



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1

Machinery  
Energetics  
Transport  
of Agribusiness



ТЕХНІКА  
ЕНЕРГЕТИКА  
ТРАНСПОРТ АПК



*Всеукраїнський науково-технічний журнал*

**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

*№ 1 (120) / 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. № 1 (120). С. 158.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 9 від 01.05.2023 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

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

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

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

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

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

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

**Цуркан О.В.** – д.т.н., доцент, 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)

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/>

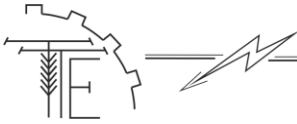
Електронна адреса: [pophv@ukr.net](mailto:pophv@ukr.net)



## ЗМІСТ

## I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

<i>Алієв Е.Б., Бабин І.А., Сокол С.П.</i> <b>ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АЕРОДИНАМІЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО СИПКОГО МАТЕРІАЛУ.....</b>	<b>5</b>
<i>Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Полєвода Ю.А.</i> <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА МАТОЧИНИ КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4...</b>	<b>14</b>
<i>Дуганець В.І., Грушецький С.М., Токарчук О.А., Бончик В.С., Федірко П.П.</i> <b>АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ РОБОТОЗДАТНОСТІ НА ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ, ЗЕРНОБОБОВИХ ТА ІНШИХ КУЛЬТУР.....</b>	<b>21</b>
<i>Єленич А.П., Ємчик В.В.</i> <b>ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАКТОРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ КОМПАНІЇ CASE.....</b>	<b>29</b>
<i>Кондратюк Д.Г.</i> <b>ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ШИРИНИ ЗАХВАТУ РОТАЦІЙНИХ ГРАБЛІВ З КЕРОВАНИМИ ГРАБЛИНАМИ.....</b>	<b>40</b>
<i>Кюрчев В.М., Веселовська Н.Р., Бурлака С.А.</i> <b>ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ КОМБІНОВАНИХ ОПЕРАЦІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....</b>	<b>48</b>
<i>Рябошанка В.Б., Нагорняк І.О.</i> <b>ПІДБІР МОДЕЛІ ТУРБОКОМПРЕСОРА ДЛЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ З ВІЛЬНИМ ВПУСКОМ НА ДИЗЕЛІ З ТУРБОНАДДУВАННЯМ.....</b>	<b>54</b>
<b>II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ</b>	
<i>Іскович-Лотоцький Р.Д., Шевченко В.В., Веселовська Н.Р., Залізник Р.О.</i> <b>ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗАНУРЕННЯ ПАЛЬ В САДКАХ ТА ВИНОГРАДНИКАХ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОСТРУМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....</b>	<b>64</b>
<i>Матвійчук В.А., Михалевич В.М., Штуць А.А.</i> <b>АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИСАДЖУВАННІ РЕСУРСОЩАДНИМ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....</b>	<b>76</b>
<i>Пазюк В.М.</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ РІПАКУ ЯК ОБЄКТУ СУШІННЯ.....</b>	<b>86</b>
<i>Полєвода Ю.А., Кравець С.М.</i> <b>СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ В ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗІ.....</b>	<b>94</b>
<i>Руткевич В.С., Шаргородський С.А.</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄМНОЇ ГІДРОТРАНСМІСІЇ ГСТ-90.....</b>	<b>102</b>
<i>Телятник І.А.</i> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ГІДРОІМПУЛЬСНОМУ ВПЛИВІ.....</b>	<b>110</b>
<i>Яропуд В.М., Лавренюк П.П.</i> <b>ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОНВЕКТИВНОЇ СУШАРКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....</b>	<b>120</b>
<b>III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА</b>	
<i>Граняк В.Ф., Дудник В.О.</i> <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД ПОЧАТКОВОГО КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ РОТОРА.....</b>	<b>132</b>



## CONTENTS

## I. AGROENGINEERING

<i>Elchyn Aliiev, Ihor Babyn, Serhiy Sokol</i> <b>NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF AERODYNAMIC SEPARATION OF FINE-GRAINED BULK MATERIAL .....</b>	<b>5</b>
<i>Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Yurii Polievoda</i> <b>MATHEMATICAL MODEL OF DIAGNOSTIC BEARING ASSEMBLY OF HUB OF STEERING AXLES OF WHEEL TRACTORS OF DRIVING CLASS 1,4.....</b>	<b>14</b>
<i>Vasyl Duganets, Sergii Hrushetskyi, Oleksii Tokarchuk, Vitalii Bonchyk, Pavlo Fedirko</i> <b>ANALYSIS OF THE MAIN MALFUNCTIONS OF GRAIN HARVESTERS AND WAYS TO INCREASE THEIR EFFICIENCY IN HARVESTING GRAIN, LEGUMINOUS AND OTHER CROPS.....</b>	<b>21</b>
<i>Viktor Yemchuk, Anatoliy Yelenych</i> <b>DESIGN FEATURES OF CASE AGRICULTURAL TRACTORS.....</b>	<b>29</b>
<i>Dmytro Kondratuk</i> <b>CHOOSING A REASONABLE GRIP WIDTH OF ROTARY RAKES WITH CONTROLLED RAKES.....</b>	<b>40</b>
<i>Volodymyr Kyurchev, Nataliya Veselovska, Serhii Burlaka</i> <b>INCREASING THE TRACTION AND TRACTION CHARACTERISTICS OF THE ENERGY VEHICLE WHEN CARRYING OUT COMBINED SOIL PROCESSING OPERATIONS.....</b>	<b>48</b>
<i>Vadim Ryaboshapka, Ivan Nahorniak</i> <b>CHOOSING A TURBOCOMPRESSOR MODEL FOR CONVERTING FREE INLET DIESELS TO TURBOCHARGED DIESELS.....</b>	<b>54</b>

