



УДК 631.363.2

DOI 10.31388/2220-8674-2019-1-3

ТЕОРЕТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОТКІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ГІЛОК З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

Кравченко В. В., к.т.н., <https://orcid.org/0000-0003-2334-0705>
Войтік А. В., к.т.н., <https://orcid.org/0000-0002-8196-3102>
Головатюк А. А., к.с-г.н. <https://orcid.org/0000-0002-2130-106X>
Уманський національний університет садівництва
E-mail: kr.vasyl.v@gmail.com

Анотація - в статті представлені результати теоретичних досліджень опору повітря молотками подрібнювачів гілок дерев та кущів з горизонтальним валом обертанням. Дослідження проведені для молотків у формі лопаті, молотків у формі лопаті з тримачем у вигляді паралелепіпеда, пластинчастих молотків загнутих в одну сторону та Y-подібних пластинчастих молотків. Для визначення сили опору молотків повітрю використано формулу лобового опору повітрю для тіл обертання. Представлені у вигляді графіків результати розрахунків дозволили оцінити вплив кожного типу молотків на опір повітрю та порівняти їх між собою. Для енергетичної оцінки роботи на подолання опору повітря молотків різної форми визначено споживану потужність на приводі молоткового барабану залежно від їхньої кількості на ньому. Отримані графіки показали, що форма молотка має значний вплив на енергоємність подолання опору повітря. Доведено, що енергоємність роботи молотків при подоланні опору повітря лопатевої форми майже в 10 разів перевищує енергоємність роботи молотків пластинчастої форми.

Ключові слова: подрібнювач гілок з горизонтальною віссю, молоток подрібнювача гілок, опір повітря.

Постановка проблеми. Подрібнення деревини залишається доволі енергоємним процесом. І операції пов'язані з подрібненням обрізаних гілок дерев і кущів, чи безпосереднім знищенням надземної частини кущів не є виключенням. Одним з основних факторів, який впливає на енергоємність подрібнення гілок, залишається форма робочого органа. Відомо, що значна частина енергії робочих органів сучасних подрібнювачів гілок нерационально витрачається на подолання опору повітря, особливо це стосується подрібнювачів з горизонтальним розміщенням валу та їх лопатевих молотків [1]. Молотки в цих подрібнювачах гілок переважно кріпляться шарнірно, і для забезпечення перерубування-перебивання гілок повинні мати певну масу, що і є одним з факторів вибору такої форми робочого органа. Також лопатева форма робочих органів сприяє транспортуванню подрібненої маси, як, наприклад, це реалізовано в



ротаційних косарках при збиранні зеленої маси. Але якщо подрібнена маса не транспортується далі, а залишається в міжряддях чи на полі у вигляді мульчі, то необхідно дослідити раціональність застосування молотків саме лопатевої форми, тому що така форма молотків може призводити до підвищених витрат енергії на подолання опору повітря. Тому дослідження спрямовані на вирішення проблеми зменшення нераціональної витрати енергії на подолання опору повітря через вибір оптимальної форми робочого органу зі збереженням його технологічних властивостей на сьогодні є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Опір повітря завжди враховується як шкідливий фактор при розробці робочих органів подрібнювачів і тому обов'язково присутній в енергетичному розрахунку машин. Багато робіт спрямовано на дослідження подрібнювачів кормів ударної дії, де розглядаються в основному пластинчасті молотки різної форми, їх рух в повітрі насиченому частинками подрібненого продукту [2], взаємодію повітряного потоку з іншими елементами конструкції дробарки, участь повітряного потоку створеного молотками у проходженні подрібненого продукту крізь решета [3]. Також зустрічаються роботи присвячені подрібнювачам гілок та рослинних залишків чи сидератів з вертикальною віссю обертання. В них досліджується повітряний потік створюваний ножами [4], вплив різної форми лез та їх швидкості руху на опір повітрю та загальну енергоємність подрібнення [5]. Щодо подрібнювачів гілок та рослинної маси з горизонтальною віссю обертання, то тут також є багато як теоретичних так і практичних досліджень і розглядаються в них, в основному, якісні показники роботи машин [6], продуктивність машин залежно від кількості робочих органів, або величини подачі рослинної маси на подрібнення [7]. В роботі [8] порівняно повну енергоємність подрібнення стебел батату L-подібними та Y-подібними молотками.

