу і коефіцієнтів тертя. Досліджено поверхні тертя з допомогою електронної мікроскопії, зокрема електроннографії.

Ключові слова: тертя, зношування, підшипник ковзання, електродний потенціал, електронна мікроскопія, електронографія.

Sholudko Ya., Sholudko V., Humenyuk R. Investigation of mechanochemical processes on the friction surfaces of parts made of iron-based alloys by the electrode potential method

The expediency of the method of the electrode potential was considered for the study of friction and wear of the slider bearing of power equipment. The electrode potential data were identified with the variables of the wear and friction coefficients. The friction surface was studied by means of electron microscopy, including electron diffraction investigation method.

Key words: friction, wear, slider bearing, electrode potential, electron microscopy, electron diffraction investigation method.

Шолудько Я., Шолудько В., Гуменюк Р. Исследование механохимических процессов на поверхностях трения деталей, изготовленных из сплавов на основе железа, методом электродного потенциала

Показана целесообразность применения метода электродного потенциала для исследования механохимических процессов на поверхностях трения стальных деталей. Осуществлена идентификация величин электродного потенциала с данными величин срабатывания и коэффициентов трения. Исследованы поверхности трения с помощью электронной микроскопии, в частности электронографии.

Ключевые слова: трение, износ, подшипник скольжения, электродный потенциал, электронная микроскопия, электронография.

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ СПЛАВУ Ti-6Al-4V НА ЙОГО КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНЕ РУЙНУВАННЯ

О. Калахан, д. т. н., Г. Веселівська, к. т. н., Х. Задорожна*, аспірант,
Ю. Дзьоба*, гол. інженер, О. Лакіш, аспірант
Львівський національний аграрний університет
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

Постановка проблеми. Одна з важливих експлуатаційних характеристик високоміцних титанових сплавів – опір втоми за робочих температур. Проте вироби з титанових сплавів особливо чутливі до концентраторів напружень, якими є поверхневі дефекти (вибоїни, мікронадрізи, подряпини тощо), тому природно допустити, що за допомогою модифікування поверхні можна підвищити їх робочі характеристики. Розв’язання проблеми фретингу титанових сплавів та покращання зносостійкості сплавів на основі титану можливе за допомогою високошвидкісної термічної обробки, нанесення спеціальних покриттів, хіміко-термічної обробки, плазмового напилення, іонної імплантації тощо. З-поміж цих методів особливе місце займають іонно-плазмові технології [1; 2], зокрема іонна імплантація [3; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розв’язання проблеми фретингу титанових сплавів як зарубіжні, так і вітчизняні науковці рекомендують застосовувати вакуумні іонно-плазмові покриття, що складаються з нітриду [5–7]. Ці покриття мають високу зносотривкість, низьку адгезійну та хімічну активність. Такий комплекс властивостей покриттів здатний знизити інтенсивність схоплювання, зменшити швидкість нагромадження втомних ушкоджень у поверхневих об’ємах металу, а також запобігти руйнуванню чи зменшенню інтенсивності корозійної пошкоджуваності. Покриття з нітридів титану (TiN), які широко використовуються для підвищення стійкості різального інструменту та оснащення, володіють високою твердістю (20...25 ГПа), зносостійкістю, термо-стабільністю, однак не застосовуються як зносостійкі у вузлах тертя деталей машин та механізмів через високий рівень зношування контртіла [8].

Постановка завдання. Для визначення впливу модифікування іонною імплантацією азоту та іонно-плазмовим покриттям з нітридів титану поверхневих шарів сплаву на їх корозійно-механічне руйнування за умов абразивного зношування та фретинг-втоми, як на повітрі, так і в корозійному середовищі, необхідно оцінити їх вплив на структурно-фазовий стан поверхневих шарів титанового сплаву Ti-6Al-4V та з’ясувати особливості їх руйнування за умов абразивного зношування та фретинг-втомних випробувань у середовищі 3%-го розчину NaCl.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводили на зразках із титанового ($\alpha+\beta$)-сплаву Ti-6Al-4V після поверхневого модифікування.

Модифікацію поверхневих шарів здійснено на спеціалізованій установці „МАРІЯ” (на основі ЕЛУ – 9Б), яка дозволяла інтегрувати процеси іонної імплантації та осадження покриття нітридів титану. Зразки опромінювали іонами азоту високої енергії (30 кеВ) дозою $2 \cdot 10^{17}$ іон/см² з наступним відпалом у вакуумі за температури 530 °С впродовж 2 год. Покриття з нітриду титану наносили на попередньо імплантовані азотом зразки у два етапи. На I етапі очищували та активували поверхню підкладки бомбардуванням іонами титану. На II етапі – осаджували покриття, яке одержували розпиленням катодів з титану високої чистоти в середовищі очищеного азоту за тиску 0,7 Па. Після нанесення покриття зразки охолоджували у вакуумі до 150 °С впродовж 25 хв.

Металографічні дослідження проводили на сканівному електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP із системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Корозійну зносостійкість поверхнево-модифікованого сплаву визначали на установці, що працює за принципом торцевого тертя (рис. 1) у середовищі 3%-го розчину NaCl.

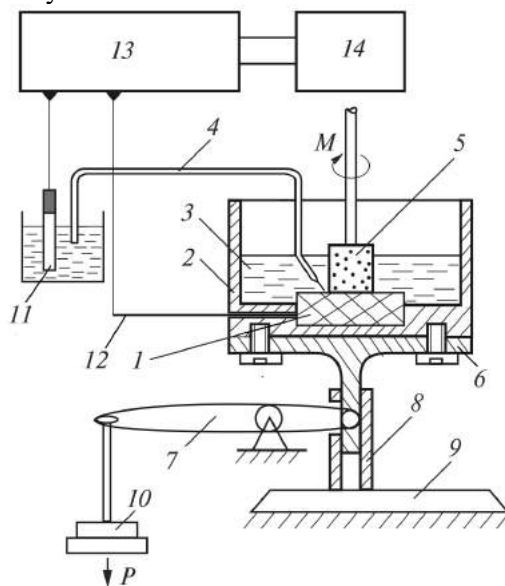


Рис. 1. Схема установки для корозійно-електрохімічних досліджень при абразивному зношуванні: 1 – зразок; 2 – робоча камера; 3 – корозійне середовище; 4 – електролітичний капіляр; 5 – абразив; 6 – рухомий столик; 7 – важіль; 8 – напрямна; 9 – основа; 10 – вантаж; 11 – електрод порівняння (стандартний); 12 – контактний пристрій; 13 – блок високоомного вольтметра потенціостату; 14 – самописець.

Умови випробувань такі: швидкість обертання контртіла – 76,8 об./хв; тривалість випробувань – 1 год. Усі дослідження проведено за фіксованого навантаження $P = 4,9$ Н. Робочий абразив – електрокорундовий циліндричний стрижень $d = 10$ мм із розміром зерна 25 мкм середньом'якої твердості на керамічній зв'язці типу 7K15. Опір зношуванню оцінювали порівняльним аналізом масових втрат ΔG , визначених гравіметричним методом із точністю $\pm 0,0002$ г. Вимірювання загального електродного потенціалу металів під час корозійно-

абразивного зношування здійснювали компенсаційним методом із точністю $\pm 1,5$ мВ.

