

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

На тему: Підвищення ефективності роботи культиватора з обґрунтуванням параметрів комплексу робочих органів.

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, Групи МГм-61

Спеціальності 208

Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Бойко Дмитро Дмитрович
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Керівник Довбуш Тарас Анатольович
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Нормоконтроль Сташків Микола Ярославович
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Завідувач кафедри Бабій Андрій Васильович
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Рецензент Гевко Іван Богданович
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Тернопіль

2025

Реферат

Автор: Бойко Дмитро Дмитрович

Тема: Підвищення ефективності роботи культиватора з обґрунтуванням параметрів комплексу робочих органів.

Мета дослідження: Метою даної дипломної роботи є Підвищення ефективності культиватора та аналіз і дослідження робочих органів культиватора, що забезпечує покращений обробіток ґрунту та економічну ефективність.

Актуальність теми: Підвищення ефективності культиватора одним із важливих напрямків розвитку аграрної справи, яка має на меті підвищити ефективність обробітку ґрунту, зменшити економічні витрати і підвищити тим самим якість урожаю та є важливим внеском у розвиток сільськогосподарської галузі.

Наукова новизна: Розробка рішення для підвищення ефективності роботи культиватора є важливим внеском для сільського господарства. Запропоноване технічне рішення сприяє збільшення продуктивності, зменшення витрат палива, підвищення якості обробітку і тим самим покращити врожайність.

Практичне значення: Результати дипломної роботи мають практичне значення для сільськогосподарських підприємств, що займаються вирощуванням сільськогосподарських культур. Впровадження удосконаленої технології для підвищення ефективності дозволить покращити якість обробітку ґрунту, зменшити тяговий опір трактора при роботі з таким культиватором, зменшити витрати та покращити економічні показники.

Зміст

ВСТУП -	3
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ -	5
1.1 Загальні відомості про культиватори -	5
1.2 Аналіз робочих органів культиваторів -	7
1.3 Аналіз конструкції культиваторів-	11
1.4 Висновки до розділу, мета та задача досліджень	19
2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Загальне обґрунтування параметрів стійки культиватора	21
2.2 Коливання робочого органу на пружній стійці. -	23
2.3 Моделювання коливань носка робочого органу	28
2.4 Геометрія і характеристика комплекту робочих органів	31
2.5 Моделювання комплекту робочих органів	33
2.6 Висновки до розділу	37
3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Обґрунтування вирішення і покращення комплекту робочих органів	39
3.2 Результати досліджень	41
3.3 Висновки до розділу	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ -	46
4.1 Охорона праці -	46
4.2 Безпека праці при роботі з культиватором	48
4.3 Безпека праці при транспортуванні культиватора	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТКИ-	55

ВСТУП

Підвищення ефективності передпосівного та міжрядного обробітку ґрунту є одним із ключових напрямів удосконалення сучасних агротехнологій. Зростаючі вимоги до якості підготовки ґрунтового шару, ресурсозбереження та енергетичної ефективності сільськогосподарських машин зумовлюють необхідність оптимізації конструкції та параметрів культиваторів. Особливе значення має раціональний вибір та обґрунтування комплекту робочих органів, оскільки саме вони визначають інтенсивність кришіння, підрізання бур'янів, вирівнювання поля, глибину обробітку та енергетичні витрати агрегату.

В умовах сучасного землеробства культиватори повинні забезпечувати якісне виконання декількох операцій за один прохід: розпушування ґрунту, вирівнювання мікрорельєфу, підготовку посівного ложа, збереження вологи й знищення сходів або проростків бур'янів. Ефективність цих процесів безпосередньо залежить від типу й параметрів робочих органів. Невідповідність їхньої конструкції агротехнічним вимогам призводить до зниження якості обробітку, перевитрати палива та підвищення зношування агрегату.

Наукове та технічне обґрунтування оптимального комплекту робочих органів ґрунтується на встановленні взаємозв'язку між конструктивно-кінематичними параметрами та якісними показниками обробітку ґрунту. До ключових параметрів відносять: ширину захвату та геометрію лап, кут атаки, жорсткість або пружність стояка, глибину ходу, тип і масу котків, а також схему їх розташування у кадрі культиватора.

Таким чином, підвищення ефективності роботи культиватора передбачає не лише удосконалення окремих конструктивних елементів, а й оптимізацію всього комплекту робочих органів з урахуванням умов експлуатації, характеристик ґрунтів та вимог до агротехнічного результату. Це підкреслює актуальність дослідження, спрямованого на обґрунтування параметрів робочих органів та визначення їх впливу на якість виконання технологічного процесу.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні відомості про культиватори

У сільському господарстві існують багато інструментів для полегшення роботи, для швидкого і ефективнішого обробітку полів, садів і інших сільськогосподарських угідь, для збору урожаю, для внесення добрив і тд. І в цій дипломній роботі річ буде йти про одне із знарядь сільського господарства, яке виконує безліч функцій і застосовується у різних галузях і угіддях. Також воно має купу різних варіацій, які заточені під різні задачі та потреби і це культиватори.

Культиватор – це сільськогосподарський інструмент для обробітку ґрунту, боротьби з бур'янами, для збереження вологи в ґрунті, для внесення добрив та підготовки до посіву. Його відмінність від інших подібних інструментів в тому, що культиватор не перевертає пласт землі, що дозволяє зберігати родючий пласт землі від зовнішніх чинників, що дуже актуально в місцях, де переважають сильні вітри чи дощі. Також його перевага, це простота конструкції і гнучкість, що дозволяє підготувати культиватор під різні ділянки, під різні міжряддя, під різні ґрунти і тд, зміною ширини робочих органів, зміни самих робочих органів на інші, а також модифікувати їх під власні потреби та задачі. Також до переваг культиватора відносять і те, що його можна доповнити іншими складовими, що дозволяє виконати кілька операцій за один прохід. Прикладом такого доповнення можна назвати установка бункера з добривами та удосконалення робочих органів для удобрень, що дозволяє не лише підготувати поле до посіву, чи обробити ґрунт, а і також вносити добрива, що економить час та гроші.

Сільськогосподарські машини класифікуються за рядом параметрів, зокрема за габаритними розмірами, масою, потужністю та функціональним

призначенням. Легкі агрегати масою до 30 кг є доцільними для обробітку земельних ділянок площею до 12 соток, тоді як важкі моделі потужністю близько 9 к.с. забезпечують ефективну роботу на площах понад 50 соток. З урахуванням експлуатаційних характеристик виділяють такі основні типи культиваторів.

Парові культиватори застосовуються переважно на етапі передпосівної підготовки ґрунту. Вони оснащуються розпушувальними лапами, що забезпечують глибоке проникнення в ґрунт та руйнування ущільнених шарів. До їхніх основних переваг належать підвищення водопроникності ґрунту, покращення його структурного стану та ефективне знищення багаторічних бур'янів.

