

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Сєдих Костянтина Вячеславовича** на тему «**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискатора з пружними стійками**» подану до захисту на спеціалізовану вчену раду Д 64.832.04 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «**Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва**»

1. Загальна характеристика роботи. Дискування є однією з основних операцій забезпечення утворення оптимального структурно-агрегатного складу ґрунту та подрібнення рослинних решток у сучасних технологіях виробництва сільськогосподарських культур. Одним із способів підвищення ефективності функціонування дискових робочих органів є застосування пружних стійок кріплення їх до рами дискаторів, що зумовлює коливний рух робочих органів в ґрунтового середовищі при виконанні технологічного процесу. Суттєвий вплив на якість виконання і енергоємність процесу поверхневого обробітку ґрунту має стійкість руху дискових робочих органів по глибині, що зумовлюється конструктивно-технологічними параметрами дискового знаряддя. Аналіз результатів відомих досліджень процесів дискування ґрунту, відповідних способів і конструкцій також встановлено, що для забезпечення ефективності взаємодії з ґрунтом та якісного виконання процесу при мінімальних енерговитратах дискові робочі органи на пружних стійках повинні забезпечувати рівномірність обробітку по глибині. Для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів дискатора необхідно виконати теоретичні та експериментальні дослідження, які б дозволили розраховувати та керувати показниками процесу поверхневого обробітку ґрунту. Як гіпотезу в дисертації прийнято припущення про те, що підвищення якості обробітку ґрунту і стійкості руху дискових робочих органів може бути досягнуто за рахунок раціонального розташування дискових робочих органів на пружних стійках із різними коефіцієнтами жорсткості на рамі знаряддя, що чинять руйнування ґрунту за умови зменшення енергоємності процесу.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з науково-дослідною тематикою Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва при виконанні теми «Удосконалення агроекологічних процесів засобів механізації в агропромисловому виробництві» (номер державної реєстрації 0118U00211).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформованих у дисертації. Отримані дисертантом теоретичні та експериментальні дані науково обґрунтовані на підставі використання загальної методики досліджень, що передбачала теоретичне обґрунтування з

використанням методів математики, теоретичної механіки, теорії коливань, диференціального та інтегрального числення, теорії ймовірності, теорії пружності і суцільного середовища. На основі загальноприйнятих та окремих методик, розроблених автором, проводилися виробничі та лабораторні експериментальні дослідження. При проведенні теоретичних досліджень використовували методи механіки, математичної фізики, математичного аналізу. При проведенні експериментальних досліджень використовували як стандартні методи досліджень у галузі механізації сільськогосподарського виробництва, так і розроблені автором оригінальні методики. Широке застосування знайшли методи вимірювань параметричних величин. При аналізі результатів теоретичних і експериментальних досліджень широко використовувалися прикладні комп'ютерні пакети, такі як STAR-CCM+, Mathematica, Panning Experiment і Solidworks.

За загальною сукупністю використаних автором методів можна зробити висновок про достатній рівень обґрунтованості сформульованих висновків та отриманих наукових положень.

