

Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI-10.37128/2520-6168-2023



№2 (121)



2023

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness

ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 2 (121) / 2023

м. Вінниця - 2023

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

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

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2023. № 2 (121). С. 157.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол № 2 від 25.08.2023 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

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

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

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

Члени редакційної колегії

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

Матвійчук В.А. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

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

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

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

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

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

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

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Аудріус Жунда – доцент кафедри машинобудування, енергетики та біотехнологій, Університета Вітовта Великого (Литва)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46– 00– 03

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

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Калетнік Г.М., Яронуд В.М., Полєвода Ю.А.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШННЯ АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ ПРОДУКТІВ ФРАКЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ БОБОВИХ ТРАВ В КОНВЕКТИВНІЙ СТРІЧКОВІЙ СУШАРЦІ..... 5

Бурлака С.А., Купчук І.М., Шаповалюк С.О., Черниш М.В.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА НА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗМІШУВАННЯ РІДИНИ..... 16

Говоруха В.Б., Луц П.М., Кисельов О.В.

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РІПАКОВОЇ СОЛОМИ..... 23

Oleksii Tokarchuk, Liudmila Sosnovska

DIRECTIONS OF USE OF FOOD AND PROCESSING INDUSTRY WASTE..... 32

Serhiy Sharhorodskiy, Volodymyr Rutkevych, Vita Sharhorodska

STUDY OF THE TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE REDUCED PLUNGER PRESSURE FORCE ON THE AXIAL PISTON PUMP CRADLE..... 40

II. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

Алієв Е.Б., Безверхній П.Є.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ ПОГІРШЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ПНЕВМАТИЧНИМИ СІВАЛКАМИ..... 51

Анісімов В.Ф., Єленич А.П., Рябошапка В.Б.

АНАЛІЗ СТАНУ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ЩОДО ОЦІНКИ ВИХОДУ ДІОКСИДУ АЗОТУ (NO₂) З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ..... 62

Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Бевз І.В.

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ (ABS) АВТОМОБІЛІВ..... 73

Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Цуркан О.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ «COMMON RAIL» ДИВИГУНІВ СЕРІЇ «ЯМЗ-5340»..... 85

Іванюта М.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКОВОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБРОБІТКОМ ҐРУНТУ..... 97

Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Oleksii Rabovol, Vladyslav Khryshcheniuk

MODERN APPROACH TO THE FORMATION OF AN OBJECT OF LEGAL PROTECTION - METHOD OF SPRAYING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES..... 106

Кондратюк Д.Г., Солоня О.В.

ВПЛИВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРАБЛІВ-ВОРУШИЛОК НА МЕХАНІЧНІ ВТРАТИ ПРИ ЗАГОТІВЛІ СІНА..... 116

Ludmila Shvets

INCREASING THE LUBRICANT RESOURCE BY DEVELOPING A DEVICE FOR ITS CLEANING..... 123

III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Бойко С.М., Жуков О.А., Коваль А.М., Печенюк Д.В.

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ..... 131

Возняк О.М., Штуць А.А., Булига А.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ..... 139

Граняк В.Ф., Возніцький І.О.

ДИЕЛЬКОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА..... 149



CONTENTS

I. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

Grygorii Kaletnik, Vitalii Yaropud, Yurii Polevoda

NUMERICAL SIMULATION OF THE DRYING PROCESS BY ACTIVE VENTILATION OF THE PRODUCTS OF FRACTIONAL PROCESSING OF LEGUMES IN A CONVECTIVE BELT DRYER.....	5
---	----------

Serhii Burlaka, Ihor Kupchuk, Serhii Shapovaliuik, Mykola Chernysh

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF THE BLADE MIXER ON THE TURBULENCE AND INTENSITY OF LIQUID MIXING.....	16
---	-----------

Volodymyr Govorukha, Pavlo Luts, Oleksii Kyselov

RESULTS OF LABORATORY STUDIES ON THE PROCESS OF MAKING FUEL BRIQUETTES FROM RAPESEED STRAW.....	23
--	-----------

Oleksii Tokarchuk, Liudmila Sosnovska

DIRECTIONS OF USE OF FOOD AND PROCESSING INDUSTRY WASTE.....	32
---	-----------

Serhiy Sharhorodskiy, Volodymyr Rutkevych, Vita Sharhorodska

STUDY OF THE TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE REDUCED PLUNGER PRESSURE FORCE ON THE AXIAL PISTON PUMP CRADLE.....	40
---	-----------

II. AGROENGINEERING

Elchyn Aliiev, Petro Bezverkhniy

STUDY OF THE FACTORS OF THE DETERIORATION OF SOWING ACCURACY WITH PNEUMATIC SEEDERS.....	51
---	-----------

Viktor Anisimov, Anatoliy Yelenych, Vadim Ryaboshapka

ANALYSIS OF THE STATE AND SETTING OF THE TASK REGARDING OUTPUT ASSESSMENT NITROGEN DIOXIDE (NO₂) WITH EXHAUST GASES TRACTOR ENGINES....	62
---	-----------

Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Ihor Bevz

FUNCTIONAL-COST ANALYSIS OF THE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS) OF CARS.....	73
--	-----------

Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Oleksandr Tsurkan

MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATION OF THE COMMON RAIL SYSTEM DIAGNOSTIC PROCESS OF THE YAMZ-5340 SERIES DIVIGUNS.....	85
--	-----------

Mykhailo Ivaniuta

MODELING OF THE FLOW ADAPTIVE SYSTEM FOR CONTROLLING THE SOIL TILLAGE.....	97
---	-----------

Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Oleksii Rabovol, Vladyslav Khryshcheniuk

MODERN APPROACH TO THE FORMATION OF AN OBJECT OF LEGAL PROTECTION - METHOD OF SPRAYING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	106
--	------------

Dmytro Kondratyuk, Olena Solona

THE INFLUENCE OF THE WORKING BODIES OF RAKE-SHIFTERS ON MECHANICAL LOSSES DURING HAY PROCUREMENT.....	116
--	------------

Ludmila Shvets

INCREASING THE LUBRICANT RESOURCE BY DEVELOPING A DEVICE FOR ITS CLEANING.....	123
---	------------

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Serhii Boiko, Oleksii Zhukov, Andriy Koval, Dmytro Pechenyuk

ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES IN THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM OF ENTERPRISES OF THE AGRICULTURAL COMPLEX...	131
---	------------

Oleksandr Voznyak, Andrii Shtuts, Andrii Bulyha

RESEARCH ON THE OPERATION OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS PHOTOELECTRIC PUMPING STATION.....	139
--	------------

Valerii Hraniak, Ivan Voznitskyi

DIELKOMETRICAL TRANSFORMER OIL HUMIDITY SENSOR.....	149
--	------------



УДК 631.351/353

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-12

**ВПЛИВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРАБЛІВ-ВОРУШИЛОК НА МЕХАНІЧНІ ВТРАТИ ПРИ
ЗАГОТІВЛІ СІНА**

Кондратюк Дмитро Гнатович, к.т.н., доцент
Солона Олена Василівна, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

Dmytro Kondratyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Olena Solona, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Сушіння скошеної трави в полі при заготівлі сіна супроводжується втратами рослинами не тільки вологи, але й поживних речовин в результаті протікання біохімічних процесів, життєдіяльності мікроорганізмів та вимивання опадами. Причому, показники зазначених втрат зростають по мірі збільшення тривалості перебування скошеної трави в полі. Знизити їх можливо за рахунок інтенсифікації сушіння. Ефективним способом скорочення тривалості сушіння є ворушіння прокосів та перевертання валків скошених трав. Однак, виконання цих операцій супроводжується механічними втратами сухої речовини трави. Основну масу механічних втрат складають «ніжні», найбільш цінні в кормовому відношенні частини рослин - листя, суцвіття, та інші дрібні вегетативні органи рослин, які легко оббиваються і безповоротно втрачаються. Особливо це явище проявляється у бобових трав. Механічні втрати перевищують всі інші види втрат і можуть становити від 6 до 27 % сухої речовини трави. Зменшити їх можливо шляхом створення нових робочих органів, які здатні бережливо діяти на прив'язану траву. Одним із таких робочих органів є еластичний робочий орган, яким оснащений однороторний обертач валків РОС-1. Мета досліджень полягала в проведенні порівняльних лабораторних випробувань граблів-ворушилок, робочі органи яких виконані у вигляді подвійних пружинних зубів і еластичного конусоподібного робочого органу, виявити їх переваги та недоліки і встановити раціональні параметри та режими роботи. Встановлено, що еластичний робочий орган в порівнянні з робочими органами, виконаними у вигляді пружинних зубів, дозволяє зменшити оббивання вегетативних частин рослин в 1,20...1,25 рази при вологості трави 33...35 % і в 1,10...1,18 рази при вологості 47...50 %. Із зменшенням вологості трави еластичний робочий орган забезпечує більш бережливий режим обробки, що проявляється в зменшенні коефіцієнта оббивання. Поряд з цим, робочі органи граблів-ворушилок, виконані у вигляді пружинних зубів, більш інтенсивно діють на скошену траву, що призводить до збільшення на 10...15 %, в порівнянні з еластичним робочим органом, швидкості сушіння.

Ключові слова: ворушіння, сушіння, граблі-ворушилки, обертач валків, сіно, трава.

Ф. 4. Рис. 1. Табл. 1. Літ. 9.

1. Постановка проблеми

В залежності від способу висушування скошеної трави, різноманіття технологій заготівлі сіна можна розділити на дві групи - технології, згідно яких траву висушують в полі до кондиційної вологості сіна 17...18 % та технології, які передбачають часткове висушування трави в полі з наступним досушуванням активним вентиляванням.

