

**Кондратюк Д.Г.**

к.т.н., доцент

Зозуляк І.А.

к.т.н., ст. викладач

**Вінницький національний
аграрний університет****Комаха В. П.**

к.т.н.

**Державна служба України
з надзвичайних ситуацій****Дмитренко В. П.**к.т.н., старший науковий
співробітник**Інститут картоплярства
НААН України****Kondratuk D.**

Ph.D., Associate Professor

Zozulyak I.

Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer

**Vinnitsia National Agrarian
University****Komakha V.**

Ph.D.

**State Emergency Service of
Ukraine****Dmitrenko V.**

Ph.D., Senior Researcher

**Potato Institute of the
NAAS of Ukraine****УДК 631.372/62.191****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-8****ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ НА
ПЛЮЩЕННЯ ТРАВИ
ВАЛЬЦЬОВИМ ПЛЮЩИЛЬНИМ
АПАРАТОМ**

Сіно – поширений вид грубого корму, якість якого в значній мірі залежить від тривалості природнього сушіння. Щоб одержати якісний корм, необхідно до мінімуму скоротити перебування скошених рослин в польових умовах. Втрати поживних речовин при заготівлі сіна відбуваються внаслідок протікання біохімічних процесів, вимивання поживних речовин опадами при несприятливій погоді. Крім того, заготівля сіна супроводжується механічними втратами внаслідок оббивання вегетативних органів рослин (листки, суцвіття) робочими органами сінозбиральних машин. Ці втрати не тільки зменшують збір сіна, але й суттєво знижують якість корму, оскільки листки і суцвіття містять в 2...3 рази більше поживних речовин, ніж стебла, обумовлені вони неоднаковою швидкістю сушіння вегетативних органів рослин. Дрібні вегетативні органи рослин, внаслідок особливостей анатомічної будови, інтенсивніше віддають вологу, ніж стебла, а тому вони раніше стають крихкими і в результаті дії робочих органів машин обламуються і втрачаються. Ефективним способом прискорення і вирівнювання швидкості сушіння вегетативних частин рослин є плющення скошених трав. Завдяки цьому заходу забезпечується рівномірне сушіння всієї рослинної маси, а відтак і зменшення втрат поживних речовин при заготівлі сіна. Для плющення бобових трав доцільно використовувати косарки, які обладнані вальцьовими плющильними апаратами, тому що вони менш жорстко діють на траву, ніж плющильні апарати динамічної дії, зменшуючи оббивання найбільш цінних частин рослин - листків та суцвітть. Основним експлуатаційним показником, який дозволяє оцінити енерговитрати процесу плющення трав є витрати потужності на привід плющильних вальців. Розроблена методика визначення потужності, необхідної для приводу плющильних вальців косарок-плющилок, яка може бути використана для розрахунків при проектуванні вальцьових плющильних апаратів.

Ключові слова: трава, плющення, апарат, вальці, потужність, вологовміст, тепло і масообмін, швидкість, сушіння.

Постановка проблеми. Сіно – поширений вид грубих кормів, який використовується в раціонах годівлі сільськогосподарських тварин в стійловий період. Його отримують в результаті повітряно-сонячного сушіння скошених трав до вологості 17-18 %. При такій вологості трава вважається законсервованою і подальше її зберігання не супроводжується втратами поживних речовин. При більшій вологості можливий інтенсивний розвиток термофільних

бактерій, які викликають нагрівання корму, що призводить до зниження його якості.

Важливим етапом, який суттєво впливає на якість заготовленого сіна, є сушіння трави від початкової вологості 85...75 % до кондиційної. Від того, з якою швидкістю буде відбуватися цей процес, залежить збереження поживних речовин трави.

Крім зазначеного, на кормову цінність сіна впливає ботанічний склад трави, з якої



заготовляють корм. Найвищу поживність має сіно, заготовлене із бобових трав. Воно є важливим джерелом повноцінного протеїну, особливо критичних (незамінних) амінокислот, вітамінів, макро- та мікроелементів. Споживання якісного сіна з бобових трав оптимізує баланс азоту в рубці та підвищує перетравність всіх його форм внаслідок підвищення стійкості до розщеплення в рубці [1, 2].

Втрати поживних речовин при заготівлі сіна складаються з механічних (внаслідок високого скошування рослин, обламування листків і суцвіть при ворущінні та згібанні, неповного підбирання, втрат при транспортуванні і т. п.) і біохімічних. При несприятливій погоді спостерігається вимивання поживних речовин опадами.

