

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента Ріпецького Євгенія Йосиповича на дисертаційну роботу Бабій Марії Василівни на тему «Обґрунтування параметрів енергозберігаючого приводу косарки сегментно-пальцевої», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

Реалізація програмних завдань у тваринництві потребує щорічного виробництва достатньої кількості високоякісних кормів, заготівля яких відбувається у відповідні агротехнічні терміни і здійснюється за допомогою різних технологій, головною операцією яких є скошування рослинної маси. Скошування рослинної маси є енергоємною операцією технологічного процесу заготівлі сухих кормів чи кормів на основі зеленої маси. При цьому основним видом кормозбиральної техніки є косарки, без яких не може бути реалізована жодна технологія заготівлі кормів. Такі машини повинні бути високоефективними при виконанні технологічного процесу скошування, надійними в роботі та енергоощадними щодо їх приводу. Однак, як показує практика, існуючі технічні засоби й технології заготівлі кормів, мають низьку продуктивність, високу енергоємність і недостатню експлуатаційну надійність.

Підвищення продуктивності косарок скоротить терміни збирання врожаю зі збільшенням об'єму, причому шляхами забезпечення зростання є збільшення ширини захвату або підвищення поступальної швидкості агрегату з одночасним збільшенням відносної швидкості різання. Саме «енергоощадність» при проектуванні сучасних сільськогосподарських машин чи вдосконаленні вже існуючих виходить на перший план при реалізації стратегії розвитку сільськогосподарського машинобудування.

Отже, розроблення енергозберігаючого приводу сегментно-пальцевої косарки з науковим обґрунтуванням його конструктивних і кінематичних параметрів є актуальною темою дисертаційної роботи. Крім того, дослідження автором виконувались відповідно до державних науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки та техніки, що також вказує на актуальність теми дисертації.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна

Основні наукові положення відображають наукову новизну одержаних результатів, є теоретичним фундаментом вирішеної в дисертації наукової проблеми, що виявляється у підвищенні ефективності роботи різального апарата косарки сегментно-пальцевої шляхом розроблення і застосування нової конструкції приводу з регульованим пружинним пристроєм (РПП), для

якого обґрунтовані кінематичні, конструктивні та силові параметри, що забезпечує високу продуктивність косарки та її низьке енергоспоживання.

Наукові положення, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані та достовірні. Це підтверджується коректним використанням аналітичного і числового апарату досліджень, адекватністю розрахункових результатів з експериментальним даним, позитивними результатами застосування цієї методики в конструкції різального апарата косарки сегментно-пальцевої.

Під час виконання дисертаційної роботи отримані такі висновки та практичні результати:

Перший висновок характеризує результати аналізу й синтезу експлуатаційних показників косарок, на основі яких встановлено, що косарки сегментно-пальцеві споживають в 3–4 рази менше потужності у порівнянні з ротаційними. При цьому доведено, що продуктивність сегментно-пальцевих косарок доцільно збільшувати шляхом підвищення поступальної швидкості агрегату з одночасною синхронізацією відносної швидкості руху ножа.

Другий висновок стосується результатів комплексних аналітичних досліджень, на підставі яких сформульовано математичну модель навантаженості різального апарата. За результатами теоретичних досліджень обґрунтовано співвідношення складових навантаженості даного апарата: сили інерції – 54%; сили опору зрізування – 40%; сили тертя – 6% – при швидкості поступального руху машини 2,2 м/с, питомій роботі зрізування $200 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{м}^2$, частоті обертання кривошипа 700 об/хв та кількості сегментів ножа 18.

Достовірність висновку підтверджено коректним використанням аналітичного апарата досліджень.

Третій висновок стосується результатів теоретичного аналізу за розробленою математичною моделлю ефективності роботи енергозберігаючого привода косарки. Встановлено, що зниження енергоспоживання привода косарки досягається за рахунок зменшення максимальних значень моменту привода. Підтверджено, що для частоти обертання кривошипа $n = 724$ об/хв, зниження максимальних значень моментів привода на холостому ході становить до 83%, а при роботі з питомими навантаженням 150, 200 і 250 (Н·м)/ м^2 відповідно в діапазонах 23,3–46,7%; 20,1–42,2% і 17,6–37,1%.

Достовірність висновку забезпечується коректним використанням аналітичного і числового апарату досліджень.