Просапні культиватори призначені для міжрядного обробітку сільськогосподарських культур, а також для внесення мінеральних добрив у міжряддя без пошкодження рослин. Їх використання дає змогу зменшити забур'яненість посівів, покращити повітряний режим ґрунту та виконати підгортання. Основними особливостями цих машин є підвищення аерації ґрунту, забезпечення рівномірного розподілу добрив, а також компактність і багатофункціональність конструкції.

Універсальні культиватори поєднують функціональні можливості парових і просапних агрегатів, що забезпечує їх застосування для широкого спектра агротехнічних операцій. Вони комплектуються змінними робочими органами, які можуть налаштовуватися залежно від умов експлуатації. Незважаючи на вищу вартість порівняно з базовими моделями, такі культиватори вирізняються можливістю роботи на різних типах ґрунтів, виконанням як суцільного, так і міжрядного обробітку, а також широким вибором додаткового обладнання.

Рослиноживильники (підживлювачі) призначені для поєднання обробітку ґрунту з одночасним внесенням рідких або гранульованих добрив у зону кореневої системи рослин. Їх застосування забезпечує точне дозування

поживних речовин, покращує умови живлення культур та сприяє підвищенню врожайності.

Окрім функціонального призначення, культиватори класифікують і за способом агрегування з трактором: навісні та причіпні [1].

1.2 Аналіз робочих органів культиваторів

Для культиватора найбільш важливим елементом конструкції являються робочі органи. Від робочих органів залежить практично все: якість обробітку ґрунту, глибина обробітку, зменшення опору ґрунту, і тим самим зменшення необхідної тяги для трактора. Вони в основному складаються з лапи, стійки і кріплення.

Стойки поділяються по типу на пружинні та ресорні. Ресорні стойки являють собою ресору, яка кріпиться на спеціальне кріплення. Перевагами у таких стійок являються дешевизна самої стійки, простота виготовлення, простота заміни, більший ресурс, і можливість глибокого обробітку ґрунту (від 20см і більше) Це кріплення може бути жостким, в цьому випадку кріплення безпосередньо приєднане до рами культиватора і тим самими забезпечуючи жорсткість, але і тим самим збільшуючи опір ґрунту, що вимагає більшої потужності трактора при великій кількості стійок, ніж при пружинній стійці, відстунє копіювання рельєфу, більше навантаження на кріплення і раму культиватора.

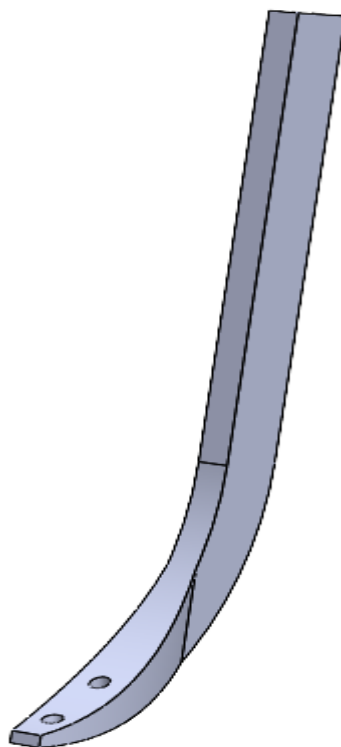


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ресорної стійки

Таке рішення застосовують на старих моделях, або в дешевих і малогабаритних культиваторах., Тому в сучасних культиваторах з ресорною підвіскою використовують систему амортизації з пружиною, яка частково дозволяє нівелювати ці недоліки, але платою виступають ускладнення та дороговизна самої стійки, але у більшості випадків не потрібно міняти всю конструкцію, а лише саму ресору з лапою.

Пружні стійки являються більш сучасним і більш популярним варіантом, через простоту, більшу ефективність при невеликих глибинах обробітку (до 20 см), копіюванням рельєфу та відсутності додаткових амортизуючих систем і тд. Також така стійка простіше замінюється і встановлюється на кріплення. І найголовнішою перевагою таких стійок являється зменшення тягового опору на трактор, що дозволяє при таких же розмірах і кількості лап, вибрати менш потужний і економічніший трактор, при таких же показниках продуктивності і якості обробітку в порівнянні з ресорними стійками. Мінусами таких стійок являються більш ретельніший цикл виробництва, так як вони виготовляються з спеціальних марок сталі, які

забезпечують пружиність та міцність. Також до мінусів таких стійок належать більша вразливість до камнів, які можуть бути під землею, що призводить до вигинів стійки, чи навіть тріщин і розломів. Але попри мінуси, плюси все ж переважають мінуси і тому вони являються найбільш популярними у сучасних культиваторах.

По своїй формі вони поділяються на S-подібні та спіралеподібні. S-подібні стійки використовуються на культиваторах де потрібна невелика глибина обробітку, або сам культиватор налаштований під трактори невеликої потужності. В порівнянні з спіралеподібними стійками вони дешевші і простіші у виготовленні та легші. Спіралеподібні стійки підходять для більш тяжких культиваторів завдяки своїй міцності, надійності та формі. Тому на більшість іноземних культиваторів, які мають більшу ширину культиватора і потребують більшу потужність від трактора та більшу глибину обробітку, використовують саме такі стійки.

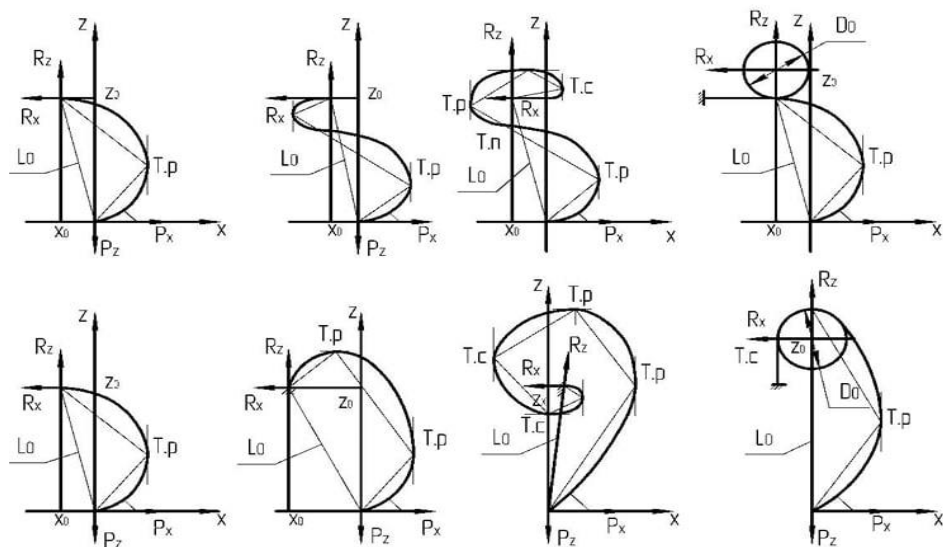
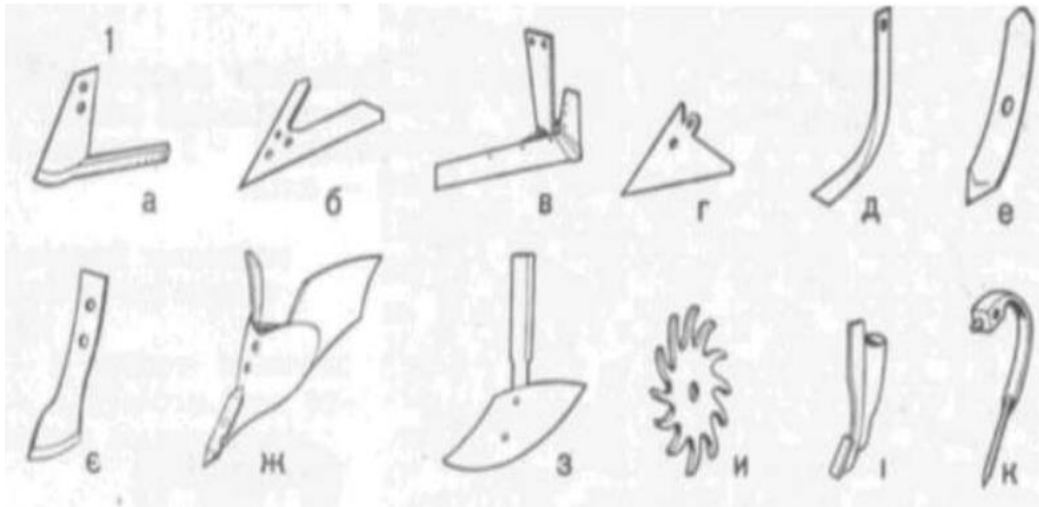