## II. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

<i>Rostyslav Iskovich-Lototskyy, Vasyl Shevchnko, Nataliia Veselovska, Roman Zalizniak</i> <b>INCREASING THE PRODUCTIVITY OF PILE DIVING IN ORCHARDS AND VINEYARDS BY USING HYDROJET TECHNOLOGY.....</b>	<b>64</b>
<i>Viktor Matviychuk, Volodymyr Mikhalevich, Andrii Shtuts</i> <b>ANALYSIS OF THE STATE OF STRESS AND DEFORMATION OF THE MATERIAL OF THE BILLET WHEN PLANTING BY THE RESOURCE-SAVING METHOD OF STAMPING BY ROLLING.....</b>	<b>76</b>
<i>Vadym Paziuk</i> <b>STUDY OF THE PROPERTIES OF RAPESEED AS A DRYING OBJECT.....</b>	<b>86</b>
<i>Yuriy Polyevoda, Svetlana Kravets</i> <b>MODERN INNOVATIVE CLEANING TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY.....</b>	<b>94</b>
<i>Volodymyr Rutkevych, Serhiy Shargorodskiy</i> <b>STUDY OF THE BRAKING PROCESS OF A GRAIN HARVESTER USING VOLUME HYDROTRANSMISSION GST-90.....</b>	<b>102</b>
<i>Inna Telyatnik</i> <b>RESEARCH OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION UNDER HYDRO-IMPULSE INFLUENCE.....</b>	<b>110</b>
<i>Vitalii Yaropud, Petro Lavreniuk</i> <b>WAYS OF IMPROVING THE DESIGN OF THE WALNUT CONVECTIVE DRYER.....</b>	<b>120</b>

## III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Valerii Hraniak, Volodymyr Dudnyk</i> <b>MATHEMATICAL MODEL OF THE DEPENDENCE OF THE STARTING TORQUE OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRICAL MOTOR ON THE INITIAL ANGULAR POSITION OF THE ROTOR.....</b>	<b>132</b>
--	------------



УДК 631.353.2

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-5

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ШИРИНИ ЗАХВАТУ РОТАЦІЙНИХ ГРАБЛІВ З КЕРОВАНИМИ ГРАБЛИНАМИ

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

Dmytro Kondratuk, Ph.D., Associate professor  
Vinnytsia National Agrarian University

Для згрібання сіна у валки доцільно використовувати ротаційні граблі з керованими граблинами. На ринку сільськогосподарської техніки України іноземні фірми пропонують моделі ротаційних граблів з керованими граблинами, які розрізняються шириною захвату від 2,8 до 14,0 м, кількістю роторів та іншими ознаками. Зазначене створює труднощі з вибором граблів раціональної ширини захвату. Раціональну ширину захвату граблів можливо вибрати, виходячи із передбачуваного обсягу заготівлі сіна в господарстві та експлуатаційних витрат грошових коштів на виконання механізованих робіт. Очевидно, що при раціональній ширині захвату граблів експлуатаційні витрати коштів будуть мінімальними. Мета роботи - зниження експлуатаційних витрат при заготівлі сіна шляхом розробки алгоритму вибору раціональної ширини захвату граблів з керованими граблинами. Встановлено, що приведені експлуатаційні витрати на згрібання сіна, по мірі збільшення ширини захвату від 3 до 6 м, зменшуються. При ширині захвату 5-7 м приймають мінімальні значення, і при подальшому зростанні ширини захвату зростають. Пояснюється це тим, що при малій ширині захвату граблів вони мають малу продуктивність, що призводить до відносно високих експлуатаційних витрат. Зростання питомих експлуатаційних витрат при ширині захвату більше 6 м пов'язане із збільшенням вартості граблів. З метою зменшення собівартості сіна, для його згрібання доцільно використовувати граблі з шириною захвату від 5 до 7 м. Необхідну ширину захвату граблів можливо також вибрати, виходячи із передбачуваного обсягу заготівлі сіна. Отримано графічні залежності зміни нормативного виробітку граблів (добуток продуктивності на нормативне річне завантаження) від ширини захвату. Встановлено, що при умові однократного використання граблів з шириною захвату 7 м дозволить заготовити від 2500 до 2800 т сіна в рік.

**Ключові слова:** ротаційні граблі, ширина захвату, експлуатаційні витрати, коефіцієнт використання часу, нормативний виробіток.

