

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3

Вібрації в техніці та технологіях



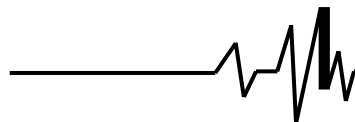
Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 3 (114)

Вінниця 2024

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

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

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2024. – 3 (114) – 119 с.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 6 від 24.12.2024 р.)

Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 р. № 886)

Згідно рішення Національної ради України з питань телебачення та радіомовлення від 25.04.2024 р. № 1337 науковому журналу «Вібрації в техніці та технологіях» присвоєно ідентифікатор медіа R30-05172.

*- 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

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
НААН України

Відповідальний секретар

Солона О.В. – 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

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет
«Львівська політехніка»

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

Матвеев В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

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

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

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

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

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

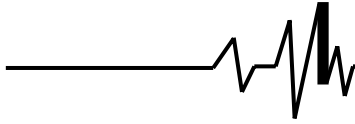
Зарубіжні члени редакційної колегії

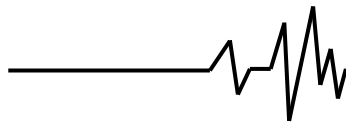
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/> Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН***Цуркан О.В., Спірін А.В., Руткевич В.С., Дідик А.М.***ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ В КОНВЕКТИВНО-ВІБРАЦІЙНІЙ СУШАРЦІ5***Головач І.В., Солона О.В., Мартиненко В.В.***МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ КОРЕНЕПЛОДУ БУРЯКА СТОЛОВОГО ПО СПІРАЛЯХ ВІБРАЦІЙНОГО ОЧИСНИКА.....13***Мельник В.М., Гнатейко Н.В., Бойко Г.В., Косова В.П.***МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО БАЗУВАННЯ20***Slipchenko M., Polievoda Y., Zamrii M., Symonik B.***STUDY OF GRAIN FLOW IN A CYLINDRICAL VIBRATING SIEVE.....27***Возняк О.М., Ярошенко Л.В., Луц П.М., Тихоненко С.В.***АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АПК34****II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА***Михайлевич В.М., Колісник М.А., Штуць А.А.***ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБІВ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ.....46***Shargorodskiy S., Halanskyi V.***DEVELOPMENT THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF STRIPED SOIL TREATMENT BY THE METHOD OF DISCRETE ELEMENTS.....58***Кондратюк Д.Г., Зозуляк І.А., Комаха В.П., Дмитренко В.П.***ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ НА ПЛЮЩЕННЯ ТРАВИ ВАЛЬЦЬОВИМ ПЛЮЩИЛЬНИМ АПАРАТОМ66***Паладійчук Ю.Б., Стецюк П.М.***ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КУТА НАХИЛУ ГРАБЛИНИ ВІДНОСНО ВОРУШІННЯ І ЗГРІБАННЯ СІНА РОТАЦІЙНИМИ ГРАБЛИНАМИ.....74****III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА***Цуркан О.В., Спірін А.В., Присяжнюк Д.В., Дідик А.М.***МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ ПРИ СУШІННІ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ У ВІБРАЦІЙНІЙ СУШАРЦІ83***Стаднік М.І., Бабин І.А., Луц П.М., Ріпа С.В.***АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИСТРОЇВ ДОЗУВАННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ.....90***Штуць А.А., Григоренко Н.В., Колісник М.А., Григоренко О.В.***АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВИМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ.....97****IV. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО***Лаверенюк П.П.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ У КОНВЕКТИВНІЙ БУНКЕРНІЙ СУШАРЦІ.....111**

**Паладійчук Ю.Б.**

к.т.н., доцент

Стецюк П.М.

аспірант

*Вінницький національний
аграрний університет***Paladiychuk Yu.**

Ph.D., associate professor

Stetsyuk P.

postgraduate

*Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 631.371****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-9**

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КУТА НАХИЛУ ГРАБЛИНИ ВІДНОСНО ВОРУШІННЯ І ЗГРІБАННЯ СІНА РОТАЦІЙНИМИ ГРАБЛИНАМИ

У сучасних умовах сільськогосподарського виробництва підвищення ефективності технологій заготівлі сіна є важливим завданням для забезпечення якісного корму для тваринництва. Одним із ключових елементів у цьому процесі є застосування ротаційних граблин для ворущіння та згрібання сіна. Ефективність роботи цих машин значною мірою залежить від конструктивних параметрів, зокрема кута нахилу граблин, який впливає на якість та швидкість виконання технологічних операцій.

