УДК 631.363

РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Владислав БЕВЗ, Роман КОНДРАТЮК, Роман ВЕЛИКОХАТЬКО

Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Обґрунтовано актуальність розроблення енергоощадної конструкції машини для подрібнення рослинної сировини з огляду на високу енергоємність процесів подрібнення в технологічних лініях приготування кормів та переробки рослинних відходів. Проаналізовано конструктивні схеми молоткових, ножових (роторних) та дискових подрібнювачів рослинної сировини з погляду їхньої енергоефективності. Визначено основні складові енергоємності робочого процесу та фактори, що на неї впливають. Запропоновано структурно-функціональну схему енергоощадної машини з частотно-регульованим електроприводом та зворотним зв'язком за навантаженням на валу двигуна. Показано, що адаптивне регулювання частоти обертання ротора відповідно до фактичного навантаження дає змогу суттєво знизити питомі енерговитрати процесу порівняно з базовою (нерегульованою) конструкцією без погіршення якості подрібнення.*

Ключові слова: *рослинна сировина, подрібнення, енергоощадність, машина для подрібнення, частотно-регульований привод, питомі енерговитрати, конструктивні параметри, енергоефективність.*

Подрібнення рослинної сировини (стебел, соломи, сіна, гілок та інших рослинних решток) є однією з найенергоємніших операцій у технологічних лініях кормовиробництва, переробки рослинних відходів та підготовки біопалива. Витрати електроенергії на подрібнення можуть становити значну частку загальних енерговитрат технологічної лінії, тому розроблення конструкцій машин зі зниженою енергоємністю робочого процесу є актуальним

науково-технічним завданням, що безпосередньо впливає на собівартість кінцевої продукції та ефективність використання рослинної біомаси [1].

Основними типами машин для подрібнення рослинної сировини є молоткові (ударної дії), ножові роторні (різання, зсуву) та дискові (стирання, розчісування). Молоткові подрібнювачі універсальні щодо виду сировини, проте характеризуються підвищеними питомими енерговитратами через ударний характер руйнування волокнистого матеріалу. Ножові роторні машини забезпечують нижчу енергоємність за рахунок різання, однак чутливі до вологості та засміченості сировини [3]. Дисковий тип доцільний для тонкого подрібнення, але має обмежену продуктивність [4]. Аналіз показує, що жодна з конструкцій не є однозначно оптимальною за всіма критеріями, тому доцільним є поєднання раціональних конструктивних рішень з адаптивним керуванням режимом роботи [2].

Енергоємність процесу подрібнення визначається робочим органом (типом і геометрією ножів чи молотків), кінематичними параметрами (частотою обертання ротора, коловою швидкістю), властивостями сировини (вологістю, волокнистістю) та способом керування приводом [5]. Традиційні конструкції з нерегульованим приводом працюють з постійною частотою обертання ротора незалежно від фактичного навантаження, що призводить до неефективного витрачання енергії на холостому ходу та при неповному завантаженні (рис. 1).

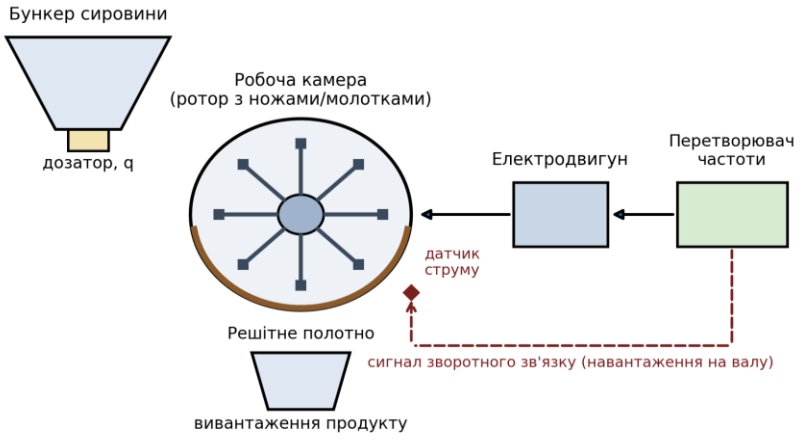


Рисунок 1. Структурно-функціональна схема енергоощадної машини для подрібнення рослинної сировини

Запропонована конструкція передбачає застосування частотно-регульованого електропривода, керованого перетворювачем частоти на основі сигналу датчика струму (навантаження на валу двигуна). Такий контур зворотного зв'язку дає змогу автоматично знижувати частоту обертання ротора при неповному завантаженні робочої камери та підвищувати її при зростанні навантаження, підтримуючи оптимальне співвідношення продуктивності й енергоємності.

Питомі енерговитрати процесу подрібнення визначають за формулою:

$$e = E / M, \quad (1)$$

де e - питомі енерговитрати, кВт·год/т; E - витрачена електрична енергія, кВт·год; M - маса подрібненої сировини, т.

Ефект енергозбереження від застосування адаптивного керування частотою обертання ротора оцінюють коефіцієнтом:

$$k = (e_{баз} - e_{пол}) / e_{баз} \times 100\%, \quad (2)$$

де $e_{баз}$ - питомі енерговитрати базової (нерегульованої) конструкції; $e_{пол}$ - питомі енерговитрати енергоощадної конструкції за тих самих умов подрібнення.