Довговічність сплаву за умов фретинг-втому та корозійної фретинг-втому оцінювали за часом до повного руйнування призматичних зразків завбільшки $110 \times 11 \times 5$ мм консольним згином (рис. 2).

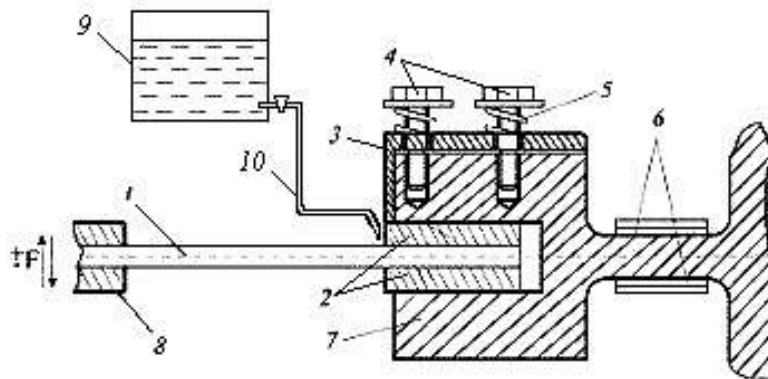


Рис. 2. Схема пристрою для випробувань зразків на фретинг-втому:
1 – зразок; 2 – пластинки-накладки; 3 – Г-подібний затискач; 4 – затяжні гвинти;
5 – пружина; 6 – чотириплечий міст тензорезисторів; 7 – нерухомий захват;
8 – рухомий захват; 9 – ємність з корозійним середовищем; 10 – капіляр.

База випробувань $1 \cdot 10^7$ циклів, амплітуда напружень $\sigma_a = 80 \dots 200$ МПа, частота навантаження $f = 14 \dots 20$ Гц. Середній контактний тиск у зоні фретингу $q = 25 \dots 70$ МПа залежно від напружень. Відтворення фретингу при втомних випробуваннях здійснювали на зразках, які утворювали пару фретингу при контакті двох плоских поверхонь упродовж усього випробування. Для створення однакової лінії фретинг-контакту досліджуваної пари зразків торці зразків-накладок шліфували одним пакетом. Корозійну фретинг-втому вивчали в 3%-му розчині NaCl.

Структура сплаву Ti-6Al-4V за формою часток α -фази характерна для пластично-деформованого та термічно оброблених сплавів. Мікроструктура дрібнозерниста рівновісного типу з розміром часток α -фази $\sim 8 \dots 14$ мкм (рис. 3, а).

У результаті металографічних досліджень виявлено, що внаслідок імплантації відбулося диспергування приповерхневої структури, що є наслідком утворення та еволюції радіаційних дефектів, без зміни шорсткості вихідної поверхні ($R_a = 0,027 \pm 0,003$ мкм) (рис. 3, б). Унаслідок післяімплантаційного відпалу в шарі товщиною до 125 нм утворюється дрібнодисперсна зміцнювальна фаза з нітридів титану розміром $20 \dots 60$ нм.

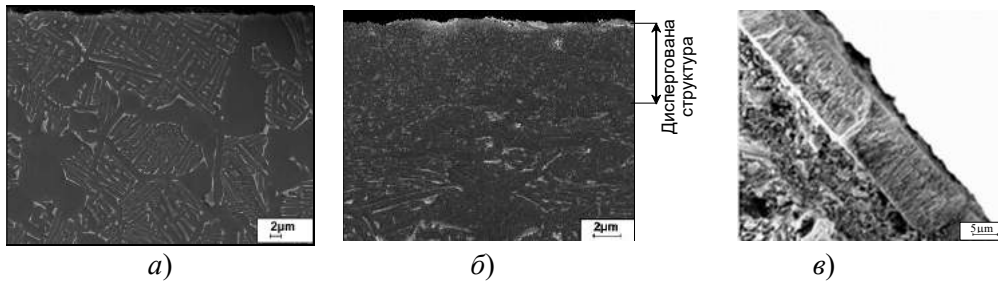


Рис. 3. Мікроструктура сплаву Ті-6Аl-4V у вихідному стані (а) та після поверхневого модифікування іонною імплантацією азоту (б) та осадження нітридного покриття (в).

Після нанесення іонно-плазмового покриття на попередньо іонно-імплантований азотом сплав утворюється добре зчеплена з матрицею нітридна плівка (рис. 3, в) товщиною ~ 10 мкм. Покриття містить на поверхні незначну кількість краплинної фази титану, який при напиленні не прореагував із азотом.

Іонна імплантація азоту, проведена перед нанесенням покриття, активує поверхню, а дрібнодисперсні включення з нітриду титану в поверхневих шарах сплаву взаємодіють з осадженим покриттям з нітриду титану, що значно збільшує адгезію покриття до підкладки. Крім того, за суміщеної обробки створюється плавний перехід фізико-хімічного стану покриття в матрицю і зникає межа розділу покриття–поверхня, що забезпечує адгезійну міцність та унеможливує виникнення залишкових напружень розтягу, що повинно різко змінити експлуатаційні властивості виробів.

Відмінності абразивного зношування вихідної та модифікованих поверхонь встановлювали порівняльним макроскопічним аналізом зразків після випробувань (рис. 4).

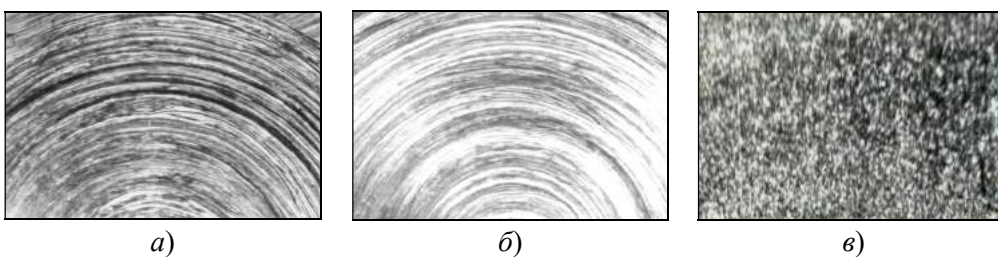


Рис. 4. Пошкодження поверхонь внаслідок абразивного зношування, $\times 16$: а – вихідна; б – іонно імплантована азотом; в – покриття з нітридів титану.

Особливістю зношування матеріалів абразивом є зрізання ним поверхні сплавів. Дія частинок, які зв'язані між собою (корундовий круг), поєднує мікрорізання в'язкого, крихкого характеру та пластичне деформування поверхні (рис. 4, *a*). Іонне проникнення азоту усуває характерні особливості зношування сплаву, що полягають у схоплюванні, утворенні задирих та проорюванні поверхні. Треки зношування в опромінених зразках виглядають запрасованими та заполірованими, про що свідчить їх рівна окрайка (рис. 4, *б*). Основними причинами підвищення тривкості до зношування сплаву після іонної імплантації азоту є створення в поверхневих шарах радіаційних дефектів та утворення домішок проникнення. На модифікованій поверхні, утвореній нітридом титану, твердість якої більша, ніж електрокорунду, не залишається помітних слідів тертя (рис. 4, *в*). Тут руйнування відбувається внаслідок стирання твердих структурних елементів або їх викришування під час зношування абразивними частинками.