Оскільки випаровування вологи із скошеної трави відбувається в результаті підведення до неї теплової енергії, то традиційні технології заготівлі сіна з сушінням трави в польових умовах є менш енергоємними, тому що не потребують додаткових витрат не поновлювальної енергії, крім "дармових" – сонячної інсоляції та енергії вітру.

Вміст поживних речовин в сіні в значній мірі залежить від тривалості польового сушіння скошених трав. При швидкому сушінні трави втрати поживних речовин за рахунок протікання біохімічних процесів виявляються порівняно невеликими і не перевищують 2...5 % сухої речовини. Однак, при збільшенні тривалості сушіння скошеної маси втрати поживних речовин різко зростають [1].

Найбільші втрати поживних речовин припадають на перший період автолізу, коли рослини містять достатньо вологи для протікання мікробіологічних та гідролітичних процесів. За даними [1, 2] ці процеси інтенсивно протікають якщо вміст вологи в рослинах становить 35...60 %.



При мінливій погоді тривалість сушіння збільшується. При повільному сушінні клітини рослин не здатні протистояти розмноженню численних мікроорганізмів, які попадають на траву із повітря і ґрунту. Діяльність таких мікроорганізмів, гнильні бактерії, цвілі знижують поживність сіна і сприяють накопиченню в кормі токсичних речовин.

Чим триваліше сушіння, тим більша ймовірність настання дощової погоди, і зниження або повне припинення вологовіддачі рослинами. Змочування прив'ялених трав дощем призводить до вимивання поживних речовин і зниження кормової цінності сіна.

Отже, сушіння скошеної трави в полі – складний процес, який супроводжується втратами скошеними рослинами не тільки вологи, але й поживних речовин в результаті протікання біохімічних процесів, життєдіяльності мікроорганізмів та вимивання опадами. Причому показники усіх втрат зростають по мірі збільшення тривалості перебування скошеної трави в полі. Знизити їх можливо за рахунок інтенсифікації сушіння [3, 4, 5].

Ефективним способом скорочення тривалості сушіння є ворушіння прокосів та перевертання валків скошених трав. Необхідно зазначити, що без виконання цих операцій складно одержати якісне сіно. Пов'язано це з тим, що тільки при цій умові досягається рівномірне сушіння трави. Відомо, що закладання на зберігання неоднорідного за вологістю сіна є основною причиною утворення в скирті осередків цвілі та плісенні. Проте ці операції не позбавлені недоліків. Виконання їх супроводжується механічними втратами сухої речовини трави. Основну масу механічних втрат складають «ніжні», найбільш цінні в кормовому відношенні частини рослин - листя, суцвіття, та інші дрібні вегетативні органи рослин, які легко оббиваються і безповоротно втрачаються. Особливо це явище проявляється у випадку заготівлі сіна із бобових трав [6].

Хоча при ворушінні, згрібанні та перевертанні прив'яленої трави або сіна деяка кількість оббитих частин залишається в траві після виконання зазначених операцій, але ці частини є вільними, тобто не зв'язаними з стеблами рослин, а тому при виконанні послідовних операцій вони безповоротно втрачаються.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основною причиною механічних втрат є неоднакова інтенсивність віддачі вологи вегетативними органами рослин. Ніжні частини рослин, внаслідок особливостей анатомічної будови, значно інтенсивніше віддають вологу, ніж стебла. А тому вони раніше стають крихкими і в результаті дії робочих органів машин оббиваються і втрачаються [4, 5].

Кількість оббитих вегетативних частин рослин при ворушінні та перевертанні прив'яленої трави залежить від своєчасності виконання зазначених операцій, фази розвитку рослин, виду трави, погодних умов і ряду інших факторів. Необхідно зазначити, що суттєвий вплив на втрати чинить принцип виконання технологічного процесу і конструктивні особливості робочих органів машин [2, 7].

Автори [8] зазначають, що листя люцерни містить у 2–3 рази більше поживних речовин і в 10–15 разів більше каротину, ніж стебла, а тому при заготівлі сіна треба намагатися зберегти максимальну кількість листя, а процес сушіння у покосах і валках скоротити до мінімуму. Якщо прогавили оптимальну вологість для згрібання прив'яленої маси, то втрата листя може досягти 50 % і більше від загальної маси.

Деркач В.В. [9] відмічає, що при сушінні бобових трав на сіно відбуваються механічні втрати, основна частина яких припадає на обламування листків і суцвіття, а також верхівок стебел. Механічні втрати можуть становити від 15 до 50 %, сухої речовини що істотно позначається на загальній поживності сіна та вмісті протеїну в ньому.

Автори [4, 7], оцінюючи величину втрат, що спостерігаються при сушінні бобових трав на сіно стверджують, що механічні втрати є переважаючими, оскільки вони перевищують всі інші види втрат і можуть становити від 6 до 27 % сухої речовини трави.

