

ПАЛАДІЙЧУК ЮРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4257-9383>e-mail: rewet@vsau.vin.ua**ТЕЛЯТНИК ІННА**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2998-1506>e-mail: inna201098@gmail.com**СТЕЦЬОК ПАВЛО**

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: stetsiuk.pavel@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНКИ ВТРАТ РОСЛИННОЇ МАСИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГРАБЛІВ-ВОРУШИЛОК ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛІ СІНА

У статті розглянуто конструктивні та кінематичні параметри машин для заготівлі сіна, зокрема вплив на втрати рослинної маси під час роботи. Висновки підкреслюють необхідність оптимізації параметрів машин для зниження втрат і поліпшення якості процесів ворущіння та згрібання.

Ключові слова: ворущилки, граблі, сіно, кінематичні параметри, втрати рослинної маси, технологія заготівлі.

PALADIYCHUK YURIY, TELYATNIK INNA, STETSYUK PAVLO

Vinnytsia National Agrarian University

SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING PLANT MASS LOSS WHEN USING RAKE-WADDER TO IMPROVE HAY HARVESTING TECHNOLOGY

The article considers a wide range of mechanisms used for hay harvesting, including tedders, windrow rotators, rakes and combined rake-tedders. Their design features, functional purpose, principles of operation and classification are analyzed. Rotary tedders are considered separately, which are the main units for loosening grass mass and can perform additional functions, such as scattering rolls. It is determined that rotary tedders have a different number of rotors and can be single- or multi-pair models, depending on which their design features vary, for example, adaptation to soil irregularities and transfer to the transport position.

The study also includes the classification of rakes into transverse, lateral, conveyor and rotary, where each type has its own advantages depending on the operating conditions. Hay rake-tedders stand out for their multifunctionality, the ability to stir grass, rake it into windrows, turn it over and scatter it.

Further, the main aspects of the research were considered, including the design features of machines for stirring and raking mowed fodder crops, the parameters of the working bodies, as well as the kinematic and dynamic characteristics of the rake mechanisms.

Particular attention was paid to the shortcomings of existing methods for assessing plant mass losses during the operation of rake-teethers, in particular, the insufficient accuracy of calculating losses during individual operations. The development of a new method is proposed for a more accurate determination of losses and increasing the efficiency of hay harvesting technology.

The importance of the parameters of the movement of the tips of the rake fingers was also studied, in particular the absolute speed of the tips of the fingers, which determines the trajectory of plant mass particles during stirring and raking. The calculations determined the dependence of the speed on the design and kinematic parameters, which is important for optimizing the processes of stirring, raking and turning grass.

The conclusions emphasize that optimization of kinematic and design parameters of rake-teethers is necessary to minimize losses of plant mass and improve the efficiency of hay harvesting technology. Adjusting the angle of rotation of the fingers and the speed of their movement allows to increase the efficiency of the machines, improve the quality of harvesting and reduce technological losses.

Keywords: tedders, rakes, hay, kinematic parameters, plant mass losses, harvesting technology.

Постановка проблеми

Сінозаготівля — один із найдавніших методів підготовки кормів із трав'яної маси. Протягом століть було розроблено різні технології, що дозволяють зберігати сіно в розсипному, пресованому чи подрібненому вигляді. Незалежно від обраної методики, ключовим етапом залишається сушіння трави безпосередньо в польових умовах [1-4].

У процесі висушування трав'яний покрив втрачає не тільки вологу, а й частину поживних речовин через біохімічні зміни, діяльність мікроорганізмів і вплив атмосферних опадів. Чим довше трава залишається в полі, тим більшими стають ці втрати. Зменшити їх можливо шляхом прискорення сушіння. Для цього розроблено кілька методів, які поділяють на п'ять основних груп: хімічні, термічні, електричні, механічні та комбіновані.

