

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

УДК 631.3.03

ДІДКОВСЬКИЙ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПРОЄКТ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ З
РОЗРОБКОЮ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАБЕЛЬ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. О. Дідковський

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Дідковський Андрій Олександрович. Проект технологічного процесу виробництва кормів з розробкою спеціальних грабель. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В проекті проведено розрахунок технологічного процесу валкування стеблових кормових культур з розробкою спеціальних грабель, які з достатньою якістю виконують процес валкування та перевертання скошеної маси комів.

Виконано рорахунок експлуатаційно-технологічних показників роботи спроектованого машино-тракторного агрегату (МТА), які підтверджують ефективність запропонованих конструкційних та технологічних рішень в роботі. Встановлено питомі експлуатаційні параметри роботи проектного МТА з врахуванням конструкційних змін самої машини з ротаційними робочими органами.

Визначено основні параметри колісно-пальцевого робочого органу розроблених грабель, проведено розрахунок діаметра прутків робочого колеса, конструктивних параметрів пружини для утримання робочих коліс.

Отримані техніко-економічні показники роботи машини, що свідчать про доцільність використання розроблених грабель під час виконання операції згрібання сіна у валки в порівнянні з аналогом ГВК-6, за умови використання в однакових умовах. Спостерігається зростання затрат праці на 2,7 %, але відбулося зменшення прямих експлуатаційних затрат на 16,58 %, та приведених на 14,9 %.

Ключові слова: валкові граблі, процес згрібання, машино-тракторний агрегат, робоче колесо, пружний палець.

ABSTRACT

Andriy Didkovsky. Technological process project fodder production with the development of special rakes. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining the first bachelor's degree in specialty 208 Agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

In the project, the calculation of the technological process of rolling of stem fodder crops was carried out with the development of special rakes, which perform the process of rolling and turning the mown mass of bales with sufficient quality.

The calculation of operational and technological performance indicators of the designed machine-tractor unit (MTA) was performed, which confirm the effectiveness of the proposed design and technological solutions in operation. The specific operating parameters of the design MTA have been established, taking into account structural changes of the machine itself with rotary working bodies.

The main parameters of the wheel-finger working body of the developed rake were determined, the diameter of the bars of the working wheel, the design parameters of the spring for holding the working wheels were calculated.

The obtained technical and economic performance indicators of the machine testify to the expediency of using the developed rake during the operation of raking hay in windrows in comparison with the GVK-6 analogue, provided it is used in the same conditions. Labor costs increased by 2.7%, but direct operating costs decreased by 16.58% and reduced by 14.9%.

Key words: roller rake, raking process, machine-tractor unit, working wheel, elastic finger.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВАЛКОУТВОРЕННЯ	
1.1. Розрахунок операції валкоутворення сіна.....	7
Висновок до розділу 1.....	16
2. РОЗРОБКА ГРАБЕЛЬ ДЛЯ ВОРУШІННЯ І ЗГРІБАННЯ СІНА У	
ВАЛОК	
2.1. Аналіз існуючих робочих органів грабель та їх недоліки.....	18
2.2. Будова та технологічний процес роботи модернізованої машини.....	20
2.3. Розрахунок основних параметрів колісно-пальцевого робочого органу розроблених грабель.....	20
2.4. Розрахунок діаметра прутків робочого колеса.....	23
2.5. Розрахунок конструктивних параметрів пружини для утримання коліс.....	25
Висновки до розділу 2.....	29
3. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОКИ	
3.1. Техніко-економічні показники роботи МТА.....	30
Висновки до розділу 3.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36
ДОДАТКИ.....	38

ВСТУП

Актуальність теми. У виробництві кормів особлива увага повинна приділятися засобам механізації. Оскільки завдяки їм вдається заготувати лише якісні грубі та соковиті корми.

Технології постійно вдосконалюються, що дозволяє розширити можливості засобів механізації. Це спонукає підвищити рівень якості заготівельних робіт і ефективність праці за рахунок оптимізації робочих швидкостей, збільшення ширини захвату, застосування модернізованих вузлів і деталей машин, проектування машин для інтенсифікації процесу сушіння трав в польових умовах, проведення комбінованих технологічних операцій, раціональне застосування самохідних машин [2, 25].

Удосконалення технологій збирання грубих кормів полягає у впровадженні прогресивних сучасних способів збирання. Запровадження швидкого пресування сіна в рулони та тюки прямокутної і циліндричної форми, що дозволяє механізувати процес виробництва, знизити показники затрат праці і втрат цінної листової частини, ти самим підвищити якість кормів.

Найбільшою проблемою є проведення робіт по валкуванню та перевертанню покосів, де відбувається найінтенсивніша без поворотна втрата матеріалу. Тому тема проекту з модернізації і розробки процесу валкування, є актуальною і своєчасною.

Мета проекту: розроблення технологічного процесу збирання кормів, шляхом розробки робочих органів машини для валкування маси.

Завдання проекту:

- провести аналіз конструкцій існуючих машин для валкоутворення та перевертання скошеної маси;
- виконати проектування робочого органу валкових грабелів та встановити його технологічні показники;

- провести розрахунок питомих та приведених експлуатаційних показників роботи удосконаленої машини.

Об'єктом розробки є - технологічний процес валкоутворення стеблової маси корму.

Предмет удосконалення – взаємозв'язок між конструкційними та технологічними параметрами роботи машини.

Методи використані при проектуванні. Розрахунки виконувались із застосуванням механіко-технологічного моделювання, теорії деталей машин і механізмів, числові методи розв'язку задач.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Заєць М. Л. **Обґрунтування параметрів робочого колеса грабель** / М. Л. Заєць, А. О. Дідковський // Зб. Тез *IX Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 5 квітня 2023 р. Житомир: ЖАТК, 2023. С.13-16.
2. Заєць М. Л. **Розрахунок технологічних параметрів колісно-пальцевого робочого органу**/ М. Л. Заєць, А. О. Дідковський // Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С.13-16.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменування. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінок комп'ютерного тексту, 5 рисунків та 2 таблиці.

1. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВАЛКОУТВОРЕННЯ

1.1. Розрахунок операції валкоутворення сіна

Вихідні дані до розрахунку операції валкоутворення:

розміри поля: довжина 500 м; ширина 400 м;

— нахил місцевості: $i = 3 \%$;

— МТА: ХТЗ-25 + розроблені граблі.

Робочими органами грабель валкоутворювача є пальцеві колеса, тому основні технологічні параметри для розрахунку візьмемо як аналог граблі ГВК-6.

Інтервал робочих швидкостей для роботи з під час виконання операції згрібання сіна у валки 8,0...10 км/год.