У процесі корозійно-абразивного тертя фіксували характер зміни електродного потенціалу поверхні в 3%-му розчині NaCl. Зміна електродного потенціалу інтегрально відображає сутність електрохімічних процесів на межі поділу металу, що зношується, та середовища (рис. 5).

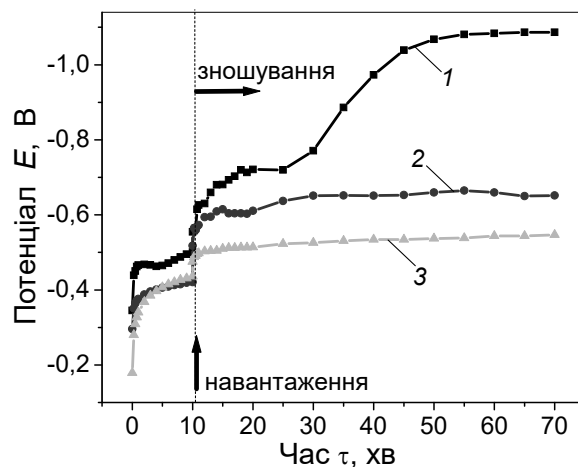


Рис. 5. Характер зміни електродного потенціалу під час корозійно-абразивного зношування сплаву Ti-6Al-4V: 1 – вихідна поверхня; 2 – імплантована азотом; 3 – покрита TiN.

Виявлено зміщення електродного потенціалу E в негативну область значень у початковий момент тертя з подальшою стабілізацією його значень, у процесі зношування, в області від'ємніших його значень. Це повинно б інтенсифікувати руйнування поверхні за рахунок електрохімічних процесів, проте інтенсивність зношування зразків як у вихідному стані, так і після модифікування у середовищі 3%-го розчину NaCl нижча порівняно з абразивним зношуванням на повітрі (рис. 6).

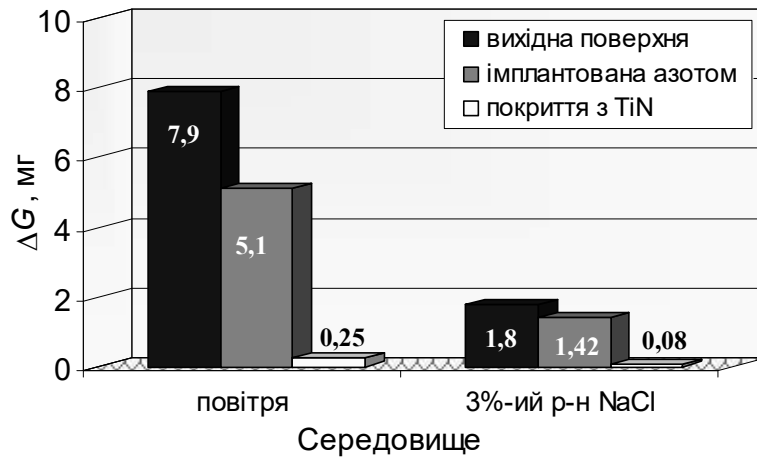


Рис. 6. Гістограма абразивного зношування сплавів у різних середовищах.

Досягнутий ефект збільшення зносотривкості поверхнево-модифікованих сплавів у 3%-му розчині NaCl (рис. 6) можна пояснити відведенням тепла та утворенням у зоні контакту оксидів титану, які зменшують ймовірність мікроприварювання поверхонь контакту під час тертя.

В умовах фретингу межа витривалості плоских зразків сплаву Ti-6Al-4V знижується на 60...70 % і становить 94 МПа, тобто $0,1\sigma_v$ (рис. 7). Коефіцієнт зниження міцності сплаву (відношення межі втоми до межі фретинг-втоми $\sigma_{-1}/\sigma_{-1фр}$) у парі з однотипним сплавом дуже високий і становить 3,1. Руйнування відбувається в зоні фретинг-контакту завширшки 0,5...2 мм, проковзування 5...11 мкм. Корозійне середовище (3 %-вий розчин NaCl) на 18 % знижує межу витривалості необробленого титанового сплаву, порівняно з повітрям, іонно-імплантованих зразків на 4 %, а з покривом із нітриду титану фретинг-ефект практично відсутній.

Порівняльна оцінка за корозійною фретинг-втомною довговічністю модифікованого за різними режимами сплаву Ti-6Al-4V показала, що найефективнішими є нітридні покриття, які майже у п'ять разів підвищують опір руйнуванню сплаву.

Висновки. Інтегрована технологія зміцнення поверхні титанових сплавів (іонна імплантація азоту та іонно-плазмове напилення нітридів титану) підсилює захисні властивості поверхневих шарів, зменшує абразивне та корозійно-абразивне спрацювання. Виявлено, що 3 %-вий розчин NaCl знижує інтенсивність зношування зразків із сплаву Ti-6Al-4V як у вихідному стані, так і після модифікування, порівняно з абразивним зношуванням на повітрі, що пояснюється відведенням тепла із зони тертя і утворенням у зоні контакту ультрадисперсних оксидів титану, які знижують ймовірність мікроприварювання контактних поверхонь під час тертя.

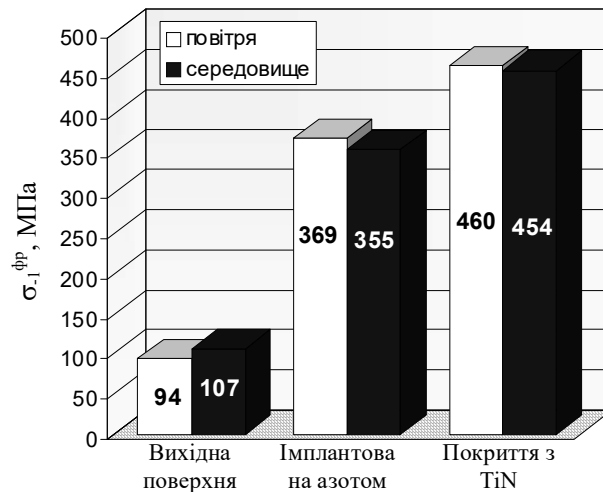


Рис. 7. Межі фретинг-втоми та корозійної фретинг-втоми сплаву Ti-6Al-4V після поверхневого модифікування.

Встановлено, що іонна імплантація азоту забезпечує підвищення границі фретинг-втоми сплаву Ti-6Al-4V приблизно в три рази, а з додатково нанесеним вакуумним іонно-плазмовим покриттям нітридів титану – майже в п'ять разів.