Отже, головним є прискорення процесу висушування, оскільки чим довша тривалість періоду зневоднення скошеної трави, тим більше поживних речовин може втратитися. І, навпаки, чим швидше скошена трава висохне, тим менших змін вона буде зазнавати.

Найбільш поширеними способами, що прискорюють сушіння скошеної трави, є ворушіння прокосів, обертання і спущування валків. Однак, як зазначалось вище, виконання цих операцій призводить до втрат внаслідок оббивання. Зменшити механічні втрати можливо шляхом обґрунтування раціональних режимів роботи граблів-ворушилок або створення нових робочих органів, які здатні бережливо діяти на прив'ялену траву. Одним із таких робочих органів конусоподібний еластичний робочий орган.



3. Мета досліджень

Шляхом проведення порівняльних лабораторних випробувань граблів-ворушилок, робочі органи яких виконані у вигляді подвійних пружинних зубів і еластичного конусоподібного робочого органу, виявити їх переваги та недоліки і встановити раціональні параметри та режими роботи.

4. Виклад основного матеріалу

Достовірно оцінити якість роботи машин для ворущіння, згрібання та перевертання скошених за оббиванням і втратами найбільш цінних вегетативних органів рослин можна було б, якщо після проходу машини зібрати усі розсіяні по стерні оббиті частини. Однак, враховуючи їх незначні розміри, а також те, що вони мають властивість кришитись здійснити це в польових умовах практично не можливо. Тому дослідження з визначення втрат від оббивання здійснювали в лабораторних умовах шляхом моделювання процесу обертання валків прив'яленої конюшини лучної. Досліди проводилися з використанням методу планування багатofакторних експериментів.

Моделювання процесу здійснювали на лабораторній установці, схема якої показана на рисунку. Установка включала мотор-редуктор 1; клинопасову передачу 2; вісь 3, навколо якої обертася ротор 4, запозичений у граблів-ворушилок ГВЦ-3 або ротор обертача валків РОС-1, ланцюгову передачу 6, мотор-редуктор 7 і транспортер 8. У випадку випробувань граблів-ворушилки ГВЦ-3 на ободі ротора 4 встановлювали граблини 5, які виконані у вигляді подвійних пружинних зубів.

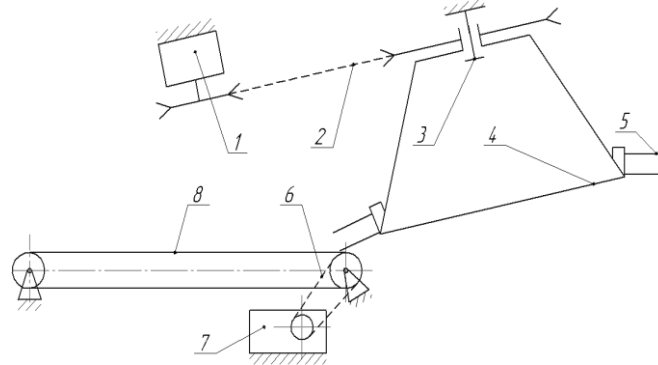


Рис. 1. Схема лабораторної установки для визначення якості роботи граблів-ворушилок за оббиванням вегетативних частин рослин (варіант з встановленим ротором граблів - ворушилки ГВЦ-3): 1, 7 – мотор-редуктор; 2 – клинопасова передача; 3 – вісь; 4 – ротор; 5 – граблина; 6 – ланцюгова передача; 8 – транспортер

Робочі органи, виконані у вигляді пружинних зубів, являють собою два направлених назовні кінця сталевих пружинних дротів, який в центральній частині має петлю для кріплення і виконаний у вигляді пружини навитої від петлі у взаємно протилежних напрямках. Зазначеними робочими органами оснащуються більшість конструкцій різноманітних вітчизняних та зарубіжних граблів-ворушилок.

Еластичним робочим органом оснащений однороторний обертач валків РОС-1. Еластичний робочий орган являє собою зрізаний конус, що виконано з прогумованої стрічки товщиною 8...12 мм, в якого до основи меншого діаметра прикріплено металеве кільце, яке в свою чергу за допомогою гнучких тяг зв'язане з ротором обертача.

Механічні втрати при обробці підвяленої трави граблями-ворушилками залежать від виду трави (бобова, злакова), вологості рослин, типу робочого органу, а також ступеня впливу його на рослини, що визначається коловою швидкістю робочих органів та швидкістю переміщення машини по полю і кількості трави, що піддається обробці в одиницю часу.

Для проведення порівняльних випробувань було вибрано наступні фактори, які найбільш суттєво впливають на кількість оббитих вегетативних органів рослин конюшини лучної: вологість прив'яленої трави x_1 (W , %); колова швидкість робочого органу x_2 ($V = \omega R$, м/с), де ω – кутова швидкість робочого органу, R – радіус траєкторії, описуваної кінцями робочих органів); швидкість переміщення машини по полю x_3 (U , м/с); кількості трави, що піддається обробці за одиницю часу (подача трави) x_4 (q , кг/с).