Таким чином питання порівняння робочих органів різних форм саме за опором повітрю не висвітлено повністю і потребують детального розгляду.

Формування цілей статті. Метою статті є теоретичне дослідження опору повітря різних за формою робочих органів машин з горизонтальним розміщенням ротора для подрібнення обрізаних гілок дерев та гілок кущів.

Основна частина. В подрібнювачах гілок з горизонтальною віссю обертання найчастіше використовують молотки лопатевої форми (рис. 1 а), пластинчасті молотки загнуті в одну сторону (рис. 1 б) чи пластинчасті молотки Y-подібної форми (рис. 1 в), а також можливе поєднання молотків лопатевої форми та пластинчастих (рис. 1 в).

3 з 10

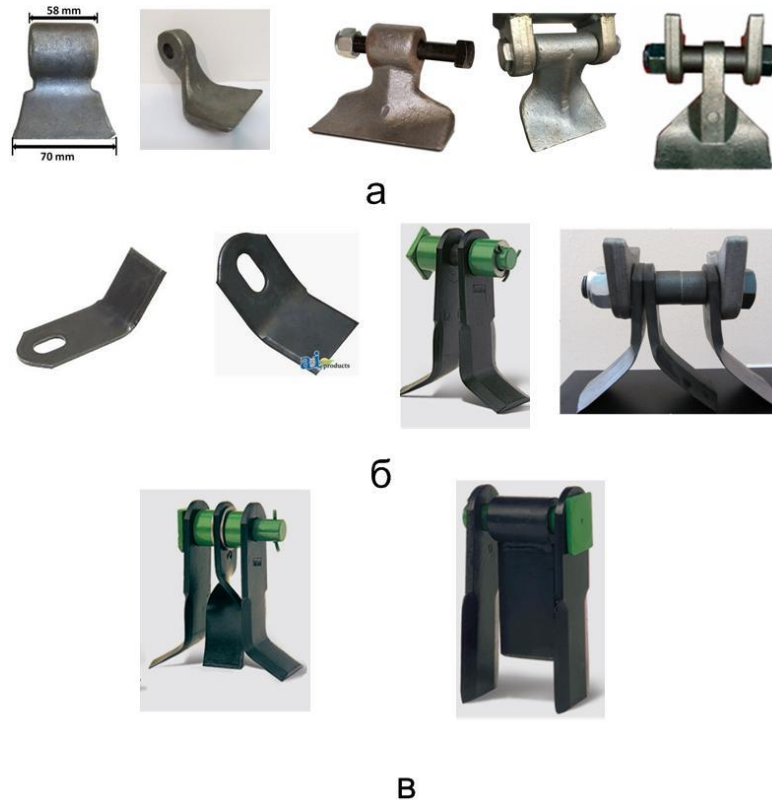


Рис.1. Молотки подрібнювачів з горизонтальною віссю обертання

Під час роботи подрібнювача, загальну потужність на його привід визначають за формулою:

$$N = N_n + N_x, \quad (1)$$

де N_n – потужність, яка пов’язана з безпосереднім подрібненням деревини, Вт;

N_x – потужність холостого ходу ротора, Вт.

Потужність холостого ходу споживається на подолання опорів тертя в підшипникових вузлах (біля 10-20% потужності холостого ходу [9]) і на вентиляційну дію молоткового барабану.

Опір повітря чинять всі конструктивні елементи, що приєднанні до ротора: тримачі молотків, пальці або втулки з допомогою яких молотки кріпляться до тримачів та безпосередньо самі молотки.