За даними [3], механічні втрати перевищують біологічні. Вони зменшують збір сіна і суттєво впливають на його кормову цінність, оскільки листки і суцвіття містять в 2...3 рази більше поживних речовин, ніж стебла. Механічні втрати від обламування листків і суцвіть обумовлені неоднаковою швидкістю сушіння вегетативних органів рослин. Листки і суцвіття внаслідок особливостей анатомічної будови інтенсивніше віддають вологу, ніж стебла, а тому вони раніше стають крихкими і в результаті дії робочих органів машин обламуються і втрачаються.

Ефективним заходом вирівнювання швидкості сушіння складових частин рослин є плющення, завдяки якому швидкість вологовіддачі стебел прискорюється на 25–30 % і практично зрівнюється з швидкістю вологовіддачі листків, забезпечуючи рівномірність сушіння всієї рослинної маси, а відтак і зменшення втрат поживних речовин при заготівлі сіна [4].

Сушіння скошеної трави є складним теплофізичним процесом, який обумовлений різними явищами, що відбуваються в траві і в оточуючому її середовищі. Можна виділити дві основні складові цього процесу, які тісно взаємопов'язані між собою: тепло- та вологообмін між травою і оточуючим середовищем, що протікає на поверхні матеріалу та переміщення вологи з внутрішніх шарів матеріалу до поверхні.

Плющення бобових трав (люцерна, конюшина, еспарцет та ін.) під час скошування призводить до збільшення поверхні випаровування, підвищенню інтенсивності процесу видалення вологи за рахунок покращення тепло і масообміну між травою і оточуючим середовищем.

Для плющення скошених трав косарки обладнують бильно-дековими кондиціонерами або вальцьовими плющильними апаратами. Плющильні апарати вальцьового типу менш жорстко діють на траву, ніж плющильні апарати динамічної дії, тому з метою зменшення втрат від обривання листків і суцвіть їх доцільно

використовувати для роботи з бобовими травами [5].

Одним із експлуатаційних показників роботи ротаційних косарок – плющилок є витрати потужності на привід плющильних вальців, які можна знайти за формулою:

$$N = M_{кр} \cdot \omega, \quad (1)$$

де N – витрати потужності на привід плющильних вальців;

$M_{кр}$ – обертовий момент, достатній для протікання процесу плющення трави, Н/м;

ω – кутова швидкість обертання вальців, с⁻¹.

Для того, щоб визначити витрати потужності на процес плющення трави необхідно знати сили, з якими вальці діють на траву в зоні стискування і відновлення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботі [6] зазначається, що сушіння скошеної трави в полі – складний процес, який супроводжується втратами скошеними рослинами не тільки вологи, але й поживних речовин в результаті протікання біохімічних процесів, життєдіяльності мікроорганізмів та вимивання опадами. Причому, показники усіх втрат зростають по мірі збільшення тривалості перебування скошеної трави в полі. Знизити їх можливо шляхом інтенсифікації сушіння, зокрема плющення.

А. Жаріков [7] виконав аналіз конструкцій косарок-плющилок та оцінив їх ефективність за агротехнічними, експлуатаційно-технологічними, енергетичними та економічними показниками.

Автори [8] зазначають, що косарки – плющилки комбіновані машини, в яких вальцьовий чи бильний плющильний апарат є автономним пристроєм, що не залежить від різального апарата.

Близько 60 – 65 % енергії у ротаційних косарок витрачається на зрізування трав. При цьому для агрегаткування потрібен енергетичний засіб із потужністю близько 12 кВт на один метр ширини захвату [9].

Мета досліджень. Розробка методики визначення потужності, необхідної для приводу плющильних вальців косарок-плющилок при симетричному плющенні рослинної маси.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо процес плющення трави вальцями. При розгляді будемо вважати, що вальці мають однакові діаметри і обертаються з однаковими кутовими швидкостями. При плющенні трава піддається деформації, що призводить до зростання її щільності від початкової при вході у вальці до максимальної в найменшому зазорі між вальцями.