Вивчення процесу здійснювалося за схемою некомпозиційного рототабельного планування, що складалась з 24 дослідів, проведених з трьох або п'ятикратною повторністю залежно від ступеня варіювання вихідної змінної.

Рівняння регресії знаходили у вигляді полінома другого порядку:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

де Y – вихідний параметр (параметр оптимізації); b_0 – вільний коефіцієнт рівняння регресії; k – кількість змінних, $k=4$: x_i , x_j – незалежні змінні (фактори); b_i – коефіцієнти при членах рівняння регресії першого порядку; b_{ij} – коефіцієнти парних взаємодій; b_{ii} – коефіцієнти при квадратних членах рівняння регресії.

Умови, необхідні для реалізації експериментів наведено у таблиці.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівень фактора	Фактор			
	Вологість трави, x_1 %	Колова швидкість робочих органів, x_2 м/с	Швидкість переміщення стрічки транспортера, x_3 м/с	Подача трави, x_4 кг/с
Верхній (+1)	60	20	4,0	10
Основний (0)	40	13	2,5	6
Нижній (-1)	20	6	1,0	2
Інтервал варіювання	20	7	1,5	4

Примітка. Під час реалізації плану експерименту для еластичного робочого органу рівні варіювання вологості були такими: верхній рівень 50, основний 35 і нижній 20 %. Інтервал варіювання фактору 15 %.

Досліди проводилися в такому порядку. На транспортну стрічку рівномірним шаром укладалася, визначена згідно плану експериментів, певна кількість прив'язаної маси конюшини відомої вологості. Включався механізм приводу ротора і після набуття робочими органами необхідної колової швидкості включався механізм приводу транспортера, стрічка якого подавала траву в зону дії робочих органів. Скинута робочими органами з стрічки транспортера трава укладалась на розстелену поруч з ним поліетиленову плівку. Після закінчення серії дослідів з травою однакової вологості зразки розбиралися з метою виділення оббитих частин рослин. Зібрані оббиті вегетативні органи рослин висушували до абсолютно сухого стану.

З метою підвищення точності експериментів, за рахунок зменшення ймовірності обламування вегетативних частин при розбиранні зразків, їх попередньо зволожували з використанням ранцевого обприскувача. Приступали до розбирання зразків після того, як трава «відходила» і дрібні органи рослин ставали більш еластичними.

Якість роботи машин для ворущіння, згрібання та перевертання трав доцільно оцінювати не за втратами від оббивання вегетативних органів рослин, а за кількістю оббитих вегетативних частин, тому що оббивання спричиняє втрати, а самі втрати є наслідком цієї причини. Інакше кажучи, чим менше буде оббиватися вегетативних органів рослин, тим менше буде їх втрачатися і тим більш бережливий режим роботи буде мати та чи інша машина. В ідеальному випадку, коли процес обробітку не буде супроводжуватися оббиванням, то не буде і втрат вегетативних частин рослин. Саме тому за вихідну змінну (параметр оптимізації) було вибрано виражений у відсотках коефіцієнт оббивання вегетативних частин рослин, який визначали наступним чином:

$$Y \rightarrow B = 100 \cdot m / (M(1-\alpha)), \quad (2)$$

де B – параметр оптимізації, %; m – маса сухої речовини оббитих вегетативних частин рослин, кг; M – маса трави, що піддається обробітку, кг; α – вологість трави, у частках одиниці.

Після статистичного опрацювання було отримано наступні рівняння регресії, що відображають величину втрат сухої речовини при обробці пров'язаної маси конюшини:

еластичним робочим органом:

$$B_1 = 7,10 - 1,19x_1 + 2,04x_2 + 0,74x_3 - 1,36x_4 + 0,69x_1x_2 - 1,33x_1x_3 + 0,84x_1x_4 - 0,82x_2x_3 - 0,54x_2x_4 + 0,43x_3x_4 + 0,75x_1^2 - 0,90x_2^2 + 1,25x_3^2 + 1,10x_4^2, \quad (3)$$

робочим органом, виконаним у вигляді пружинних зубів:

$$B_2 = 7,71 - 3,44x_1 + 3,73x_2 + 0,41x_3 - 1,87x_4 + 0,31x_1x_2 - 1,96x_1x_3 + 0,51x_1x_4 -$$



$$-1,25x_2x_3 - 0,76x_2x_4 - 0,04x_3x_4 + 3,59x_1^2 - 2,01x_2^2 + 0,44x_3^2 + 1,59x_4^2. \quad (4)$$

В цих рівняннях змінні приведені в закодованій формі. Для одержання рівнянь регресії із змінними в натуральному масштабі можна використати наступні співвідношення: $x_1 = (W - 40)/20$; $x_2 = (R\omega - 13)/7$; $x_3 = (V - 2,5)/1,5$; $x_4 = (q - 6)/4$. Оскільки для еластичного робочого органу нульовий (основний) рівень варіювання вологості становив 35 % при інтервалі варіювання 15 %, то для рівняння (3) $x_1 = (W - 35)/15$.