Ці методи спрямовані на послаблення зв'язку вологи з рослинними клітинами, полегшення її випаровування, а також максимальне використання сонячного тепла й поглинальної здатності повітря. Серед різних варіантів найбільш поширеними є механічні методи, зокрема плющення, кондиціювання, ворущіння та перевертання скошеної трави [1-4].

Швидкість заготівлі сіна переважно визначається якістю виконання таких процесів, як згрібання, ворущіння та перевертання скошеної трави. Враховуючи це, а також значну роль граблів і ворущилок у цьому процесі, постійно ведеться вдосконалення цих агрегатів.

Еволюція конструкцій цих машин демонструє прагнення не лише покращити ефективність ворущіння та згрібання, що допомагає мінімізувати втрати поживних речовин, а й скоротити терміни заготівлі завдяки збільшенню продуктивності техніки. У минулі часи для виконання цих завдань використовували один і той самий інструмент — ручні граблі, які, незважаючи на свою просту будову, мали велику різноманітність конструкцій.

Згодом для заготівлі сіна почали застосовувати кінні граблі та ворушилки. У 1920-х роках відбувся перехід від кінної тяги до тракторної, проте спочатку це не призвело до суттєвих змін у конструкції граблів-ворушилок. З'явилися лише агрегати, що працювали одночасно у кількох зчіпках [1,2]. Пізніше почали випускати машини з великим захватом, зокрема поперечні граблі.

Лише у 1950-х роках стало можливим використання вала відбору потужності (ВВП) трактора для приводу робочих елементів граблів і ворушилок. Це призвело до появи різних варіантів бокових барабанних граблів, які відрізнялися прямокутними або косокутними формами барабанів.

Згодом широке застосування отримали колісно-пальцеві граблі-ворушилки, які мали активний або пасивний привід. Вони відрізнялися простішою конструкцією та меншою металоємністю порівняно з барабанними моделями [1-4].

Останньою значною інновацією 1970-х років стали ротаційні граблі-ворушилки з обертовими робочими елементами. Вони мали високу продуктивність і забезпечували якісне виконання всіх операцій.

Одним із ключових параметрів граблів є їхня ширина захвату, яка впливає на ефективність роботи та розмір сформованого валка. Відомо, що потужність валка визначає швидкість висушування сіна, а отже, і рівень втрат поживних речовин [1,2]. Крім того, цей параметр впливає на продуктивність подальшої техніки, зокрема прес-підбирачів, візків-підбирачів та інших механізмів, що використовуються для збирання сіна.

Аналіз досліджень та публікацій

Тенденція до збільшення продуктивності, розширення функціональності та покращення якості виконання виробничих процесів сприяло розробці широкого спектра механізмів для здійснення операцій заготівлі сіна. Ці агрегати відрізняються між собою за функціональним призначенням, принципом дії, конструктивними особливостями, числом робочих елементів, способом з'єднання з трактором, а також іншими технічними характеристиками, що впливають на їхню продуктивність та зручність використання [1,2].

За функціональним призначенням ці агрегати можна класифікувати як: ворушилки, обертачі валків, граблі та комбіновані граблі-ворушилки.

Ворушилки застосовуються для розпушування трав'яної маси, яка була скошена та рівномірно розстелена по всій ширині захоплення косарки (в прокоси) або після розкидання сировини з валків. Наразі цей тип обладнання широко представлений ротаційними ворушилками, які, окрім своєї основної функції, можуть також використовуватися для розсіювання валків [2].

Перші ротаційні ворушилки з'явилися на ринку Західної Європи наприкінці 1970-х років. Основними робочими елементами цих механізмів є ротори, що обертаються навколо вертикальних осей. Кожен ротор має конструкцію у вигляді диска, до якого радіально прикріплені промені, а на їхніх зовнішніх краях встановлені подвійні пружинні зуби.

Діаметр роторів у таких агрегатах залежить від моделі та виробника й варіюється в межах 1,4–1,7 м. Відповідно, ширина захвату машини визначається кількістю встановлених роторів.