Момент, який необхідно прикласти до вальців, щоб здійснити процес плющення, можна визначити наступним чином (рис. 1):

$$M_{кр} = R_{1y} S_1 - R_{2y} S_2, \quad (2)$$



де R_{1y} і R_{2y} – сума вертикальних складових нормальної сили і сили тертя відповідно в зоні стискання і відновлення, Н;

S_1 і S_2 – плечі прикладання сил, м

Із рис. 1, маємо:

$$S_1 = r \cos \alpha_{1u},$$

$$\text{а } S_2 = r \cos(\pi - \alpha_{2u}) = -r \cos \alpha_{2u}, \quad (3)$$

де r – радіус плуцильних вальців;

α_{1u} і α_{2u} , відповідно, кут, який визначає координату точки прикладання сили R_{1y} і R_{2y} .

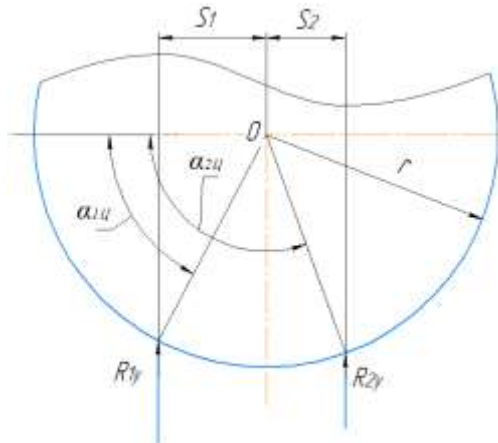


Рис.1. Схема для визначення обертового моменту

Тоді

$$M_{кр} = r(R_{1y} \cos \alpha_{1u} + R_{2y} \cos \alpha_{2u}). \quad (4)$$

В процесі плющення шару трави товщиною H стискається вальцями до мінімальної товщини h , яка дорівнює зазору між вальцями. При виході із вальців товщина шару трави почне зростати до певної товщини H_k , яка є меншою за H (рис. 2).

Ділянку контакту трави з вальцем при зміні товщини шару від H до мінімальної товщини h називають зоною стискання, а від до мінімальної товщини h до кінцевої товщини H_k – зоною відновлення.

Положення початкової і кінцевої точок контакту вальця з травою можна визначити через початковий α_n і кінцевий α_k кути контакту (рис. 2), які зручно відраховувати від осі абсцис X в напрямку обертання вальця. Таким чином, кут контакту вальця з травою в зоні стискання буде становити $\pi/2 - \alpha_n$, а в зоні відновлення $\alpha_k - \pi/2$.

Навантаження вальця на траву в обох зонах деформації спрямоване по нормалі до його поверхні. Крім того, по дотичній до поверхонь вальців на траву діють сили тертя. Рівнодіючі цих сил R_1 та R_2 за напрямом співпадають з напрямом сил dR_1 та dR_2 .

Для визначення сил, які діють на траву при її плющенні, виділимо елементарний шар dx_1 , в зоні стискання і dx_2 – в зоні відновлення (рис. 2).

$$dx_1 = r \sin \alpha_1 d\alpha_1, \quad (5)$$

$$dx_2 = r \sin \alpha_2 d\alpha_2, \quad (6)$$

Сили, які діють на елементарний шар трави в зоні стискання [10]:

$$dR_{1y} = p_1 L dx_1, \quad (7)$$

де L – довжина вальців, м;

p_1 – питомий тиск в зоні стискання, Н/м².

Сили, які діють на елементарний шар трави в зоні відновлення, будуть дорівнювати:

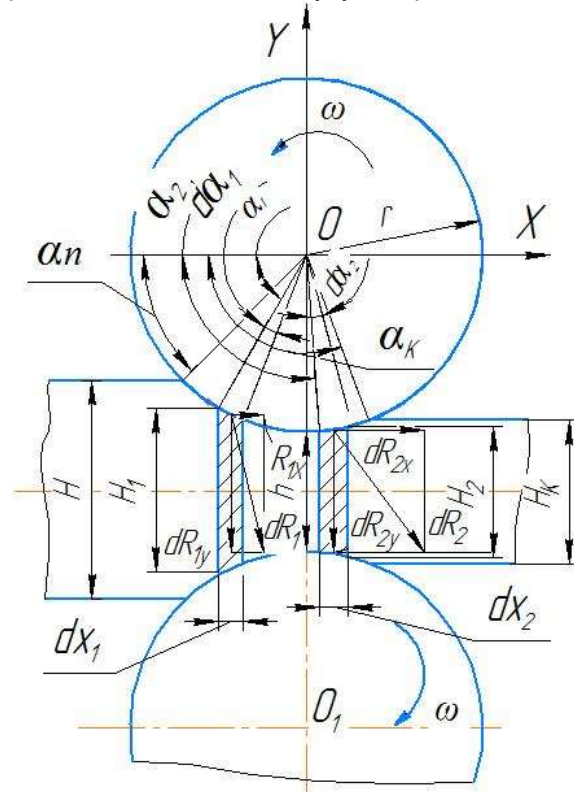


Рис. 2. Схема для розрахунку сил, діючих при симетричному плющенні рослинної маси

$$dR_{2y} = p_2 L dx_2, \quad (8)$$

де p_2 – питомий тиск в зоні відновлення, Н/м².