Підвищення ефективності заготівлі сіна та зменшення втрат поживних речовин привело до розвитку широкого спектра машин для ворущіння, згрібання і перевертання трав. Ці машини класифікуються за призначенням, конструктивними особливостями та технологічними процесами. Серед них — ворушилки, обертачі валків, граблі та граблі-ворушилки, кожна з яких має специфічну функцію в процесі заготівлі кормів. Найпоширенішими є ротаційні ворушилки, що забезпечують рівномірне та швидке сушіння трави. Граблі і обертачі валків, у свою чергу, формують валки для подальшого збору. Універсальні граблі-ворушилки можуть виконувати кілька функцій, підвищуючи ефективність процесу заготівлі сіна.

У роботі описано конструкцію та принцип роботи ротора ворушилки-сепаратора з відцентровими робочими органами. Основна увага приділяється аналізу параметрів захвату граблин та впливу кута нахилу їх пальців на ширину захвату. Запропоновано математичні залежності для визначення ширини захвату та радіуса ротора залежно від кута нахилу пальців і кута відхилення ротора. Розглянуто вимоги до конструкції для забезпечення чистоти згрібання та мінімізації втрат скошених рослин. Також визначено необхідну довжину пальців граблин та наведено приклади регулювання їх положення для виконання різних технологічних операцій.

Ключові слова: ротаційні граблини, кут нахилу граблини, ворущіння сіна, згрібання сіна, сільськогосподарські машини, технологія заготівлі сіна, параметри граблин, підвищення ефективності згрібання.

Вступ. Одним із головних компонентів зимових раціонів худоби є сіно, яке містить усі необхідні поживні речовини для забезпечення повноцінного харчування тварин [1-3].

Для виробництва сіна використовуються багаторічні та однорічні кормові трави, злакові культури, а також насіння цих рослин [1-3]. Крім того, для заготівлі сіна застосовують трав'яні покриви природних та поліпшених кормових



угідь. Важливо зазначити, що скошування трав для сіна повинно здійснюватися у фазі не пізніше масового цвітіння бобових культур і до початку цвітіння злакових трав, щоб зберегти максимальну кількість поживних речовин [1].

Для отримання сіна високої якості важливо належним чином організувати процес збирання. Якість врожаю трав, а також вміст у них протеїнів, клітковини, вітамінів та інших корисних речовин значною мірою залежать від фази розвитку рослин, під час якої здійснюється збирання [1]. Зі збільшенням зрілості трави втрачають свою поживну цінність і стають менш засвоюваними для тварин. Велику рогату худобу краще приваблює такий корм, коли сіно виготовлене з трав, скошених на ранніх стадіях їх розвитку, оскільки це поліпшує його поїдання. Отже, однією з ключових умов отримання якісного сіна єчасне скошування трав [1-3].

Крім того, на кінцеву якість сіна істотно впливає тривалість процесу сушіння. Дослідження показують, що рівномірне і прискорене сушіння, яке досягається за допомогою операцій, таких як плющення, спущування та ворушіння, дозволяє зменшити втрати поживних речовин [2]. Застосування цих технологічних операцій сприяє підвищенню якості готового продукту й мінімізації втрат важливих поживних компонентів.

Ворушіння є важливим технологічним прийомом, який сприяє швидкому та рівномірному сушінню трави. Під час ворушіння трава в прокосах розміщується пухким, добре провітрюваним шаром, що значно покращує її аерацію і прискорює випаровування вологи [1,2]. Перше ворушіння зазвичай виконується одночасно зі скошуванням або одразу після

нього, а наступні – по мірі підсихання верхнього шару трави для забезпечення рівномірного сушіння всіх шарів.

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує впровадження нових технологічних прийомів заготівлі сіна, що базуються на використанні високопродуктивних машин [1,2]. Це дозволяє наблизити процеси кормозаготівлі до промислового рівня, забезпечуючи підвищення продуктивності та ефективності виробництва кормів при зменшенні втрат і поліпшенні якості отриманого сіна.

Мета дослідження. Визначення оптимальних параметрів кута нахилу граблини для підвищення ефективності процесів ворушіння та згрібання сіна ротаційними граблями, що дозволить покращити якість кормозаготівлі.

Аналіз останніх досліджень. Прагнення до підвищення продуктивності, якості виконання технологічного процесу, зниження металоємності, підвищення надійності, універсалізації і врахування природно-кліматичних умов призвело до створення великої кількості машин для ворушіння, згрібання та перевертання скошених трав, які відрізняються за призначенням, конструктивними особливостями робочих органів, способом агрегування, принципом формування валка та рядом інших відмінних ознак [1-3].

Машини для ворушіння, згрібання і перевертання трав класифікуються за різними ознаками, такими як призначення, спосіб виконання технологічного процесу, конструктивні особливості робочих органів, їхня кількість та принцип дії, а також за іншими відмінними характеристиками (рис.1).