Розглянемо, як впливає форма молотків на опір повітря.

Силу лобового опору повітря тіла, яке рухається поступально в загальному вигляді визначають за формулою:

$$F_n = C \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (2)$$

де: C – коефіцієнт опору, який залежить від форми тіла;

S – площа поперечного перерізу тіла, м²;

ρ – щільність повітря, кг/м³;

v – швидкість руху тіла, м/с.



Молотки подрібнювачів здійснюють обертальний рух навколо осі ротора, при обертальному русі формула для визначення опору повітря набуває наступного вигляду:

$$F_d = C \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2}, \quad (3)$$

де: R – радіус обертання молотків, м;
 ω – кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

Розглядаючи останнє рівняння, можна побачити, що форма молотків має вплив на силу лобового опору повітря через площу поперечного перерізу молотків S та коефіцієнт обтікання тіл C .

Щоб проаналізувати вплив форми молотків на силу лобового опору, зробимо припущення, що всі досліджувані молотки працюють в однакових умовах: підвішені на тримачах однієї конструкції, мають однакову довжину і ширину захвату, розміщені на однаковій відстані від осі обертання по кінцях молотків та обертаються з однаковою швидкістю.

Якщо площа поперечного перерізу тіл S має прямо пропорційний вплив на силу опору повітря, то коефіцієнт обтікання C це безрозмірна величина, яка визначає реакцію повітря на рух тіла в ньому. І тому тіла різної форми мають різні значення цього коефіцієнта. На практиці значення коефіцієнта обтікання визначають для кожного молотка чи ножа подрібнювачів експериментально і потім вносять їх у розрахункові формули.

Проаналізуємо вплив форми молотків на силу їх опору повітря та енергетику подрібнювача використавши значення коефіцієнтів обтікання для елементарних фігур, які визначені експериментально в аеродинамічній трубі [10].

Основні форми молотків схематично можна зобразити в наступному вигляді (рис.2): молотки форми **1** – лопатеві молотки у формі одного пустотілого напівциліндра (рис.2 а), молотки форми **2** – у формі паралелепіпеда зі сторони тримача та пустотілого напівциліндра зі сторони бойка (рис.2 б); молотки форми **3** – пластинчасті загнуті та молотки форми **4** – пластинчасті Y-подібні, які можна представити у формі окремих паралелепіпедів, що характеризуються такими параметрами як висота, довжина та ширина (рис.2 в, г).

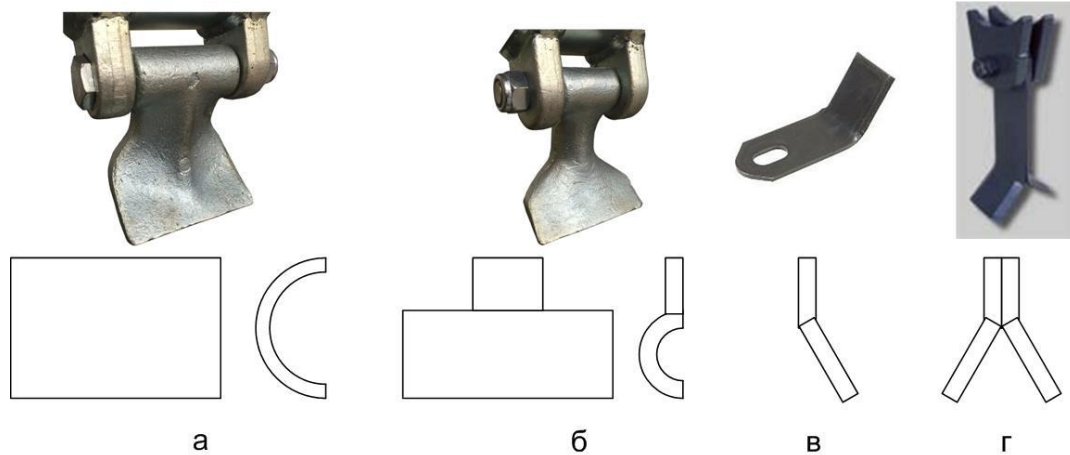


Рис. 2. Схематичне зображення молотків

Загальний опір молотків можна виразити сумою їх елементарних складових елементів:

$$F_m = \sum_1^n F_i, \quad (4)$$

де F_i – опір окремих елементарних складових елементів молотків;
 n – кількість елементарних складових елементів молотків.