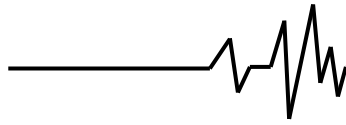
З врахуванням (5) і (6) залежності (7) і (8) приймуть вигляд

$$dR_{1y} = r p_1 L \sin \alpha_1 d\alpha_1, \quad (9)$$

$$dR_{2y} = r p_2 L \sin \alpha_2 d\alpha_2. \quad (10)$$

Щоб визначити за (9) і (10) рівнодіючі сили, які діють на траву в зоні стискання та відновлення, питомі тиски p_1 та p_2 необхідно представити у вигляді функцій від кута повороту плуцильних вальців: $p_1 = f(\alpha_1)$;

$$p_2 = f(\alpha_2).$$



Для цього стискання вальцями елементарних шарів dx_1 і dx_2 можна ототожнити з стисканням їх між двома паралельними площинами, а закономірності стискання представити у вигляді залежностей тисків p_1 і p_2 від відносної деформації шару трави.

Залежності $p_1 = f(\alpha_1)$;

$p_2 = f(\alpha_2)$ мають вигляд [10]:

$$p_1 = C_1 \left[e^{a_1(\rho_1 - \rho_{\Pi})} - 1 \right], \quad (11)$$

$$p_2 = C_2 \left[e^{a_2(\rho_2 - \rho_K)} - 1 \right], \quad (12)$$

де ρ_1 і ρ_2 – щільність трави в зоні стискання і відновлення, кг/м³;

ρ_{Π} і ρ_K – початкова і кінцева щільність трави, кг/м³;

C_1, C_2, a_1 і a_2 – емпіричні коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних властивостей трави.

Щільність трави в кожному перерізі обернено пропорційна товщині шару [10]. Тоді для зони стискання і відновлення можна записати

$$\rho_1 = \rho_{\Pi} \cdot \frac{H}{H_1},$$

$$\rho_2 = \rho_K \cdot \frac{H}{H_2}.$$

Із рис. 2 маємо

$$H_1 = h + 2r(1 - \sin \alpha_1),$$

$$H_2 = h + 2r(1 - \sin \alpha_2).$$

Тоді,

$$\rho_1 - \rho_{\Pi} = \rho_{\Pi} \cdot \left[\frac{H}{h + 2r(1 - \sin \alpha_1)} - 1 \right],$$

$$\rho_2 - \rho_K = \rho_K \cdot \left[\frac{H_K}{h + 2r(1 - \sin \alpha_2)} - 1 \right].$$

Таким чином, вирази (11) і (12) приймуть вигляд

$$p_1 = C_1 \left\{ \exp a_1 \rho_{\Pi} \left[\frac{H}{h + 2r(1 - \sin \alpha_1)} - 1 \right] - 1 \right\}, \quad (13)$$

$$p_2 = C_2 \left\{ \exp a_2 \rho_K \left[\frac{H_K}{h + 2r(1 - \sin \alpha_2)} - 1 \right] - 1 \right\}. \quad (14)$$

Підставивши (13) в (7), а (14) в (8) будемо мати

$$dR_{1y} = rLC_1 \left\{ \exp a_1 \rho_{\Pi} \left[\frac{H}{h + 2r(1 - \sin \alpha_1)} - 1 \right] - 1 \right\} \sin \alpha_1 d\alpha_1, \quad (15)$$

$$dR_{2y} = rLC_2 \left\{ \exp a_2 \rho_K \left[\frac{H_K}{h + 2r(1 - \sin \alpha_2)} - 1 \right] - 1 \right\} \sin \alpha_2 d\alpha_2. \quad (16)$$