Ротаційні ворушилки оснащені парною кількістю роторів, і залежно від числа їхніх пар поділяються на одно- та багатопарні моделі. У конструкції багатопарних ворушилок передбачені шарнірні з'єднання рами, що забезпечує адаптацію до нерівностей ґрунту, а також можливість переведення агрегату в транспортне положення. Цей процес здійснюється як за допомогою гідравлічного приводу, так і вручну, залежно від моделі та комплектації машини [2].

Обертачі валків призначені для перевертання сформованих валків трав'яної маси. У деяких випадках їх також використовують для об'єднання двох валків перед процесом підбирання. Залежно від принципу роботи ці агрегати поділяються на механічні (шнекові та ротаційні) та пневматичні [2].

Граблі використовуються для формування валків із висушеної трави, розділяються на поперечні та бокові в залежності від способу формування валків [2].

Поперечні граблі мають робочі зубці, які з'єднані з рамою і мають пружинні витки для плавної роботи. Вони формують валки, піднімаючи зубці над полем, а валки розташовуються поперек напрямку руху. Моделі можуть мати гідравлічний або механічний привод.

Бокові граблі формують прямолінійні валки паралельно руху агрегату. Вони поділяються на конвеєрні та ротаційні.

Конвеєрні граблі працюють від ВВП трактора, використовують нескінченні ланцюги чи стрічки з пружинними зубцями. Вони мають невелику ширину захвату (до 4 м) через обмеження копіювання рельєфу.

Ротаційні граблі широко використовуються завдяки високій продуктивності та адаптивності до різних умов.

Граблі – сіноворушилки є багатофункціональними машинами, здатними ворухити траву в покосах, збирати її у валки, перевертати або розкидати валки. З конструктивного боку, сіноворушилки поділяються на барабанні, колісно-пальцеві та ротаційні [2].

Робочий орган барабанних граблів-сіноворушилок – це грабельний барабан, що складається з кількох (зазвичай від трьох до п'яти) штанг, на яких закріплені подвійні пружинні зубці. При обертанні барабана завдяки спеціальному механізму, пружинні зубці утримують сталу позицію, що запобігає намотуванню трави. Привід цих машин оснащений реверсом, що дозволяє змінювати напрямок обертання барабана. При згрібанні трави, пальці пружинних зубців рухаються вгору по ходу трактора, а під час ворухіння – навпаки.

Залежно від кута між площиною обертання зубців та віссю барабана, розрізняють прямокутні та косокутні граблі-сіноворушилки.

Огляд досліджень щодо роботи різних типів граблів-ворушилок, включаючи колісно-пальцеві, барабанні, конвеєрні та поперечні, представлений у багатьох наукових працях [2,3].

Основні аспекти досліджень:

- Розгляд конструктивних особливостей машин, призначених для ворухіння та згрібання скошених кормових культур.

- Класифікація різновидів граблів.
- Визначення та обґрунтування параметрів робочих органів.
- Аналіз кінематичних та динамічних характеристик грабельних механізмів.
- Розробка методології проектування та розрахунку зазначених агрегатів.

При цьому питання функціонування граблів-ворушилок із відцентровими робочими органами досліджено недостатньо, що вимагає подальшого вивчення та аналізу.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження втрат рослинної маси під час використання граблів-ворушилок з метою покращення ефективності технології заготівлі сіна.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні стандартна методика випробувань сінозаготівельних машин [3-5] передбачає оцінку втрат від оббивання листків і суцвіть під час роботи граблів-ворушилок за такою схемою:

- Втрати визначають у трьох точках контрольної ділянки.
- Кожен вимір проводиться на майданчику довжиною 1 м і шириною, що дорівнює ширині захвату машини.