З тягової характеристики трактора ХТЗ-25 це відповідає другій передачі ($V_p = 6,12$ км/год, $P_{крн} = 7,6$ кН), третій передачі ($V_p = 7,2$ км/год, $P_{крн} = 6,5$ кН) четвертій передачі ($V_p = 9,4$ км/год, $P_{крн} = 4,9$ кН) [13, 24].

Сумарний опір агрегату буде рівний

$$R_{азр} = R_m + G_m \left(\frac{i}{100} + f \right), \quad (1.1)$$

де R_m – опір машини, кН;

G_m – вага машини, кН;

f – коефіцієнт опору кочення опорних коліс грабель;

i – нахил місцевості, %,

$$R_m = k_0 \left(1 + (V_p - V_o) \frac{\Delta c}{100} \right) \cdot B_p, \quad (1.2)$$

де k_0 – питомий опір грабель при швидкості руху агрегату, кН/м;

V_p – робочо швидкість агрегату на вибраній передачі, м/с;

Δc – темп наростання тягового опору, $\Delta c = 3\%$ [13, 24];

V_0 – значення швидкості руху агрегату, при якій визначаємо k_0 , $V_0 = 1,4$ м/с;

B_p – робоча ширина захвату грабелів під час згрібання сіна у валок, $B_p = 1,7$ м.

Розрахуємо даний опір агрегату на різних передачах, що входять в інтервал технологічних швидкостей.

На 2-ій передачі

$$R_{m2} = 0,9 \left(1 + (1,7 - 1,4) \frac{3}{100} \right) \cdot 1,7 = 1,54 \text{ кН.}$$

На 3-ій передачі

$$R_{m3} = 0,9 \left(1 + (1,98 - 1,4) \frac{3}{100} \right) \cdot 1,7 = 1,56 \text{ кН.}$$

На 4-ій передачі

$$R_{m4} = 0,9 \left(1 + (2,61 - 1,4) \frac{3}{100} \right) \cdot 1,7 = 1,59 \text{ кН.}$$

Тоді загальний опір агрегату на вибраних передачах:

$$R_{azp2} = 1,54 + 4 \cdot \left(\frac{3}{100} + 0,06 \right) = 1,9 \text{ кН.}$$

$$R_{azp3} = 1,56 + 4 \cdot \left(\frac{3}{100} + 0,06 \right) = 1,92 \text{ кН.}$$

$$R_{azp4} = 1,59 + 4 \cdot \left(\frac{3}{100} + 0,06 \right) = 1,95 \text{ кН.}$$

Виходячи з тягової характеристики трактора ХТЗ-25, бачимо, що тягове зусилля на всіх передачах є більша від опору агрегату, тобто виконується умова:

$P_{кн} > R_{azp}$, вибираємо робочу передачу з умови: швидкість на вибраній передачі

має бути найбільша, щоб була вища продуктивність агрегату, і щоб коефіцієнт використання тягового зусилля трактора був найвищий і не перевищував 0,95.

Визначаємо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора на вибраних передачах:

$$\xi = \frac{R_{азр}}{P_{кн} - (G_m \frac{i}{100} + f_m)}, \quad (1.3)$$

де G_m – вага трактора, кН.

f_m – коефіцієнт опору кочення опорних коліс трактора.

Тоді

$$\xi_{p2} = \frac{1,9}{7,6 - 17,6 \cdot (\frac{3}{100} + 0,08)} = 0,34;$$

$$\xi_{p3} = \frac{1,92}{6,5 - 17,6 \cdot (\frac{3}{100} + 0,08)} = 0,42;$$

$$\xi_{p4} = \frac{1,95}{4,9 - 17,6 \cdot (\frac{3}{100} + 0,08)} = 0,66.$$

Виходячи з даних розрахунків для трактора ХТЗ-25 вибираємо 4 передачу для якої $V_p = 9,4$ км/год (2,61 м/с); $P_{кн} = 4,9$ кН, $N_{ен} = 12,5$ кВт, а витрати палива на вибраній передачі $G = 4,08$ кг/год, на даній передачі коефіцієнт використання тягового зусилля буде становити 0,66 [24].

Визначаємо коефіцієнт використання номінальної потужності двигуна

$$\eta_{ед} = \frac{N_{кр}}{N_{ен}}, \quad (1.4)$$

де $N_{кр}$ – гакова потужність трактора, кВт,

$$N_{кр} = \frac{R_{азр.} \cdot V_p}{3,6} = \frac{1,95 \cdot 9,4}{3,6} = 5,09 \text{ кВт.} \quad (1.5)$$

Тоді

$$\eta_{ед} = \frac{5,09}{12,5} = 0,41.$$

Потужність двигуна використовується на 41 %.

Визначимо показники роботи агрегату в полі і підготовки його роботи.

Визначаємо кінематичні параметри агрегату та показники використання робочих і холостих ходів.

Радіус повороту агрегату,

$$R = R_0 \cdot K_R, \quad (1.6)$$

де R_0 – радіус повороту при швидкості руху 5 км/год [2];

K_R – коефіцієнт пропорційності, відносно швидкості повороту [24].

$$R = 1,4 \cdot 1,7 \cdot 1,62 = 3,86 \text{ м.}$$

Кінематична довжина агрегату, як сума кінематичних довжин трактора l_m та грабелів l_M , тобто

$$l_k = l_m + l_M, \quad (1.7)$$

де l_m – кінематична довжина трактора, м;

l_M – кінематична довжина грабелів в режимі згрібання сіна, м,

$$l_k = 1,0 + 5,5 = 6,5 \text{ м.}$$

Кінематична ширина агрегату

$$d_k \approx \frac{B_{аз}}{2}, \quad (1.8)$$

де $B_{аз}$ – конструктивна ширина захвату під час виконання операції згрібання сіна, м;

$$d_k \approx \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ м.}$$

Довжина виїзду агрегату

$$e = (0,1 \dots 0,2) l_k - \text{ для навісних агрегатів;} \quad (1.9)$$

$$e = 0,1 \cdot 6,5 = 0,65 \text{ м.}$$

Приймаємо, що агрегат по полю рухається човниковим способом, а тип повороту – петлевий грушоподібний.