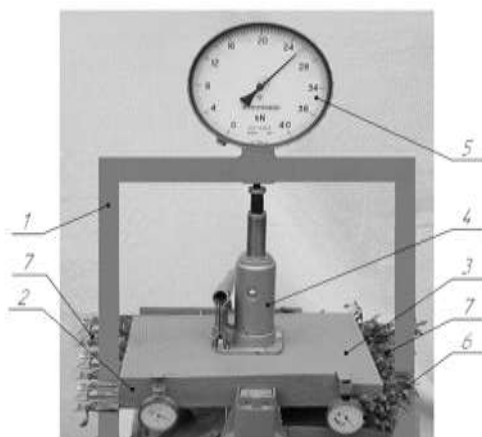


Рис. 3. Лабораторна установка для моделювання плющення трави: 1 – рама; 2 – короб; 3 – плита; 4 – домкрат; 5 – динамометр; 6 – індикатор; 7 – трава, що виступає за межі короба

Щоб проінтегрувати вирази (15) і (16), необхідно мати значення емпіричних коефіцієнтів C_1, C_2, a_1 та a_2 , які описують зміну тиску плющильних вальців на траву в зоні стискання і відновлення. Визначали їх шляхом моделювання процесу плющення на лабораторній установці, яка показана на рис. 3

Досліди проводилися в наступному порядку. Відібраний зразок трави рівномірним шаром укладали на днище короба 2 і визначали початкову товщину шару. Для цього штангенциркулем в декількох місцях по периметру плити 3 заміряли віддалі між нею і днищем короба 2. За початкову товщину укладеного шару трави брали середнє значення показів штангенциркуля. Укладали на плиту 3, домкрат 4, яким створювали необхідне зусилля стискання, яке фіксували динамометром 5.



Після стабілізації показів динамометра, заміряли товщину стиснутого шару трави. Знімали навантаження та заміряли товщину відновленого шару трави.

Після прикладання декількох навантажень, при стиснутому шарі, обрізали траву (поз. 7), яка виходила за межі короба в рівень з його торцями. По закінченню дослідів зважували траву, яка знаходилась між коробом і плитою.

Щільність трави ρ_i при її стисканні і відновленні визначали за формулою:

$$\rho_i = \frac{m_T}{SH_i}, \quad (17)$$

де m_T – маса трави між днищем короба і плитою, кг;

S – площа короба, м²;

H_i – висота шару трави при стисканні або відновленні, м.

Обробіток результатів досліджень здійснювали в такій послідовності: будували графіки зміни щільності трави від тиску $\rho = f(p)$ при стисканні та відновленні, які апроксимували лінійними залежностями

$$\rho = k_i p + b_i. \quad (18)$$

На рис. 4 приведені графічні дані зміни щільності трави, отриманні при проведенні досліджень з моделювання процесу плющення трави. В результаті обробітку даних були встановлені наступні коефіцієнти рівняння (18): для зони стискання $k_1 = 0.0092$, а $b_1 = 137,1$; для зони відновлення $k_2 = 0,0202$, а $b_2 = 188,3$.

Таким чином, зміна щільності трави від тиску пресування описується наступним рівняннями:

$$\rho_1 = 0,0092\rho_1 + 137,1; \quad (19)$$

$$\rho_2 = 0,0202\rho_2 + 188,3. \quad (20)$$

Коефіцієнти C_1 та C_2 визначали за формулами [10]:

$$C_1 = \frac{b_1}{k_1}; \quad C_2 = \frac{b_2}{k_2}. \quad (21)$$

Для визначення коефіцієнтів a_1 і a_2 спочатку визначали приріст щільності трави Ω при тиску $C_i(e - 1)$, а після за (22) коефіцієнти a_1 і a_2

$$\frac{1}{a_i} = \Omega, \quad (22)$$

Тоді скориставшись (21), будемо мати $C_1 = \frac{137,1}{0,0092} = 14902,2$, а

$$C_2 = \frac{188,3}{0,0202} = 9321,8 \text{ Н/м}^2. \text{ Підставивши}$$

в (19) значення тиску

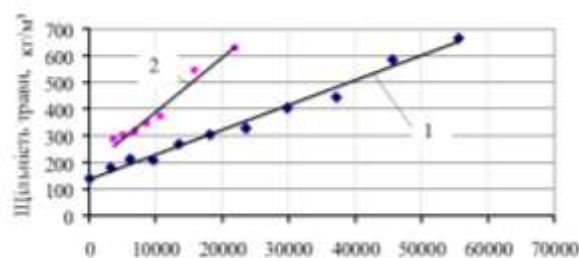
$$p_1 = C_1(e - 1) = 14902,2(e - 1) =$$

25631,8 Па одержимо приріст щільності трави для зони стискання $\Omega = 235,81 \text{ кг/м}^3$. Тоді згідно (22), будемо мати

$$a_1 = \frac{1}{235,8} = 4,24 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}. \text{ Поступивши}$$

аналогічним чином для зони відновлення,

одержимо $a_2 = 1,06 \times 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кг}$.