Розрахунок втрат здійснюється за формулою:

$$n_{об} = 100 (m_b - m'_b) / m \quad (1)$$

де: $n_{об}$, - втрати від оббивання листків і суцвіть, %; m_b , m'_b – маса вільних листочків і суцвіть із залікового майданчику до і після згрібання, кг; m – загальна маса рослин із залікового майданчику після згрібання, кг.

Вміст вільних листків і суцвіть визначається шляхом їх ручного виділення з загальної маси трави [3-5].

Наявна методика є недосконалою, оскільки не дозволяє з достатньою точністю визначати втрати як під час виконання окремої операції, так і сукупні втрати всього комплексу технологічних процесів інтенсифікації сушіння. Основний недолік полягає в тому, що вона базується на припущенні, ніби втрати виникають лише за рахунок частин рослин, що вже були пошкоджені внаслідок попередніх операцій, і не враховує можливе додаткове оббивання під час виконання поточної операції.

Це свідчить про необхідність розробки більш точної та обґрунтованої методики оцінки втрат рослинної маси при використанні граблів-ворушилок, що дозволить покращити ефективність технології заготівлі сіна.

Швидкість подачі вороху в повітряний потік є одним із ключових параметрів, що визначає траєкторію руху виділених частинок, а отже, впливає на розміри та конструкцію камери сепарації. Для точного визначення цієї швидкості необхідно спочатку встановити абсолютну швидкість руху кінців пальців граблів [3-5]

Абсолютну швидкість V_a , кінців пальців можна розрахувати, якщо відомі її проекції на відповідні осі координат. Це дозволяє визначити вплив конструктивних і кінематичних параметрів машини на ефективність процесу ворухіння та сепарації рослинної маси [4].

$$V_a = \sqrt{(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2 + (dz/dt)^2} \quad (2)$$

Проекція абсолютного переміщення кінців пальців граблів на вісь Z визначається відповідною залежністю (рівняння 3), яка враховує кінематичні параметри руху. Цей показник є важливим для аналізу траєкторії частинок вороху в процесі ворухіння та згрібання, а також впливає на ефективність роботи граблів-ворушилок [4].

$$Z = R \sin \psi (1 - \sin wt) \quad (3)$$

Продиференціювавши, маємо:

$$\frac{dz}{dt} = -RW \cos wt \sin \psi \quad (4)$$

Підставивши значення проекції швидкості, можна визначити результуюче значення абсолютної швидкості кінців пальців граблини. Це дозволяє отримати повне уявлення про характер їхнього руху та вплив на динаміку вороху в процесі ворущіння та згрібання [4,5].

$$V_a = R\omega \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \omega t \cos \psi} \quad (5)$$

Це рівняння демонструє, що абсолютна швидкість кінців пальців граблин є змінною величиною, яка залежить від кута повороту граблин у процесі їх відносного руху [4-6]. Відповідно, аналогічним чином змінюється й швидкість впливу пальців на рослинну масу під час виконання операцій ворущіння, згрібання та перевертання.

На рисунку 1 проілюстровано зміну абсолютної швидкості граблини протягом одного повного оберту ротора за умови ($\omega R = 7,5$ м/с) та ($V = 2,25$ м/с) при кутовій швидкості ($\psi = 0,122$ рад/с) [4].

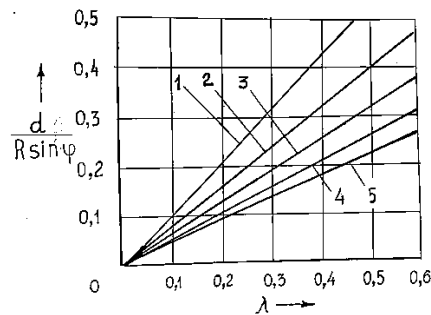


Рис.1. Номограма для визначення параметрів ротора машини: 1 – $Z = 6$; 2 – $Z = 8$; 3 – $Z = 10$; 4 – $Z = 12$; 5 – $Z = 14$

Абсолютна швидкість кінців пальців граблин, а також швидкість їхнього впливу на траву, змінюється в процесі переміщення, безперервно зменшується від $V_{a \max}$ при $\omega t = 0$, до $V_{a \min}$ при $\omega t = \pi$ [5].