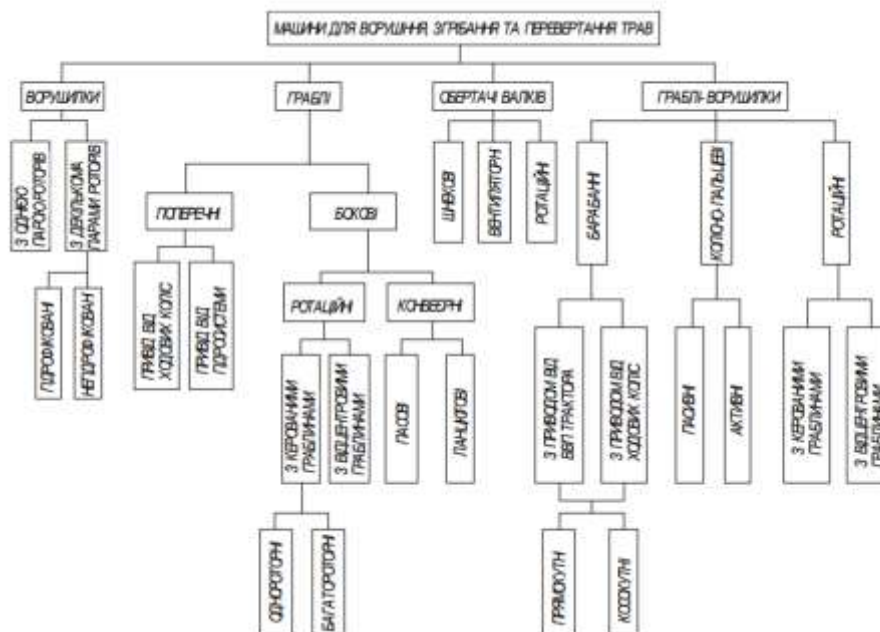
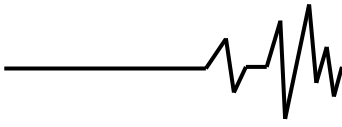


Рис.1. Класифікація обладнання для ворушіння, згрібання та перевертання трав [2].



Зокрема, за призначенням ці машини поділяються на кілька основних груп: ворушилки, обертачі валків, граблі та граблі-ворушилки. Кожна з цих груп виконує специфічні функції в процесі заготівлі сіна і має свої особливості конструкції та роботи [1-3].

Ворушилки (рис. 2) відповідають за рівномірне розподілення трави для покращення сушіння, обертачі валків формують та обертають валки сіна, граблі згрібають сіно в валки для подальшого збору, а граблі-ворушилки комбінують функції ворушіння та згрібання в одному агрегаті, що дозволяє підвищити ефективність процесу заготівлі кормів [2,3].



Рис. 2. Ворушилка POTTINGER (HIT 8.91 T)

На сьогоднішній день ротаційні ворушилки є одними з найпопулярніших машин у цьому класі. Вони не тільки ефективно виконують основне завдання — ворушіння трави, але й можуть використовуватися для розкидання валків [2,3]. Основними робочими органами ротаційних ворушилок є ротори, які обертаються навколо вертикальних осей. Кожний ротор виготовлений у вигляді диска з радіально прикріпленими променями, на кінцях яких закріплені подвійні пружинні зуби [2-4].

В залежності від моделі та виробника, діаметр роторів варіюється від 1,4 до 1,7 метра, що впливає на ширину захвату машини. Ширина захвату визначається кількістю роторів і може суттєво змінюватися залежно від конструктивних особливостей конкретної моделі.

Ротаційні ворушилки оснащені парною кількістю роторів і можуть бути класифіковані на однопарні та багатопарні, залежно від кількості пар роторів. Рами багатопарних ворушилок мають шарніри, що дозволяє їм адаптуватися до рельєфу поля та переводити машини в транспортне положення за допомогою гідроприводу або вручну [2-4].

Обертачі валків використовуються для перевертання валків трав, а також іноді застосовуються для їх здвоювання перед підбиранням. Залежно від способу виконання

технологічного процесу, обертачі валків поділяються на механічні (шнекові та ротаційні) і пневматичні [2,3]. Механічні обертачі використовують різні конструктивні елементи для перевертання валків, тоді як пневматичні обертачі використовують повітряний потік для здійснення цієї функції.

Шнекові обертачі валків, такі як модель E-318, використовуються разом із самохідними валковими косарками. Вони мають підбирач і консольний шнек, але відрізняються високою матеріалоємністю і значними втратами листя та суцвіть [2,3].

Ротаційні обертачі, оснащені конусоподібним еластичним робочим органом, що дозволяє зменшити механічні втрати трави завдяки бережливій дії.