Тиск пресування, Па

Рис. 4. Графіки зміни щільності люцерни від тиску: 1 – зона стискання; 2 – зона відновлення.

Таким чином, рівняння (8) і (9) набудуть вигляду:

$$p_1 = 14902,2 \left[e^{2,24 \times 10^{-3} (\rho_1 - \rho_i)} - 1 \right] \quad (23)$$

$$p_2 = 9321,8 \left[e^{1,06 \times 10^{-2} (\rho_2 - \rho_E)} - 1 \right]. \quad (24)$$

Значення кута α_1 знаходиться в інтервалі $\alpha_n \leq \alpha_1 \leq \frac{\pi}{2}$, а α_2 в інтервалі

$$\frac{\pi}{2} \leq \alpha_2 \leq \alpha_k, \text{ тому межі інтегрування (15)}$$

дорівнюють α_n і $\frac{\pi}{2}$, а (16) $\frac{\pi}{2}$ і α_k .

Тоді сили R_{1y} і R_{2y} можна визначити з наступних інтегральних виразів:

$$R_{1y} = rLC_1 \int_{\alpha_n}^{\frac{\pi}{2}} \Phi_1(\alpha_1) d\alpha_1, \quad (25)$$



$$R_{2y} = rLC_2 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha_K} \Phi_2(\alpha_2) d\alpha_2, \quad (26)$$

де $\Phi_1(\alpha_1)$ і $\Phi_2(\alpha_2)$ - функція розподілу тиску по дузі обхвату відповідно в зоні стискання та відновлення.

$$\Phi_1(\alpha_1) = \left\{ \exp a_1 \rho_{II} \left[\frac{H}{h + 2r(1 - \sin \alpha_1)} - 1 \right] - 1 \right\};$$

$$\Phi_2(\alpha_2) = \left\{ \exp a_2 \rho_K \left[\frac{H_K}{h + 2r(1 - \sin \alpha_2)} - 1 \right] - 1 \right\}.$$

Кінцеву товщину шару трави після плющення можна визначити так:

$$H_K = \frac{\rho_{max} h}{\rho_K}, \quad (27)$$

де ρ_{max} - максимальна щільність трави під час плющення, кг/м³.

Кінцеву щільність трави ρ_K можна знайти виходячи з того, що в мінімальному зазорі між вальцями виконується умова

$$P_1 = P_2 = P_{max}, \quad (28)$$

де P_{max} - максимальний тиск.

Тому, прирівнявши між собою (11) і (12), будемо мати:

$$\rho_K = \rho_{max} - \frac{1}{a_2} \ln \left\{ \frac{C_1}{C_2} \left[e^{a_1(\rho_{max} - \rho_{II})} - 1 \right] + 1 \right\}, \quad (29)$$

де $\rho_{max} = \frac{\rho_{II} H}{h}$ - максимальна щільність трави в зазорі між вальцями, кг/м³.

Значення кутів α_{II} і α_K можна знайти з геометричних співвідношень [10]:

$$\alpha_{II} = \arcsin \left(1 - \frac{H - h}{2r} \right), \quad (30)$$

$$\alpha_K = (-1)^n \arcsin \left(1 - \frac{H_K - h}{2r} \right) + \pi n. \quad (31)$$

Отже, сили R_{1y} і R_{2y} можна визначити з інтегральних виразів (25) і (26) скориставшись, наприклад, формулою Чебишева П.Л. з чотирма членами.