**Ф. 19. Рис. 3. Табл. 4. Літ. 8.**

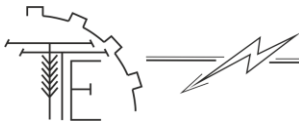
### 1. Постановка проблеми

Невід'ємною операцією заготівлі сіна є згрібання прив'язаної трави або сіна у валки. Для виконання зазначеної операції у виробництві використовують граблі різноманітних конструкцій: колісно-пальцеві, конвеєрні, ротаційні з відцентровими граблинами і т. д. Проте для згрібання сіна доцільно використовувати ротаційні граблі з керованими граблинами, оскільки вони формують рівномірний пухкий валок і в меншій мірі, ніж інші граблі забруднюють траву або сіно мінеральними домішками [1].

Сьогодні на ринку сільськогосподарської техніки України можна придбати різні моделі ротаційних граблів з керованими граблинами фірм Krone, Claas, Deutz Fahr, Pöttinger, Niemeyer, Fella та ін. Моделі розрізняються шириною захвату від 2,8 до 14,0 м, кількістю роторів та штанг, встановлених на них та іншими ознаками [2].

Зрозуміло, що збільшення ширини захвату граблів призводить до зростання продуктивності. Проте використання широкозахватних граблів пов'язано з рядом недоліків. По-перше, широкозахватні агрегати створюють певні труднощі під час їх використання (зростання ширини поворотних смуг, тривалості поворотів і т.д.). По-друге, зростання габаритів і складності виготовлення широкозахватних машин спонукає зростання їх вартості, а відтак і експлуатаційних витрат.

Зазначене створює певні труднощі з вибором товаровиробниками сільськогосподарської продукції ротаційних граблів з керованими граблинами раціональної ширини захвату.



Раціональну ширину захвату граблів можливо вибрати, виходячи із передбачуваного обсягу заготівлі сіна в господарстві та експлуатаційних витрат грошових коштів на виконання механізованих робіт. Очевидно, що при раціональній ширині захвату граблів експлуатаційні витрати коштів будуть мінімальними.

## 2. Аналіз останніх досліджень

Значний вклад з обґрунтування параметрів і розробку комплексів машин для збирання трав на сіно здійснив А.Д. Гарькавий [3].

Автори [4] зазначають, що граблі для сіна, які випускаються в Україні, мають ширину захвату 4,2- 6,0 м. Такі граблі забезпечують вчасне виконання робіт на ділянках площею до 50-80 га, формуючи лінійну потужність валка 3-4 кг/м. Бажана потужність валка має бути більша в 2-3 рази. Тому перевагу слід віддавати ротаційним граблям з робочою шириною 12-18 м.

Важливим експлуатаційним показником машинних агрегатів є їх продуктивність, яка пропорційна зміні ширини захвату агрегату. В роботі [5] показано, що максимальна продуктивність широкозахватного агрегату досягається при певному співвідношенні між шириною захвату і довжиною робочого ходу.

Необхідно зазначити, що на сьогодні відсутні чіткі рекомендації щодо вибору раціональної ширини захвату граблів залежно від об'ємів заготівлі сіна.

## 3. Мета роботи

Зменшення експлуатаційних витрат на заготівлі сіна шляхом розробки алгоритму вибору раціональної ширини захвату граблів з керованими граблинами.

## 4. Методика та результати досліджень

Суттєвим параметром граблів є їх робоча ширина захвату, яка визначає продуктивність агрегату і потужність утвореного валка. Тут і далі під потужністю валка будемо розуміти масу трави, яка припадає на метр довжини валка. Відомо, що у випадку згрібання прив'язаної трави у валки потужність, сформованих валків впливає на динаміку сушіння, а відтак і втрати поживних речовин. Крім того, цей показник визначає продуктивність наступних машин, таких як прес-підбирачів, візків-підбирачів та інших машин, які використовуються для підбирання сіна.

За критерій для обґрунтування раціональної ширини захвату граблів нами були прийняті питомі прямі експлуатаційні витрати, тобто витрати, що відносяться до одиниці продуктивності, які визначали за формулою:

$$C_{\text{пит}} = C_{\text{оп}} + C_{\text{пмм}} + C_a + C_{\text{то}}, \quad (1)$$

де  $C_{\text{пит}}$  – сумарні питомі прямі експлуатаційні витрати, грн./га;  $C_{\text{оп}}$  – витрати грошових коштів на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./га;  $C_{\text{пмм}}$  – вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів, грн./га;  $C_a$  – відрахування на амортизацію складових машинного агрегату, грн./га;  $C_{\text{то}}$  – відрахування на ремонти та технічне обслуговування, грн./га.

Оскільки при згрібанні сіна агрегат обслуговує один механізатор, то витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу визначали за формулою:

$$C_{\text{оп}} = \frac{f}{H}, \quad (2)$$

де  $f$  – оплата праці механізатору за норму виробітку, грн.;  $H$  – норма виробітку, га.

Вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів:

$$C = C_g, \quad (3)$$

де  $C_g$  – комплексна ціна палива, грн./л;  $g$  – витрата палива л/га.