Четвертий висновок присвячений розробці методики повного факторного експерименту досліджень енергетичних параметрів приводного механізму косарки з отриманням перевідних коефіцієнтів для визначення частоти обертання кривошипа за показами спідометра енергозасобу. За даними експериментальних досліджень, виходячи з позиції мінімального споживання потужності енергозберігаючим приводним механізмом, для

різних режимів роботи косарки визначено раціональні конструктивні параметри регульованого пружинного пристрою: жорсткості першого та другого пружних елементів – $2,2 \cdot 10^4 - 4,5 \cdot 10^4$ Н/м, параметр, що характеризує момент початку (закінчення) роботи пружного елемента – $0 - 0,004$ м.

Висновок достовірний, бо наводиться відносна похибка отриманих результатів теоретичним і експериментальним шляхами, яка не перевищує 12%.

П'ятий висновок стосується дослідженню коливних процесів для елементів привода. Встановлено, що система з власними частотами 106 с^{-1} при роботі з найбільш жорсткими пружними елементами ($4,5 \cdot 10^4$ Н/м) та $73,6 \text{ с}^{-1}$ – з найменш жорсткими елементами ($2,2 \cdot 10^4$ Н/м) не досягає області резонансу при частоті вимушених коливань $12,1 \text{ с}^{-1}$.

Висновок достовірний, бо результати використано у конструюванні енергозберігаючого привода косарки.

Шостий висновок присвячений дослідженням характеристик міцності та ресурсу роботи найбільш навантажених елементів косарки спинки ножа та пружних елементів РПП. Для спинки ножа визначено ефективний коефіцієнт концентрації напружень ($k\sigma$) $d = 2,552$ та коефіцієнти запасу міцності від дії інерційних сил $n' = 10,24$ (при 540 об/хв.) та $n' = 2,75$ (при 1040 об/хв.). Відмічено, що використання РПП в механізмі з енергозберігаючим приводом косарки збільшує ресурс роботи спинки ножа з $N_u = 2,968 \cdot 10^7$ циклів до $N_u = 8,482 \cdot 10^8$ циклів порівняно з базовим варіантом. Запас міцності пружних елементів РПП становить $n'' = 1,73 - 2,44$, що забезпечує $N = 10^{12} - 10^{15}$ циклів навантаження.

Висновок достовірний, бо силові розрахунки здійснено на основі експериментальних даних.

Сьомий висновок констатує переваги запропонованої конструкції енергозберігаючого привода косарки, збільшення її продуктивності до $W = 1,09$ га/год що 47,3% більше продуктивності базової конструкції. Ефективність наукової розробки підтверджена річним економічним ефектом 5141 грн на одну машину з терміном окупності – 2,7 року. Матеріали досліджень, що виконані у дисертаційній роботі, передані та використовуються конструкторським бюро ТзОВ «Лемберг Індастріал Парк» (м. Львів).

Висновок підтверджено розрахунком економічної ефективності, актами випробування та актом впровадження.

Недоліки висновків

1. п.5 достовірний, але інформативності не несе.

3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Результати досліджень, що складають дисертаційну роботу, достатньо повно викладені у 20 друкованих працях, з яких 6 – у фахових наукових виданнях України, 2 – у міжнародному виданні, що входить до науково-метричної бази, 8 – у збірниках тез науково - практичних конференцій, 4 – деклараційних патентах України на корисну модель. Наведені публікації відображають основний зміст дисертації.

4. Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Автореферат дисертації відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

5. Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва

Наукова новизна отриманих результатів полягає, в тому що:

- вперше обґрунтовано конструктивні та кінематичні параметри енергозберігаючого приводного механізму з регульованим пружинним пристроєм (РПП) на основі розробленої математичної моделі технологічного процесу роботи косарки;
- модифіковано аналітичні залежності опису процесу навантаження різального апарата косарки на базі адитивних неперервних диференційованих функцій;
- розроблено методику і визначено сукупність перевідних коефіцієнтів при визначенні частоти обертання кривошипа за показами спідометра енергозасобу для експериментальних досліджень з визначення енергетичних параметрів привода косарки;
- вперше отримано регресійні залежності та побудовано поверхні відгуку як функції зміни потужності на приводі косарки при табулюванні жорсткості пружних елементів та параметра початку (закінчення) їх роботи.

Значущість результатів досліджень для практики полягає в розробці енергозберігаючого привода косарки сегментно-пальцевої, який дозволяє підвищити продуктивність, надійність елементів механізму та знизити енергоспоживання. Розроблено та виготовлено експериментальний зразок косарки сегментно-пальцевої з енергозберігаючим приводним механізмом, що містить регульований пружинний пристрій (РПП) та запропоновано ряд оригінальних технічних рішень, які захищені чотирма патентами України, що направлені на підвищення ефективності роботи різальних апаратів підпорного зрізування.