Відповідно до джерела [10] коефіцієнти обтікання для пустотілого напівциліндра – $C_{\text{нп}}=2,3$; для паралелепіпеда – $C_{\text{п}}=1,05$.

Тоді, використавши формули (3) і (4), сили опору повітря для приведених форм молотків набудуть наступного вигляду:

для молотка **1**:

$$F_{m1} = 2,3 \cdot B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot \frac{\rho \cdot R_{c\delta}^2 \cdot \omega^2}{2}; \quad (5)$$

для молотка **2**:

$$F_{m2} = 2,3 \cdot B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot \frac{\rho \cdot R_{c\delta}^2 \cdot \omega^2}{2} + 1,05 \cdot B_m \cdot l_m \cdot \frac{\rho \cdot R_{cm}^2 \cdot \omega^2}{2}; \quad (6)$$

для молотка **3**:

$$F_{m3} = 1,05 \cdot B_{\delta} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{l_{\delta} \cdot R_{c\delta}^2 + l_m \cdot R_{cm}^2}{2}; \quad (7)$$

для молотка **4**:

$$F_{m4} = 1,05 \cdot B_{\delta} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (l_{\delta} \cdot R_{c\delta}^2 + l_m \cdot R_{cm}^2) \quad (8)$$

де B_{δ} і B_m – ширина бойка та ширина тримача бойка молотка, м;
 l_{δ} та l_m – довжина бойка та довжина тримача бойка молотка, м;
 $R_{c\delta}$ та R_{cm} – радіуси по центрам ваги бойка та тримача молотка, м:

$$R_c = R_n + \frac{R_n + R_k}{2},$$

де R_n та R_k – радіуси розміщення початку та кінця елементів молотка (тримача і бойка) відносно осі обертання ротора, при цьому радіус кінця тримача співпадає з радіусом початку бойка, м.

Згідно з прийнятими раніше припущеннями, проаналізуємо опір повітрю, який створюють молотки залежно від їх кутової швидкості руху та побудуємо відповідний графік (рис. 3).

При розрахунках використовувались наступні дані: ширина захвату молотка – 6 см, діаметр ротора по кінцях молотків - 40 см, загальна довжина молотків – 10 см, довжина тримачів - 5 см, ширина тримача молотка 2 – 3 см, ширина тримачів та бойків молотків 3 та 4 - 1 см.