З отриманих рівнянь видно, що найбільший вплив на оббивання вегетативних частин рослин при обертанні валків конюшини лучної еластичним робочим органом чинить фактор x_2 – колова швидкість робочого органу. Зростання цього фактору спонукає збільшення оббивання вегетативних частин рослин. Другим фактором за силою впливу на оббивання є x_4 – кількість трави, що піддається обробітку за одиницю часу. При збільшенні цього параметра оббивання зростає.

Найменші коефіцієнт регресії в обох рівняннях регресії отримано перед фактором x_3 – швидкість переміщення стрічки транспортера. Зростання фактору x_3 призводить до зростання кількості оббитих частин рослин.

З парних взаємодій найбільш значимими для обох рівнянь (обох робочих органів) є ефект взаємодії факторів x_1 та x_3 . Знак "мінус" перед ефектами взаємодій x_1 та x_3 означає, що якщо ці фактори будуть знаходитися на різних рівнях, то функція відгуку буде збільшуватися.

Найменш значимими парними взаємодіями для обох робочих органів є взаємодія факторів x_3 та x_4 .

Перевірку адекватності відображення результатів експериментів математичним моделям здійснювали за F критерієм Фішера. Табличне значення F критерію для рівнянь (3) і (4) при рівні значимості 0,05 та числі ступенів свободи неадекватності $f_1 = 19$, числі ступенів свободи дослідів $f_2 = 48$ становить 1,84. Розрахункове значення критерію Фішера для рівняння (3) $F_p = 0,58$, а для рівняння (4) дорівнює 1,32. Оскільки для обох рівнянь розрахункові значення критерію Фішера є меншими за табличне значення, тобто $F_p < F_m$, то гіпотезу про адекватність рівнянь регресії (3) та (4) результатам експериментів можна вважати вірною.

Задачею оптимізації процесу обертання прив'язаних рослин конюшини лучної було відшукування, в залежності від зміни їх вологості, фактор x_1 , таких значень інших факторів: x_2 , x_3 , x_4 , що забезпечують значення коефіцієнта оббивання меншого за допустиме.

Оптимізацію здійснювали методом перебору варіантів. Для цього факторний простір з кроком 0,1 по кожній координаті розчленився сіткою. У вузлах сітки вираховувались значення параметра оптимізації. Якщо вираховані значення задовольняли допустимим, то координати такої точки разом із значенням параметра оптимізації.

Загальні втрати сіна, тобто втрати від неповного згрібання і оббивання вегетативних частин рослин, при згрібанні та перевертанні не повинні перевищувати 2,5 %. Втрати від неповного згрібання у граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами не перевищують 0,5 % [7]. Тому було прийнято, що допустиме значення коефіцієнта оббивання B становить 2 %.

Перебором варіантів було встановлено, що при вологості трави 60 %, тобто $x_1 = 1$ робочі органи, виконані у вигляді пружинних зубів, мають мінімальне значення коефіцієнта оббивання $B = 2,1$ % при наступних умовах: $x_2 = -1$ (6 м/с), $x_3 = 0,5$ (3,25 м/с) та $x_4 = 0$ (6 кг/с).

Встановлено, що при обертанні підв'язаної маси, еластичним робочим органом, вологістю $W = 47...50$ % оббивання сухої речовини складає 3,2...3,4 % при швидкості переміщення стрічки транспортера (швидкості переміщення агрегату) 2,7...3,0 м/с, коловій швидкості робочого органу 6 м/с і при кількості трави, що піддається обробці в одиницю часу 8,4 кг/с. При обертанні пров'язаної маси конюшини вологістю 33...35 % оббивання сухої речовини становить 3,5...3,7 % при подачі трави 9,0...9,3 кг/с, коловій швидкості робочого органу не більшій 5,4 м/с і швидкості переміщення агрегату по полю 1,3 м/с.

При обробці пров'язаних рослин конюшини вологістю 50 % робочими органами, виконаними у вигляді пружинних зубів, мінімальне оббивання сухої речовини на рівні 3,7...3,8 % спостерігаються при коловій швидкості робочих органів 5,5...5,6 м/с, швидкості переміщення агрегату по полю 1,9...2,5 м/с і за подачі маси 6,4...6,6 м/с.

При обертанні підв'язаної маси вологістю 33...35 % робочими органами, виконаними у вигляді пружинних зубів, оббивання сухої речовини становить 4,4...4,6 % при умові, що колова швидкість робочих органів не буде перевищувати 5,2 м/с, швидкість переміщення машини по полю буде меншою за 1,2 м/с подачі трави не менше 7,2 кг/с.