Бібліографічний список

1. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов / под ред. С. Г. Глазунова. Москва : Metallurgiya, 1980. 464 с.
2. Солонина О. П., Глазунов С. Г. Жаропрочные титановые сплавы. Москва : Metallurgiya, 1976. 447 с.
3. Костюк Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Харьков : АИНУ, 2002. Кн.1. 587 с.
4. Андреев А. А., Саблев С. П., Шулаев В. М., Григорьев С. Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. Харьков : ННЦ ХФТИ, 2005. 236 с.
5. Мацевитый В. М. Покрытия для режущих инструментов. Харьков : Вища шк., 1987. 128 с.
6. Waterhouse R. B. Effect of material and surface condition on fretting fatigue. Fretting Fatigue. Proceedings of an International Conference on Fretting Fatigue, Sheffield, April 1993. United Kingdom : The University of Sheffield, 1993. P. 33.
7. Pokhmurskii V., Kalakhan O., Okhota N. Corrosion Electrochemical Behavior of Surface-Modified Titanium Alloys. *Materials Science*. 2005. 41, № 1. P. 1-6.
8. Береснев В. М., Толок В. Т., Грищенко В. И. Покрытия на основе тугоплавких соединений, осажденных из потоков металлической плазмы вакуумной дуги. *Физическая инженерия поверхности*. 2003. Т. 1, № 3-4. С. 237-258.

Калахан О., Веселівська Г., Задорожна Х., Дзьоба Ю., Лакіш О. Вплив модифікування поверхні сплаву Ti-6Al-4V на його корозійно-механічне руйнування

Стаття присвячена встановленню впливу модифікування поверхневих шарів титанового сплаву Ti-6Al-4V іонною імплантацією та іонно-плазмовим покриттям на їх корозійно-механічну поведінку в середовищі 3% NaCl. Показано, що 3 %-вий водний розчин NaCl підвищує зносостійкість сплавів як у вихідному стані, так і після модифікування поверхні. Встановлено, що іонна імплантація азоту забезпечує збільшення границі фретинг-втоми сплаву Ti-6Al-4V приблизно в три рази, а за допомогою додаткового вакуумного іонно-плазмового покриття нітриду титану – майже в п'ять разів.

Ключові слова: титановий сплав, іонна імплантація азоту, іонно-плазмове покриття, нітриди титану, абразивне зношування, фретинг-втома, 3 %-вий розчин NaCl.

Kalakhan O., Veselivska H., Zadorozhna Kh., Dzioba Yu., Lakish O. The influence of the surfaces modification of Ti-6Al-4V alloy on its corrosion-mechanical destruction

The paper is devoted to establishing the effect of modification by ion nitrogen implantation and ion-plasma coating of the Ti-6Al-4V titanium alloy surface layers on their corrosion-mechanical behavior in the media of 3 % NaCl. It has been shown that 3 % NaCl aqueous solution increases the wear resistant of the alloys on both initial state and after surface modification. It was established that ion implantation of nitrogen provides an increase in the fretting-fatigue limit of the Ti-6Al-4V alloy in ~ 3 times, and with an additional vacuum ion-plasma coating of titanium nitride – almost 5 times.

Key words: titanium alloy, ion implantation of nitrogen, ion-plasma coating, titanium nitride, wear resistant, fretting-fatigue, 3 % NaCl solution.

Калахан О., Веселивская Г., Задорожная Х., Дзьоба Ю., Лакиш О. Влияние модифицирования поверхности сплава Ti-6Al-4V на его коррозионно-механическое разрушение

Статья посвящена определению влияния модификации ионной имплантацией и ионно-плазменным покрытием поверхностных слоев титанового сплава Ti-6Al-4V на их коррозионно-механическое поведение в среде 3 % NaCl. Было показано, что 3 %-ный водный раствор NaCl повышает износостойкость сплавов как в начальном состоянии, так и после модификации поверхности. Установлено, что ионная имплантация азота обеспечивает увеличение предела фреттинг-усталости сплава Ti-6Al-4V примерно в три раза, а с помощью дополнительного вакуумного ионно-плазменного покрытия нитрида титана – почти в пять раз.

Ключевые слова: титановый сплав, ионная имплантация азота, ионно-плазменное покрытие, нитриды титана, абразивный износ, фреттинг-усталость, 3 %-ный раствор NaCl.

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ТА ЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ

*В. Семерак, к. т. н., О. Пономаренко, к. ф.-м. н., В. Косарчин, к. ф.-м. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Важливою задачею сучасної техніки є підвищення надійності і довговічності несучих металоконструкцій машин і споруд. Несуча здатність більшості металоконструкцій (будівельні і дорожні машини, вироби спеціального призначення) визначається головним чином опором втомі елементів зварних з'єднань. Про це свідчать численні випадки утворення в зонах зварних швів втомних тріщин, що нерідко призводить до передчасного виходу з ладу або катастрофічного руйнування зварних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкції, які працюють в умовах підвищених температур, наприклад, двигуни потужної будівельної техніки, працюють 3 % свого ресурсу у важконавантаженому режимі, 25 % в експлуатаційному режимі, а решту часу – у легших режимах [7]. У цих умовах міцність конструкційних матеріалів, особливо металів та їх сплавів, суттєво залежить від температури, тривалості та особливостей навантаження [9; 10].

В умовах роботи (від початку до повної зупинки) застосовують принцип «лінійного сумування пошкоджень», який вперше було висунуто під час оцінки довговічності кулькових підшипників. Для тривалої міцності цей принцип був застосований як узагальнення експериментальних даних.

Постановка завдання. Наше завдання – визначити працездатність елементів зварних металоконструкцій і прогнозувати оцінку підвищення опору втомі.

Виклад основного матеріалу. Встановлено [6], що за фіксованого значення середнього напруження циклу оцінку ефективності повного зняття залишкових напружень здійснюють за допомогою залежності

$$\sigma_{\max}^{\text{об}} = \frac{\sigma_a^{\text{зал}} \cdot \sigma_b + \sigma_m (\sigma_b - \sigma_T / \alpha_\sigma)}{\sigma_b + \sigma_a^{\text{зал}} - \sigma_T / \alpha_\sigma}, \quad (1)$$

де $\sigma_a^{\text{зал}}$ – розтяжні залишкові напруження;

σ_T і σ_b – границі текучості і міцності матеріалу відповідно;

α_σ – пружний коефіцієнт концентрації напружень зварного з'єднання.

При цьому значення максимальних граничних напружень $\sigma_{\max}^{\text{зал}}$ залежить від коефіцієнта асиметрії R_σ і середніх напружень σ_m циклу зовнішнього навантаження [8].

З метою перевірки отриманих у працях [6; 8] співвідношень виконано оцінку впливу повного зняття залишкових зварних напружень на значення межі витривалості зварного стикового з'єднання ($\alpha_\sigma = 1,32$) з низьковуглецевої сталі ($\sigma_T = 300$ МПа, $\sigma_b = 410$ МПа).