Пневматичні обертачі використовують потік повітря для перевертання трави, створюючи його за допомогою вентилятора, який приводиться в дію від ВВП трактора [2-4]. Недоліками є високі енергетичні витрати та забруднення трави мінеральними домішками.

Граблі використовуються для формування валків із висушених трав, що досягли необхідної вологості. Існують два основні типи граблів залежно від способу формування валків: поперечні та бокові.

Поперечні граблі оснащені грабельним апаратом, який складається з дугоподібних пружинних зубів, закріплених на рамі за допомогою тримачів. Під час руху машини трава згрібається у валки, які формуються періодичним підніманням зубів над поверхнею поля [3]. Оскільки переміщення трави при згрібанні збігається з напрямком руху агрегату, валки розташовуються перпендикулярно до руху, звідки і походить назва граблів — поперечні. Лінійна маса валків, тобто маса трави на один метр довжини валка, залежить від відстані переміщення зубів від моменту опускання до піднімання.

Залежно від конструкції механізму піднімання грабельного апарату, поперечні граблі можуть мати привод від гідросистеми трактора або від ходових коліс [3,4].

На відміну від поперечних, бокові граблі формують прямолінійні валки, напрямком яких відповідає напрямку руху агрегату. Лінійна маса таких валків залежить від ширини захвату та урожайності трав.

Бокові граблі поділяються на конвеєрні і ротаційні за способом виконання технологічного процесу та конструкцією робочих органів.

Конвеєрні граблі використовують безкінечні паси або ланцюги з пружинними зубами, закріпленими на ведучих та ведених валах [4]. Спеціальний механізм забезпечує вертикальне положення зубів під час згрібання



та їх швидкий вихід при переході через привідні шківни або зірочки, що забезпечує чистоту згрібання і компактність валка. Конвеєрні граблі мають обмежену ширину захвату (до 4 м) через проблеми з копіюванням поверхні поля при збільшенні ширини [4].

Ротаційні граблі (рис. 3), які на сьогодні є найбільш поширеними, бувають з керованими або відцентровими граблями. Граблі з керованими граблями мають ротор з диском і 6-12 шарнірно встановленими штангами. Кожна штанга має кривошип з кулачком, що забезпечує обертання штанг і переміщення зубів в вертикальне або горизонтальне положення [3-5]. Це дозволяє згрібати траву та формувати валки. Ротаційні граблі можуть бути одно- або багатороторними, залежно від кількості роторів.



Рис. 3. Ротаційні граблі ГВР-2

Бокові граблі з керованими граблями можуть бути агреговані різними способами: як причіпні, задньо-начіпні, так і фронтально-начіпні. Наприклад, модель Liner 330 FN від фірми "Klaas" може використовуватися як з фронтальними, так і з задньо-начіпними системами.

Граблі з відцентровими граблями, як модель RH 420 від "Ylo Tehtaat", мають ротор у вигляді колеса з подвійними пружинними зубами, які під дією відцентрової сили переходять у робоче положення [3,4].

Граблі-ворушилки (рис. 4) є універсальними машинами, що виконують функції ворущіння, згрібання, перевертання або розкидання трави. Вони бувають барабанными, колісно-пальцевими та ротаційними. Барабанны граблі-ворушилки оснащені грабельним барабаном з штангами і пружинними зубами, які завдяки спеціальному механізму зберігають постійне положення і запобігають намотуванню

трави [3]. Механізм приводу дозволяє змінювати напрямок обертання барабана для згрібання або ворущіння трави. Залежно від кута між площиною обертання зубів і віссю барабана, барабанны граблі-ворушилки можуть бути прямокутними або косокутними [4].



Рис. 4. Роторні граблі-ворушилки DR 420 Enorossi

Привід барабанных граблів-ворушилок може здійснюватися як від ВВП трактора, так і від ходових коліс. У порівнянні з іншими машинами цього типу, барабанны граблі-ворушилки відрізняються великими габаритами і зазнають підвищених механічних втрат під час роботи [4,5].

Колісно-пальцеві граблі-ворушилки мають конструкцію з окремих коліс, розташованих ступінчасто на рамі. Ці машини можуть мати привід від контакту коліс з ґрунтом або від ВВП трактора.

Машини з приводом від контактних коліс прості, добре копіюють рельєф і мають низьку металоємність, але формують валки нерівномірно і забруднюють траву мінеральними домішками [4,5]. Колеса з приводом від ВВП трактора не контактують з ґрунтом, що зменшує забруднення трави, але конструкція таких машин складніша і має більшу металоємність.