4. Наукова новизна і достовірність одержаних результатів та висновків. Автором вперше визначено залежності напруження, коефіцієнтів жорсткості, відносної і абсолютної деформації в кожній точці пружної стійки дискатора, форма якої прийнята у вигляді спіралі Архімеда, від параметрів її геометричної форми (крок спіралі, зміщення спіралі вздовж радіальної координати, товщина пружної стійки). Здобувачем вперше отримано закономірності ступеню асимптотичної стійкості (кути коливання) системи робочих органів дискатора на пружних стійках у вигляді спіралі Архімеда із різними коефіцієнтами жорсткості в залежності від його конструктивно-технологічних параметрів (крок спіралі пружної стійки першого і другого ряду, відстань між пружними стійками, діаметр, кути атаки і нахилу дискового робочого органу, швидкість переміщення). Дисертантом отримано подальший розвиток залежності площі та рівняння лінії контакту ґрунтового середовища із поверхнею дискового робочого органу від його конструктивних параметрів (радіус сферичної поверхні, діаметр диска), кутів атаки і нахилу та глибини обробітку ґрунту, що в комплексі із аналітичними закономірностями для компонентів нормальних напружень пружно-в'язко-пластичного ґрунтового середовища дозволяють визначати залежності відповідних проекцій сил опору. Здобувач отримав подальший розвиток залежності зміни тягового опору дискового робочого органу дискатора з пружними стійками, кута його відхилення, коефіцієнта структурності ґрунту від його конструктивно-технологічних параметрів (діаметр, кути нахилу і атаки диску, крок спіралі пружної стійки) у вигляді рівнянь регресії другого порядку. Автором отримано подальший розвиток залежності зміни тягового опору дискатора з пружними стійками, кута відхилення робочих органів, коефіцієнта структурності ґрунту від варіантів розміщення пружних стійок в двох рядах в залежності від їх жорсткості, відстані між рядами дискових

робочих органів, швидкості переміщення агрегату у вигляді рівнянь регресії другого порядку.

Достовірність одержаних результатів підтверджено методикою оцінювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності і стохастичності процесів та їх співставленням з теоретично отриманими залежностями.

5. Практичне значення одержаних результатів, що отримані дисертантом полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні економічної доцільності та екологічної безпеки експлуатації дискових робочих органів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискатора з пружними стійками із різними коефіцієнтами жорсткості.

Результати роботи знайшли відображення в навчальному процесі Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва для підготовки фахівців зі спеціальності «Агроінженерія».

Окремі розроблення, моделі, методики та залежності використовуються у виробничому циклі підприємства ТОВ «Українське конструкторське бюро трансмісій і шасі».

6. Відображення наукових положень в публікаціях. Основні положення дисертації викладено у 12 наукових працях, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у науковому виданні іншої держави, 5 тези наукових доповідей.

7. Мова та стиль роботи. Дисертація та автореферат написані державною мовою. Стиль і виклад роботи логічний, послідовний і відповідає вимогам до наукових праць. Зміст роботи повністю висвітлює наукові результати і їх використання у виробництві. При викладенні тексту застосовується наукова лексика і термінологія.

8. Аналіз дисертаційної роботи. На рецензування подана дисертаційна робота, яка складається із анотацій, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (215 найменувань) і 11 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 248 сторінки, вона містить 24 таблиці та 81 рисунок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено зв'язок роботи з програмами, планами темами, сформульовані мета і завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача в опублікованих працях. Подана інформація щодо апробації результатів дисертаційних досліджень.

У *першому* розділі «Сучасний стан проблеми і вибір напрямів дослідження» виконано аналіз фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунту, що визначають якість його обробітку дисковими

знаряддями. Проведено аналіз конструкцій дискових робочих органів машин для обробітку ґрунту. Узагальнено існуючі конструкції дискових знарядь для поверхневого обробітку ґрунту. Проведено аналіз результатів досліджень взаємодії дискових робочих органів з ґрунтом. Виконано огляд конструкцій та аналіз досліджень стійок для незалежного кріплення дисків. Обґрунтовано сформульована постановка задач досліджень.

У *другому* розділі «Теоретичні дослідження процесу взаємодії дискатора з ґрунтовим середовищем» представлені результати дослідження фізико-математичної моделі взаємодії робочого органа дискатора з ґрунтовим середовищем. В результаті аналітичних досліджень переміщення частинки ґрунту по увігнутій сферичній поверхні робочого органу дискатора з урахуванням сили підпору шару ґрунту, що напливає на дисковий робочий орган, відцентровою сили та сили Коріоліса, що виникають в результаті його обертання, розроблено програмний код в програмному пакеті Mathematica, який дозволяє визначити площу та рівняння лінії контакту ґрунтового середовища із поверхнею робочого органу дискатора в залежності від його конструктивних параметрів (радіус сферичної поверхні R , діаметр диска d), кутів атаки α і нахилу γ та глибини обробітку ґрунту h .