В основу розрахунку покладено значення амплітуди граничних напружень великогабаритних зварних зразків [8] у стані після завершення зварювання. Зіставлення результатів розрахункової оцінки впливу залишкових напружень на опір втомі зварних з'єднань і експериментальних даних за різних значень коефіцієнта асиметрії циклу зовнішнього навантаження [9] показало добру їх збіжність. Результати розрахункової оцінки впливу термообробки на значення межі витривалості за отриманими у праці [6] залежностями стосовно інших типів зварних з'єднань також добре корелюються з даними експерименту [7].

Методика розрахунку ефективності повного зняття залишкових напружень термообробкою [1-3] придатна не лише для випадку, коли вихідні залишкові напруження у зварному з'єднанні досягають значення межі текучості матеріалу, але й також у разі, якщо ці напруження не перевищують σ_T , але вищі від граничної межі початкових залишкових напружень $\sigma_{\text{зал}}^p$, за якої максимальний рівень напружень у зонах концентраторів зварного стикового з'єднання при циклічному навантаженні досягає значень границі текучості ($\sigma_{\text{max}}^k = \sigma_T$). Залежно від асиметрії циклу зовнішнього навантаження величина $\sigma_{\text{зал}}^p$ визначається із залежності (див. рис.)

$$\sigma_{\text{зал}}^p / \sigma_T = 1 - \frac{2\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{(1 - R_\sigma) \sigma_T} \quad (2)$$

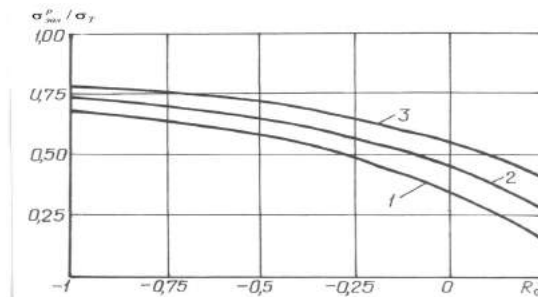


Рис. Залежність граничного значення залишкових напружень $\sigma_{\text{зал}}^p$ від коефіцієнта

асиметрії циклу зовнішнього навантаження R_σ : крива 1 - $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,325$;

крива 2 - $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,27$; крива 3 - $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,22$.

Висновки. Повне зняття залишкових напружень під час зварювання є частковим випадком найсприятливішого перерозподілу залишкових зварних напружень під дією локальної термообробки [9]. Здебільшого така термообробка сприяє лише частковому усуненню розтяжних зварних напружень або призводить до формування в зонах концентраторів зварних з'єднань залишкових напружень стиску [4].

Бібліографічний список

1. Винокуров В. А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. Москва : Машиностроение, 1973. 215 с.
2. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. Москва : Машиностроение, 1968. 236 с.
3. Гатовский К. М., Марков С. П., Налетов В. С. Оценка напряженно-деформированного состояния при стыковой сварке листов больших габаритов. *Процессы постройки, сварки и монтажа судов*. Ленинград, 1981. С. 69–74.
4. Добрянський І. М., Ковалишин С. Й., Іваник Є. Г., Семерак В. М. Алгоритм оптимального вибору зон нагріву і охолодження при термообробці зварних пластин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2009. Т. 1, № 13. С. 349–355.
5. Добрянський І. М., Хомляк Л. В, Іваник Є. Г. Ефективність термообробки зварних пластин рухомими зонами нагріву. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій* / за заг. ред. Й. Й. Лучка. Львів : Каменяр, 2007. Вип. 7. С. 431–436.
6. Іваник Є. Г., Косарчин В. І, Семерак В. М. Розрахункова оцінка ефективності підвищення опору втомі зварних з'єднань. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій* / за заг. ред. Й. Й. Лучка. Львів : Каменяр, 2012. Вип. 9. С. 131–134.
7. Кудрявцев Ю. Ф., Гуца О. И. Некоторые закономерности изменения остаточных напряжений при циклическом нагружении в зависимости от их начального уровня и концентрации напряжений. *Проблемы прочности*. 1986. № 1. С. 32–38.
8. Тальпов Г. Б. Приближенная теория сварочных напряжений. Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1957. 182 с.
9. Труфяков В. И., Гуца О. И., Кудрявцев Ю. Ф. Влияние остроты концентратора на сварочные остаточные напряжения при многоцикловом нагружении. *Автоматическая сварка*. 1981. № 7. С. 13–16.
10. Труфяков В. И., Гуца О. И., Кудрявцев Ю. Ф. Влияние степени концентрации напряжений на формирование остаточных напряжений при многоцикловом нагружении. *Автоматическая сварка*. 1981. № 3. С. 22–25.

Семерак В., Пономаренко О., Косарчин В. Залишкові напруження у зварних з'єднаннях та значення межі витривалості

На базі пропонованого методу оцінки впливу на залишкові зварні напруження та їх перерозподілу враховується локальна термообробка із

врахуванням залежності граничних залишкових напружень від коефіцієнта асиметрії циклу зовнішнього навантаження.

Ключові слова: надійність, довговічність, зварювання, металоконструкції, машини, споруди, змінне навантаження, втомна міцність.

Semerak V., Ponomarenko O., Kosarchin V. Remaining stresses in welded joints and the value of the limit of endurance

On the basis of the proposed method of estimating the impact on residual weld tensions and their redistribution, local thermal treatment taking into account the dependence of the limiting residual stresses on the coefficient of asymmetry of the external load cycle is taken into account.

Key words: reliability, durability, welding, metallokonstruktsii, cars, structures, variable load, fatigue strength.

Семерак В., Пономаренко А., Косарчин В. Остаточные напряжения в сварных соединениях и значение предела выносливости

На базе предлагаемого метода оценки воздействия на остаточные сварные напряжения и их перераспределения учитывается локальная термообработка с учетом зависимости предельных остаточных напряжений от коэффициента асимметрии цикла внешней нагрузки.

Ключевые слова: надежность, долговечность, сварка, металлоконструкции, машины, сооружения, переменная нагрузка, усталостная прочность.

АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ШАРІВ НА ОСНОВІ КОРУНДУ, СИНТЕЗОВАНИХ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ ТА ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ

М. Студент, д. т. н., О. Калахан, д. т. н., В. Посувайло, к. т. н.,
В. Гвоздецький, к. т. н., Я. Сірак, аспірант, Б. Гнатів*
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України
Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні деталі з алюмінієвих сплавів транспортної техніки, у тому числі й сільськогосподарських машин, швидко зношуються та виходять із ладу через їх невисоку поверхневу твердість. Це корпуси кришок розподільчих шестерень двигунів внутрішнього згоряння, поршні гідроциліндрів Ц-75 тракторів МТЗ-80 і ЮМЗ-6, сівалок СЗ-3,6 і культиваторів КПС, поршні двигунів внутрішнього згоряння тощо.

З-поміж багатьох методів відновлення цих деталей метод плазмоелектролітної обробки (ПЕО) алюмінієвих сплавів має важливі переваги. Мікродугове оксидування – процес отримання оксидокерамічних шарів на поверхні вентильних металів, що знаходяться в електроліті в якості робочого електрода, за високовольного режиму, що забезпечує наявність локальних плазмових мікророзрядів [3 – 5]. Переваги методу ПЕО:

1) мінімізація виробничих площ і скорочення часу технологічного процесу, оскільки не потрібна попередня ретельна підготовка поверхні виробів і конструкцій;

2) отримання антикорозійного покриття з вищими показниками механічних властивостей: твердість (до 25 ГПа), зносостійкість, адгезія до металічної основи, опір втомі, коефіцієнт тертя [1];

3) висока екологічна чистота.