Рисунок 1.2 – Основні типи пружних стійок зі зображенням характерних точок [2].

Другим не менш важливим робочим органом культиватора являються лапи. Саме від них залежить якісне розрізання ґрунту, економічність операції,

глибина обробітку, і відповідно якісний урожай. Відповідно різновидів цих самих лап теж велика, які призначенні для різних типів робіт, типів ґрунту, глибини обробітку, засміченості ділянки та її вологості.



а – плоскорізальна однобічна лапа; б – плоскорізальна стрільчата лапа; в – лапа-плоскоріз; г – універсальна стрільчата лапа; д – долотоподібна лапа; е – оборотна лапа; є – списоподібна лапа; ж – підгортач; з – лапа-полічка; и – голчастий диск; і – підживлювальний ніж; к – полільний зуб

Рисунок 1.3 – Типи лап культиватора [7]

Виготовляються такі лапи в основному з спеціальних марок сталі типу 65Г, 70Г, які забезпечують стійкість до абразивних чинників, мають підвищений ресурс надійності в порівнянні з іншими марками сталі і строк служби.

Полільні лапи поділяються на плоскорізальні однобічні, плоскорізальні стрілчасті без хвостовика та плоскорізальні з хвостовиком (рис. 1.3, в). Зазначені робочі органи застосовують під час перших міжрядних обробіток просапних культур на глибині до 6 см. У процесі роботи вони здійснюють підрізання бур'янів, а також забезпечують незначне кришіння й розпушування ґрунту.

Універсальні стрілчасті лапи виготовляються у виконанні з хвостовиком і без нього (рис. 1.3, д) та призначені для обробітку ґрунту на глибину до 12 см. Під час роботи ці лапи не лише ефективно підрізають бур'яни, а й забезпечують інтенсивніше, порівняно з плоскорізальними, кришіння та розпушування ґрунту.

Основними конструктивними параметрами полільних і універсальних лап, що визначають їх форму та характер взаємодії з ґрунтом, є ширина захвату та кутові параметри. Плоскорізальні одnobічні лапи виготовляють у правому та лівому виконанні з шириною захвату 85, 120, 150, 165 і 250 мм. Плоскорізальні стрілчасті та універсальні лапи мають ширину захвату 220, 250, 270, 300 і 380 мм.

Кут α , який характеризує розпушувальну дію лапи на ґрунт, для польових лап має порівняно невелике значення і становить $9...10^\circ$, тоді як для універсальних стрілчастих лап він є значно більшим — $16...18^\circ$. Кут нахилу леза до горизонтальної площини у польових лап дорівнює $15...18^\circ$, а в універсальних стрілчастих — $25...30^\circ$. Леза як польових, так і універсальних лап загострюють під кутом $15...16^\circ$.

Для плоскорізальних одnobічних лап кут відхилення леза від напрямку руху становить $28...32^\circ$. У плоскорізальних стрілчастих лапах кут розхилу лез 2γ дорівнює $60...70^\circ$. В універсальних стрілчастих лапах цей показник змінюється залежно від типу ґрунту: для чорноземних глинистих ґрунтів він становить $50...58^\circ$, для середньозв'язних — $60...78^\circ$, а для піщаних — $70...80^\circ$.

Розпушувальні лапи призначені для глибокого розпушування ґрунту та поділяються на оборотні, списоподібні (рис. 1.56, е) і долотоподібні. Для процесу розпушування характерною є змінність кута розпушування, який зростає незалежно від глибини обробітку.

Оборотні лапи встановлюються на пружні або жорсткі стійки. Лапи, змонтовані на пружних стійках, застосовують за глибини обробітку до 12 см, при цьому початковий кут розпушування та кришіння ґрунту становить $25...30^\circ$. Лапи на жорстких стійках використовують для кришіння та розпушування ґрунту на глибину до 25 см; їхні основні параметри такі: кут розхилу лез $2\gamma = 60...80^\circ$, кут $\alpha = 40...45^\circ$, ширина лапи $b = 35...65$ мм.

Списоподібні лапи мають аналогічні параметри, проте відрізняються меншим кутом розхилу лез, який становить $45...50^\circ$. Загострення леза в них виконується з одного боку.

Долотоподібні лапи використовують для міжрядкових обробіток культур до 16 см в глибину. Початковий кут кришіння та розтягування ґрунту становить близько 40°, ширина леза дорівнює 20 мм, а винос леза відносно стійки складає 110...205 мм. [7]

1.3 Аналіз культиваторів, їх характеристик та особливостей.