Ротаційні граблі-ворушилки (рис. 5) поділяються на моделі з керованими і відцентровими граблями. Ротори з відцентровими граблями мають аналогічну конструкцію з ротаційними граблями, але відрізняються напрямком обертання і розташуванням валкоутворювального щитка. У таких машинах ротор обертається назустріч один одному, а валкоутворювач розташований позаду [4].



Рис. 5. Граблі-ворошилки роторні ГВР-6Р

Класифікація базується на ключових ознаках, що впливають на технологічний процес, включаючи спосіб виконання, конструктивні особливості і методи агрегування [5,6].

Результати дослідження. Робочими органами ротора ворошилки-сепаратора (рис. 6) встановлені на ободі 5 грабліни 3, які прикріплені до поворотної в площині вісі обертання ротора обойми 4. При обертанні ротора кожна грабліна спільно з обоймою під дією відцентрової сили повертається із неробочого стану показаний на рисунку пунктирною лінією в робочий, і її пальці внутрішній 1 і зовнішній 2 в найнижчій точці

обода над поверхнею поля утворюють з останньою кут γ [7-9].

На основі рисунку 6 можна записати:

$$b = \frac{d}{\sin \gamma} \quad (1)$$

b - ширина захвату грабліни;
 d - розхил пальців грабліни.

З цього виразу випливає, що зменшення кута нахилу пальців граблін до поверхні поля сприяє збільшенню її ширини захвату [7]. Це, дає змогу зменшити кількість граблін, які необхідно встановити на ободі ротора, а відтак знижується метало- і трудомісткість виготовлення машини.

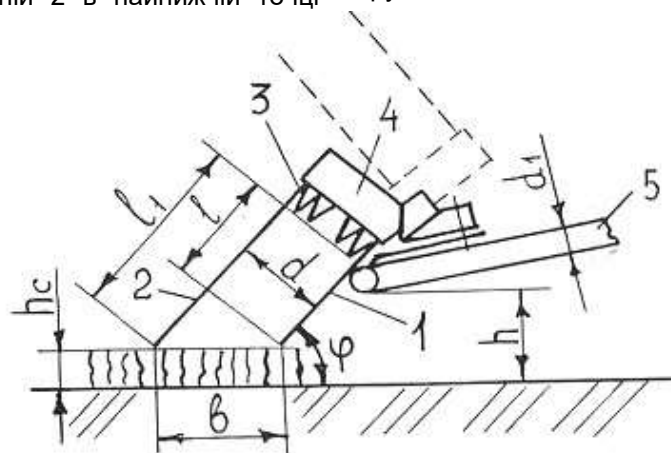


Рис. 6. Схема відцентрових робочих органів ротора машини: 1 і 2 - внутрішній і зовнішній палець грабліни; 3 - грабліна; 4 - поворотня обойма; 5 - обід ротора

Однак для забезпечення чистоти згрібання відповідно до агровимог очевидно необхідно, щоб

$$b = \frac{d}{\sin \gamma} < l_{min} \quad (2)$$

l_{min} - мінімальна довжина скошених рослин, для згрібання яких призначена машина.

Інакше при згрібанні окремо лежачих рослин, вони будуть провалюватися крізь пальці, що спричинить збільшення втрат від недозгрібання [7].

Звідси можна записати:



$$\gamma_r = \arcsin \left(\frac{d}{l_{\min}} \right) \quad (3)$$

де γ_r - гранично мінімальний кут нахилу пальців до поверхні поля. Таким чином, для забезпечення викладеної вище вимоги необхідно, щоб $\gamma \geq \gamma_r$

В робочому стані ротор пристрою дещо нахилений вперед в напрямку руху агрегату, показаного на рисунку 7 стрілкою. Обертаючись

навколо вісі ротора, пальці граблін при умові радіального положення в площині обода ротора описують при вершині $2\alpha'$ [7,8]. В результаті нахилу основи цього конуса до поверхні поля кут нахилу пальців граблін до останньої є змінним.