Тоді, мінімальна ширина поворотної смуги буде рівна:

$$E_{\min} = 2,8R + e + d_k; \quad (1.10)$$

$$E_{\min} = 2,8 \cdot 2,58 + 0,65 + 0,85 = 12,31 \text{ м.}$$

Ширина поворотної смуги має бути кратне ширині захвату агрегату, отже фактична ширина поворотної смуги рівну $E_{\phi} = 13,6 \text{ м.}$

Тоді довжина робочого ходу буде:

$$L_p = L - 2E_{\phi}, \quad (1.11)$$

де L_p – довжина поля, м,

$$L_p = 500 - 2 \cdot 13,6 = 472,8 \text{ м.}$$

Довжина холостого повороту:

$$l_x = 7R + 2e, \quad (1.12)$$

$$l_x = 7 \cdot 3,86 + 2 \cdot 0,65 = 28,32 \text{ м.}$$

Тоді кількість робочих ходів n_p і холостих n_x на полі буде рівна:

$$n_p = \frac{C}{B_{agr}}, \quad (1.13)$$

$$n_x = \frac{C}{B_{agr}} - 1 = n_p - 1,$$

де C – ширина поля, м;

B_{agr} – ширина захвату агрегату, м,

$$n_p = \frac{400}{1,7} = 235,3; \quad n_x = 235,3 - 1 = 234,3.$$

Приймаємо: $n_p = 236$, $n_x = 235$.

Визначаємо показники роботи агрегату на загоні.

Коефіцієнт робочих ходів визначаємо за формулою

$$\varphi = \frac{L_p n_p}{L_p n_p + l_x n_x}, \quad (1.14)$$

$$\varphi = \frac{472,8 \cdot 236}{472,8 \cdot 236 + 28,32 \cdot 235} = 0,94.$$

Тривалість циклу роботи агрегату на загоні

$$t_u = t_{pu} + t_{xu} = \frac{2L_p}{V_p 60} + \frac{2l_x}{V_x 60}, \quad (1.15)$$

де t_{pu} ; t_{xu} – затрати часу за цикл відповідно на робочий хід і повороти, хв;

V_p – робоча швидкість руху агрегату, м/с;

V_x – швидкість руху агрегату на поворотах, м/с,

$$t_u = \frac{2 \cdot 472,8}{2,61 \cdot 60} + \frac{2 \cdot 28,32}{1,36 \cdot 60} = 6,04 + 0,69 = 6,73 \text{ хв.}$$

Кількість циклів агрегату за зміну

$$n_u = \frac{T_{zm} - T_{nz} - T_{omd}}{t_u}, \quad (1.16)$$

де T_{zm} – тривалість часу зміни, хв;

T_{nz} – підготовчо-заклучний час, хв;

T_{omd} – час регламентованих перерв на відпочинок, хв.

$$T_{nz} = T_{eto} + T_{nn} + T_{nnk} + T_{nn}, \quad (1.17)$$

де $T_{\text{ето}}$ – час на технічне обслуговування комбайна, хв;

$T_{\text{пт}}$ – час на підготовку агрегату до переїздів, хв;

$T_{\text{пнк}}$ – час на переїзди на початку і в кінці зміни, хв;

$T_{\text{пн}}$ – час на одержання наряду і здачу роботи, хв [24].

$$T_{\text{пз}} = 30 + 5 + 35 + 10 = 80 \text{ хв.}$$

Тоді

$$n_u = \frac{420 - 80 - 40}{6,73} = 44,58. \text{ Приймаємо } n_u = 45.$$

Чистий робочий час за зміну

$$T_p = t_u \cdot n_u, \quad (1.18)$$

$$T_p = 6,73 \cdot 45 = 302,85 \text{ хв.}$$

Дійсний час зміни

$$T_{\text{сд}} = t_u \cdot n_u + T_{\text{пз}} + T_{\text{отд}}, \quad (1.19)$$

$$T_{\text{сд}} = 6,73 \cdot 45 + 80 + 40 = 422,85 \text{ хв} = 7,05 \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни

$$\tau = \frac{T_p}{T_{\text{сд}}}, \quad (1.20)$$

$$\tau = \frac{302,85}{422,85} = 0,72.$$

Продуктивність агрегату за зміну

$$W_{\text{зм}} = 0,1 B_p V_p T_{\text{зм}} \tau, \quad (1.21)$$

$$W_{\text{зм}} = 0,1 \cdot 1,7 \cdot 9,4 \cdot 7 \cdot 0,72 = 8,05 \text{ га/зм.}$$

Продуктивність агрегату за годину чистого часу:

$$W_{\text{годч}} = \frac{W_{\text{зм}}}{T_p} = \frac{8,05}{5,04} = 1,6 \text{ га/год.} \quad (1.22)$$

Продуктивність агрегату за годину змінного часу:

$$W_{\text{годзм}} = \frac{W_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}}} = \frac{8,05}{7} = 1,15 \text{ га/год.}$$

Визначимо експлуатаційні затрати роботи агрегату.

Погектарна витрата палива

$$Q = \frac{G_{mp}T_p + G_{mx}T_x + G_{mo}T_o}{W_{\text{зм}}}, \quad (1.23)$$

де G_{mp} ; G_{mx} ; G_{mo} – середня годинна витрата палива, кг/год, відповідно при робочому ході, при холостому русі і при зупинках трактора з працюючим двигуном;

T_x – загальний час на повороти і переїзди, год;

T_o – час на зупинки з працюючим двигуном за зміну, год.

$$T_x = t_{xц} \cdot n_{ц} + T_{\text{пнп}}, \quad (1.24)$$

$$T_x = 0,69 \cdot 45 + 35 = 66 \text{ хв} = 1,1 \text{ год.}$$

$$T_o = T_{\text{отд}} + 0,5T_{\text{ето}} + T_{\text{пн}} + T_{\text{пн}} ,$$

$$T_o = 40 + 0,5 \cdot 30 + 5 + 10 = 70 \text{ хв} = 1,17 \text{ год.}$$

Тоді

$$Q = \frac{4,08 \cdot 5,04 + 2,5 \cdot 1,1 + 0,8 \cdot 1,17}{8,05} = 3,01 \text{ кг/га.}$$

Затрати праці на одиницю виконаної роботи

$$H = \frac{m \cdot T_{\text{сд}}}{W_{\text{зм}}}, \quad (1.25)$$

де m – загальна кількість робітників, що обслуговують агрегат;

$$H = \frac{2 \cdot 7,05}{8,05} = 1,75 \text{ людгод/га.}$$

Питомі затрати на амортизацію трактора Т-25А

$$S_{\text{ат}} = \frac{(a_{\text{рт}} + a_{\text{кт}} + a_{\text{тот}})B_{\text{т}}}{100 \cdot T_{\text{р}} \cdot W_{\text{год}}}, \quad (1.26)$$

де $a_{\text{рт}}$, $a_{\text{кт}}$, $a_{\text{тот}}$ – норми річних відрахувань відповідно на реновацію, капітальний ремонт, технічне обслуговування і поточний ремонт, %;

$B_{\text{т}}$ – балансова вартість трактора, грн;

$T_{\text{р}}$ – річне завантаження трактора, год;