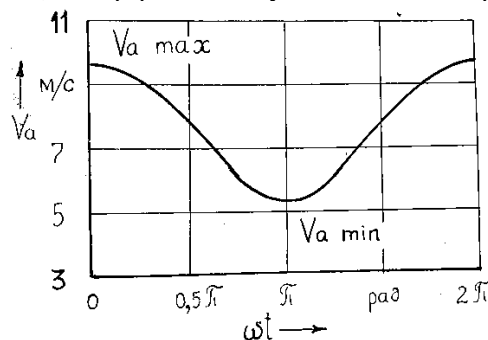


Рис. 2. Графік зміни абсолютної швидкості кінців пальців граблини V_a від кута повороту ωt

У нашому випадку камера сепарації розташована безпосередньо над пальцями граблин таким чином, що ворох, сходячи з їхніх кінців, одразу потрапляє в зону впливу повітряного потоку. Очевидно, що захоплена пальцями граблин порція рослинної маси матиме ту ж саму абсолютну швидкість, що й самі пальці в момент її сходження [6-8].

З огляду на цей принцип, подібно до підходів, застосовуваних у ґрунтообробних машинах [95], можна припустити, що швидкість подачі вороху в повітряний потік дорівнює абсолютній швидкості кінців пальців граблин у момент його відокремлення. Це дозволяє визначити динаміку руху частинок та оптимізувати конструкцію системи сепарації [7,8].

Отже, $V_a = V_{ck}$, а $\omega t = (\omega t)_{cx}$ отримаємо:

$$V_{ck} = R\omega \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos(\omega t)_{cx} \cos \psi} \quad (6)$$

де, $(\omega t)_{cx}$ – кут повороту пальців граблин, при якому відбувається сходження вороху.

Дослідження показали, що процес сходження трави з пальців граблини відбувається при певному куті повороту $110^\circ < (\omega t)_{cx} < 130^\circ$, що є важливим фактором для аналізу динаміки руху вороху. Цей параметр визначає момент відокремлення рослинної маси та впливає на ефективність її подальшого транспортування й розподілу в повітряному потоці.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що оптимізація конструктивних і кінематичних параметрів граблин є ключовою умовою для підвищення ефективності роботи ворущилок. Коригування кута повороту та швидкості руху пальців дозволяє контролювати процес сходження трави, мінімізувати втрати та покращити якість ворущіння та згрібання.

Висновки

Розвиток сінозаготівельних машин, зокрема граблів-ворущилок, сприяє підвищенню продуктивності та якості виконання процесів заготівлі сіна. Завдяки різноманітності конструкцій і

робочих елементів, ці машини здатні ефективно виконувати різні операції: ворущіння, згрібання та перевертання трав'яної маси.

Ворушилки, зокрема ротаційні моделі, значно підвищують ефективність розпушування та розкидання сіна. Їх конструкція, що включає роторні диски з пружинними зубами, забезпечує рівномірне оброблення трав'яної маси. Багатопарні моделі адаптуються до нерівностей ґрунту та мають транспортне положення для зручності транспортування.

Граблі-ворушилки, включаючи барабанні, колісно-пальцеві та ротаційні, забезпечують зручність у формуванні валків, знижуючи втрати трав'яної маси під час роботи. Кожен тип має свої особливості в залежності від конструкції та призначення.

Наукові дослідження свідчать про важливість оптимізації конструктивних та кінематичних параметрів робочих органів сіноворушилок для покращення ефективності заготівлі сіна. Вивчення швидкості руху пальців граблів та механізмів їх взаємодії з трав'яною масою дозволяє визначити оптимальні умови для мінімізації втрат рослинної маси.