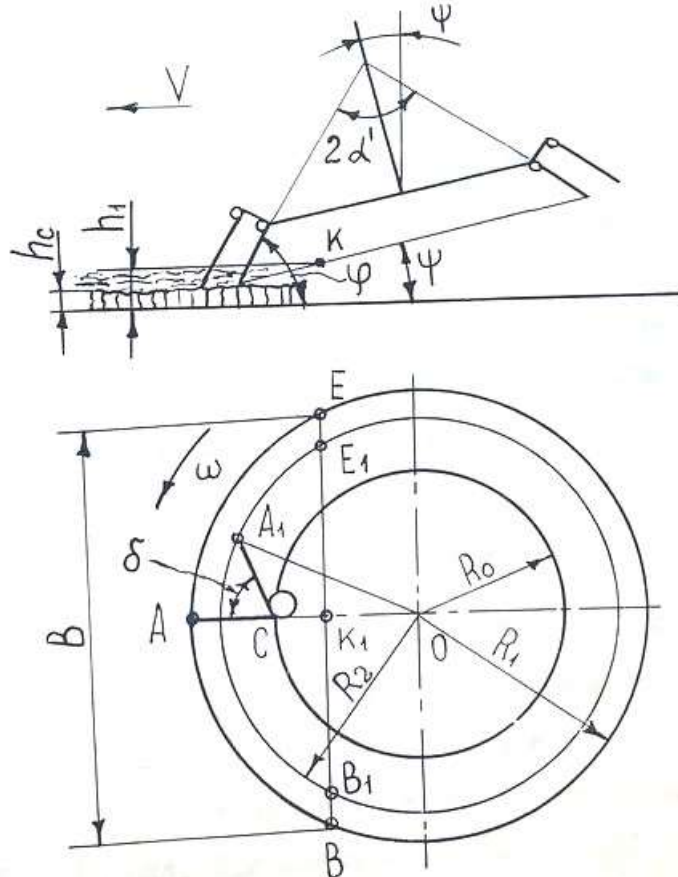


Рис. 7. Схема до визначення радіуса і ширини захвату ротора машини

Поточне значення цього, кута залежить від кута відхилення вісі ротора від вертикалі і кута відхилення пальців.

Запропоновано наступне рівняння для його визначення:

$$\sin \gamma_n = \sin \varphi \sin \alpha \cos \omega t + \cos \alpha \cos \varphi \quad (4)$$

де γ_n - поточне значення кута нахилу пальців грабля до поверхні поля; φ - кут відхилення вісі ротора від вертикалі; ω - кутова швидкість ротора; t - час.

Кут α' в цьому рівнянні зручніше виразити через відомі кути γ і φ [7,8].

Із рисунку 7 маємо $\alpha' = \frac{\pi}{2 - (\gamma + \varphi)}$, тоді

$$\sin \gamma_n = \sin \varphi \sin \alpha \cos (\gamma - \varphi) \cos \omega t + \sin (\gamma - \varphi) \cos \varphi \quad (5)$$

Визначимо необхідну довжину пальців граблін. Для цього звернемось до рисунку 6 і будемо вважати, що поворот граблін із неробочого стану в робочий обмежується дотиком їх пальців з ободом ротора, а скошена трава укладається не на поверхню ґрунту, а на стерню [7-9].

Тоді, із рисунку 6 маємо:

$$l = \frac{(h + d_1 - h_c)}{\sin \gamma} \quad (6)$$

де l - довжина внутрішнього пальця грабля; h - безпечна висота установлення обода ротора над поверхнею поля; d_1 - діаметр труби, з якої виготовлений обід; h_c - висота стерні.

Висота стерні при скошуванні трави першого укусу має бути рівною 0,05...0,06, а



другого 0,06...0,07 м. Беручи до уваги, що діаметр труби, з якої виготовляють обід ротора, є рівним 0,038...0,045 м, а стерня під вагою скошеної трави, деформуючись, дещо зменшує свою початкову висоту, можна прийняти, що $h_c = d_1$ [8]. Підставляючи значення гранично допустимого кута із рівняння 2 і зважаючи на викладене вище, матимемо:

$$l \geq \frac{hl_{\min}}{d} \quad (7)$$

Безпечну висоту установки ротора над поверхнею поля необхідно вибирати таким чином, щоб в процесі роботи обід ротора машини не контактував з нерівностями рельєфу поля [8].

Із цього ж рисунка випливає:

$$l_1 = l + \frac{d}{\operatorname{tg} \gamma} \quad (8)$$

де l_1 - довжина зовнішнього пальця граблини.

Підставляючи в отриманий вираз значення l із рівняння 7, а замість кута γ його граничне значення з рівняння 3 дістанемо [8,9]:

$$l_1 \geq \frac{hl_{\min}}{d + d/\operatorname{tg}[\arcsin(d/l_{\min})]} \quad (9)$$

Спрощуючи одержимо:

$$l_1 \geq l_{\min} \left[\frac{h}{d + (\sqrt{1 - l_{\min}^2})^2} \right] \quad (10)$$

Конструкція кріплення відцентрових робочих органів до обода ротора передбачає їх регулювання, перестановку в залежності від виконуваної операції. При ворушінні трави пальці граблин встановлюють радіально [8]. Проекція такого положення пальця граблини на площину, перпендикулярну вісі обертання ротора, зображена на рисунку 7 відрізок АС. При згрібанні граблини зміщують в напрямку протилежному обертанню ротора. Проекція такого положення пальця зображена відрізком A_1C . Із цього рисунку випливає $R_1 \neq R_2$, тобто відстань від вісі ротора до кінців зовнішніх

пальців граблин, радіус ротора залежить від положення граблин в площині обода ротора [8].