$W_{\text{год}}$ – годинна продуктивність агрегату, га/год,

$$S_{\text{ат}} = \frac{(16,6 + 2,7 + 13) \cdot 75000}{100 \cdot 900 \cdot 1,15} = 23,41 \text{ грн/га.}$$

Питомі затрати на амортизацію розроблених грабелів

$$S_{\text{ам}} = \frac{(a_{\text{рм}} + a_{\text{том}})B_{\text{м}}}{100 \cdot T_{\text{рм}} \cdot W_{\text{год}}}, \quad (1.27)$$

де $a_{\text{рм}}$, $a_{\text{том}}$ – норми річних відрахувань відповідно на реновацію та технічне обслуговування і поточний ремонт, %;

$B_{\text{м}}$ – балансова вартість машини, грн;

$T_{\text{рм}}$ – річне завантаження машини, год;

$W_{\text{год}}$ – годинна продуктивність агрегату, га/год,

$$S_{\text{ам}} = \frac{(16,6 + 10) \cdot 19000}{100 \cdot 150 \cdot 1,15} = 29,3 \text{ грн/га.}$$

Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали

$$S_{\text{пм}} = Q \cdot C_{\text{пм}} \quad (1.28)$$

де Q – погектарна витрата палива на даній роботі, кг/га;

$C_{\text{пм}}$ – ціна комплексна 1 кг палива, грн,

$$S_{\text{пм}} = 3,01 \cdot 45,8 = 137,46 \text{ грн/га.}$$

Питомі затрати на основну зарплату

$$S_{зп} = \frac{k_1(m_{тр}f_1 + m_дf_д)}{W_{зм}}, \quad (1.29)$$

де $m_{тр}$, $m_д$ – відповідно число механізаторів і допоміжних робітників;

f_1 , $f_д$ – денні тарифні ставки для оплати праці відповідно механізатора і допоміжних робітників, грн/зм,

k_1 – коефіцієнт доплати за якість роботи,

$$S_{зп} = \frac{1,1 \cdot (750 + 60)}{8,05} = 108,45 \text{ грн/га.}$$

Сумарні прямі експлуатаційні затрати на одиницю виконаної роботи

$$S_o = S_{ат} + S_{ам} + S_{пм} + S_{зп}, \quad (1.30)$$

$$S_o = 23,41 + 29,3 + 137,46 + 108,45 = 288,61 \text{ грн/га.}$$

Приведені затрати на роботу агрегату

$$S_{пр} = S_o + \frac{E_k}{W_{годзм}} \cdot \left(\frac{B_{т}}{T_p} + \frac{B_{м}}{T_{рм}} \right), \quad (1.31)$$

де E_k – коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_k = 0,15$;

$$S_{пр} = 288,61 + \frac{0,15}{1,15} \cdot \left(\frac{75000}{900} + \frac{19000}{150} \right) = 316 \text{ грн/га.}$$

На основі отриманих даних розроблена операційна карта виконання операції згрібання сіна у валок розробленими граблями.

Висновок до розділу 1

1. Для виконання операцій валкоутворення трав та інтенсифікації сушіння до вологості 17 % і отримання сіна, запропонували використати розроблені граблі, що агрегуються з трактором ХТЗ-25. Дані граблі також виконують

операцію згрібання сіна у валки перед збиранням шляхом підбирання і пресування в паки прямокутної чи рулони циліндричної форми.

2. Основні техніко-економічні показники виконання операції становлять:
продуктивність за зміну – 8,05 га/зм; витрата палива – 3,01 кг/га; затрати праці – 0,59 люд.год/га; прямі експлуатаційні затрати – 288,61 грн/га; приведені експлуатаційні затрати – 316 грн/га.

2. РОЗРОБКА ГРАБЕЛЬ ДЛЯ ВОРУШІННЯ І ЗГРІБАННЯ СІНА У ВАЛОК

2.1. Аналіз існуючих робочих органів грабелів та їх недоліки

При класифікації всі конструкції грабелів можна об'єднати в групи в залежності від характеру і параметрів формування валків по відношенню до напрямку руху і принципу виконання технологічного процесу (рис. 2.1).