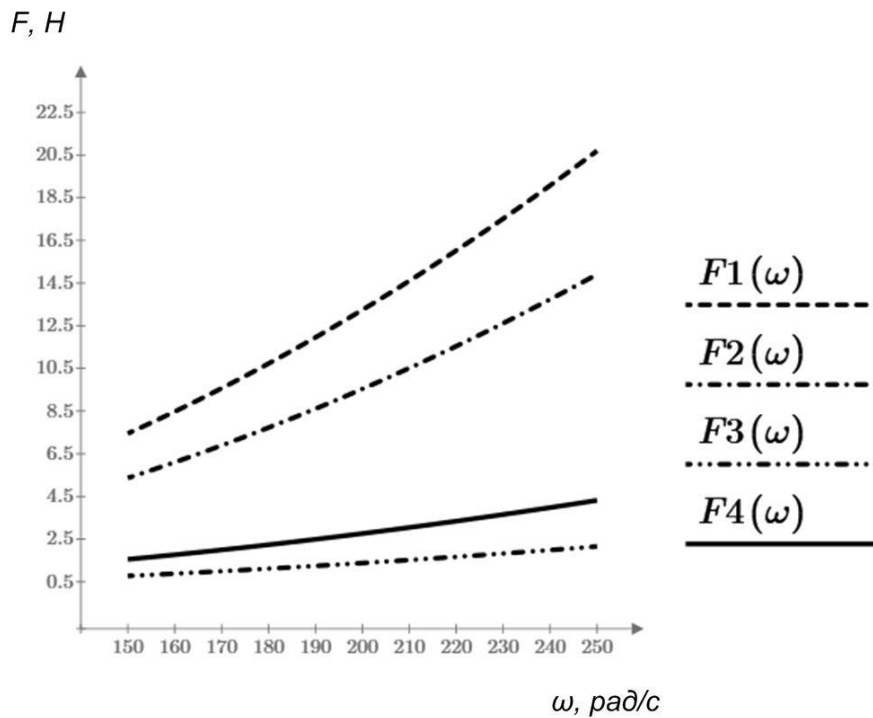


Рис. 3. Залежність опору повітря від кутової швидкості обертання молотків

Отримані результати (рис.3) показують, що в діапазоні швидкостей від 150 рад/с до 250 рад/с при однакових умовах роботи лопатеві молотки створюють більший опір повітрю понад 10 разів порівняно із одинарним пластинчастим загнутим молотком. Наявність тримача-паралелепіпеда лопатевих молотків, рівного половині довжини молотка, дозволяє зменшити опір повітрю на 25%. Збільшення ж лобової площі у пластинчастих Y-подібних молотків у два рази порівняно із одинарними пластинчастими загнутими молотками, призводить до збільшення опору повітря аналогічно у 2 рази.

Проаналізуємо затрати енергії, які при цьому витрачаються на привід ротора залежно від кількості молотків.

Потужність, яку необхідно прикласти, щоб подолати опір повітряного потоку визначимо за формулою (9) та зобразимо її

залежність від кількості молотків на роторі у вигляді графіка (рис. 4), швидкість обертання ротора при цьому фіксувалась на рівні 150 рад/с:

$$N = F \cdot R_c \cdot \omega \cdot z \quad (9)$$

де z – це кількість молотків на роторі, шт.

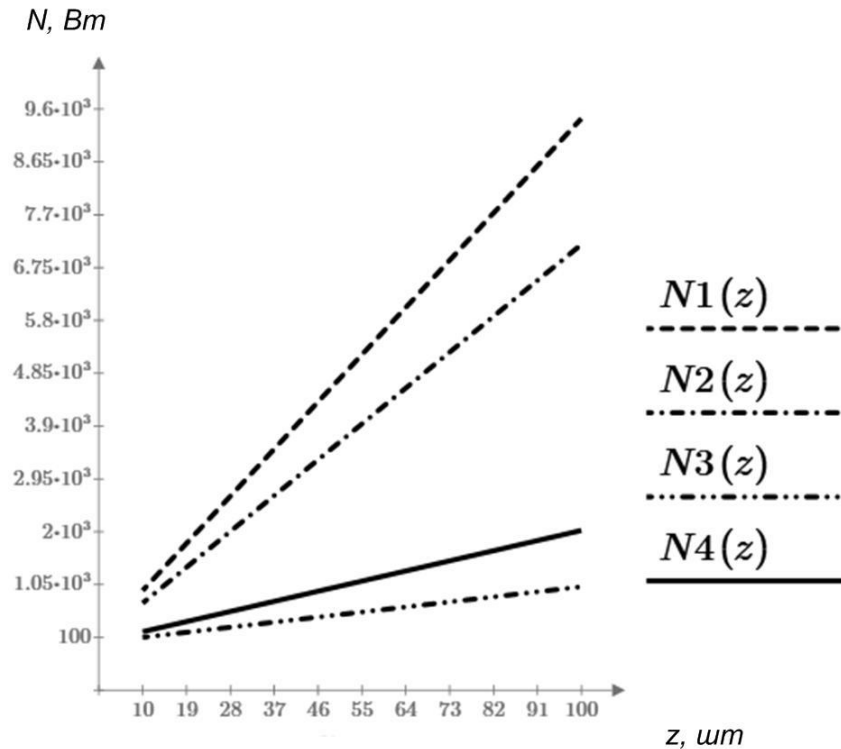


Рис. 4. Залежність потужності на привід молоткового ротора подрібнювача від кількості молотків на ньому