Характер залежності питомих енерговитрат від частоти обертання ротора для базової та енергоощадної конструкцій ілюструє рисунок 2.

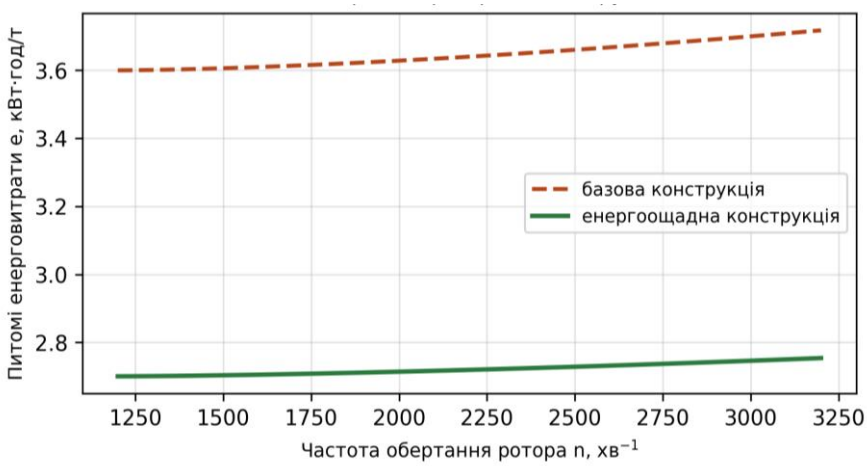


Рисунок 2. Питомі енерговитрати подрібнення залежно від частоти обертання ротора та конструкції машини

Як видно з наведеної залежності, енергоощадна конструкція забезпечує зниження питомих енерговитрат на 20–25 % порівняно з базовою у всьому досліджуваному діапазоні частот обертання ротора, причому ефект зростає при частковому завантаженні машини, що характерно для реальних умов експлуатації з нерівномірним подаванням сировини.

Перспективними напрямами вдосконалення енергоощадної конструкції машини є: застосування частотно-регульованого електропривода з адаптивним керуванням за фактичним навантаженням; раціоналізація геометрії робочих органів (ножів, молотків) для зменшення непродуктивних втрат енергії на тертя та повітряний опір; оптимізація зазору між робочими органами та решітним полотном чи протирізальними пластинами; застосування маховика на валу ротора для згладжування пульсацій навантаження та зменшення пускових струмів; використання зносостійких покриттів робочих кромок для стабілізації енергоємності протягом усього терміну експлуатації.

Таким чином, розроблення енергоощадної конструкції машини для подрібнення рослинної сировини доцільно здійснювати шляхом комплексного поєднання раціональних конструктивних рішень робочих органів з адаптивною системою керування частотою обертання ротора залежно від фактичного навантаження.

Такий підхід забезпечує суттєве зниження питомих енерговитрат процесу подрібнення без погіршення якості готового продукту та може бути реалізований на базі серійних молоткових чи ножових подрібнювачів шляхом їх модернізації.

Список використаних джерел

1. Podgorbunskikh E., Bukhtoyarov V., Ryabchikova E., et al. Cellulose, lignin or hemicelluloses: what provides strength to plant biomass when grinding. Cellulose. 2025. Vol. 32. P. 6987–7002. DOI: 10.1007/s10570-025-06680-y.

2. Liu P., Song C., He J., Li R., Cheng M., Zhang C., Li Q., Zhang H., Wang M. Research and Overview of Crop Straw Chopping and Returning Technology and

Machine. Machines. 2025. Vol. 13, No. 7. Article 564. DOI: 10.3390/machines13070564.

3. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S. Experimental Data of Grinding Dried Fibrous Plant Materials. Engineering Technologies and Systems. 2021. Vol. 29, No. 4. P. 591–608. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202104.591-608.

4. Kruszelnicka W., Bałdowska-Witos P., Flizikowski J., Tomporowski A. The Integrated Energy Consumption Index for Energy Biomass Grinding Technology Assessment. Energies. 2020. Vol. 13, No. 6. Article 1417. DOI: 10.3390/en13061417.

5. Moiceanu G., Paraschiv G., Voicu G., Dinca M., Negoita O., Chitoiu M., Tudor P. Energy Consumption at Size Reduction of Lignocellulose Biomass for Bioenergy. Sustainability. 2019. Vol. 11, No. 9. Article 2477. DOI: 10.3390/su11092477.

Abstract: *The paper substantiates the relevance of developing an energy-saving design of a machine for grinding plant raw material, given the high energy intensity of grinding processes in feed preparation lines and plant-residue processing. Design schemes of hammer, knife (rotary) and disc grinders of plant raw material are analysed in terms of their energy efficiency, and the main components of process energy intensity are identified. A structural-functional scheme of an energy-saving machine with a frequency-regulated electric drive and load feedback is proposed. It is shown that adaptive control of rotor speed according to actual load substantially reduces the specific energy consumption of the process compared to a base (non-regulated) design without impairing grinding quality.*

Keywords: *plant raw material, grinding, energy efficiency, grinding machine, frequency-regulated drive, specific energy consumption, design parameters, energy saving.*

Науковий керівник:

Доценко Н.А.

Д-р пед. наук, канд. техн. наук, професор

Миколаївський національний аграрний університет