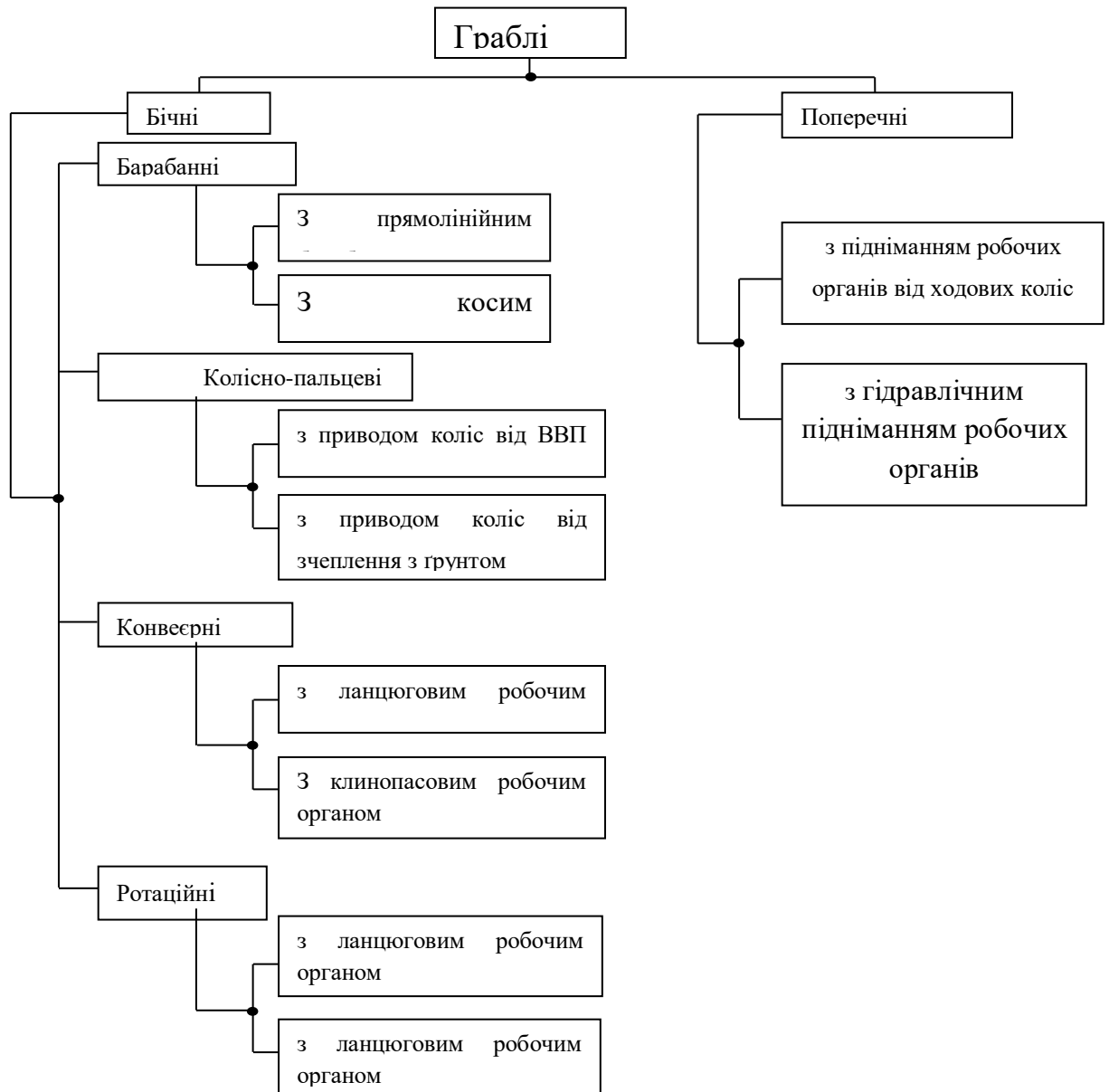


Рис. 2.1. Класифікація грабелів

По принципу роботи граблі розподіляються на поперечні і бічні.

Поперечні граблі згрібають сіно у валок робочим органом – зубовим грабельним апаратом, що зображений на рис. 2.2.

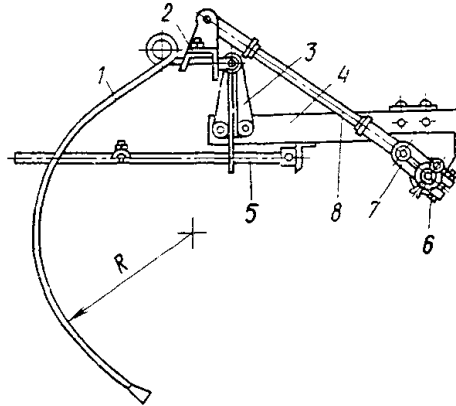


Рис. 2.2. Зубовий грабельний апарат поперечних грабель:

1 – зуб; 2 – брус; 3 – кронштейн; 4 – рама; 5- очисний пруток; 6 – вал піднімача; 7 – кривошип; 8 – тяга піднімача.

Колісно-пальцевий робочий орган представляє собою колесо, що складається з втулки 1 (рис. 2.3), спиць 2 і пружинних пальців 3, пропущених через отвори в ободі 4 і закріплених на кільці 5. Колесо встановлене під кутом 45° до напрямку руху і в роботі опирається на ґрунт.

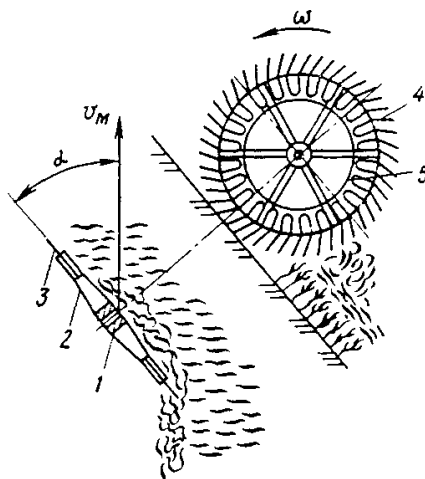


Рис. 2.3. Колісно-пальцевий робочий орган:

1 – втулка; 2 – спиця; 3 – пальці; 4 – обід; 5 – кільця.

Недоліком даного робочого органу є недостатня міцність колеса, та низька якість виконання проесу ворущіння та валкоутворення, це пов'язано з недосконалою конструкцією грабельних пальців.

2.2. Будова та технологічний процес роботи модернізованої машини

Граблі є аналогом за конструкцією до ГВК-6, вони є бічної дії, утворюють безперервний валок і можуть агрегатуватися трактором класу тяги 0,6. Граблі складаються з рами 1, що має три опорних рушія: кут встановлення до напрямку руху яких можна змінювати за допомогою системи важелів.

Важелі дозволяють повернути колеса навколо вертикальної осі механізму кріплення їх до рами, кріплення коліс до рами здійснюється шарнірно через важіль, що дає можливість їх легко переводити у транспортне положення.

Принцип дії розроблених грабель аналогічний граблям ГВК-6, На рамі передбачено три вузла кріплення лонжеронів для агрегування з трактором ХТЗ-25.

2.3. Розрахунок основних параметрів колісно-пальцевого робочого органу розроблених грабель

В процесі згрібання трави пальці колісно-пальцевих грабель здійснюють складний рух. Вони рухаються по напрямку переносної швидкості разом з агрегатом і обертаються навколо осей коліс. Обертання коліс здійснюється за рахунок їх контакту з ґрунтом (рис. 2.4) [16].

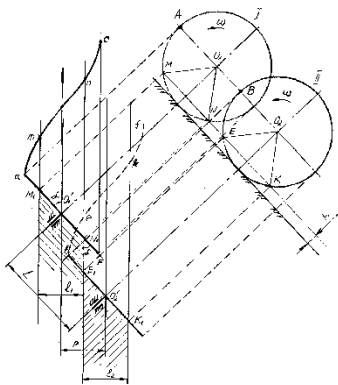


Рис. 2.4. Схема для визначення параметрів колісно-пальцевих грабель

Проекції траєкторії руху пальців *A* колеса *I* (крива *amnc*) і *B* колеса *II* (крива *btkf*) зображені на рисунку 2.4.

Палець *A* колеса *I* згрібає (умовно) траву на ділянці траєкторії *mn*. Всі решта пальців цього колеса описують такі ж траєкторії і починають згрібати з лінії *M, m*, а закінчуються на лінії *N, n*. Тому після проходу колеса *I* траву зі смуги шириною *l*, згрібають і у вигляді невеликого валка вкладають правіше лінії *N, n*.

Пальці колеса *II* починають згрібати з лінії *E, e* і закінчують на лінії *K, k*. При цьому вони переміщують траву, що зібрано колесом *I*, і згрібають її зі смуги шириною $l_2=l$.

Процес формування валка продовжується до тих пір, поки трава не зійде з останнього колеса.