Амортизаційні відрахування:

$$C_a = \frac{1}{100W} \left( \frac{\alpha_T B_T}{t_T} + \frac{\alpha_M B_M}{t_M} \right), \quad (4)$$

де  $W$  – технічна продуктивність агрегату, га/год;  $\alpha_T$  і  $\alpha_M$  – норма річних амортизаційних відрахувань від вартості відповідно трактора і машини, %;  $B_T$  і  $B_M$  – відповідно, вартість трактора і машини, грн.;  $t_T$  і  $t_M$  – нормативне річне завантаження трактора і машини, год.

Відрахування на ремонти і технічне обслуговування обчислювали за (4), підставляючи відповідні норми відрахувань на зазначені складові витрат.





Технічну продуктивність визначили за формулою:

$$W = 0,1V_p V_p \tau, \quad (5)$$

де  $V_p$  – робоча ширина захвату машини, м;  $V_p$  – робоча швидкість агрегату, км/год;  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

Для розрахунків робочу ширину захвату граблів  $V_p$  і робочу швидкість руху  $V_p$  вибирали, виходячи із рекомендацій [6], згідно яких при згрібанні сіна коефіцієнт використання ширини захвату граблів має знаходитись в межах 0,94...0,95. Прийmemo, що  $V_p = 0,95V_k$  (тут  $V_k$  – конструктивна ширина захвату, м). Агротехнічно допустимі робочі швидкості руху машин при згрібанні сіна становлять 8...10 км/год. При розрахунках за робочу швидкість руху була прийнята верхня межа зазначеного діапазону, тобто 10 км/год.

Якщо протягом зміни відсутні переїзди агрегату з ділянки на ділянку, то коефіцієнт використання часу зміни можна визначити за залежністю [6]:

$$\tau = \frac{1 - (\tau_{пз} + \tau_{обс} + \tau_{воп})}{\frac{1}{\tau_{рух}} + KUW_0}, \quad (6)$$

де  $\tau_{пз}$ ,  $\tau_{воп}$ ,  $\tau_{обс}$  – коефіцієнти позациклових витрат часу зміни відповідно: на проведення підготовчо-заклучних робіт, відпочинок і особисті потреби персоналу, організаційно-технологічного обслуговування агрегату в загінці;  $\tau_{рух}$  – коефіцієнт використання часу руху;  $K$  – технологічний параметр агрегату, що характеризує затрати часу (простої) на одиницю технологічної маси (навантажувальної, розвантажувальної, перероблюваної тощо), год/т;  $U$  – маса продукції з одиниці або на одиницю площі, що відповідно заповнює або спорожнює технологічну місткість агрегату, т/га.

Коефіцієнти позациклових витрат часу:

$$\tau_{пз} = T_{пз}/T_{зм}, \quad \tau_{воп} = T_{воп}/T_{зм}, \quad \tau_{обс} = T_{обс}/T_{зм}, \quad (7)$$

де  $T_{пз}$ ,  $T_{обс}$ ,  $T_{воп}$  – витрати часу відповідно на підготовчо-заклучні роботи, організаційно-технологічного обслуговування агрегату в загінці і відпочинок та особисті потреби, год;  $T_{зм}$  – тривалість зміни, год.

Оскільки в машинах для згрібання сіна відсутні технологічні місткості, то складова залежності (6)  $KUW_0=0$ . Якщо припустити, що швидкості руху агрегату на робочих і холостих ходах є рівними між собою, то у цьому випадку  $\tau_{рух} = \phi$  (де  $\phi$  – коефіцієнт робочих ходів). Таким чином, залежність для визначення коефіцієнту використання часу зміни прийме вигляд

$$\tau = (1 - \tau_{пз} - \tau_{обс} - \tau_{воп})\phi. \quad (8)$$

Коефіцієнт робочих ходів  $\phi$  залежить від способу руху агрегату. При згрібанні прив'язаної трави або сіна у валки, вибір способу руху залежить від типу косарки, яку використовують для скошування трави, оскільки згрібання необхідно здійснювати в тому ж порядку, що і скошування. Прийmemo, що скошування трави буде здійснюватися фронтальною косаркою. Доцільним способом руху для цих косарок є човниковий спосіб руху, а відтак коефіцієнт робочих ходів можна визначити за формулою:

$$\phi = \frac{L}{L + L_x}, \quad (9)$$

де  $L$ ,  $L_x$  – середня довжина робочого та холостого ходу, м.

Середня довжина холостого ходу (одного повороту) при човниковому способі руху становить:

$$L_x = (6,6...8,0)R + 2e, \quad (10)$$

де  $R$  – мінімальний радіус повороту агрегату, м;  $e$  – довжина виїзду, м.

Здебільшого граблі з шириною захвату до 5 м є начіпними машинами. Мінімальний радіус повороту агрегату, до складу якого входить начіпна машина, може дорівнювати мініальному радіусу повороту трактора. Граблі з більшою шириною захвату – причіпні машини. Для розрахунків було прийнято, що радіус повороту агрегатів до складу яких причіпна машина дорівнює робочій ширині захвату, тобто  $R = V_p$ .