Враховуючи отримані залежності площі та рівняння лінії контакту ґрунтового середовища із поверхнею робочого органу дискатора та використовуючи аналітичні закономірності Гуцола О. П. і Ковбаси В. П. для компонентів нормальних напружень пружно-в'язко-пластичного ґрунтового середовища, розроблено програмний код в програмному пакеті Mathematica, який дозволяє визначати залежності проекцій сили опору від кутів атаки α і нахилу γ робочого органу дискатора, швидкості його переміщення V та глибини обробітку ґрунту h .

В результаті аналітичних досліджень динамічної моделі процесу деформації пружної стійки дискатора будь-якої форми складено систему диференційних рівнянь в загальному вигляді і розроблено відповідний програмний код в програмному пакеті Mathematica, який дозволяє визначити напруження, відносні і абсолютні деформації в кожній точці пружної стійки.

Автором встановлені залежності коефіцієнтів жорсткості k_x і k_z , довжини l і кута φ еквівалентної фізико-математичної моделі пружної стійки дискатора із параметрами геометричної форми: $a = 0,8$ м, $b = 0$ м, $h = 0,01$ м від значень сил F_{ex} і F_{ez} , що діють на вільний кінець стійки вздовж осей Ox і Oz . В результаті аналітичних досліджень складено систему диференційних рівнянь коливання рами і робочих органів дискатора під час його руху з урахуванням змін фізико-механічних властивостей ґрунту.

За розробленим алгоритмом в програмному пакеті Mathematica встановлено вираз у вигляді рівняння регресії щодо визначення ступеня асимптотичної стійкості (кути коливання φ) системи робочих органів дискатора в залежності від його конструктивно-технологічних параметрів (крок спіралі пружної стійки першого і другого ряду aI aII , відстань між пружними стійками Δx , діаметр d , кути атаки α і нахилу γ дискового робочого органу, швидкість переміщення V).

У *третьому* розділі «Програма і методика проведення експериментальних досліджень». Структурно-агрегатний склад ґрунту визначали для трьох варіантів: перший – до початку обробітку (контроль); другий – після обробітку серійною бороною; третій – після обробітку експериментальним дискатором. Усі фракції зважували і підраховували їх відсоток відносно до маси зразка. Проби на щільність ґрунту відбирали в зоні місць визначення твердості та вологості ґрунту. Глибина визначення щільності ґрунту встановлювалася в залежності від глибини обробітку ґрунту. Проби відбирали спеціальним буром. Глибину обробітку ґрунту вимірювали бороздоміром по борозні, утвореній робочими органами дискатора або по сліду проходу його пружної стійки, для цього у місцях вимірювання борозну очищали від насипу (валу). Кількість вимірювань по кожному обліковому проходу не менше 50. Похибка вимірювання глибини не більш $\pm 1,0$ см. Дані вимірювань обробляли методом математичної статистики. Обробка результатів досліджень, проведених методом математичного факторного планування експериментів, виконувались за допомогою комп'ютерної програми «Mathematica». Математична модель визначалась по одному критерію оптимізації. Коефіцієнти регресії математичних моделей обчислювались за формулами для D-оптимальних планів дослідів. З метою забезпечення необхідної достовірності впливу факторів досліджень на критерії оцінки, досліди проводилися в трьохразовій повторності. Для зменшення впливу випадкових факторів та отримання результатів, порядок проведення досліджень – рандомізувався, і отриманий результат оброблявся із застосуванням методу дисперсійного і кореляційного аналізів та математичної статистики. Достовірність факторів визначалася за допомогою критерію Фішера.