Так як пальці в роботі опираються на ґрунт, то умова, за якої граблями забезпечуються чисте згрібання трави має вигляд

$$h \leq h_{min}, \quad (2.1)$$

де *h* – віддаль від самого нижнього положення кінця пальців (від поверхні землі) до лінії перетину траєкторій кінців пальців сусідніх коліс (висота гребеня);

h_{min} – мінімальна висота розташування трави від ґрунту. Враховуючи, що висота стерні становить 80 мм, то для розрахунків можна прийняти $h = h_{min}=80$ мм.

Прийнявши діаметр колеса 1200 мм можемо розрахувати ширину захвату одного колеса, тобто l_1 .

Спочатку знайдемо віддаль *MN* (рис. 2.4), тобто відрізок, що утворюється внаслідок перетину колеса горизонтальною площиною на висоті *h* від поверхні землі.

$$l_{MN} = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2Rh - h^2} = \sqrt{2Rh - h^2}, \quad (2.2)$$

де *R* – радіус колеса, м.

Тоді

$$l_{MN} = \sqrt{2 \cdot 600 \cdot 80 - 80^2} = 430,81 \text{ мм}.$$

Ширина захвату одного колеса рівна, м

$$l_1 = l_{MN} \cdot \sin \alpha, \quad (2.3)$$

де α – кут встановлення колеса до напрямку руху, град;

$$l_1 = 430,81 \cdot \sin 50^\circ = 330 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}.$$

Отже ширина захвату грабелів буде рівна

$$B = l_1 \cdot n, \quad (2.4)$$

де n – кількість коліс, що монтуються на рамі, приймаємо $n=5$;

$$B = 330 \cdot 5 = 1650 \text{ мм} = 1,65 \text{ м}.$$

Ширина захвату грабелів можемо прийняти рівною 1700 мм під час згрібання, та 3000 мм під час ворушіння трави.

Розрахуємо крім того віддаль між двома сусідніми колесами, тобто віддаль $l_{E,F}$ (рис. 3.4).

З даного рисунка бачимо, що

$$l_{E,F} = (L - l_{MN}) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.5)$$

де L – це віддаль між осями кріплення коліс на рамі. З конструктивних міркувань приймаємо $L=705$ мм.

Тоді

$$l_{E,F} = (705 - 330) \cdot \operatorname{tg} 50^\circ = 447 \text{ мм}.$$

Даної віддалі є достатньо для доброї роботи кожного з коліс, тобто колеса не будуть заважати одне одному.

2.4. Розрахунок діаметра прутків робочого колеса

Діаметр прутка визначимо з розрахунку його на міцність. Для цього нам необхідно визначити силу, що діє на пруток з боку маси матеріалу. Спочатку визначимо масу, що буде перекидатися одним пальцем. З конструктивних міркувань на одному диску закріплено 32 пальці, що обертаються по діаметру $D=1200$ мм. Розрахункова схема зображена на рис. 2.5 [3, 16].

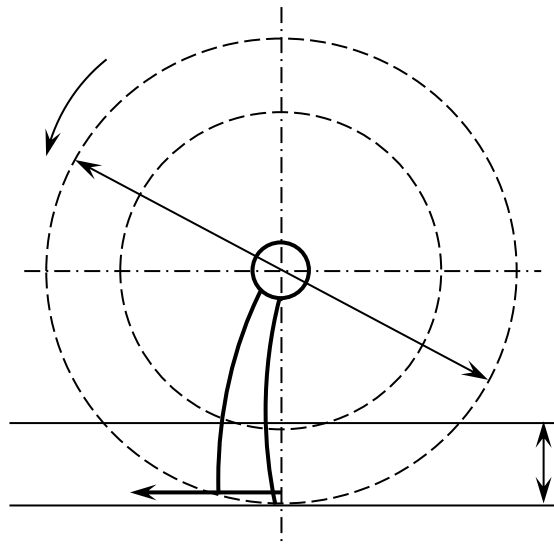


Рис. 2.5. Схема для розрахунку діаметра пальця

Найбільше навантаження буде під час ворущіння сіна, а одне колесо буде обробляти смугу шириною

$$b_d = \frac{B_e}{n}, \quad (2.6)$$

де b_d – ширина смуги, що обробляє одне колесо, м;
 B_e – ширина захвату грабелів, під час ворущіння сіна, м.

$$b_d = \frac{3}{5} = 0,6 \text{ м.}$$

Вага одного погонного метра покосів буде рівна

$$g_{cnp} = \frac{I \cdot b_d}{10000}, \quad (2.7)$$

де I – врожайність трави, кг/га;

$$g_{cnp} = \frac{20000 \cdot 0,6}{10000} = 1,2 \text{ кг} / \text{м}.$$

Сила P_1 , або вага трави, що припадає на один пруток

$$P_1 = g_{np} = \frac{g_{cnp} \cdot \pi \cdot D}{n_{прут}}, \quad (2.8)$$

де $n_{прут}$ – кількість прутків, що кріпиться на колесі.

$$P_1 = g_{np} = \frac{1,2 \cdot 3,14 \cdot 1,2}{32} = 0,15 \text{ кг} = 1,5 \text{ Н}.$$

Загальний момент, що діє на пруток буде рівний

$$M_{32} = P_1 \cdot \frac{D}{2} = 1,5 \cdot \frac{1,2}{2} = 0,9 \text{ Нм}.$$

Як вже відзначили, діаметр прутка визначимо з умови міцності

$$[\delta_{32}] \geq \frac{M_{32}}{W} = \delta_{32}, \quad (2.9)$$

де $[\delta_{32}]$ та δ_{32} – дійсне та допустиме напруження на згин. Для пружної сталі

приймаємо $[\delta_{32}] = 350 \text{ МПа}$ [1];

M_{32} – згинальний момент, Нм;

W – полярний момент опору січення, м³.

Оскільки полярний момент опору круглого січення буде рівний

$$W = \frac{nd^3}{32}, \quad (2.10)$$

де d – діаметр прутка, м;

Підставивши це значення у формулу (2.9) та визначивши діаметр отримаємо

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 350 \cdot 10^6}} = 2,97 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,97 \text{ мм}.$$

Враховуючи додаткове навантаження під час згрібання, необхідно прийняти діаметр рівний 6 мм.

Прогин прутка буде рівний

$$\delta_{np} = \frac{P_1 \cdot l^3}{3E \cdot I_z}, \quad (2.11)$$

де E – модуль пружності;

I_z – основний момент інерції, м^4 ;

l – довжина прутка, м.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,006^4}{64} = 6,36 \cdot 10^{-11} \text{ м}^4.$$

$$\delta_{np} = \frac{1,5 \cdot 0,195^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 6,36 \cdot 10^{-11}} = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Прогин прутка є не значний і не впливає на процес валкоутворення матеріалу.

2.5. Розрахунок конструктивних параметрів пружини для утримання коліс

Дана пружина призначена для зменшення тиску на ґрунт коліс під час виконання технологічного процесу ворущіння або згрібання сіна.