Як видно із вищенаведених даних еластичний робочий орган дозволяє зменшити оббивання вегетативних частин рослин при перевертанні прив'язаної конюшини лучної. Так, наприклад, при перевертанні трави вологістю 33...35 % еластичний робочий орган зменшує коефіцієнт оббивання вегетативних частин рослин в 1,20...1,25 рази, а при вологості 47...50 % в 1,10...1,18 рази, тобто еластичний



робочий орган із зменшенням вологості трави забезпечує більш бережливий режим обробітку, що проявляється в зменшенні коефіцієнта оббивання. Поряд з цим, робочі органи граблів-ворушилок, виконані у вигляді пружинних зубів, більш інтенсивно діють на скошену траву, що призводить до збільшення на 10...15 %, в порівнянні з еластичним робочим органом, швидкості сушіння. Хоча еластичний робочий орган й дозволяє зменшити втрати від оббивання, однак суттєво зменшити їх не вдалось.

5. Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено наступне:

1. Робочі органи граблів-ворушилок, виконані у вигляді подвійних пружинних зубів і еластичний робочий орган не забезпечують оббивання вегетативних частин рослин, при перевертанні прив'язаної конюшини лучної вологістю менше 50 %, на рівні агротехнічних вимог.

2. Еластичний робочий орган в порівнянні з робочими органами, виконаними у вигляді пружинних зубів, дозволяє зменшити оббивання вегетативних частин рослин в 1,20...1,25 рази при вологості трави 33...35 % і в 1,10...1,18 рази при вологості 47...50 %.

3. Із зменшенням вологості трави еластичний робочий орган забезпечує більш бережливий режим обробітку, що проявляється в зменшенні коефіцієнта оббивання.

4. Робочі органи граблів-ворушилок, виконані у вигляді пружинних зубів, більш інтенсивно діють на скошену траву, що призводить до збільшення на 10...15 %, в порівнянні з еластичним робочим органом, швидкості сушіння.

5. При обертанні підв'язаної маси конюшини лучної еластичним робочим органом вологістю $W = 47...50$ % оббивання сухої речовини складає 3,2...3,4 % при швидкості переміщення агрегату 2,7...3,0 м/с, колійній швидкості робочого органу 6 м/с і при подачі трави на обертання 8,4 кг/с. При вологості 33...35 % оббивання сухої речовини буде становити 3,5...3,7 % при подачі трави 9,0...9,3 кг/с і умові, що колова швидкість робочого органу та швидкість переміщення агрегату по полю не будуть перевищувати відповідно 5,4 і 1,3 м/с.

6. При перевертанні пров'язаних рослин конюшини вологістю 50 % робочими органами, виконаними у вигляді пружинних зубів, оббивання сухої речовини на рівні 3,7...3,8 % спостерігаються при колійній швидкості робочих органів 5,5...5,6 м/с, швидкості переміщення агрегату по полю 1,9...2,5 м/с і за подачі маси 6,4...6,6 м/с. При зменшенні вологості трави до 33...35 % робочі органи, виконані у вигляді пружинних зубів оббивають вегетативні частини рослин на рівні 4,4...4,6 % при умові, що колова швидкість робочих органів не буде перевищувати 5,2 м/с, швидкість переміщення машини по полю буде меншою за 1,2 м/с при подачі трави не менше 7,2 кг/с.

Список використаних джерел

1. Основи технології виробництва продукції тваринництва : практ. посіб. /М.Ф. Кулик та ін. ; за ред. М.Ф. Кулика та Т.В. Засухи. Київ, 1994. 432 с.
2. Бабич А. О., Олішинський С. Й., Ясинецький В. А. Довідник по заготівлі і зберіганню кормів. Київ: Урожай, 1989. 178 с.
3. Курнаєв О. М., Нікітенко Л. Г. Шляхи збереження енергетичної та протеїнової цінності люцернового сіна при машинній технології заготівлі. *Корми і кормо- виробництво*. 2006. Вип. 56. С. 92–97.
4. Жуков В. П., Курнаєв О. М., Кондратюк Д. Г. Вплив технологічних прийомів на інтенсивність вологовіддачі та втрати листя бобовими травами при заготівлі сіна. *Корми і кормовиробництво*. 2001. Вип. 47. С. 244–246.
5. Мазур В. А., Балагура О. В., Журенко Ю. І. Вплив кількості технологічних операцій на фізико-механічні властивості біомаси люцерни при заготівлі сіна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 4 (103). С. 9–17.
6. Кондратюк Д. Г., Гуменюк О. Ю. Оцінка якості роботи машин для ворущіння, згрібання і перевертання скошених трав. *Праці Таврійської державної аграрної академії*. 2006. Вип. 44. С. 64–68.
7. Кондратюк Д. Г. Удосконалення робочого процесу та обґрунтування параметрів ротаційних граблів-сіноворушилок з відцентровими робочими органами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : 05.20.01. Дніпропетровськ, 1995. 22 с.
8. Режим доступу: <http://agro-semena.com.ua/uk/porady-naukovciv/zagotivlya-sina.html> (дата звернення 28.04.2023)
9. Деркач В. В. Теоретичні дослідження процесу зволоження листової частини рослин. *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*. 2009. № 3 (39). С. 24–28.