Радіус ротора, в залежності від того чи іншого кріплення граблин до обода, можна визначити із трикутника CA_1O :

$$A_1O = \sqrt{A_1C^2 + CO^2 - 2A_1C * \cos(\pi - \delta)} \quad (11)$$

де $A_1O=R$ - радіус ротора; $A_1C = l \cos(\gamma - \varphi)$ - проекція зовнішнього пальця граблини на площину, перпендикулярну вісі обертання ротора; $CO=R_0$ - радіус обода ротора; δ - кут відхилення пальців граблини від їх радіального положення. Тоді,

$$R = \sqrt{l_1^2 \cos^2(\gamma - \varphi) + R_0^2 + 2R_0 l_1 \cos(\gamma - \varphi) \cos \delta} \quad (12)$$

Як правило в граблях-ворушилках з відцентровими робочими органами радіус ротора не перевищує 1,2 м. Тому що при великих радіусах ротора необхідне його динамічне балансування, а це ускладнює виготовлення.

Як видно із рисунку 7 на ширину захвату ротора машини впливають кути φ і δ . Причому збільшення цих кутів спричиняє зменшення ширини захвату і навпаки [8,9]. Наприклад, при ворушінні або згрібанні шару трави товщиною h_1 , коли пальці граблини встановлені радіально, з травою буде контактувати сектор ВАЕ.

При умові зміщення пальців граблини на деякий кут δ від їх радіального стану в роботі бере участь сектор $B_1A_1E_1$. Для визначення ширини захвату однороторної ротаційної сіноворушилки при $R = \text{const}$ запропонована наступне, залежність [9]:

$$B = \sqrt{l_1^2 \cos^2(\gamma - \varphi) + R_0^2 + 2R_0 l_1 \cos(\gamma - \varphi) \cos \delta} \quad (12)$$

де B - ширина захвату; h_1 - товщина шару трави з врахуванням висоти стерні. Підставивши в цю залежність значення R із 10 рівняння отримаємо

$$B = 2 \sqrt{2h_1 \sqrt{l_1^2 \cos^2(\gamma - \varphi) + R_0^2 + 2R_0 l_1 \cos(\gamma - \varphi) \cos \delta} / \sin \varphi - h_1^2 / \sin^2 \varphi} \quad (12)$$

до C_1 - визначається за допомогою рівняння 10:

Одержана залежність дає змогу визначити теоретичну ширину захвату однороторної сіноворушилки з відцентровими робочими органами в залежності від значення кутів φ і δ [8,9].

Висновок. Конструкція ротора ворушилки-сепаратора значною мірою залежить від геометричних параметрів його робочих органів, таких як кути нахилу пальців

до поверхні поля та їх радіальне положення. Основні залежності показують, що зменшення кута нахилу пальців (γ) сприяє збільшенню ширини захвату (b), що, в свою чергу, дозволяє зменшити кількість граблин на роторі і знижує матеріало- та трудомісткість виготовлення. Однак для забезпечення якості згрібання необхідно, щоб ширина захвату відповідала мінімальній довжині скошених рослин (l_{\min}), інакше можливі втрати через недозгрібання.



Запропоновані рівняння дозволяють визначити мінімальний кут нахилу пальців для уникнення втрат рослин, а також оцінити необхідну довжину пальців. Також важливим є радіус ротора, який визначається як функція положення граблін на ободі ротора і безпосередньо впливає на ширину захвату ворущилки. Ширина захвату змінюється в залежності від кута відхилення вісі ротора від вертикалі та положення пальців відносно обертання ротора. Таким чином, запропоновані залежності забезпечують можливість конструктивної оптимізації машини, враховуючи робочі параметри для зменшення втрат і підвищення продуктивності.

Список використаних джерел

1. Техніка для заготівлі сіна: огляд популярних агрегатів: веб-сайт. URL: <https://agroelita.info/tekhnika-dlia-zahotivli-sina-ohliad-populiarnykh-ahrehativ/> (дата звернення 02.09.2024).
2. Роженко В., Філоненко Л., Балабуха С. Сучасна техніка для заготівлі сіна. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 12. С. 36-38.
3. Кондратюк, Д. Г., Солоня, О. В. Вплив робочих органів граблів-ворущилок на механічні втрати при заготівлі сіна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 2 (121). С. 116-122.
4. Кондратюк, Д. Г. Вибір раціональної ширини захвату ротаційних граблів з керованими граблями. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 1 (120). С. 40-47.
5. Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб. Вінниця: 2019. 234 с.
6. Кравець О. М. Вплив кута нахилу граблини на ефективність згрібання сіна ротаційними машинами. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. 2017. № 4. С. 35-40.
7. Бахур О. Аналіз конструкцій та результатів досліджень машин для згрібання і ворущіння трав. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2015. № 19. С. 421-427.
8. Салюк О. Б. Обґрунтування параметрів робочих органів ротаційних сіноворущилок. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 3. С. 45-50.
9. Сінков П. А. Основи проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. Вінниця: 2016. 380 с.