Отже необхідно розрахувати пружину розтягу, що деформується на величину $L_d=374$ мм, при довжині в стані спокою $l_{cn}=125$ мм.

Вихідні дані для розрахунку: сила попередніх деформацій $F_1=250$ Н, сила пружини при робочій деформації (відповідає найбільшому розтягу пружини) $F_2=950$ Н, робочий хід пружини $h_p=180$ мм; задаємо витривалість пружини $N=10^6$ [1].

Згідно витривалості пружини $N=10^6$, пружину відносимо до першого класу *I*.

Сила F_3 для граничних значень інерційного зазору рівна

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}, \quad (2.12)$$

де δ - інерційний зазор ($\delta=0,05 \div 0,25$).

Тоді

$$F_3 = \frac{950}{1 - 0,05} = 1000 \text{ Н}.$$

Задаємось діаметром дроту $d = 5$ мм, тоді згідно формули

$$C_{II} = \frac{1000 \cdot d^4}{D_o^3 \cdot n}, \quad (2.13)$$

де C_{II} – жорсткість пружини, кг/мм;

d – діаметр дроту, мм;

D_o – середній діаметр пружини, мм;

n – кількість витків пружини.

$$n = \frac{l_{cn}}{d}, \quad (3.14)$$

де l_{en} – довжина активної частини пружини у вільному стані.

Визначаємо середній діаметр пружини для заданих умов

$$C_{II}=0,39 \text{ кг/мм}, d=5 \text{ мм}, h=125/5=25.$$

Тоді

$$D_0 = \sqrt[3]{\frac{1000 \cdot 5^4}{0,39 \cdot 25}} = 40 \text{ мм},$$

$$D = 40 + 5 = 45 \text{ мм}.$$

Підберемо марку пружинного дроту, щоб пружина витримувала циклічні навантаження розтягу і стиску.

Напруження, що виникають в дроті

$$\tau_3 = k \cdot \frac{8 \cdot F_3 \cdot D_0}{\pi d^3}, \quad (2.15)$$

де k – коефіцієнт, що враховує кривизну витків пружини

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c}, \quad (2.16)$$

де c – індекс жорсткості пружини,

$$c = \frac{D_0}{d} = \frac{40}{5} = 8.$$

Тоді

$$k = \frac{4 \cdot 8 - 1}{4 \cdot 8 - 4} + \frac{0,615}{8} = 1,184,$$

$$\tau = 1,184 \cdot \frac{8 \cdot 100 \cdot 40}{3,14 \cdot 5^3} = 56,5 \text{ кг/мм}^2 = 565 \text{ МПа}.$$

Пружина I групи виготовлена з дроту $d=5$ мм, ширина сталі якого 50×ФА ДСТУ 14959-99 (твердість після термічної обробки 46-52HRC) межа міцності $[\tau_3]=610$ МПа [1].

Максимальна деформація пружини

$$\lambda = \frac{8F_3 \cdot D_0^3 \cdot n}{G \cdot d^4}, \quad (2.17)$$

де G – модуль зсуву для пружини,

$$G = 8 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{мм}^2,$$

$$\lambda = \frac{8 \cdot 100 \cdot 40^3 \cdot 25}{8 \cdot 10^3 \cdot 5^4} = 256 \text{ мм}.$$

Як бачимо деформація пружини є достатньою.

Розрахуємо необхідні конструкційні параметри.

Попередня деформація:

$$h_n = \frac{F_1}{C_{II}} = \frac{250}{3,9} = 64 \text{ мм};$$

Робоча деформація:

$$h_p = \frac{F_2}{C_{II}} = \frac{700}{3,9} = 180 \text{ мм};$$

Максимальна деформація:

$$h_{max} = \frac{1000}{3,9} = 256,4 \text{ мм}.$$

Запропонована пружина з розрахованими параметрами забезпечує роботи робочих органів розроблених грабелів.

Висновки до розділу 2

1. Запропоновані граблі мають незначну ширину захвату і агрегуються з тракторами класу 0,6.

2. Розрахована ширина захвату грабелів під час згрібання сіна у валок становить 1,65 м, при цьому ширина захвату одного колеса діаметром 1200 мм становить 0,35 м. Колеса розташовані на рамі грабелів з кроком 447 мм.

3. На прутковому колесі закріплено 32 прутки, що виготовляються з пружинної сталі діаметром 6 мм. Сила, що діє на один пруток під час роботи становить 1,5 Н. Для утримання коліс під час роботи необхідна пружина, що створює зусилля 950 Н, при цьому хід пружини 180 мм.

3. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОКИ

3.1. Техніко-економічні показники роботи МТА

Розроблені граблі призначені для ворущіння і згрібання сіна у валки. Для умов господарства вони мають перевагу перед існуючими граблями, оскільки є малогабаритними та і є ефективними, з токи зору, експлуатаційних затрат, на малих площах для фермерських господарств.

Крім того, слід зауважити, що агрегуються граблі з трактором Т-25А(класу 0,9 кН), що передбачає зменшення затрат на паливо-мастильні матеріали і амортизаційні відрахування.

Тому, економічна ефективність розроблених грабелів визначається порівняно з серійними граблями ГВК-6, що агрегуються з трактором МТЗ-80, даний агрегат вважається базовим.

Враховуючи зміну цін на техніку і їх різноманітність, паливо-мастильні матеріали, сільськогосподарську техніку та продукцію, а також зміну нормативних відрахувань та заробітну плату дані показники вважаються реальним для умов експлуатації розроблених грабелів

Розрахунок виконується згідно стандартної методики, на основі якої складені методичні рекомендації сільськогосподарських машин Поліського національного університету [9].

На основі експлуатаційних показників розроблених грабелів та ГВК -6, нормативно довідкових матеріалів, реальних цін на трактори і сільськогосподарську техніку, паливо-мастильні матеріали та інше, заповнюється таблиця вихідних даних для визначення економічної ефективності розроблених грабелів під час виконання операції згрібання сіна з покосів у валок.

Вихідні дані (станом на 1.05.2023 року) для розрахунку економічної ефективності запропонованих грабелів в таблиці 3.1., де враховані тільки

показники, що відносяться до технологічного процесу згрібання сіна у валок і впливають на економічний ефект.