Основні вимоги при проектуванні і виборі культиватора включають

- Для яких цілей потрібний культиватор (для передпосівного обробітку ґрунту, для міжрядкового, для внесення добрив і тд)
- Район застосування культиватора та ґрунт в цій місцевості
- Привод культиватора
- Загальна характеристика трактора (тип навіски, потужність та крутний момент, клас тяги і тд)
- Агротехнічні вимоги та тип с/г культури
- Технічні характеристики культиватора (ширина, довжина, висота, тип культиватора і тд)
- Експлуатаційні вимоги (умови експлуатації, тягове зусилля, зручність обслуговування і легкість управління);
- Економічні вимоги (термін служби, продуктивність, якісні показники, витрата пального);
- Спеціальні вимоги (техніка безпеки, габарити, транспортуванні, умови зберігання та ін.). [2]

Тому тут будуть розглядатись культиватори вітчизняного зразка

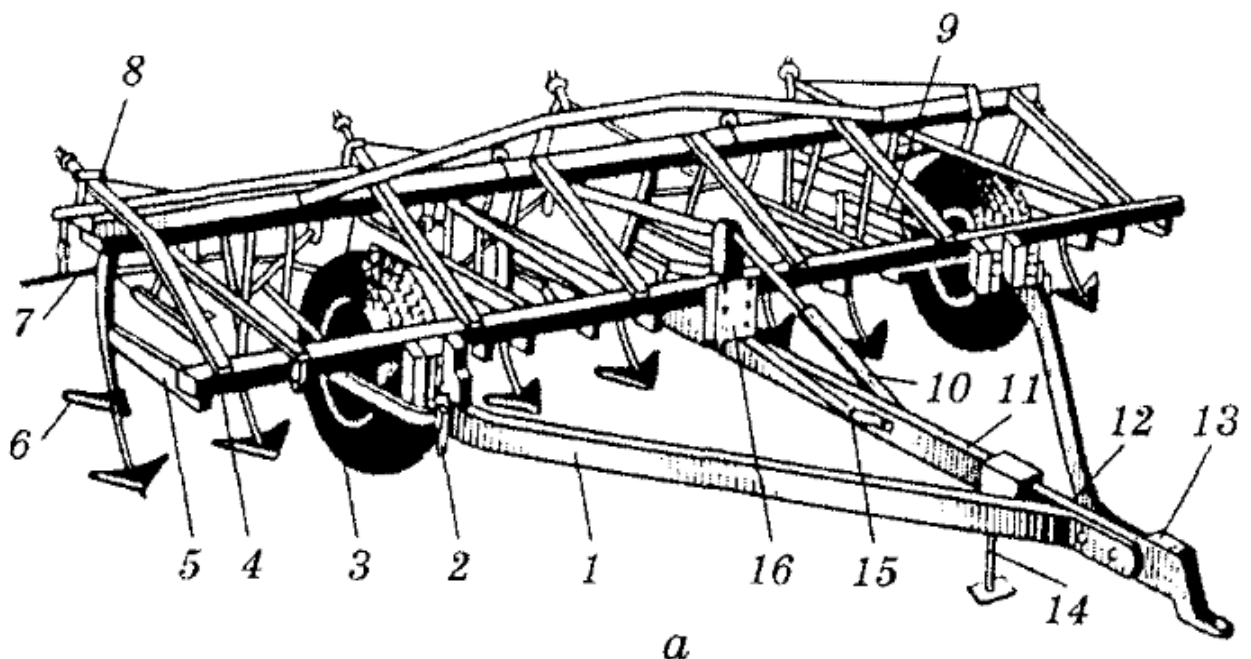
України та закордонні зразки, їх загальні характеристики, будова, вимоги та призначення.

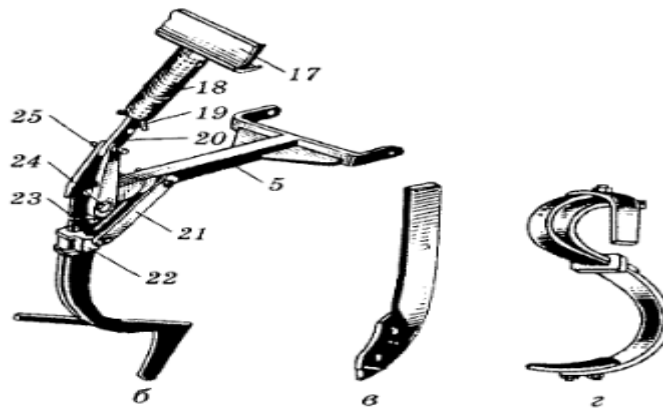
КПС-4 (культиватор паровий швидкісний із шириною захвату 4 м) призначений для передпосівного суцільного розпушування ґрунту на глибину до 12 см із одночасним знищенням бур'янів та боронуванням поверхні. Робоча

швидкість агрегату сягає 3 м/с. Культиватор виготовляється у навісному та причіпному виконаннях. Один агрегат може працювати з тракторами тягових класів 0,9 і 1,4; два культиватори у складі зчіпки СГ-11У агрегуються з тракторами класу 3; чотири культиватори із застосуванням зчіпки СГ-16 — з тракторами класу 5. Завдяки універсальності та надійності КПС-4 широко використовується в Україні та виготовляється вітчизняними підприємствами під різними торговельними марками й у різних варіантах комплектації, як у навісному, так і в причіпному виконанні.

Рама культиватора є зварною, чотирикутної форми. На передньому брусі, виконаному з квадратного профіля, приваренні місця для кріплень гряділі з робочими органами. Комплектація культиватора передбачає наявність шести довгих, двох обвідних, трьох коротких та п'яти однобічних гряділів. Із заднім брусом рами гряділі з'єднуються за допомогою натискних штанг. До переднього бруса шарнірно приєднані сниця та ходові колеса.

Для регулювання глибини обробітку передбачені гвинтові механізми, гвинти яких з'єднані з кронштейнами коліс і бічними променями сниці. З їх допомогою змінюється положення ходових коліс відносно рами культиватора. Машина комплектується стріловидними лапами з шириною від 270мм або 330 мм, а також може оснащуватися розпушувальними лапами, встановленими на пружних стійках [3].





a — загальний вигляд; *б* — стрілочаста лапа; *в, з* — розпушувальні лапи; *1 і 12* — бічні бруси сниці; *2* — регулятор глибини; *3* — опорне колесо; *4* — рама; *5 і 9* — гряділі; *6* — лапа; *7* — повідець; *8* — начіпний механізм для борін; *10* — гідроциліндр; *11* — сниця; *13* — причіпний пристрій; *14* — підставка; *15* — транспортна тяга; *16* — стовба; *17* — кутик рами; *18* — пружина; *19* — шплінт; *20* — штанга; *21* — планка; *22* — утримувач; *23-25* — болтові з'єднання

Рисунок 1.4 – Будова КПС-4 та його робочі органи [3]

Пристрій для навішування борін складається з чотирьох штанг, закріплених на рамі культиватора та попарно з'єднаних профілями, які поперечно з'єднанні між собою. Кожний профіль обладнаний чотирма знижувачами, до яких приєднуються борони. До комплекту культиватора також входить спеціальний шарнір, що забезпечує з'єднання кількох культиваторів під час шеренгового агрегування.

Регулювання глибини обробітку здійснюється на рівному майданчику шляхом установлення під колеса прокладок, висота яких відповідає заданій глибині обробітку, зменшеній на 2–6 см. Причіпну сницю необхідно підняти у верхнє положення, культиватор встановити на робочі органи, зняти транспортні планки з рами та розмістити сницю на підставках тієї ж висоти, що й під колесами. При цьому шток гідроциліндра має вийти з циліндра на 715 мм.