Застосування комбінованої технології, що полягає в попередньому газотермічному напиленні покриттів із алюмінієвого сплаву з наступним синтезом плазмоелектролітною обробкою оксидного шару на основі корунду, дає змогу не тільки відновити зношені поверхні, а й суттєво підвищити їх зносостійкість, а отже, й довговічність.

Постановка завдання. Мета роботи – провести порівняльні дослідження зносостійкості оксидокерамічних шарів, синтезованих на алюмінієвих сплавах, і газотермічних покриттів на сталі.

Виклад основного матеріалу. Електродугові покриття (ЕДП) товщиною 1,0 мм наносили електродуговим металізатором ФМІ із алюмінієвого дроту 1,8 мм на попередньо оброблену дробострумінною обробкою поверхню плоских зразків із

алюмінієвого сплаву Д16. Оболонку порошкового дроту (ПД) виготовляли зі стрічки із сталі 08кп товщиною 0,4 мм і шириною 10 мм. Режими нанесення покриттів: струм 150 А, напруга дуги 32 В. Розпилювали ПД струменем стиснутого повітря під тиском 0,7 МПа із дистанції 150 мм.

Оксидокерамічні покриття синтезували на алюмінієвому сплаві та електродуговому покритті з Д16. Покриття формували в катодно-анодному режимі за співвідношення $I_k/I_a = 1$ імпульсним струмом густиною 20 А/дм² в електроліті 3 г/л КОН + 2 г/л рідкого скла (натрійсилікатного).

Абразивне зношування за умов тертя нежорстко закріпленими абразивними частками проводили згідно з ГОСТ 23.208-79. Кварцовий пісок просушували (його вологість не перевищувала 0,16 %), а гумовий диск заправляли шліфувальною шкіркою типу 2 (ГОСТ 6456-75) зернистістю №8П (ГОСТ 3647-71), закріпленою на зразку-держаку у вигляді плоскої сталеві пластини. У зону контакту гумового круга та зразка за допомогою дозувального пристрою постійно подавали абразив.

Режим тертя: навантаження $P = 2,4$ Н, швидкість обертання гумового диска – 25 м/хв, діаметр 48...50 мм, ширина $15 \pm 0,1$ мм, абразив – фракціонований (розмір частинок 200...1000 мкм) та просушений пісок. Для порівняльних досліджень використовували абразивний диск із електрокорунду середньом'якої твердості СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15 діаметром 150 мм та шириною 8 мм. Зернистість електрокорунду становила 250...315 мкм (25А, 25Н), лінійна швидкість тертя – 100 м/хв, навантаження в зоні лінійного контакту – 1,5 кг. Знос оцінювали за втратою маси зразків із точністю до $2 \cdot 10^{-4}$ г на електронній аналітичній вазі марки KERN ABJ 220 4М.

Абразивна зносостійкість оксидокерамічних шарів на електродугових покриттях (ЕДП). Оксидокерамічні шари на ЕДП на основі алюмінію характеризуються типовою мікроструктурою з трьома чітко вираженими областями (рис. 1): верхній пористий шар, щільна та широка область практично безпористого покриття та тонкий проміжний шар на межі контакту з алюмінієвою основою або з алюмінієвим напиленим покриттям.

Рентгенофазовим аналізом встановлено, що певна частина оксидокерамічних шарів знаходиться в рентгеноаморфному стані, але основною фазою є оксид алюмінію (α - і γ -модифікації) (табл. 1).

Співвідношення α/γ фаз залежить від складу сплаву, параметрів оксидування, а також від складу та концентрації електролітів. Оксидокерамічні шари, які формувалися на монолітному сплаві Д16Т, мають максимальний вміст α -Al₂O₃ – 73 %. Оксидокерамічні шари, сформовані на напиленому Д16, містять лише 40 % α -Al₂O₃ та 60 % γ -Al₂O₃. Оксидокерамічні шари, сформовані на напиленому АМг-6 за тих самих умов, містять 18 % α -Al₂O₃ і 82 % γ -Al₂O₃.

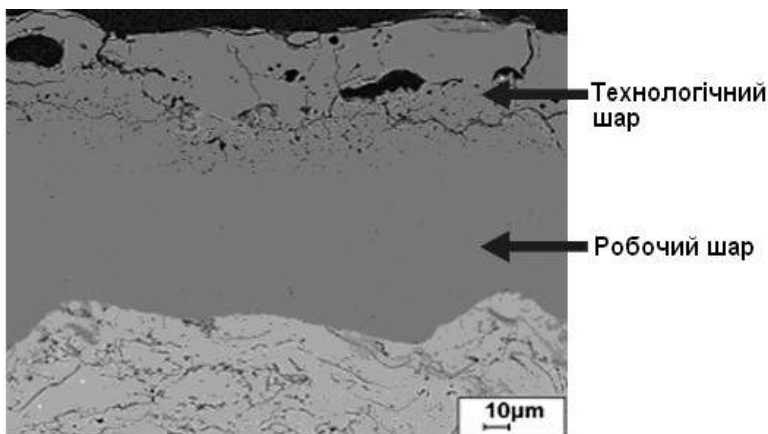
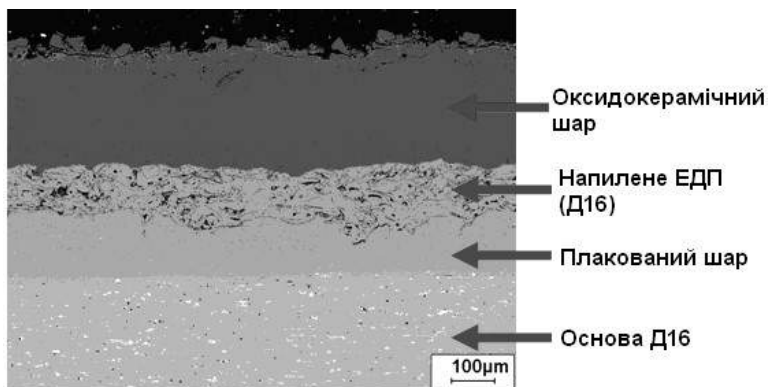


Рис. 1. Структура оксидокерамічного шару, синтезованого на ЕДП з дроту Д16.

Таблиця 1.

Вплив хімічного складу ЕДП на фазовий склад оксидокерамічного шару

Вид ЕДП	α -модифікація, % мас.	γ -модифікація, % мас.
Д16Т	73	27
Основа – Д16Т+напилений Д16	40	60
Основа – Д16Т+напилений АМг-6	18	82

Зносостійкість оксидокерамічних шарів, синтезованих на зразках із алюмінієвих сплавів, порівнювали зі зносостійкістю зразків із необробленого алюмінієвого сплаву, а також зразків із загартованої сталі ШХ15 (HRC60). Оскільки оксидокерамічні шари мають верхній пористий шар, то спочатку досліджували його поведінку щодо абразивного зношування. Далі, після завершення випробувань, цей оксидокерамічний шар зішліфовували на товщину

50 мкм і знову проводили аналогічні випробування. Усереднені результати досліджень подано в табл. 2.