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності
розроблених грабелів під час згрібання сіна у валок

ПОКАЗНИКИ	Агрегат	
	МТЗ-80 + ГВК-6	Т-25А + розроблені граблі
Продуктивність агрегату або машини за годину змінного часу: га	1,9	1,15
Балансова вартість, грн : машини трактора	42000 120000	19000 75000
Річне завантаження, год.: машини трактора	150 1200	150 900
Чисельність виробничого персоналу, чол.: основного допоміжного	1 —	1 1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год : основного персоналу допоміжного персоналу	10,7 —	10,7 8,57
Коефіцієнт, що враховує доплати: основного персоналу допоміжного транспорту	1,1 —	1,1 1,1
Коефіцієнт відрахувань на реновацію: трактора машини	0,125 0,166	0,166 0,166

Продовження табл.3.1.

1	2	3
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування трактора машини	0,22 0,12	0,13 0,10
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт: трактора машини	0,05 –	0,027 –
Витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га	6,38	3,01
Ціна 1 кг палива з врахуванням вартості мастильних матеріалів, що припадає на 1 кг палива, грн	45,8	45,8
Затрати на зберігання, що припадають на 1 годину експлуатаційного часу, грн/год: трактора машини	3,5 4,6	2,5 1,52
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладів	0,15	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову	1,1	

Розрахунок економічної ефективності проводиться на ПЕОМ з використанням програми, що розроблена на кафедрі.

У діалоговому режимі з машиною вихідні дані з таблиці 3.1. заносяться в програму. Показники економічної ефективності наведені в таблиці 3.2. результатів розрахунку економічної ефективності.

Таблиця 3.2

Показники економічної ефективності
розроблених грабелів під час згрібання сіна у валок

Показники	Агрегат	
	МТЗ-80 + ГВК-6	Т-25А + розроблені граблі
1. Річне напрацювання, га	285	200
2. Прямі затрати (грн/га) на:		
– оплату праці	196,19	180,43
– паливо-мастильні матеріали	237	137,45
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	31,89	22,39
– реновацію	31,04	30,31
– інші прямі затрати	4,26	3,49
– всього прямих затрат	500,38	374,07
3. Капітальні вкладення, грн/га	200	182,6
4. Зведені затрати, грн/га	700,38	556,67
6. Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	—	28742
7. Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини, грн	—	11417
Верхня межа ціни нової машини, грн	—	127652
Лімітна ціна нової машини, грн	—	126269
8. Затрати праці, люд.-год/	0,52	0,58
9. Річна економія праці, люд.-год.	—	-143,73
10. Ступінь зменшення затрат (в %)		
– праці	—	-2,7
– прямих затрат	—	16,58
– зведених затрат	—	14,9
– капіталовкладень	—	8,7

Висновки до розділу 3. Отримані результати розрахунку свідчать про доцільність використання розроблених грабель під час виконання операції згрібання сіна у валки в порівнянні з аналогом ГВК-6, за умови використання в однакових умовах. Спостерігається зростання затрат праці на 2,7 %, але відбулося зменшення прямих експлуатаційних затрат на 16,58 %, та приведених на 14,9 %.

Річний економічний ефект від використання запропонованих грабель на виконанні операції згрібання сіна у валок порівняно з граблями ГВК-6 буде становити 28742 гривень (в цінах на 1.05.2023 р.) за умови річного завантаження 200 гектарів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для виконання операцій валкоутворення трав та інтенсифікації сушіння до вологості 17 % і отримання сіна, запропонували використати розроблені граблі, що агрегатуються з трактором ХТЗ-25. Дані граблі також виконують операцію згрібання сіна у валки перед збиранням шляхом підбирання і пресування в паки прямокутної чи рулони циліндричної форми.
2. Основні техніко-економічні показники виконання операції становлять: продуктивність за зміну – 8,05 га/зм; витрата палива – 3,01 кг/га; затрати праці – 0,59 люд.год/га; прямі експлуатаційні затрати – 288,61 грн/га; приведені експлуатаційні затрати – 316 грн/га.
3. Розрахована ширина захвату грабелів під час згрібання сіна у валок становить 1,65 м, при цьому ширина захвату одного колеса діаметром 1200 мм становить 0,35 м. Колеса розташовані на рамі грабелів з кроком 447 мм.
4. На прутковому колесі закріплено 32 прутки, що виготовляються з пружинної сталі діаметром 6 мм. Сила, що діє на один пруток під час роботи становить 1,5 Н. Для утримання коліс під час роботи необхідна пружина, що створює зусилля 950 Н, при цьому хід пружини 180 мм.
5. Спостерігається зростання затрат праці на 2,7 %, але відбулося зменшення прямих експлуатаційних затрат на 16,58 %, та приведених на 14,9 %. Річний економічний ефект від використання запропонованих грабелів на виконанні операції згрібання сіна у валок порівняно з граблями ГВК-6 буде становити 28742 гривень (в цінах на 1.05.2023 р.) за умови річного завантаження 200 гектарів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агроекологія / М.М. Городній та ін. – К.: Вища школа, 1993. – 416с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя: в 3-х т. . – М.: Машиностроение, 1980. . – 557 с.
3. Белов Г.Д., Дьяченко В.А., Долгов Н.А. и др. Комплексная механизация кормопроизводства. – М.:Агропромиздат, 1987. – 275 с.
4. Гончар М.Т. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства. – Львів: Вища школа, 1986. – 144 с.
5. Гречкосій В.Д. і ін. Довідник сільського інженера. – К.: Урожай, 1988. – 360 с.
6. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Будко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с.
7. Гузенко П.Г. Детали машин. – М.: Высшая школа, 1975.
8. Диденко Н.К. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – К.: Высшая шк., 1977. – 344 с.
9. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисципліни “Сільськогосподарські машини”
http://znau.edu.ua/images/public_document/2021/03/инжен/практ/Методичні%20Овказівки%20до%20виконання%20КП%20СГМ.pdf
10. Зінченко Б.С. та ін Багаторічні трави в інтенсивному кормо виробництві. – К.: Урожай, 1991, – 257 с.
11. Интенсивные технологии возделывания кормовых культур: теория и практика / Под. ред. Новоселова Ю.К. – М.: Агропромиздат, 1990. – 357 с.
12. Иофинов С.А., Лишко Г.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
13. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1993.

14. Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. та ін. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві. – К.: Урожай, 1993. – 348 с.
15. Кияк. Г.С. Рослинництво. – К.: Вища школа, 1977.
16. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин . – М.: Машиностроение, 1977 . – 257 с.
17. Нехайчук В.Г., Черимевський Д.В., Матвійчик В.А. Опір матеріалів. Технічна механіка. – К.: ИМК ВО, 1992. – 328 с.
18. Нова сільськогосподарська техніка / Ясенецький В.А. та ін. – К.: Урожай, 1991.
19. Павчак В.А. та ін. Економіка сільського господарства. – К.: Вища школа, 1990. – 224 с.
20. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред.. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

ДОДАТКИ