Результати та методики аналітичних і експериментальних досліджень приводного механізму косарки передано та впроваджено на ТзОВ «Лемберг Індастріал Парк» (м. Львів).

6. Оцінка змісту дисертації, повнота викладу основних наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, переліку посилань із 129 найменувань та 6 додатків. Загальний обсяг дисертації – 198 сторінок (основний текст – 147 машинописних сторінок, 72 рисунків, 17 таблиць).

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані мета і основні завдання дослідження, наведено об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз й синтез експлуатаційних показників косарок, де встановлено, що косарки з сегментно-пальцевим різальним апаратом споживають в 3–4 рази менше потужності у порівнянні з ротаційними. Досліджено напрямки підвищення продуктивності сегментно-пальцевих косарок шляхом підвищення поступальної швидкості агрегату з паралельною синхронізацією відносної швидкості руху ножа. Відмічено, що через збільшення швидкості ходу ножа, при його зворотно-поступальному русі значно зростають інерційні сили в наслідок збільшення максимальних значень прискорень рухомих мас. Проведено огляд схем привідних механізмів різальних апаратів і встановлено, що перспективним напрямком зрівноваження інерційних сил в механізмі є використання пружних елементів в конструкції привода.

Недоліки першого розділу.

1. Аналізуючи можливості зрівноваження механізмів, автор констатує, що «представлені моделі та підходи не враховують зміни від опорів різання та тертя, що змінюються при виконанні технологічної операції скошування різних культур з відмінними фізико-механічними властивостями стебел». Однак, фізико-механічних властивостей стебел культур автором не наводяться.

У другому розділі відповідно до поставлених завдань теоретичних досліджень отримано уточнені вирази основних кінематичних параметрів косарки і досліджено енергетичні процеси існуючого приводу. Аналітичними методами досліджено основні кінематичні параметри приводу різального апарату такої косарки, сформовано розрахункову модель енергоспоживання процесу скошування і визначено показники енергоефективності. В результаті теоретичних досліджень встановлено відсоткове співвідношення максимальних значень названих величин: сили інерції – 54 %, сили зрізування

– 40 % і сили тертя – 6 % при частоті обертів кривошипа косарки $n_1 = 724$ об/хв.

Для зменшення інерційних зусиль при зворотно поступальному русі ножа запропоновано нову конструкцію різального апарата косарки, в склад якого входить регульований пружинний пристрій (РПП). Роль даного пристрою полягає в тому, що він надає можливість зменшувати інерційні знакозмінні зусилля при зворотно-поступальному руху ножа, поглинаючи кінетичну енергію рухомих мас, для накопичення потенціальної енергії деформації пружних елементів з віддачею цієї енергії назад в систему при зворотному ходу ножа.

За розробленою математичною моделлю роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки з регульованим пружинним пристроєм обґрунтовано його конструктивні та кінематичні параметри. Ефектом роботи є значне зниження максимальних значень моментів привода, що в комплексі дозволило підвищити відносну швидкість ножа різального апарата косарки, а від того – і її продуктивність.

Недоліки до другого розділу.

1. Розділ 2, п.2.1, стр. 51-52. Графік (рис. 2.2), що наведено автором для порівняння розбіжності значень переміщення ножа, представлено на достатньо вузькому діапазоні часу всього лиш $1 \cdot 10^{-6}$ с, в той час як період повного ходу ножа становить $T = 0,11$ с (при частоті $n = 540$ об/хв.). Тому, доцільно було б доповнити наступний рисунок 2.3 і до існуючого графіка переміщення ножа показати ще й графік з наближеними значеннями, що дозволило б судити про величину розбіжності за повний оборот кривошипа.
2. На стр. 53 відмічено, що максимальна похибка прискорення становить 14,5%, але не сказано чи це допустимо для подальших досліджень.
3. Присутні різні підходи до подання аналітичних виразів діючих сил. Так, сили зрізування і сила тертя спочатку подані залежностями з проміжками (2.42) і (2.55a). Далі здійснено перехід до неперервної періодичної функції шляхом розкладання в ряд Фур'є тільки для сили різання (2.44). Очевидно, такий же перехід доцільно було б зробити і для сили тертя.
4. В тексті дисертації відсутнє твердження з висновків до другого розділу (п.2 стр. 94) про відсоткове співвідношення максимальних значень діючих сил (сили інерції – 54%, сили зрізування – 40% і сили тертя – 6%) .