References

1. Tekhnika dlia zahotivli sina: ohliad populiarnykh ahrehativ: veb-sait. URL: <https://agroelita.info/tekhnika-dlia-zahotivli-sina-ohliad-populiarnykh-ahrehativ/> (data zvernennia 02.09.2024). [in Ukrainian].
2. Rozhenko V., Filonenko L., Balabukha S. (2014). Suchasna tekhnika dlia zahotivli sina. *Tekhnika i tekhnologii APK*. № 12. S. 36-38. [in Ukrainian].
3. Kondratiuk D. H., Solona O. V. (2023). Vplyv robochykh orhaniv hrabliv-vorushylok na mekhanichni vtraty pry zahotivli sina. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 2 (121). S. 116-122. [in Ukrainian].
4. Kondratiuk D. H. (2023). Vybir ratsionalnoi shyryny zakhvatu rotatsiinykh hrabliv z kerovanyomy hrablynamy. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 1 (120). S. 40-47. [in Ukrainian].
5. Veselovska N.R., Rutkevych V.S., Sharhorodskyi S.A. (2019). *Tekhnolohichni osnovy silskohospodarskoho mashynobuduvannia: navch. posib. Vinnytsia*: 234 s. [in Ukrainian].
6. Kravets O. M. (2017). Vplyv kuta nakhyly hrablyny na efektyvnist zghribannia sina rotatsiinyomy mashynamy. *Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*. № 4. S. 35-40. [in Ukrainian].
7. Bakhur O. (2015). Analiz konstruksii ta rezultativ doslidzhen mashyn dlia zghribannia i vorushinnia trav. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannia novoi tekhniky i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*. № 19. S. 421-427. [in Ukrainian].
8. Saliuk O. B. (2019) *Obgruntuvannia parametriv robochykh orhaniv rotatsiinykh sinovorushylok. Visnyk ahrarnoi nauky*. № 3. S. 45-50. [in Ukrainian].
9. Sinkov P. A. (2016). *Osnovy proektuvannia silskohospodarskykh mashyn: navch. posib. Vinnytsia*: 380 s. [in Ukrainian].

JUSTIFICATION OF RAKE ANGLE PARAMETERS REGARDING MOVEMENT AND RAKING OF HAY WITH ROTARY RAKES

In modern conditions of agricultural production, improving the efficiency of hay harvesting technologies is an important task for ensuring quality fodder for livestock. One of the key elements in this process is the use of rotary rakes to move and rake the hay. The efficiency of these machines largely depends on the design parameters, in particular the angle of inclination of the rakes, which affects the quality and speed of technological operations.

Increasing the efficiency of harvesting hay and reducing the loss of nutrients has led to the development of a wide range of machines for



stirring, raking and turning grass. These machines are classified according to purpose, design features and technological processes. Among them are stirrers, roller rotators, rakes and rake-stirrers, each of which has a specific function in the forage harvesting process. The most common are rotary shakers, which ensure uniform and fast drying of the grass. Rakes and roll rotators, in turn, form rolls for further harvesting. Universal rake-movers can perform several functions, increasing the efficiency of the haymaking process.

The work describes the design and principle of operation of the rotor of a shaker-separator with centrifugal working bodies. The main attention is paid to the analysis of the gripping parameters of the rakes and the influence

of the angle of inclination of their fingers on the gripping width. Mathematical dependencies are proposed for determining the grip width and rotor radius depending on the angle of inclination of the fingers and the angle of deflection of the rotor. Design requirements to ensure clean raking and minimize losses of cut plants are considered. Also, the required length of the rake fingers is determined and examples of adjusting their position to perform various technological operations are given.

Key words: rotary rakes, rake tilt angle, moving hay, raking hay, agricultural machines, technology of harvesting hay, rake parameters, increasing raking efficiency.

Відомості про авторів

Паладійчук Юрій Богданович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Агроінженерії та технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: rewet@vsau.vin.ua).

Стецюк Павло Миколайович – аспірант Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: stetsiyk.pavel@gmail.com).

Paladiychuk Yuriy – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: rewet@vsau.vin.ua).

Stetsyuk Pavlo – Postgraduate Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonaichna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: stetsiyk.pavel@gmail.com).