За допомогою механізмів регулювання глибини раму встановлюють так, щоб підшви лап або носочки пружинних зубців лежали на поверхні спеціального майданчика. Обидва кінці рами повинні перебувати на однаковій висоті від поверхні, а сама рама — бути паралельною до неї. Від нижньої площини профіля до поверхні спеціального майданчика така відстань має

становити 605 мм. Один оберт регулювального гвинта відповідає зміні глибини обробітку в розмірі 1,5 см.

Тиск на гряділі регулюється перетягуванню упора у відповідні отвори натискної штанги. За підвищеної щільності ґрунту упор рекомендується встановлювати у верхній отвір. [3]

Культиватор КПП-6,9С використовується для передпосівної обробки ґрунтів, куди входять наступні заходи:

- вирівнювання,
- розпушування,
- влагосбереження ґрунтів,
- знищення бур'янів.

Даний культиватор розрахований на застосування в ґрунтових зонах з вологістю ґрунту від 8 до 27% і її щільністю від 0,4 до 1,6 Мпа.

Культиватор забезпечує обробіток ґрунту на глибину від 5 до 12 см із шириною захвату 6,9 м. Регулювання глибини обробки здійснюється за допомогою регулювальних тяг, раціональне розміщення яких забезпечує зручність і точність налаштування. Центральна рама та бічні крила виготовлені з суцільної профільної труби, що гарантує високу міцність конструкції та надійну роботу агрегату навіть у складних умовах експлуатації. [8]



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд КПП-6.9С [8]

Конструктивне розташування крил і тандемних опорних коліс дає змогу культиватору точно копіювати мікрорельєф поверхні поля, забезпечуючи стабільну та однакову глибину обробітку по всій ширині захвату, зокрема й на ділянках з нерівностями.

Транспортний кліренс висотою до 30 см забезпечує безперешкодне пересування агрегату дорогами та польовими проїздами під час переїздів між оброблюваними ділянками. Робочими органами культиватора є 38 лап, оптимальне міжрядне розміщення яких запобігає забиванню агрегату зрізаними бур'янами та пожнивними рештками.

Пружинні захисні борони КПП-6,9С ефективно видаляють бур'янисту рослинність і пожнивні залишки. Кут нахилу їхніх зубців може регулюватися в межах від 0 до 30° залежно від типу ґрунту та ступеня його засміченості. [8]

Таблиця 1.1 – Характеристики культиватора КПП-6.9С [8].

Тип обладнання	Причіпний
----------------	-----------

Продуктивність, га/год	6-6.5
Швидкість обробітку, км/год	10
Кількість робочих органів, шт	38
Маса, кг	3450
Дорожній просвіт	30
Потужність необхідна для його експлуатації, к.с	120-175

BEDNAR SWIFTER SO_PROFI — це високопродуктивний передпосівний компактор, який забезпечує комплексну підготовку ґрунту до сівби за один робочий прохід завдяки поєднанню до восьми технологічних операцій. Оригінальна конструкція підвіски бокових рам дає змогу агрегату ефективно працювати на підвищених швидкостях, що сприяє кращому подрібненню грудок та якісному вирівнюванню поверхні поля. [4]

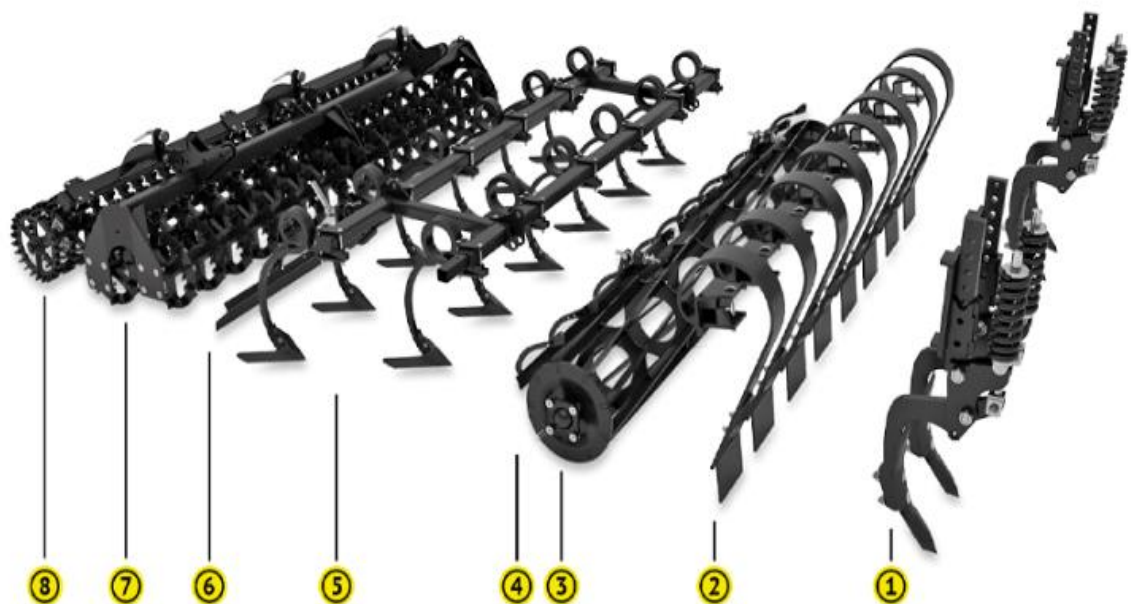


Рисунок 1.6 – Культиватор BEDNAR SWIFTER SO_PROFI [5]

Компактор SWIFTER SO_PROFI може експлуатуватися протягом усього польового сезону, оскільки легко адаптується до різних ґрунтово-кліматичних

умов за рахунок змінних робочих секцій. Конструкцією передбачено пружинну амортизацію бокових рам, можливість встановлення третього котка типу Crosskill після основних задніх котків, передній, або передній коток зі змінними опорними валами.

Об'єднання кількох агротехнічних операцій в одному проході значно скорочує кількість заїздів техніки по полю, що зменшує ущільнення ґрунту, сприяє збереженню вологи та знижує витрати на передпосівний обробіток. Передня планка ефективно вирівнює нерівності ріллі, тоді як передній планчатий коток інтенсивно руйнує ґрунтові грудки. Основна робоча секція виконує підрізання ґрунту, покращує його аерацію та прискорює прогрівання посівного шару. За необхідності агрегат може доукомплектовуватися додатковим, важчим третім котком Crosskill, встановленим позаду подвійних котків, що забезпечує максимальне подрібнення грудок і оптимальне ущільнення обробленого шару. Завершальне формування поверхні ґрунту досягається завдяки застосуванню різних типів задніх котків у поєднанні з додатковим обладнанням. [4]



1 – слідорозрихлювачі 2 – передня планка. 3 – передній коток. 4 - передня вирівнююча пластина 5 – секція зі стрілчастими. лапами. 6 – задня вирівнююча пластина. 7 – задні котки. 8 – фінішний коток

Рисунок 1.7 – Робочі органи культиватора [5]