У *четвертому* розділі «Результати експериментальних досліджень» здобувач показав, що в результаті лабораторних досліджень процесу взаємодії дискових робочих органів на пружній стійці з ґрунтовим середовищем отримано динаміку зміни тягового опору R_x , куту відхилення робочих органів φ , коефіцієнта структурності ґрунту K_{str} від діаметра диску d , кроку спіралі пружної стійки a , кута нахилу γ і кута атаки α у вигляді рівнянь регресії другого порядку. В зв'язку з тим що для кожного критерію оцінки лабораторних досліджень оптимальні значення факторів не співпадають вирішено компромісну задачу методом скалярного ранжування шляхом мінімізації мультиплікативної функції із врахування коефіцієнта важливості приватного критерію. Отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри дискатора: $d = 0,56$ м, $\gamma = 22^\circ$, $\alpha = 31^\circ$, $a = 0,8$ м. При цих параметрах критерії оптимізації дорівнювали $K_{str} = 0,97$, $R_x = 2,52$ кН, $\varphi = 2,61^\circ$. В результаті експериментальних досліджень процесу роботи дискатора з пружними стійками в польових умовах отримано динаміку зміни тягового опору агрегату R_x , куту відхилення робочих органів φ , коефіцієнта структурності ґрунту K_{str} від варіантів розташування пружних стійок в двох

рядях в залежності від кроку спіралей aI , aII , відстані між рядами дискових робочих органів Δx , швидкості переміщення агрегату V .

Порівнюючи дані експериментальних досліджень процесу роботи дискатора з пружними стійками в польових умовах встановлено, що умови $R \min$, $x \rightarrow K \max$, $str \rightarrow \varphi \rightarrow \min$ виконуються для варіанту розташування пружних стійок в двох рядах $aI = 0,6$ м, $aII = 0,8$ м при відстані між рядами дискових робочих органів $\Delta x = 0,9$ м і швидкості переміщення агрегату $V = 1,0$ м/с. При цих параметрах критерії оптимізації дорівнювали $Kstr = 1,11$, $Rx = 21,1$ кН, $\varphi = 2,62^\circ$.

Статистичний аналіз порівняння результатів теоретичних і лабораторних даних для функцій амплітуди коливань кута рами дискатора в досліджуваному діапазоні варіювання показав, що коефіцієнт кореляції Пірсона складає 0,79, а критерій Фішера $F = 2,27 < F_T = 2,49$. Статистичний аналіз порівняння результатів теоретичних і експериментальних даних для функцій амплітуди коливань кута рами дискатора в досліджуваному діапазоні варіювання показав, що коефіцієнт кореляції Пірсона складає 0,89, а критерій Фішера $F = 1,98 < F_T = 2,49$. Це підтверджує адекватність отриманих моделей.

У *п'ятому* розділі «Виробничі випробування дискатора та техніко-економічна оцінка результатів досліджень» здобувач показав, що за результатами випробувань встановлено, що якість поверхневого обробітку ґрунту дослідним зразком дискатора ДЛ-5 відповідає встановленим агротехнічним вимогам, тяговий опір на різних агрофонах складає 14,94-15,16 кН. Застосування розробленого дискатора ДЛ-5 на поверхневому обробітку ґрунту дозволяє підвищити у 1,33 рази продуктивність у порівнянні із серійним аналогом дискового знаряддя бороною ДМТ-4 при забезпеченні агротехнічних вимог до якості виконання процесу дискування: грудочок розміром менше двох міліметрів на 5 % менше, ніж після проходу серійної борони, а агрегатів розміром більше 10 мм на 13 % більше. Економічні розрахунки свідчать, що застосування дискатора ДЛ-5 для поверхневого обробітку ґрунту у порівнянні із ДМТ-4 дає можливість отримати питомий річний економічний ефект 159,65 грн./га. Термін окупності при цьому складає 1,86 років.

9. Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота виконана відповідно до вимог оформлення наукових праць. Достовірність отриманих результатів підтверджується логічним аналізом стану питання, теоретичними розрахунками, системно спланованими дослідженнями та комп'ютерною обробкою результатів досліджень. Зміст дисертаційної роботи логічно викладений з послідовно ув'язаною структурою. Результати роботи в повній мірі висвітлюють рішення сформульованих завдань у визначеній області досліджень.

Результати досліджень представлені на конференціях та обговорені на семінарах, повністю представлені в опублікованих фахових працях.

Висновки узагальнюють отримані результати по суті наукових положень та практичних рекомендацій з впровадження.

Зауваження та пропозиції щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи.

1. У першому розділі автором не в повній мірі розшифровано одиниці вимірювання складових аналітичних виразів (1.7), (1.8), (1.9) С. 48, С. 49, що ускладнює їх подальший аналіз.

2. У другому розділі здобувач в повній мірі не розкрив аналітичність підходу до обґрунтованості у координатах (ψ , χ) рівняння ковзання частинки ґрунту Р по сфері вираз (2.9) і, і в яких межах задають рух в проекції на осі з одиничними векторами.

3. У другому розділі здобувач не обґрунтовано уникає графічних інтерпретацій отриманих аналітичних виразів (2.13), (2.18), (2.22), (2.55), (2.98).

4. У третьому розділі п. 3.5 здобувач приводить не обґрунтоване обмеження представлення викладки методики планування експериментальних досліджень, обробки та узагальнення даних.

5. У третьому розділі автор не представив пункт «Висновок з третього розділу», чим зменшив доробок даного розділу в структурі дисертаційної роботи.

6. У четвертому розділі у п. 4.2 здобувач не приділив належної уваги аналізу впливу факторів досліджень на середнє значення тягового опору агрегату R_x, а обмежився табличним представленням (таблиця 4.4).

7. У п'ятому розділі у п. 5.1 здобувач не приділив належної уваги аналізу поля після проходу дискового знаряддя ДЛ-5 на агрофоні № 1.

8. Список використаних джерел містить дещо обмежену кількість посилань на джерела п'ятирічної давності, з них більшість це праці автора або його наукового керівника, що складає, відповідно, 21% і 11% від загальної кількості всіх посилань; при необґрунтованому посиланні на джерела [6] і [157], відповідно, 1958 і 1953 років видання. Це дещо зменшує рівень проведеного аналізу і об'єктивність оцінювання сучасних досягнень науки з обраної проблематики.

10. Висновок.

Дисертаційна робота **Сєдих Костянтина Вячеславовича** проведена за актуальною темою наукового пошуку, основні результати достатньо обґрунтовані, узагальнені наукові положення зрозуміло адаптовані для використання на практиці. Нові рішення запропоновані здобувачем добре аргументовані та об'єктивно оцінені у порівнянні з уже відомими. Дисертація підготовлена автором особисто, істотний особистий внесок здобувача у розв'язання наукового оптимізаційного завдання з підвищення ефективності функціонування дискових робочих органів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискатора з пружними стійками із різними коефіцієнтами жорсткості. Рівень системності досліджень свідчить

про достатню наукову зрілість автора, його здібностей до логічного та послідовного ведення досліджень для отримання об'єктивних даних та формулювання з них висновків теоретичного та практичного значення. Основні результати досліджень в повній мірі були опубліковані автором у фахових наукових виданнях України та іншої держави, пройшли належну апробацію та були схвально оцінені науковцями.

Надані зауваження носять дискусійних характер і не принципові.

Дисертаційна робота **Сєдих Костянтина Вячеславовича** на тему **«Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискатора з пружними стійками»** являє собою завершену наукову працю і за своїм рівнем та практичною цінністю, змістом і оформленням повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами та доповненнями), щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

На підставі цього вважаю, що **Сєдих Костянтин Вячеславович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
директор науково-дослідного інституту техніки і технологій
Національного університету біоресурсів і природокористування України

Роговський Іван Леонідович

12 квітня 2021 року