Кути $\alpha_{1ц}$ і $\alpha_{2ц}$, які визначають точки прикладання сил R_{1y} і R_{2y} знайдемо як координати епюр тиску в зонах стискання і відновлення:

$$\alpha_{1ц} = \frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha_{II}} \alpha_1 \Phi_1(\alpha_1) d\alpha_1}{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha_{II}} \Phi_1(\alpha_1) d\alpha_1}, \quad (32)$$

$$\alpha_{2ц} = \frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha_K} \alpha_2 \Phi_2(\alpha_2) d\alpha_2}{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha_K} \Phi_2(\alpha_2) d\alpha_2}. \quad (33)$$

Для укладання плющеної трави в пухкий прокіс на стерні необхідно, щоб колова швидкість плющильних вальців V_K була в 3,5 – 4 рази більшою за швидкість агрегування V косарки [10]:

$$V_K = (3,5 \dots 4) V.$$

Тоді кутову швидкість вальців можна знайти за формулою

$$\omega = \frac{(3,5 \dots 4) V}{r}. \quad (34)$$

Висновки:

1. Природне сушіння скошеної трави, при заготівлі сіна, супроводжується втратами поживних речовин, величина яких пропорційна тривалості процесу.

2. Ефективним способом прискорення сушіння скошених трав є плющення, завдяки якому швидкість вологовіддачі стебел прискорюється на 25–30 % і практично зрівнюється з швидкістю вологовіддачі листків, забезпечуючи рівномірність сушіння всієї рослинної маси, а відтак і зменшення втрат поживних речовин при заготівлі сіна.

3. Для плющення бобових трав доцільно використовувати косарки, які обладнані вальцьовими плющильними апаратами, тому що вони менш жорстко діють на траву, ніж плющильні апарати динамічної дії, зменшуючи оббивання найбільш цінних частин рослин - листків та суцвіть.

4. Основним експлуатаційним показником, який дозволяє оцінити енерговитрати процесу плющення трав є витрати потужності на привід плющильних вальців. Розроблена методика визначення потужності, необхідної для приводу плющильних вальців косарок-плющилок при симетричному плющенні рослинної маси, яка



може бути використана для розрахунків при проектуванні вальцьових плющильних апаратів.

Список використаних джерел

1. Інтенсивні технології заготівлі пресованого сіна з люцерни в тюках підвищеної щільності. Жуков В. П. та ін. *Корми і кормовиробництво*. 2015. Вип. 80. С.179-183.
2. Бабенко С., Титарьова О., Крюкова Л. Сіно з люцерни: переваги та недоліки. *Тваринництво, ветеринарія*. 2019. №12. С. 52-54.
3. Комаха В.П., Кондратюк Д.Г. Закономірності вологовіддачі вегетативних органів скошених рослин люцерни. Зернобобові культури та соя для сталого розвитку аграрного виробництва України : *матеріали міжнародної наук. конф.* 11-12 серпня 2016 р. Вінниця : Україна, 2016. С. 109-110.
4. Характеристика технологічних процесів плющення. Агротехнічні вимоги. URL: <https://tandf.in.ua/animal-feed-conditioning/> (Дата звернення 7.09.2024).
5. Кондратюк Д.Г., Труханська О.О., Прядкін М.О. Аналіз конструкцій ротаційних косарок-плющилок. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2024. № 1 (124). С.106-114.
6. Кондратюк Д.Г., Солоня О.В. Вплив робочих органів граблів-ворушилок на механічні втрати при заготівлі сіна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 2 (121). С. 116-122.
7. Жаріков А. Аналіз конструкцій та результатів досліджень машин для скошування трав. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2014. Вип. 18 (1). С. 331-339.
8. Погорілець О.М., Сербиненко С.М. Обґрунтування технологічної схеми ротаційної косарки-плющилки з пристроєм для транспортування зрізаних стебел у вертикальному положенні. *Наукові доповіді НУБіП*. 2009. №2(14). С.1-11.
9. Смолінський С., Смолінська А., Марченко В. Косарки для заготівлі якісних кормів. *Agroexpert*. 2017. №5. С. 58-62.
10. Комаха В. Удосконалення технологічного процесу та обґрунтування параметрів косарки-плющилки : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Вінниця, 2012. 173 с.
2. Babenko, S. P., Tytaryova, O. M., & Kryukova, L. (2019). Alfalfa hay: advantages and disadvantages. *Animal husbandry, veterinary medicine*. № 12, P. 52-54. [in Ukrainian].
3. Komakha, V.P., Kondratiuk, D.H. (2016). Patterns of moisture release from vegetative organs of mowed alfalfa plants. *Leguminous crops and soybeans for sustainable development of agricultural production in Ukraine: materials of the international scientific conference*, August 11-12. Vinnytsia: Ukraine, 2016. С. 109-110. [in Ukrainian].
4. Characterization of technological processes of flattening. Agrotechnical requirements. URL: <https://tandf.in.ua/animal-feed-conditioning/>. (Accessed on September 7, 2024). [in Ukrainian].
5. Kondratiuk, D.H., Trukhanska, O.O., Priadkin, M.O. (2024). Analysis of rotary mower-conditioners designs. *Technique, energy, transport of the agro-industrial complex*. № 1 (124), P. 106-114. [in Ukrainian].
6. Kondratiuk, D.H., Solona, O.V. (2023). Influence of working bodies of rake-tedders on mechanical losses during hay harvesting. *Engineering, energy, transport AIC*. № 2 (121), P. 116-122. [in Ukrainian].
7. Zharikov, A. (2014). Analysis of designs and research results of grass cutting machines. *Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine*. Issue 18 (1), P. 331-339. [in Ukrainian].
8. Pohorilets, O.M., Serbynenko, S.M. (2009). Substantiation of the technological scheme of a rotary mower-conditioner with a device for transportation of cut stems in a vertical position. *Scientific reports of NUBiP*. №2 (14). P. 1-11. [in Ukrainian].
9. Smolinskyi, S., Smolinska, A., Marchenko, V. (2017). Mowers for harvesting quality fodder. *Agroexpert*. № 5. P. 58-62. [in Ukrainian].
10. Komakha, V. (2012). Improvement of technological process and substantiation of mower-furrower parameters : cand: 05.05.11. Vinnytsia. 173 p. [in Ukrainian].