Збільшення кількості молотків на роторі в 10 разів призводить до закономірного збільшення потужності в 10 разів на подолання опору повітря. Але порівнюючи прями, які зображають даний процес, видно, що якщо для роторів з молотками форми 3 значення цієї потужності складають 101,2-1012 Вт. То для роторів з молотками форми 1, при зміні кількості молотків в 10 разів, потужність на подолання опору повітря вже складає 943-9430 Вт, тобто майже в 10 разів більша по всьому діапазону зміни кількості молотків. Зменшення довжини лопаті у 2 рази у роторів з молотками форми 2 призводить до зменшення потужності на подолання опору повітря у цих молотків порівняно з роторами з молотками форми 1 типу до 25%. Але це значення все одно залишається більшим, відповідно у 7 та 3,5 разів відносно показників енергоємності молотків принципово іншої форми 3 і 4.

Висновок. Дослідження сили опору повітря який створюють молотки подрібнювачів гілок з горизонтальною віссю обертання та потужності на подолання цього опору, показали, що найбільше



значення цих показників досягаються у лопатевих молотків. Сила опору повітря та потужність таких молотків, в діапазоні швидкостей від 150 рад/с до 250 рад/с, при однакових умовах роботи, в понад ніж 10 разів більші порівняно із одинарними пластинчастими загнутими молотками.

Список використаних джерел

1. *Комаров Л.И.* Исследование измельчающего аппарата с пневмошвыряющим устройством. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1961. №4. С. 16-20.

2. Повышение производительности кормодробилки за счёт оптимизации конструктивных параметров молотка /*А. А. Петров* и др. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 1 (57). С. 43-45.

3. *Баранов Н. Ф., Шулятьев В. Н., Лопатин Л. А.* Оценка энергозатрат на трение и вентиляцию молотковой дробилки с кольцевыми деками. *Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса*. 2018. С. 41-50.

4. Air flow conditions in workspace of mulcher /*J. Ćedik* [et al.]. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16, № 3. P. 669-678.

5. Influence of blade shape on mulcher blade air resistance /*J. Ćedik* [et al.]. *Agronomy Research*. 2016. Vol. 14, № 2. P. 337-334.

6. *Соколов В. О., Привалов И. С., Петренко С. О.* Результати дослідження утилізації зрізаних гілок плодових дерев. *Садівництво*. 2012. Вип. 65. С. 241-245.

7. *Брагинец Н. В., Вертий А. А.* Экспериментальные исследования процесса измельчения грубых и стебельчатых кормов измельчителем с комбинированными ножами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45, ч. II. С. 129-134.

8. Effects of Knife Shapes and Cutting Speeds of a Mower on the Power Consumption for Pulverizing Sweet Potato Vine /*A.N.N. Kakahy* [etal.]. *Key Engineering Materials*. 2013. Vol. 594-595. P. 1126-1130. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.1126.

9. *Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І.* Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2012. 731 с.

10. *Hoerner S. F.* Fluid-dynamic Drag. Published by the author, 1965. 455 p.



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОТКОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ВЕТОК С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

Кравченко В. В., Войтик А. В., Головатюк А. А.