Довжину виїзду визначали за формулою:

$$e = b(l_T + l_M), \quad (11)$$

де  $b$  – коефіцієнт, який залежить від способу приєднання граблів до трактора, для причіпних граблів  $b = 0,5$ , для навісних –  $b = 0,1$ .

Погектарну витрату палива визначали за формулою:

$$g_{га} = \frac{G_{пр} T_p + G_{пх} T_{пов} + G_{пз} T_{зуп}}{H}, \quad (12)$$

де  $g_{га}$  – погектарна витрата палива, кг/га;  $G_{пр}$ ,  $G_{пх}$  і  $G_{пз}$  – годинна витрата палива відповідно при





робочому ході агрегату, при холостому ході (поворотах, заїздах і переїздах) і на зупинках з працюючим двигуном, кг/год;  $T_p$ ,  $T_{пов}$ ,  $T_{зуп}$  – тривалість чистої роботи за зміну; тривалість поворотів та зупинок агрегату з працюючим двигуном, год;  $H$  – виробіток агрегату за зміну, га.

Виробітку агрегату за зміну визначали за формулою

$$H = WT_{зм}. \quad (13)$$

Тривалість чистої роботи за зміну:

$$T_p = \tau T_{зм}. \quad (14)$$

Тривалість поворотів агрегату за зміну визначали за формулою:

$$T_{пов} = \frac{T_{зм} \tau (1 - \phi)}{\phi}. \quad (15)$$

При виборі трактора для агрегування граблів виходили із наступного. Для тракторів тягового класу 0,6 гранично допустима маса начіпних машин становить 250 кг [8]. За витратами енергії однороторні граблі з шириною захвату менше 3,3 м можуть агрегуватися з цими тракторами. Проте вони не можуть бути використані, тому що маса граблів найменшої ширини захвату, модель Fella TS 290 DS, становить 260 кг, що перевищує гранично допустиму масу. На цій підставі було прийнято рішення, що для агрегування всіх моделей граблів може бути використаний трактор тягового класу 1,4, наприклад, трактор ЮМЗ-8244.2, техніко-економічні показники якого вибиралися за даними [7].

Для розрахунків були прийняті наступні норми відрахувань для граблів: на амортизацію 15, поточний ремонт і ТО 7,0 %. Нормативне річне завантаження 150 год. Нормативне річне завантаження трактора 1600 год, амортизаційні відрахування 15 %, відрахування на ремонти і ТО- 8 %.

Як вище зазначалося, збільшення ширини захвату граблів призводить до зростання їх вартості. Для виявлення залежності, яка зв'язує ширину захвату граблів з їх вартістю, був побудований графік, який представлений на рис. 1.

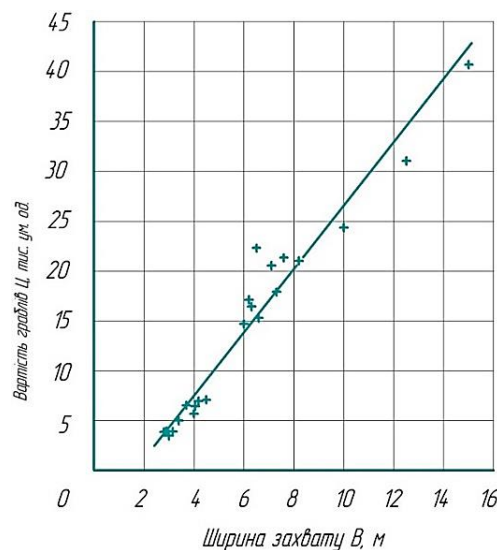


Рис. 1. Залежність зміни вартості граблів з керованими граблинами Ц від ширини захвату В

Як видно із цього графіка, вартість граблів із зміною ширини захвату змінюється за прямолінійним законом. Обробіток даних дозволить визначити коефіцієнти рівняння, яке зв'язує ціну граблів з їх конструктивною шириною захвату. Встановлена залежність має вигляд:

$$Ц = - 5,176 + 3,176В. \quad (16)$$

Коефіцієнт кореляції 0,977, коефіцієнт детермінації 0,955. Це свідчить, що між ціною граблів і їх шириною захвату існує тісний кореляційний зв'язок.

При визначенні витрат пов'язаних з оплатою праці було прийнято, що кожен агрегат, який використовується для згрібання сіна обслуговує тракторист і оплату праці йому здійснюють із розрахунку 800 грн. за норму виробітку.

Для визначення довжини виїзду агрегату, залежність (11), необхідно мати кінематичну довжину машин і трактора. Для розрахунків було прийнято, що кінематична довжина трактора становить 1,3 м, а за кінематичну довжину граблів була прийнята їх габаритна довжина. Використовуючи дані проспектів фірм Claas, Krone і Kuhn, було встановлено емпіричну залежність, яка зв'язує габаритну довжину граблів з їх шириною захвату. Обробіток даних в середовищі Mathcad



дозволив визначити коефіцієнти цього рівняння. Встановлена залежність має вигляд

$$l_m = 4,96 + 0,13B. \quad (17)$$

Довжину холостого ходу визначали за формулою:

$$L_x = 8,0R + 2e. \quad (18)$$

Використовуючи залежності (17), (18) і рекомендації щодо вибору радіуса повороту було визначено основні кінематичні характеристики агрегатів, які приведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунків кінематичних характеристик агрегатів**