ENERGY CONSUMPTION FOR FLUTTERING GRASS WITH A ROLLER FLUTTER

Hay is a common type of roughage, the quality of which largely depends on the duration of natural drying. In order to obtain high-quality fodder, it is necessary to minimize the stay of mown plants in field conditions. Nutrient losses during hay harvesting occur as a result of biochemical processes, leaching of nutrients by precipitation during adverse weather. In addition,

References

1. Zhukov, V. P., Kulyk, M. F., Khryplyvy, V. V., Gonchar, L. O., & Vygovska, I. O. (2015). Intensive technologies for harvesting pressed alfalfa hay in high-density bales. *Feed and Feed Production*. (80), P. 179-182. [in Ukrainian].



harvesting hay is accompanied by mechanical losses due to the crushing of vegetative organs of plants (leaves, inflorescences) by the working bodies of hay harvesting machines. These losses not only reduce the collection of hay, but also significantly reduce the quality of fodder, since leaves and inflorescences contain 2-3 times more nutrients than stems, they are due to the unequal drying rate of vegetative organs of plants. Small vegetative organs of plants, due to the peculiarities of their anatomical structure, give off moisture more intensively than stems, and therefore they become fragile earlier and break off and are lost as a result of the action of working organs of machines. An effective method of accelerating and equalizing the drying rate of vegetative parts of plants is flattening of grass clippings. Thanks to this measure, uniform drying of the entire plant mass is ensured, and therefore, the loss of

nutrients during hay harvesting is reduced. For flattening legumes, it is advisable to use mowers equipped with roller flatteners, because they act less harshly on the grass than dynamic flatteners, reducing the crushing of the most valuable parts of plants - leaves and inflorescences. The main operational indicator that allows you to estimate the energy consumption of the process of flattening grass is the power consumption for the drive of the flattening rollers. A method of determining the power required to drive the flattening rollers of mower-folders has been developed, which can be used for calculations in the design of roller flatteners.

Key words: grass, flattening, apparatus, rollers, power, moisture content, heat and mass transfer, speed, drying.

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>).

Зозуляк Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві, Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: zozulak@vsau.vin.ua) <https://orcid.org/0000-0002-5381-3115>

Комаха Віталій Петрович – к.т.н. Державна служба України з надзвичайних ситуацій <https://orcid.org/0000-0002-6919-4072>

Дмитренко Віктор Петрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту картоплярства НААН України <https://orcid.org/0000-0003-1866-6188>

Kondratuk Dmytro – 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>).

Zozulyak Igor - candidate of technical sciences, senior lecturer of the department labor protection and biotechnical systems in animal husbandry, Vinnytsia of the National Agrarian University (Str. Sonyachna, 3, m. Vinnytsia, 21008, Ukraine, email : zozulak@vsau.vin.ua) <https://orcid.org/0000-0002-5381-3115>.

Komakha Vitalii – Ph.D. State Emergency Service of Ukraine <https://orcid.org/0000-0002-6919-4072>.

Dmytrenko Viktor – Ph.D., Senior Researcher at the Institute of Potato Growing of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://orcid.org/0000-0003-1866-6188>