Важливою конструктивною особливістю SWIFTER SO_PROFI є підпружинені бокові рами. Таке технічне рішення дозволяє працювати на підвищених робочих швидкостях, забезпечує рівномірний розподіл маси агрегату та ефективно поглинає робочі коливання, не передаючи їх від центральної рами до трактора. Амортизація бокових рам підвищує надійність і довговічність комбайна, а також не потребує додаткових налаштувань, що робить конструкцію зручною та простою в експлуатації. [4]

Таблиця 1.2 – Характеристики культиваторів серії SWIFTER SO_PROFI [5]

SWIFTER SO_PROFI	SO 5000 PROFİ	SO 6000 PROFİ
Робоча ширина, м	5	6
Транспортна ширина, м	3	3
Транспортна довжина, м	7,9	7,9
Транспортна висота, м	3,8	3,8
Глибина обробітку, см	2 - 12	2 - 12
Кількість доліт, шт	20	24
Кількість SB-лап, шт	37	45
Кількість GAMA-лап, шт	46	55
Тип зчіпки	навіска, кат. III / петля 40, 51 / K80	навіска, кат. III / петля 40, 51 / K80
Розміри транспортних шин	15 / 55 - 17, 500 / 50 - 17	15 / 55 - 17, 500 / 50 - 17
Рекомендована потужність, к.с	140 - 200	160 - 230

Максимальна загальна вага, кг	6 005	6614
----------------------------------	-------	------

1.4 Висновки до розділу, мета та задача досліджень

За результатами загальнотехнічного аналізу встановлено, що найбільш раціональним комплектом робочих органів для забезпечення ефективної роботи культиватора є спіралеподібна пружинна стійка у поєднанні з плоскорізальною стрільчатою лапою.

У процесі взаємодії з ґрунтом пружинна стійка зазнає коливальних рухів і відхиляється від свого початкового положення, що спричиняє зміну кутових параметрів стійки та наконечника відносно горизонтальної площини. Величина цих змін визначається фізико-механічним станом оброблюваного ґрунту.

За незмінних конструктивних параметрів стійки відхилення від заданої глибини обробітку або зміна швидкості руху агрегату призводять до зміни опору руху робочого органу, а отже — до варіювання частоти та амплітуди його коливань. Це негативно позначається на ефективних показниках роботи культиватора.

Тому параметри конструкції робочого органу культиватора на пружній стійці необхідно обирати таким чином, щоб максимальна ефективність його роботи забезпечувалася за заданих значень глибини обробітку та швидкості руху машинного агрегату для типового фізико-механічного стану ґрунту. Водночас, з огляду на неоднорідність ґрунтових умов, у процесі обробітку лапа здійснює коливальні рухи на пружній стійці з певною круговою частотою та амплітудою. [2]

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності культиватора за основними експлуатаційними показниками шляхом регулювання параметрів стійки відповідно до конкретних умов і технологічних завдань, а також

удосконалення конструкції лапи культиватора за рахунок зміни окремих її конструктивних елементів.

Для досягнення цих цілей, будуть запропоновані певні методи:

- Дослідити всі відомі типи робочих органів культиватора, виявлення переваг та недоліків цих органів, та визначити і знайти шлях їх удосконалення.

- розробити моделі та і провести симуляцію процесу взаємодії робочого органу на пружній стійці з лапою подвійної стріловидності з робочою поверхнею, та виявити закономірності і характер роботи зв'язки цих органів.

Об'єкт досліджень: спіралеподібна пружинна стійка з стріловидною лапою

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані з використанням методів класичної механіки, моделювання, математичної статистики, теорії пружності. При обчисленнях використовувалися програмні продукти Autodesk AutoCAD, Solidworks.

2 АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальний розрахунок параметрів стійки культиватора

Робочий орган культиватора, встановлений на пружній стійці та такий, що взаємодіє з ґрунтовим середовищем, являє собою механічну систему з розподіленими параметрами, яка перебуває під дією розподіленого навантаження. Це зумовлено тим, що маса стійки та прикладені навантаження розподілені вздовж її довжини [9]. Розподілене навантаження передається через підземну частину стійки на поверхню лапи.

Розрахункова схема робочого органу представляє собою криволінійний брус квадратного перерізу з розподіленим навантаженням у нижній частині (рис. 2.1). Рама культиватора здійснює рух по осям X , Y та Z з певною швидкістю V .

За зовнішніх навантажень робочий орган на пружній стійці зазнає пружних деформацій, унаслідок чого змінюється геометрична конфігурація стійки. При цьому пунктирною лінією показано її початкове положення, а суцільною — положення під дією навантаження.

Динамічна поведінка систем із розподіленими параметрами описується диференціальними рівняннями з частинними похідними. Тому задачу побудови математичної моделі напружено-деформованого стану пружної стійки доцільно розглядати в межах теорії пружності. Розподілене навантаження, прикладене до підземної частини робочого органу, $P(t)$, складається з постійної складової P_0 та змінної у часі складової $P_v(t)$.

$$b/L < 0.2 \qquad h/R < 0.2 \qquad (2.1)$$

Де b і h — відповідно ширина та висота перерізу, L — довжина стержня, а R — радіус його кривизни [10].

Пружна стійка являє собою вигнутий плоский стержень змінного поперечного перерізу. Стержень вважається тонким, оскільки для нього виконуються умови

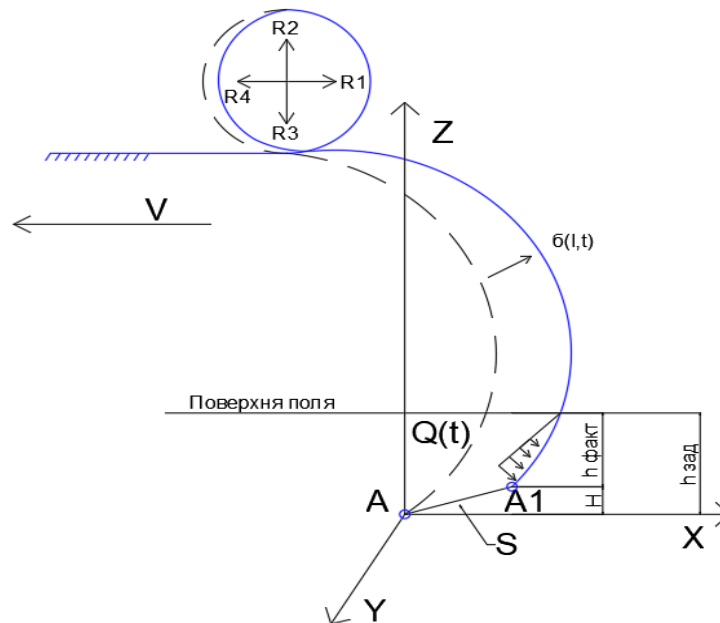


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема пружної стійки

$$P(t) = P_0 + P_{v(t)} \quad (2.2)$$

Опис конфігурації стійки у вигляді залежності між координатами $Z=f(x)$ $Z = f(x)Z=f(x)$ є недоцільним, оскільки така функція має неоднозначний характер. Більш раціональним є задання геометрії у параметричній формі за допомогою двох залежностей.

$$\begin{aligned} x &= x(l) & z &= z(l) \end{aligned} \quad (2.3)$$

де l – відстань цього перерізу по осі лінії від першої точки, що являється діаметром. По виразам (2.3) є можливість знайти кривизний радіус по довжині l по залежностям аналітичної геометрії:

$$R(l) = \frac{(1-dz/dx)^{3/2}}{d^2z/dx^2}$$

(2.4)

Однак для реальних виробничих конструкцій пружних стійок радіуси кривизни, як правило, задаються безпосередньо на кресленнях. Крім того, з міркувань технологічності виготовлення конфігурацію стійок формують як сукупність ділянок із постійним радіусом кривизни; прямолінійні відрізки при цьому можна вважати ділянками з нескінченним радіусом (рис. 2.1).