Ширина захвату граблів, м	Радіус повороту агрегату, м	Довжина виїзду, м	Довжина холостого ходу, м
3,0	4,8	0,67	39,7
4,0	4,8	0,68	39,8
5,0	4,8	0,69	39,9
6,0	6,0	3,50	55,0
7,0	7,0	3,59	63,2
8,0	8,0	3,65	71,3
9,0	9,0	3,72	79,4
10,0	10,0	3,78	87,6
11,0	11,0	3,84	95,7
12,0	12,0	3,90	103,8
13,0	13,0	3,96	111,9

Відомо, що коефіцієнт робочих ходів залежить від довжини гонів. Із зменшенням довжини гону (поля), коефіцієнт робочих ходів зменшується. Це призводить до зменшення продуктивності, оскільки за (8) коефіцієнт використання часу зміни пропорційний величині коефіцієнта робочих ходів.

Використовуючи дані табл. 1, і залежність (9), врахувано коефіцієнти робочих ходів залежно від довжини гонів, які наведені в табл. 2.

Щоб визначити коефіцієнти використання часу зміни, необхідно мати коефіцієнти позациклових витрат часу, які визначали за (7), виходячи із наступного. Тривалість щозмінного технічного обслуговування агрегату була прийнятою 0,45 год; затрати часу на отримання наряду, підготовку агрегату до переїзду і переїзди з місця стоянки на поле і назад – 0,55 год, тобто вважали, що тривалість підготовчо-заклучних робіт становить  $T_{пз} = 1,0$  год. Тривалість організаційно – технічного обслуговування агрегату в полі 15 хв або 0,25 год. Час для відпочинку і особистих потреб 0,5 год [8]. Тоді, будемо мати  $\tau_{пз} = 0,143$ ;  $\tau_{обс} = 0,036$ ;  $\tau_{воп} = 0,071$ . Підставивши ці дані в (8), одержимо значення коефіцієнта використання часу зміни в залежності від довжини гонів, які наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Результати розрахунків коефіцієнта робочих ходів і використання часу зміни**

Ширина захвату, м	Значення коефіцієнта робочих ходів $\phi$ і використання часу зміни $\tau$ при довжині гону, м							
	1000		800		600		400	
	$\phi$	$\tau$	$\phi$	$\tau$	$\phi$	$\tau$	$\phi$	$\tau$
3,0	0,962	0,722	0,952	0,714	0,938	0,704	0,910	0,683
4,0	0,962	0,722	0,952	0,714	0,938	0,704	0,910	0,683
5,0	0,962	0,722	0,952	0,714	0,938	0,704	0,910	0,683
6,0	0,948	0,711	0,936	0,702	0,923	0,692	0,879	0,659
7,0	0,941	0,706	0,927	0,695	0,904	0,678	0,863	0,647
8,0	0,933	0,700	0,918	0,689	0,894	0,671	0,849	0,637
9,0	0,926	0,695	0,910	0,683	0,883	0,662	0,836	0,627
10,0	0,919	0,689	0,901	0,676	0,873	0,655	0,820	0,615
11,0	0,913	0,685	0,893	0,670	0,862	0,647	0,807	0,605
12,0	0,906	0,680	0,885	0,664	0,853	0,640	0,794	0,596
13,0	0,899	0,674	0,877	0,658	0,843	0,632	0,781	0,586

З наведених в табл. 2 даних видно, що значення коефіцієнта використання часу зміни зменшується із зменшенням довжини гонів і збільшенням ширини захвату граблів.



Підставивши в (5) значення коефіцієнта використання часу зміни з табл. 2, одержимо продуктивність агрегатів на згрібанні сіна в залежності від довжини гонів. Результати розрахунків представлено в табл. 3.

Таблиця 3.

**Залежність продуктивності агрегатів на згрібанні в залежності від довжини гонів**

Конструктивна ширина захвату граблів, м	Продуктивність агрегатів (га/год) при довжині гону, м			
	1000	800	600	400
3,0	2,06	2,03	2,01	1,95
4,0	2,74	2,71	2,68	2,60
5,0	3,43	3,39	3,34	3,24
6,0	4,05	4,00	3,94	3,76
7,0	4,69	4,62	4,51	4,30
8,0	5,32	5,24	5,09	4,84
9,0	5,94	5,84	5,66	5,36
10,0	6,55	6,42	6,22	5,84
11,0	7,16	7,00	6,76	6,32
12,0	7,75	7,57	7,30	6,79
13,0	8,32	8,13	7,81	7,24

Як видно з (12), для визначення погектарних витрат палива необхідно мати тривалість чистої (основної) роботи та тривалість поворотів агрегатів протягом зміни, а також тривалість зупинок агрегату з працюючим двигуном.

Використовуючи дані табл. 2 та залежності (13) і (14), визначено (табл.4) тривалість чистої (основної) роботи та тривалість поворотів агрегатів протягом зміни.