Аннотация – в статье представлены результаты теоретических исследований сопротивления воздуху молотками измельчителей веток деревьев и кустов с горизонтальным валом вращения. Проведенный обзор литературных источников показал, что предыдущие исследования констатируют факт присутствия сопротивления воздуха молоткам измельчителей, но конкретных результатов по сравнению различных форм молотков не зафиксировано. Исследования проведены для четырех основных форм молотков, которые используются в современных измельчителях. Это сплошные молотки в форме лопасти, молотки в форме лопасти с держателем в виде параллелепипеда, пластинчатые молотки, загнутые в одну сторону и Y-образные пластинчатые молотки. Для проведения расчетов молотки представлены в форме простых геометрических фигур: пустотелого полуцилиндра и параллелепипеда, для которых известны площади лобового сопротивления и коэффициенты обтекания. Для определения силы сопротивления воздуху молотками использовано формулу лобового сопротивления для тел вращения, основными составляющими которой являются площадь элементарной фигуры, коэффициент обтекания, угловая скорость вращения и радиус расположения элементов молотков относительно оси вращения ротора. В результате математических преобразований получено уравнение сопротивления воздуху для каждого из четырех типов молотков. При выполнении расчета сопротивления воздуха для всех типов молотков приняты одинаковые условия работы, а именно: скорость вращения, радиус подвеса, длина и ширина захвата молотков, длина держателей и бойков. Представленные в виде графиков результаты расчетов позволили оценить влияние каждого типа молотков на сопротивление воздуху и сравнить их между собой. Для оценки влияния формы молотков на энергоемкость преодоления сопротивления воздуха определена потребляемая мощность на привод молоткового барабана в зависимости количества молотков. Полученные графики показали, что форма молотка имеет значительное влияние на энергоемкость преодоления сопротивления воздуха, а соответственно и общую энергоемкость работы молоткового измельчителя веток. На основании проведенных исследований доказано, что на преодоление сопротивления воздуха молотками лопаткоподобной формы тратится почти в 10 раз больше энергии в сравнении с пластинчатыми молотками.

Ключевые слова: измельчитель веток с горизонтальной осью, молоток измельчителя веток, сопротивление воздуха.



THEORETICAL COMPARISON OF THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF BRANCH SHREDDER HAMMERS WITH HORIZONTAL ROTATION AXIS

V. Kravchenko, A. Voitik, A. Golovatyuk

Summary

The article presents the results of theoretical studies of air resistance with hammers of shredders of tree branches and bushes with a horizontal shaft of rotation. A review of the literature showed that previous studies state the presence of air resistance to shredding hammers, but there are no specific results comparing the various forms of hammers. Studies have been carried out for four main forms of hammers, which are used in modern shredders. These are solid blades in the form of a blade, hammers in the shape of a blade with a parallelepiped-shaped holder, plate hammers, bent to one side and Y-shaped plate hammers. For the calculations, the hammers are presented in the form of simple geometric figures: a hollow semi-cylinder and a parallelepiped, for which the drag areas and drag coefficients are known. To determine the force of resistance to air, hammers used the formula of drag for bodies of rotation, the main components of which are the area of an elementary figure, the drag coefficient, the angular velocity of rotation and the radius of the location of the hammer elements relative to the axis of rotation of the rotor. As a result of mathematical transformations, the equations of resistance to air for each of the four types of hammers were obtained. When performing the calculation of air resistance for all types of hammers, the same working conditions were adopted, namely: rotational speed, radius of rotation, length and width of hammers, length of holders and strikers. The results of calculations presented in the form of graphs made it possible to evaluate the effect of each type of hammers on air resistance and compare them with each other. To assess the impact of the shape of hammers on the energy consumption of overcoming air resistance, the power consumption of the hammer drum drive is determined depending on the number of hammers. The obtained graphs showed that the shape of the hammer has a significant effect on the energy intensity of overcoming air resistance, and, accordingly, the overall energy intensity of the hammer shredder. On the basis of the conducted research, it has been proved that almost 10 times more energy is spent on overcoming air resistance with blade-type hammers compared to plate-shaped hammers.

Key words: horizontal axis shredder, branch shredder hammer, air resistance.