Прийmemo такі умови моделювання: під дією зовнішнього навантаження $P(t)$ стійка зазнає деформацій; пружні переміщення $\delta(l,t)$ змінюються вздовж довжини стійки; носок робочого органу (точка A) отримує переміщення S , яке визначає загальну величину деформацій. Передбачається, що всі деформації відбуваються в межах пружності. Об'єкт моделювання розглядається як пружне тіло у вигляді криволінійного бруса, для якого справедливі основні положення класичної теорії пружності.

2.2 Коливання робочого органу на пружній стійці

Для математичного опису навантажено-деформованого стану пружної стійки доцільно застосовувати апарат класичної теорії пружності. При аналізі такого тіла можливий розгляд як плоскої деформації, так і плоского напруженого стану. Для розв'язання поставленої задачі розглянемо дугоподібний предмет, центр кривої якого співпадає з центром кривизни відповідного поперечного перерізу стійки (рис. 2.2) [11].

Нескінченно малий дугоподібний елемент характеризується радіусом r і кутом θ та обмежується двома перерізами, що проходять через центр кривизни й утворюють кут $d\theta$. Радіус внутрішньої межі елемента дорівнює r , його висота — dr , а довжина дуги — dl .

$$dl = rd\theta$$

(2.5)

На гранях елемента діють нормальні $\sigma_\theta, \sigma'_\theta, \sigma_r, \sigma'_r$ і тангенціальні $\tau_\theta, \tau'_\theta, \tau_r, \tau'_r$ напруги. Напруга на гранях, які знаходяться на протилежних точках пов'язані через різницю $\Delta\sigma_\theta, \Delta\sigma_r, \Delta\tau_\theta, \Delta\tau_r$.

$$\sigma'_r = \sigma_r + \Delta\sigma_r$$

$$\sigma'_\theta = \sigma_\theta + \Delta\sigma_\theta$$

(2.6)

$$\tau'_r = \tau_r + \Delta\tau_r$$

$$\tau'_\theta = \tau_\theta + \Delta\tau_\theta$$

(2.7)

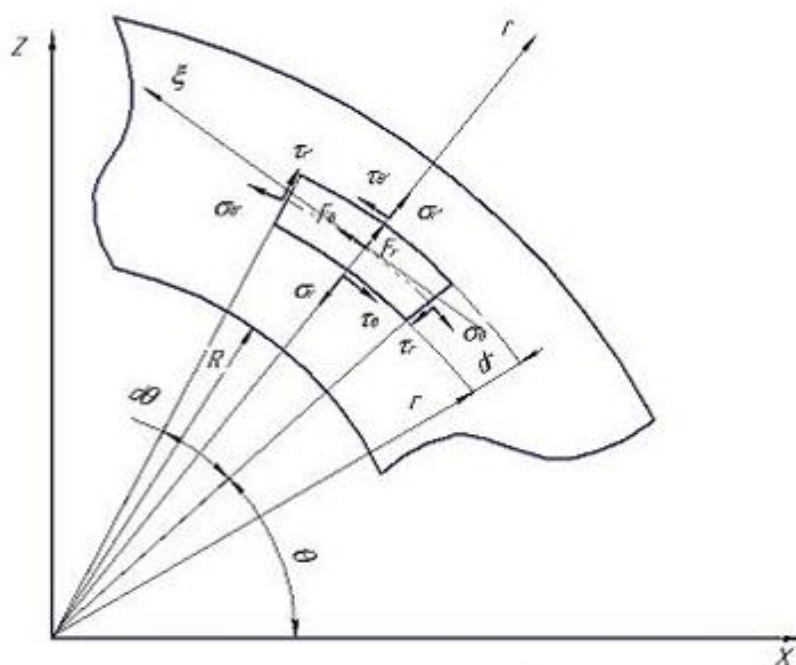


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема до вивчення напруженого і деформованого стану пружинної стійки

На гранях елемента діють нормальні $\sigma_\theta, \sigma'_\theta, \sigma_r, \sigma'_r$ і тангенціальні $\tau_\theta, \tau'_\theta, \tau_r, \tau'_r$ напруги. Напруга на гранях, які знаходяться на протилежних точках пов'язані через різницю $\Delta\sigma_\theta, \Delta\sigma_r, \Delta\tau_\theta, \Delta\tau_r$.

$$\sigma'_r = \sigma_r + \Delta\sigma_r \quad \sigma'_\theta = \sigma_\theta + \Delta\sigma_\theta \quad (2.6)$$

$$\tau'_r = \tau_r + \Delta\tau_r \quad \tau'_\theta = \tau_\theta + \Delta\tau_\theta \quad (2.7)$$

В центрі предмету існують сили інерції та ваги. Сила тяжіння $G = mg$, яка є постійною, спрямована вниз у всіх випадках під кутом θ .

Інерційні сили:

$$\bar{F}_l = -m \frac{d^2 \bar{s}}{dt^2} = -\rho V \frac{d^2 \bar{s}}{dt^2} \quad (2.8)$$

Де ρ – густина сталі стійки V – об'єм стійки, m^3

$$V = b \cdot dr \cdot d\theta \quad (2.9)$$

Модель напружено-деформованого стану кривого профіля з параметрами, які розподіленні –коливально-динамічна модель, яка відображається системою рівноважних виразів:

$$\begin{aligned} E_1 \frac{d^2 u}{dr^2} + (G + E_1 \mu) \frac{d^2 v}{dl dr} + G \frac{d^2 u}{dl^2} + E_1 \frac{du}{dr} + G \frac{dv}{dl} + 2 \frac{G}{r} \left(\frac{du}{dr} - \frac{dv}{dl} - \frac{u}{r} \right) + f_{gr} &= \rho \frac{d^2 u}{dt^2} \\ G \frac{d^2 v}{dr^2} + (G + E_1 \mu) \frac{d^2 v}{dl^2} + E_1 \frac{d^2 v}{dl^2} - G \frac{dv}{dr} + E_1 \frac{du}{dl} + 2 \frac{G}{r} \left(\frac{du}{dl} - \frac{dv}{dr} - \frac{u}{r} \right) + f_{g0} &= \rho \frac{d^2 v}{dt^2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

E – модуль пружності. G – модуль зсуву. μ – коефіцієнт Пуасона. Якщо не враховувати розтягування вісі стійки, то сума векторів зміщення виглядатиме таким чином:

$$\begin{aligned} v &= W(l) \cos \omega t; & u &= -RW(l) \cos \omega t \end{aligned} \quad (2.11)$$

ω — кругова частота коливань.