References

- [1] Kylyk, M.F., Zasukha T.V. (1994). *Osnovy tekhnolohii vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva: prakt. posib.* Kyiv. [in Ukrainian]



- [2] Babych, A.O., Olishynskiy, S.Y., Yasinetskiy, V.A. (1989). *Dovidnyk po zahotivli i zberihanni kormiv. Kyiv: Urozhai.* [in Ukrainian]
- [3] Kurnaiev, O.M., Nikitenko, L.H. (2006). Shliakhy zberezhennia enerhetychnoi ta proteinovoi tsinnosti liutsernovoho sina pry mashynni tekhnolohii zahotivli. *Kormy i kormo-vyrobnytstvo*, 56, 92–97. [in Ukrainian]
- [4] Zhukov, V.P., Kurnaiev, O.M., Kondratiuk, D.H. (2001). *Vplyv tekhnolohichnykh pryiomiv na intensyvnist volohoviddachi ta vtraty lystia bobovymy travamy pry zahotivli sina.* *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 47, 244–246. [in Ukrainian]
- [5] Mazur, V.A., Balahura, O.V., Zhurenko, Yu.I. (2018). Vplyv kilkosti tekhnolohichnykh operatsii na fizyko-mekhanichni vlastyvoli biomasy liutsemy pry zahotivli sina. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 4 (103), 9–17. [in Ukrainian]
- [6] Kondratiuk, D.H., Humeniuk, O.Yu. (2006). Otsinka yakosti roboty mashyn dlia vorushinnia, zhribannia i perevertannia skoshenykh trav. *Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 44, 64–68. [in Ukrainian]
- [7] Kondratiuk, D.H. (1995). Udoshkonalennia robochoho protsesu ta obrhnutuvannia parametriv rotatsiinykh hrabli-sinovorushylok z vidtsentrovymy robochymy orhanamy: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.20.01. Dnipropetrovsk, 22 p. [in Ukrainian]
- [8] URL : <http://agro-semena.com.ua/uk/porady-naukovciv/zagotivlya-sina.html> (access date: 04/28/2023)
- [9] Derkach, V.V. (2009). Teoretychni doslidzhennia protsesu zvolozhennia lystovoi chastyny rosllyn. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*, 3(39), 24–28. [in Ukrainian]

THE INFLUENCE OF THE WORKING BODIES OF RAKE-SHIFTERS ON MECHANICAL LOSSES DURING HAY PROCUREMENT

Drying of mowed grass in the field during hay harvesting is accompanied by loss of not only moisture, but also nutrients by plants as a result of biochemical processes, vital activity of microorganisms, and leaching by precipitation. Moreover, the indicators of the specified losses increase as the length of stay of mown grass in the field increases. It is possible to reduce them due to intensification of drying. An effective way to reduce the drying time is to move the swaths and turn over the swaths of mowed grass. However, the performance of these operations is accompanied by mechanical losses of the dry matter of the grass. The bulk of mechanical losses are "tender", the most valuable parts of plants in terms of fodder - leaves, inflorescences, and other small vegetative organs of plants, which are easily bruised and irrevocably lost. This phenomenon is especially evident in legumes. Mechanical losses exceed all other types of losses and can be from 6 to 27% of the dry matter of the grass. It is possible to reduce them by creating new working bodies that are able to gently act on the grafted grass. One of such working bodies is an elastic working body, which is equipped with a ROS-1 single-rotor roll rotator. The purpose of the research was to conduct comparative laboratory tests of rake-movers, the working bodies of which are made in the form of double spring teeth and an elastic cone-shaped working body, to identify their advantages and disadvantages and to establish rational parameters and modes of operation. It was established that the elastic working body, in comparison with the working bodies made in the form of spring teeth, allows to reduce the upholstering of vegetative parts of plants by 1.20...1.25 times at a grass humidity of 33...35% and by 1.10...1, 18 times at a humidity of 47...50%. With a decrease in the moisture content of the grass, the elastic working body provides a more economical mode of cultivation, which is manifested in a decrease in the covering coefficient. Along with this, the working organs of the rake-movers, made in the form of spring teeth, act more intensively on the mowed grass, which leads to a 10-15% increase in the drying speed compared to the elastic working organ.

Key words: stirring, drying, stirring rake, roll rotator, hay, grass.

F. 4. Fig. 1. Table. 1. Ref. 9.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кондратюк Дмитро Гнатович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, kondratuk@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1827-1717>).

Солона Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4596-0449>).

Dmytro Kondratuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Services of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnitsa, Ukraine, 21008, kondratuk@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1827-1717>).

Olena Solona – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety, Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna Str., Vinnytsia, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4596-0449>).