Таблиця 4

**Результати розрахунків тривалості чистої роботи та сумарної тривалості поворотів агрегатів протягом зміни від довжини гонів**

Ширина захвату, м	Значення тривалості чистої роботи агрегатів протягом зміни $T_p$ , год і сумарної тривалості поворотів $T_{пов}$ , год залежно від довжини гонів, м							
	1000		800		600		400	
	$T_{пов}$	$T_p$	$T_{пов}$	$T_p$	$T_{пов}$	$T_p$	$T_{пов}$	$T_p$
3,0	0,20	5,05	0,25	5,00	0,33	4,93	0,47	4,78
4,0	0,20	5,05	0,25	5,00	0,33	4,93	0,47	4,78
5,0	0,20	5,05	0,25	5,00	0,33	4,93	0,47	4,78
6,0	0,27	4,98	0,34	4,91	0,40	4,84	0,64	4,61
7,0	0,30	4,94	0,38	4,87	0,50	4,75	0,72	4,53
8,0	0,35	4,90	0,43	4,82	0,56	4,70	0,79	4,46
9,0	0,39	4,87	0,47	4,78	0,61	4,63	0,86	4,39
10,0	0,42	4,82	0,51	4,73	0,67	4,59	0,95	4,31
11,0	0,46	4,80	0,56	4,69	0,73	4,53	1,01	4,24
12,0	0,49	4,76	0,60	4,65	0,77	4,48	1,08	4,17
13,0	0,53	4,72	0,64	4,61	0,82	4,42	1,15	4,10

Із даних табл. 4 видно, що збільшення ширини захвату граблів і зменшення довжини гону призводить до зменшення чистого часу роботи і зростання сумарної тривалості поворотів. Тривалість зупинок агрегату з працюючим двигуном визначали так:

$$T_{зуп} = T_{воп} + 0,5T_{цто}, \quad (19)$$

де  $T_{цто}$  – тривалість щоденного технічного обслуговування агрегату, год.

Як видно із (19), тривалість зупинок агрегату з працюючим двигуном не залежить від довжини гонів, і становить:

$$T_{зуп} = 0,5 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ год.}$$

Для розрахунків погектарних витрат палива було прийнято, що під навантаженням трактор витрачає 12, на поворотах 7,5 і на зупинках з працюючим двигуном 2,0 л/год палива [8]. Таким чином, ми одержали всі необхідні дані для розрахунків питомих прямих експлуатаційних витрат при згрібанні граблями різної ширини захвату.

На рис. 2. представлені графічні залежності питомих експлуатаційних витрат від ширини захвату граблів при довжині гонів 1000 і 400 м. Із цього рисунку видно, що приведені експлуатаційні витрати на згрібанні сіна по мірі збільшення ширини захвату від 3 до 6 м зменшуються. При ширині





захвату 5–7 м приймають мінімальні значення і при подальшому зростанні ширини захвату зростають.

Пояснити це можливо тим, що при малій ширині захвату граблів вони мають малу продуктивність (див. табл.3), що призводить до відносно високих експлуатаційних витрат. Зростання питомих експлуатаційних витрат при ширині захвату більше 6 м пов'язане із збільшенням вартості граблів.



Рис. 2. Графіки залежності питомих експлуатаційних витрат на згрібанні сіна від ширини захвату граблів при довжині гонів: 1- 400, 2-1000 м

Із приведених даних можна зробити наступний основний висновок. З метою зменшення собівартості сіна, для його згрібання доцільно використовувати граблі з шириною захвату від 5 до 7 м.

Необхідну ширину захвату граблів можливо також вибрати, виходячи із передбачуваного обсягу заготівлі сіна. На рис. 3. представлені залежності зміни нормативного виробітку граблів від ширини захвату при довжині гонів 1000 і 400 м. Нормативний річний виробіток граблів являє собою добуток продуктивності на нормативне річне завантаження, тобто  $Wt_m$ .

Як видно із рис. 3, при ширині захвату граблів 7 м нормативний річний виробіток становить: при довжині гонів 1000 м 700 га, а при довжині 400 м 630 га. Оскільки згрібання сіна у валки є однократно виконуваною операцією, то при урожайності сіна 40 ц/га це дозволить заготовити 2520 – 2800 т сіна.

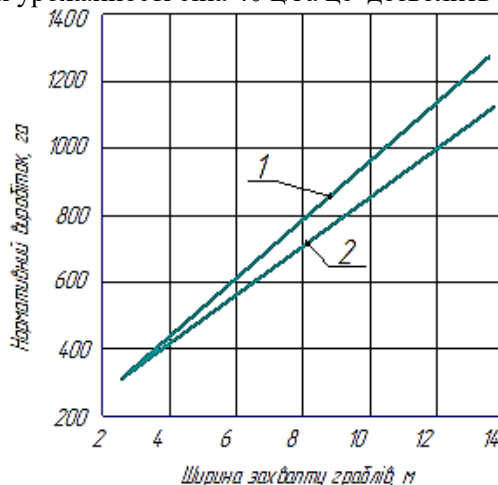


Рис.3. Залежності впливу ширини захвату граблів на їх нормативний річний виробіток при довжині гонів: 1- 1000, 2-400 м

## 5. Висновки та пропозиції

Як і зменшення ширини захвату граблів з керованими граблинами з 6 до 3 м, так і збільшення її понад 6 м призводить до зростання питомих витрат пов'язаних з їх експлуатацією, а тому для зменшення собівартості сіна для його згрібання доцільно використовувати граблі з шириною захвату від 5 до 7 м.