Таблиця 2

Абразивна зносостійкість оксидокерамічного шару

Абразивна зносостійкість за випробування:	Д16Т+ПЕО		Д16+ЕДП+ПЕО	
	технологічний шар	робочий шар	технологічний шар	робочий шар
– закріпленим абразивом	0,004	0,002	0,006	0,003
– незакріпленим абразивом	0,017	0,006	0,0024	0,008

Проведеними експериментами за двома методиками досліджень встановлено, що всі оксидокерамічні шари мають набагато вищі експлуатаційні характеристики, ніж еталон – необроблений сплав Д16Т та гартована сталь.

Кращі властивості щодо абразивного зношування має оксидокерамічне покриття, синтезоване на сплаві Д16Т. Високоймовірно, що це пояснюється найбільшим вмістом у ньому $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ порівняно з іншими покриттями. Зносостійкість верхнього та нижнього оксидокерамічних шарів, синтезованих на сплаві Д16Т та на ЕДП із суцільного дроту Д16, є досить високою. Як бачимо (див. рис. 2), найвищу зносостійкість при терті закріпленим абразивом мають оксидокерамічні шари, синтезовані на сплаві Д16Т та на ЕДП із суцільних дротів Д16 [2].

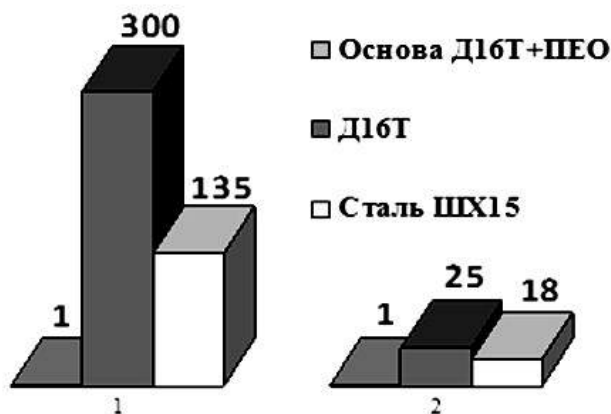


Рис. 2. Відносна абразивна зносостійкість за випробування: 1 – закріпленим абразивом; 2 – незакріпленим абразивом.

Результати досліджень абразивної зносостійкості гартованої сталі ШХ15 (HRC62) та оксидокерамічних шарів, сформованих на сплавах Д16Т, АМГ та ЕДП, свідчать про суттєво вищу зносостійкість оксидокерамічних шарів на напилених покриттях, ніж загартованої сталі ШХ15, як при випробуваннях закріпленим, так і незакріпленим абразивом.

Висновки. Показано, що абразивна зносостійкість оксидокерамічного шару на електродугових покриттях із сплаву Д16 перевищує зносостійкість загартованої сталі ШХ15 на два порядки за випробування закріпленим абразивом, що зумовлено найбільшим вмістом у ньому фази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ порівняно з іншими покриттями.

Бібліографічний список

1. Вплив структури ПЕО шарів на електродугових алюмінієвих покриттях на зміну компромісного електродного потенціалу та коефіцієнтів тертя у парі зі сталлю на стадії притирання / Студент М. М. та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2012. Спецвип. № 9, т. 2. С. 622 – 625.
2. Порівняльні характеристики зносостійкості оксидних та нітридних покриттів / Студент М. М. та ін. Проблеми трибології. 2015. № 3. С. 54 – 60.
3. Студент М. М., Шмирко В. В., Довгунік В. М., Клапків М. Д. Оцінювання механічних властивостей комбінованих металооксидокерамічних шарів на алюмінієвих сплавах. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2014. № 2. С. 116 – 121.
4. Gibbs energy calculation of electrolytic plasma channel with inclusions of copper and copper oxide with Al-base / V. M. Posuvailo *at al.* / *Materials Science and Engineering* 2017. Т.181. Р. 157 – 168.
5. Tribological properties of combined metal-oxide–ceramic layers on light alloys / Student M. M. *at al.* *Materials Science*. 2012. Vol. 48, No. 2. P. 180 –190.

Студент М., Калахан О., Посувайло В., Гвоздецький В., Сірак Я., Гнатів Б. Абразивна зносостійкість плазмоелектролітних шарів на основі корунду, синтезованих на алюмінієвих сплавах та електродугових покриттях

Численні деталі з алюмінієвих сплавів транспортної техніки, у тому числі й сільськогосподарських машин, швидко зношуються та виходять із ладу через їх невисоку поверхневу твердість. З-поміж багатьох методів відновлення цих деталей метод плазмоелектролітної обробки алюмінієвих сплавів має важливі переваги. Мікродугове оксидування – процес отримання оксидокерамічних шарів на поверхні вентильних металів, що знаходяться в електроліті в якості робочого електрода, за високовольтного режиму, що забезпечує наявність локальних плазмових мікророзрядів.

Застосування комбінованої технології, що полягає в попередньому газотермічному напиленні покриттів із алюмінієвого сплаву з наступним синтезом плазмоелектролітною обробкою оксидного шару на основі корунду, дає змогу не тільки відновити зношені поверхні, а й суттєво підвищити їх зносостійкість, а отже, й довговічність. Мета роботи – провести порівняльні дослідження зносостійкості

оксидокерамічних шарів, синтезованих на алюмінієвих сплавах, і газотермічних покриттів на сталі.

Ключові слова: електродугові покриття, алюмінієвий сплав, плазмоелектролітна обробка, абразивне зношування, мікродугове оксидування.

Student M., Kalakhan O., Posuvajlo V., Gvozdeckii V., Sirak Y., Gnativ B. Abrasion resistance of plasma-electrolytic layers based on corundum synthesized on aluminum alloys and electric arc coatings

Many details of aluminum alloys of transport equipment, including agricultural machinery, quickly wear out and fail because of its low surface hardness. Among many methods of restoring these details, the method of plasma-electrolytic processing of aluminum alloys has important advantages. Microarc oxidation is the process of obtaining oxide-ceramic layers on the surface of valve metals that are in the electrolyte as a working electrode in the high-voltage regime, which ensures the presence of local plasma discharges.

Application of the combined technology consists in preliminary gas-thermal spraying of coatings from an aluminum alloy with subsequent synthesis by plasmoelectrolytic treatment of an oxide layer based on corundum. This allows not only to restore worn surfaces, but also to significantly increase its wear resistance, and consequently, durability.

Objective: to conduct comparative studies of the wear resistance of oxide-ceramic layers synthesized on aluminum alloys and gas-thermal coatings and steel.

Key words: electric arc coating, aluminum alloy, plasma-electrolytic layer, abrasion resistance, microarc oxidation.