Третій розділ присвячено розробці програми та методики експериментальних досліджень, а також обґрунтуванню обладнання й методів проведення досліджень з визначення енергетичних параметрів приводного механізму косарки. Для підтвердження адекватності теоретичної моделі технологічного процесу роботи приводного механізму косарки запропоновано оригінальні програма та методика експериментальних досліджень, які

включають етапи: розробка та виготовлення регульованого пружинного пристрою; фіксування частоти обертів кривошипа на усталеному режимі роботи косарки; встановлення на приводі моментоміру для фіксації величини моментів, які передаються приводом косарки.

Недоліки третього розділу

1. Методикою експериментальних досліджень не передбачено проведення лабораторних досліджень, натомість всі експериментальні дослідження пропонується проводити в польових умовах.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень енергетичних параметрів приводного механізму косарки, що містить регульований пружинний пристрій. Дослідження приводу косарки проведено за методикою повного факторного експерименту типу 23 з отриманням перевідних коефіцієнтів для визначення частоти обертання кривошипа.

За результатами експериментальних досліджень з позицій мінімального споживання потужності енергозберігаючим приводом на різних режимах роботи косарки визначено раціональні конструктивні параметри регульованого пружинного пристрою: жорсткості пружних елементів – $2,2 \cdot 10^4 \dots 4,5 \cdot 10^4$ Н/м, параметр, який характеризує момент початку (закінчення) роботи пружного елемента $0 \dots 0,004$ м, при відносній похибці теоретичних та експериментальних даних – 12%.

Недоліки четвертого розділу

1. В п.4.2 при визначенні частоти обертання кривошипа косарки враховується передаточне відношення від двох коробок змінних передач: КПП силового агрегату і силова КПП. На кінематичній схемі (рис.4.3) показано лише одну силову КПП (поз.4). Тому відсутність на схемі (рис.4.3) КПП силового агрегату ускладнює розуміння подальших викладок п.4.2.
2. Невдале фото рис. 4.6: польові випробування експериментального зразка косарки з розробленим пристроєм проводяться на похилій поверхні (агрегат рухається вгору). Адже, потужність агрегату під час руху вверх і вниз буде різної. Крім того, ухили рельєфу автором не розглядаються в теоретичній частині роботи.
3. Наведені фрагменти осцилограм польових випробувань (рис.4.7) не дозволяють судити про виміряні величини, так як в роботі відсутня інформація про тарировочні коефіцієнти.
4. Невідповідність таблиць 3.2, 3.3 планування експерименту та отриманим результатам в таблицях 5.1-5.3. В таблицях планування (табл. 3.2, 3.3) фактори заплановано варіювати в двох рівнях: верхньому та нижньому, а таблицях результатів (табл. 5.1-5.3) наведено дані є ще й третього середнього (нульового) рівня.

У п'ятому розділі встановлено рівень енергоефективності привода на різних кінематичних ремах роботи косарки при скошуванні культур з різними фізико-механічними властивостями. При розрахунку частот коливань елементів привода встановлено, що система не досягає області резонансу. На основі розрахунків міцності та довговічності за класичними теоріями визначено параметри надійності елементів різального апарата та його привода.

Відмічено, що розроблена косарка з енергозберігаючим приводом забезпечує підвищення продуктивності до $W = 1,09$ га/год, що на 0,35 га/год (47,3%) більше продуктивності базової конструкції. Річний економічний ефект складає 5141 грн на одну машину, термін окупності – 2,7 року.

Недоліки п'ятого розділу

1. Розглядаючи процес перерізання стеблин, автором не враховане те, що в площину розрізання може попадати не одна, а декілька стеблин одночасно. Тому отримані кінцеві вирази потребують коригування.