### Список використаних джерел

1. Кондратюк Д. Г., Григоришен В. М., Труханська О. О. Класифікація машин для ворушіння, згрібання і перевертання трав. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. № 2. С. 109–112.
2. Каталог сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / за ред. Тіщенко Л. М., Мельника В. І. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2015. 450 с.
3. Гарькавий А. Д. Технологія – експлуатаційні основи розробки комплексів машин для збирання



- трав: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук: 05.20.01. Київ, 1995. 48 с.
4. Кузьменко В. Ф., Холоддок О. В. Продуктивні технології заготівлі сіна. *Агро Еліта*. 2017. № 5. С. 71–73.
  5. Адамчук В., Булгаков В., Надикто В., Кюрчев В., Камінський В. Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 10 (835). С. 29–36.
  6. Машиновикористання в землеробстві / за ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. Київ: Урожай, 1996. 384 с.
  7. Агротехсервіс. URL : <http://www.agroservice.dp.ua/index.php/selkhoztehnika/traktory-pritsepy/yumz-8244-2-detail> (дата звернення 23.03 2023).
  8. Практикум із машиновикористання в рослинництві: навчальний посібник / Лімонт А.С. та ін. за ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.

#### References

- [1] Kondratyuk, D. H., Hryhoryshen, V. M., Trukhans'ka, O. O. (2009). Klyasifikatsiya mashyn dlya vorushinnya, z'hribannya i perevertannya trav. *Visnyk Dniprepetrovs'koho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*, 2-09, 109–112. [in Ukrainian]
- [2] Tishchenka, L. M., Mel'nyka, V. I. (2015). *Kataloh sil's'kohospodars'koyi tekhniki: navch. posib*. Kharkiv: KHNTUS·H im. P. Vasylenka. [in Ukrainian]
- [3] Har'kavyu, A. D. (1995). Tekhnoloho – ekspluatatsiyni osnovy rozrobky kompleksiv mashyn dlya zbyrannya trav. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv. [in Ukrainian]
- [4] Kuz'menko, V. F., Kholodyuk, O. V. (2017). Produktivni tekhnolohiyi zahotivli sina. *Ahro Elita*, 5, 71–73. [in Ukrainian]
- [5] Adamchuk, V. V. (2022). Doslidzhennya vplyvu shyriny zakhvatu mashynno-traktornoho ahrehatu na yoho ekspluatatsiyni pokaznyky. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, 10 (835), 29–36. [in Ukrainian]
- [6] Il'chenko, V. YU., Nahirnyi, YU. P. (1996). *Mashynovykorystannya v zemlerobstvi*. Kyiv: Urozhay. [in Ukrainian]
- [7] Ahrotekhservis. URL : <http://www.agroservice.dp.ua/index.php/selkhoztehnika/traktory-pritsepy/yumz-8244-2-detail> (data zvernennya 23.03.2023)
- [8] Limont, A. S. (2004). *Praktykum iz mashynovykorystannya v roslynnytstvi: navch. posib*. K.: Kondor. [in Ukrainian]

#### CHOOSING A REASONABLE GRIP WIDTH OF ROTARY RAKES WITH CONTROLLED RAKES

*It is advisable to use rotary rakes with controlled rakes for raking hay in the windrows. On the agricultural machinery market of Ukraine, foreign companies offer models of rotary rakes with controlled rakes, which differ in the width of the grip from 2.8 to 14.0 m, the number of rotors and other features. This creates difficulties in choosing a rake with a rational width of grip. It is possible to choose the rational width of the rake, based on the estimated volume of hay harvesting in the farm and operational costs of money for the performance of mechanized work. It is obvious that with a rational grip width of the rake, operating costs will be minimal. The purpose of the work is to reduce operating costs when harvesting hay by developing an algorithm for choosing a rational rake width with controlled rakes. It was established that the given operating costs for hay raking decrease as the width of the catch increases from 3 to 6 m. At a width of 5-7 m, the minimum values are taken, and with further growth, the width of the grip increases. This is explained by the fact that with a small grip width of rakes, they have low productivity, which leads to relatively high operating costs. The increase in specific operating costs with a width of more than 6 m is associated with an increase in the cost of the rake. In order to reduce the cost of hay, it is advisable to use a rake with a width of 5 to 7 m for its raking. The necessary width of the rake can also be selected based on the estimated amount of hay harvested. Graphical dependences of the change in standard rake production (product of productivity per standard annual loading) on the width of the grip were obtained. It has been established that under the condition of one-time use of a rake with a grip width of 7 m, it will allow harvesting from 2,500 to 2,800 tons of hay per year.*

**Key words:** rotary rake, working width, operating costs, time utilization ratio, standard output.

**F. 19. Fig. 3. Tabl. 4. Ref. 8.**

#### 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>).

**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>).