Студент М., Калахан О., Посувайло В., Гвоздецкий В., Сирак Я., Гнатив Б. Абразивная износостойкость плазмoeлектролитических слоев на основе корунда, синтезированных на алюминиевых сплавах и электродуговых покрытиях

Множество деталей из алюминиевых сплавов транспортной техники, в том числе и сельскохозяйственных машин, быстро изнашиваются и выходят из строя из-за их невысокой поверхностной твердости. Среди множества методов восстановления этих деталей метод плазмoeлектролитической обработки алюминиевых сплавов имеет важные преимущества. Микродуговое оксидирование – процесс получения оксидно-керамических слоев на поверхности вентильных металлов, которые находятся в электролите в качестве рабочего электрода, в высоковольтном режиме, что обеспечивает наличие локальных плазменных разрядов.

Применение комбинированной технологии заключается в предварительном газотермическом напылении покрытий из алюминиевого сплава с последующим синтезом плазмoeлектролитической обработкой оксидного слоя на основе корунда.

Это позволяет не только восстановить изношенные поверхности, но и существенно повысить их износостойкость, а следовательно, и долговечность.

В работе проведены сравнительные исследования износостойкости оксидно-керамических слоев, синтезированных на алюминиевых сплавах, и газотермических покрытий на стали.

Ключевые слова: электродуговые покрытия, алюминиевый сплав, плазмоэлектролитная обработка, абразивное изнашивание, микродуговое оксидирование.

ЗМІСТ

Розділ 1. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ І СИРОВИНИ

<i>Ковалишин С., Дадак В., Шеремета Р., Соколюк В., Доманюк П., Яромій Р. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ДОМШОК НАСІННЯ ВАЖКОВІДДІЛЮВАНИХ БУР'ЯНІВ ВІД ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ РПАКУ</i>	3
<i>Броварець О. ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГУ СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА КОНСТРУКЦІЇ ОЛЕКСАНДРА БРОВАРЦЯ</i>	9
<i>Гошко З., Крунич О., Крунич Р. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ ЛІСОВИХ ГОРІХІВ</i>	30
<i>Заморська І., Гіджеліцький В. ФОРМУВАННЯ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ В ЯГОДАХ СУНИЦІ САДОВОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЯКІСНИХ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ</i>	38
<i>Гошко З., Панасюк О., Панасюк Р., Гошко О. ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СОЇ НА ПРОЦЕС ЇЇ ЗБИРАННЯ</i>	44
<i>Аніскевич Л., Росамаха Ю. ХАРАКТЕР ЗМІНИ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ГЛИБИНІ ЗАГОРТАННЯ НАСІННЯ</i>	51
Розділ 2. РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА МАШИНИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА	
<i>Барановський В., Паньків М., Теслюк В., Онищенко В. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОЕФІЦІЄНТА ПРОХОДЖЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ</i>	58
<i>Коруняк П., Баранович С., Власюк І. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОЛИВНОГО ЖИВИЛЬНИКА</i>	70
<i>Пилипець М., Паньків В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМИХ ЗАТРАТ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА</i>	76

<i>Крунич С., Крунич О., Кузенко Д., Левко С.</i> КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ РОТОРНОГО УДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	91
<i>Семен Я.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ГНУЧКОГО ЕЛЕМЕНТУ ЗВОРУШУВАЧА РОТАЦІЙНОЇ КОСАРКИ.....	101
<i>Швець О., Власюк І., Федорина Д.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НОЖА ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ СТРИЖНЯ З ГОЛОВОК КАПУСТИ	107
<i>Кузенко Д., Семен О.</i> МАШИНА ДЛЯ САДІННЯ ЗУБКІВ ЧАСНИКУ	114
<i>Гречин Д., Дробот І., Сокач В.</i> СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ	119
<i>Буртак В., Кохана Т., Гуменюк Р., Шеремета Р.</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ДРОБАРОК ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ.....	124
<i>Крунич Р.</i> КОМПЛЕКТ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕНЬ.....	129
<i>Дмитрів І., Красниця Б.</i> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДОЇННЯ.....	134
<i>Василинич М., Панцир Ю.</i> КІНЕМАТИКА ПОДРІБНЕННЯ ПЛАСТА РОТОРАМИ КОМБІНОВАНОГО ПЛУГА.....	141
Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ	
<i>Тимочко В., Луб П., Падюка Р.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОГОДНОСТІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОБОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ.....	148
<i>Дідух В., Онюх Ю., Ягелюк С.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНОГО ПОЛІССЯ.....	155
<i>Городецький І., Мазур І., Городецька Н., Березовецький А.</i> ВПЛИВ ОБСТАВИН НА ФОРМУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	162

Розділ 4. ЕНЕРГЕТИКА АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Чабан А., Левонюк В. АНАЛІЗ НЕУСТАЛЕНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ФРАГМЕНТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КЛАСИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ..... 167

Чумакевич В., Лапинський В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 10 кВ СКОЛІВСЬКОГО РЕМ..... 177

Герман А. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ВНУТРІШНЬОЮ ЄМНІСНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ..... 184

Розділ 5. НАДІЙНІСТЬ І ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН

Студент М., Калахан О., Головчук М., Задорожна Х., Занько Б. ВПЛИВ ДІАМЕТРА ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА МІКРОГЕТЕРОГЕННІСТЬ ТА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ..... 190

Шолудько Я., Шолудько В., Гуменюк Р. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА, МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦІАЛУ..... 198

Калахан О., Веселівська Г., Задорожна Х., Дзьоба Ю. Лакіш О. ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ СПЛАВУ Ti-6Al-4V НА ЙОГО КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНЕ РУЙНУВАННЯ..... 208

Семерак В., Пономаренко О., Косарчин В. ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ТА ЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ..... 216

Студент М., Калахан О., Посувайло В., Гвоздецький В., Сірак Я., Гнатів Б. АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ШАРІВ НА ОСНОВІ КОРУНДУ, СИНТЕЗОВАНИХ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ ТА ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ..... 220

Наукове видання

**ВІСНИК ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Агроінженерні дослідження
№ 21**

Редактор Д. Б. Дончак
Комп'ютерна верстка І. Г. Стукалець

Перелік наукових фахових видань України
Бюлетень ВАК України, 2010, № 6, с. 3

Львівський національний аграрний університет
80381, Львівська обл., Жовківський р-н, м. Дубляни,
вул. Володимира Великого, 1
Свідоцтво ДК № 1380 від 3.06.2003 р.

Підписано до друку 09.10.2017. Формат 70×100/16.
Папір офс. Гарнітура «Таймс». Друк на різнографі.
Ум. друк. арк. 16,90.
Наклад 200. Зам. 42/17-04.

Видавництво «СПОЛОМ». 79008 Україна.
м. Львів, вул. Краківська, 9. Тел./факс: (380-32) 297-55-47.
E-mail: spolom_lviv@ukr.net. Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності:
серія ДК, № 2038 від 02.02.2005 р.

Друк ФОП Гуменицький М. В.
81630, Львівська обл., Миколаївський р-н,
с. Гонятичі, вул. Польова, 10
Свідоцтво фізичної особи-підприємця: № 083613 від 18.08.2008 р.