7. Основні зауваження до дисертаційної роботи

До дисертаційної роботи та її автореферату треба віднести наступні зауваження:

1. П.1. наукової новизни доцільно було б пов'язати з назвою роботи, конкретизувавши математичну модель: «математична модель з енергозберігаючим пристроєм».
2. Розділ 1, п.1.4, стр. 40, 47. Аналізуючи можливості зрівноваження механізмів, автор констатує, що «представлені моделі та підходи не враховують зміни від опорів різання та тертя, що змінюються при виконанні технологічної операції скошування різних культур з відмінними фізико-механічними властивостями стебел». Однак, фізико-механічних властивостей стебел культур автором не наводяться.
3. Розділ 2, п.2.1, стр. 51-52. Графік (рис. 2.2), що наведено автором для порівняння розбіжності значень переміщення ножа, представлено на достатньо вузькому діапазоні часу всього лиш $1 \cdot 10^{-6}$ с, в той час як період повного ходу ножа становить $T = 0,11$ с (при частоті $n = 540$ об/хв.). Тому, доцільно було б доповнити наступний рисунок 2.3 і до існуючого графіка переміщення ножа показати ще й графік з наближеними значеннями, що дозволило б судити про величину розбіжності за повний оборот кривошипа.
4. На стр. 53 відмічено, що максимальна похибка прискорення становить 14,5%, але не сказано чи це допустимо для подальших досліджень.
5. Присутні різні підходи до подання аналітичних виразів діючих сил. Так, сили зрізування і сила тертя спочатку подані залежностями з проміжками (2.42) і (2.55a). Далі здійснено перехід до неперервної періодичної функції шляхом розкладання в ряд Фур'є тільки для сили

- різання (2.44). Очевидно, такий же перехід доцільно було б зробити і для сили тертя.
6. В тексті дисертації відсутнє твердження з висновків до другого розділу (п.2 стр. 94) про відсоткове співвідношення максимальних значень діючих сил (сили інерції – 54%, сили зрізування – 40% і сили тертя – 6%) .
 7. Методикою експериментальних досліджень (розділ 3) не передбачено проведення лабораторних досліджень, натомість всі експериментальні дослідження пропонується проводити в польових умовах.
 8. В п.4.2 при визначенні частоти обертання кривошипа косарки враховується передаточне відношення від двох коробок змінних передач: КПП силового агрегату і силова КПП. На кінематичній схемі (рис.4.3) показано лише одну силову КПП (поз.4). Тому відсутність на схемі (рис.4.3) КПП силового агрегату ускладнює розуміння подальших викладок п.4.2.
 9. Невдале фото рис. 4.6: польові випробування експериментального зразка косарки з розробленим пристроєм проводяться на похилій поверхні (агрегат рухається вгору). Адже , потужність агрегату під час руху вгору і вниз буде різної. Крім того, ухили рельєфу автором не розглядаються в теоретичній частині роботи.
 10. Наведені фрагменти осцилограм польових випробувань (рис.4.7) не дозволяють судити про виміряні величини, так як в роботі відсутня інформація про тарировочні коефіцієнти.
 11. Невідповідність таблиць 3.2, 3.3 планування експерименту та отриманим результатам в таблицях 5.1-5.3. В таблицях планування (табл. 3.2, 3.3) фактори заплановано варіювати в двох рівнях: верхньому та нижньому, а таблицях результатів (табл. 5.1-5.3) наведено дані є ще й третього середнього (нульового) рівня.
 12. Розглядаючи процес перерізування стеблини, автором не враховане те, що в площину перерізування може попадати не одна, а декілька стеблин одночасно. Тому отримані кінцеві вирази потребують коригування.

Відмічені недоліки не знижують наукової та практичної цінності дисертації і не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому. За обсягом і змістом дисертація відповідає чинним вимогам МОН України.

8. Висновок

Дисертаційна робота «Обґрунтування параметрів енергозберігаючого приводу косарки сегментно-пальцевої» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові теоретично та експериментально обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують важливу науково-прикладну проблему, пов'язану з розробленням енергозберігаючого приводу сегментно-пальцевої косарки з науковим обґрунтуванням його конструктивних і кінематичних параметрів.

Вказані недоліки не зменшують наукової та практичної цінності представленої дисертації.

Основні результати дисертації в достатній мірі опубліковані у фахових наукових виданнях України, у міжнародному виданні, що входить до науково-метричної бази Index Copernicust, новизна технічних рішень захищена деклараційними патентами України на корисну модель. Дисертація характеризується єдністю змісту та сучасною методологією проведених досліджень. Зміст автореферату у повній мірі відображає наукові положення та результати дисертаційної роботи, висновки у дисертації та її автореферат повністю ідентичні.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, а також вимогам п. 9, 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Бабій Марія Василівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент,
д.т.н, доцент, професор кафедри
інженерної геодезії Івано-Франківського
національного технічного
університету нафти і газу



Підпис(и) *Ріпецький Є.Й.*

посвідчую
Вчений секретар ІФНТУНГ *В.В. Протченко*

19. 09. 2016 р.

Ріпецький Є.Й.