Розробка нових методик оцінки втрат рослинної маси в процесі ворущіння дозволить удосконалити технологію заготівлі сіна, знижуючи непотрібні втрати та покращуючи загальну ефективність використання техніки.

Результати досліджень підкреслюють важливість точного розрахунку швидкості руху кінців пальців граблів для оптимізації роботи систем сепарації і підвищення загальної продуктивності сінозаготівельних машин.

Література

1. Техніка для заготівлі сіна: огляд популярних агрегатів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://agroelita.info/tekhnika-dlia-zahotivli-sina-ohliad-populiarnykh-ahrehativ/> (дата звернення 26.01.2025).
2. Кондратюк Д. Г. Вплив робочих органів граблів-ворушилок на механічні втрати при заготівлі сіна / Д. Г. Кондратюк, С. О. Солоня // Техніка, енергетика, транспорт АПК. — 2023. — №2 (121). — С. 116 – 122.
3. Кондратюк Д. Г. Вибір раціональної ширини захвату ротаційних граблів з керованими граблями / Д. Г. Кондратюк // Техніка, енергетика, транспорт АПК. — 2023. — № 1 (120). — С. 40 – 47.
4. Веселовська Н.Р. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб. / Н. Р. Веселовська, В. С. Руткевич, С. А. Шаргородський. — Вінниця, 2019. — 234 с.
5. Кравець О. М. Вплив кута нахилу грабля на ефективність згрібання сіна ротаційними машинами / О.М. Кравець // Механізація і електрифікація сільського господарства. — 2017. — № 4. — С. 35 – 40.
6. Бахур О. Аналіз конструкцій та результатів досліджень машин для згрібання і ворущіння трав / О. Бахур // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. — 2015. — № 19. — С. 421 – 427.
7. Салиук О. Б. Обґрунтування параметрів робочих органів ротаційних сіноворушилок / О. Б. Салиук // Вісник аграрної науки. — 2019. — № 3. — С. 45 – 50.
8. Сінков П. А. Основи проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. / П. А. Сінков. — Вінниця, 2016. — 380 с.

References

1. Tekhnika dlia zahotivli sina: ohliad populiarnykh ahrehativ [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu: <https://agroelita.info/tekhnika-dlia-zahotivli-sina-ohliad-populiarnykh-ahrehativ/> (data zvernennia 26.01.2025).
2. Kondratiuk D. H. Vplyv robochykh orhaniv hrabliv-vorushylok na mekhanichni vtraty pry zahotivli sina / D. H. Kondratiuk, S. O. Solona // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. — 2023. — №2 (121). — S. 116 – 122.
3. Kondratiuk D. H. Vybir ratsionalnoi shyriny zakhvatu rotatsiinykh hrabliv z kerovanymy hrablynamy / D. H. Kondratiuk // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. — 2023. — № 1 (120). — S. 40 – 47.
4. Veselovska N.R. Tekhnolohichni osnovy silskohospodarskoho mashynobuduvannia: navch. posib. / N. R. Veselovska, V. S. Rutkevych, S. A. Sharhorodskyi. — Vinnytsia, 2019. — 234 s.
5. Kravets O. M. Vplyv kuta nakhyly hrablyn na efektyvnist zghribannia sina rotatsiinykh mashynamy / O.M. Kravets // Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. — 2017. — № 4. — S. 35 – 40.
6. Bakhur O. Analiz konstruktii ta rezultativ doslidzen mashyn dlia zghribannia i vorushinnia trav / O. Bakhur // Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. — 2015. — № 19. — S. 421 – 427.
7. Saliuk O. B. Obgruntuvannia parametriv robochykh orhaniv rotatsiinykh sinovorushylok / O. B. Saliuk // Visnyk ahrarnoi nauky. — 2019. — № 3. — S. 45 – 50.
8. Sinkov P. A. Osnovy proektuvannia silskohospodarskykh mashyn: navch. posib / P. A. Sinkov. — Vinnytsia, 2016. — 380 s.