Отримані аналітичні залежності мають узагальнений характер, оскільки в них безпосередньо враховано криволінійну форму пружного тіла у рівняннях рівноваги. Це свідчить про те, що динамічні обмеження носка лапи, та їх можливості визначаються фізичними та механічними властивостями стійки, характеристиками матеріалу, її геометричними параметрами, формою та площею поперечного перерізу.

За умови доповнення рівняння (2.9) початковими та граничними умовами, а також умовами неперервності, формується динамічна математична модель коливального руху стійки в полярній системі координат. Граничні умови відображають закріплення та стан окремих ділянок стійки.

Нижня частина стійки занурена в ґрунт на глибину h і зазнає дії навантаження, рівномірно розподіленого вздовж її довжини до рівня $z = h$ (рис. 2.1). Поверхня стійки, розташована вище цієї глибини, навантаження не сприймає. Закон розподілу ґрунтового навантаження вздовж підземної частини стійки описується експоненціальною залежністю [11].

$$p(l) = p(e^{k(a-1)} - 1) \quad (2.12)$$

де k - коефіцієнт

Згідно з цією закономірністю рівнодійна розподіленого навантаження зосереджується поблизу носка лапи. У зв'язку з цим у розрахунках процесу обробітку ґрунту з допустимою точністю розподілене навантаження зазвичай

замінюють еквівалентною зосередженою силою опору, прикладеною до носка лапи.

З урахуванням закономірності сила P , яка є зосередженою, працює у вільному схрещування $l = 0$ стійки під певним кутом ψ : нормальна складова має вигляд $N = P \sin \psi$; тангенціальна має вигляд $T = P \cos \psi$; $u = 0$, $v = 0$. На бокових кривій стійки напруга становить 0. Граничні умови відображають систему:

$$\begin{aligned} l = 0; y = 0 & \quad \frac{d}{dl} \left\{ EJ \left[\frac{d^2 u}{dl^2} - \frac{d}{dl} \left(\frac{u}{r} \right) \right] \right\} = N = P \sin \psi; \\ l = 0; y = 0 & \quad EF \left(\frac{u}{R} + \frac{dv}{dl} \right) - \frac{EF}{R} \left[\frac{d^2 u}{dl^2} - \frac{d}{dl} \left(\frac{u}{r} \right) \right] = t = -P \cos \psi; \\ l = 0; y = 0 & \quad M_0 = 0, EJ \left[\frac{d^2 u}{dl^2} - \frac{d}{dl} \left(\frac{u}{r} \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Тут $u_p(L)$ та $v_p(L)$ позначають статичні переміщення носка лапи, зумовлені дією сталої складової сили опору P . Рівняння рівноваги є універсальними та застосовні до пружних тіл довільної геометричної форми.

У рівняннях (2.9) врахуємо особливості брусів з малою кривизною, властивості яких ґрунтовно досліджені в курсі опору матеріалів. Відповідно до гіпотези плоских перетинів, тиск між шарами бруса відсутній, тобто радіальні нормальні напруження дорівнюють нулю $\sigma_r(l) = 0$, а взаємодія між шарами здійснюється лише за рахунок дотичних напружень τ . Розподілення стабільних напружень по перерізу кривої стійки задаються співвідношеннями [11], які в поняттях розв'язуваної задачі виглядають:

$$\sigma_\theta = \frac{M_{зг}(l)}{F(l)e} \cdot \frac{v+e}{R+v'} \quad (2.14)$$

де $M_{зг}(l)$ - згинальний момент; $F(l)$ - площа перерізу; e - зсув невизначеної лінії бруса від центру перерізу $e = \frac{J}{FR}$.

З цього випливає

$$\sigma_{\theta} = \frac{RM_{3r}(l)}{J} \cdot \frac{v+e}{R+v'} \quad (2.15)$$

З урахуванням специфічних параметрів конструкції пружинних стійок і після певних спрощень (2.9) виходить рівняння коливань носка лапи пружиною стійки яка має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} (G + E_1\mu) \frac{d^2v}{dl dr} + G \frac{d^2u}{dl^2} + G \frac{dv}{dlr} + 2 \frac{G}{r} \left(\frac{du}{dr} - \frac{dv}{dl} - \frac{u}{r} \right) = \rho \frac{d^2u}{dt^2} \\ G \frac{d^2v}{dr^2} + (G + E_1\mu) \frac{d^2u}{dl dr} + E_1 \frac{d^2v}{dl^2} - G \frac{dv}{dr r} + E_1 \frac{du}{dlr} + 2 \frac{G}{r} \left(\frac{du}{dl} - \frac{dv}{dr} - \frac{u}{r} \right) = \rho \frac{d^2v}{dt^2} \end{array} \right\} \quad (2.16)$$

У рівнянні дослідження коливань вплив сил ваги може бути знехтуваний.

Розподіл нормальних напружень по перерізу криволінійної стійки описується відомими співвідношеннями теорії опору матеріалів, які в межах розглядуваної задачі мають відповідний аналітичний вигляд:

$$u(l, t) = U(l) \sin(\omega t + \psi); \quad v(l, t) = W(l) \sin(\omega t + \psi) \quad (2.17)$$

Форма власних коливань:

$$W(l) = C_1 \sin \beta l + C_2 \cos \beta l + C_3 sh \beta l + C_4 ch \beta l \quad (2.18)$$

C_1 – невідомі постійні коефіцієнти. Для визначення сталих коефіцієнтів використовується фундаментальна форма Коші, яка складається з лінійних функцій, які є незалежні функції і мають відповідний вид.

$$\psi_i(x) = \beta^{1-j} S_j(\beta l) \quad (2.19)$$

де $S_j(\beta l)$ - лінійні комбінації функцій. Однак отримані аналітичні вирази є громіздкими та складними для практичного застосування, у зв'язку з чим доцільним є використання електронно-обчислювальних машин. З огляду на необхідність введення ряду спрощувальних припущень, практична цінність повністю аналітичного розв'язку істотно знижується.

2.3 Моделювання коливань носка робочого органу

Практичну цінність становить дослідження коливань носка робочого органу, закріпленого на пружній стійці. Для побудови відповідної математичної моделі необхідно перейти до макрорівня моделювання, замінивши систему з розподіленими параметрами еквівалентною системою із зосередженими параметрами. З цією метою пружні переміщення $\sigma(l, t)$ доцільно подати у вигляді розкладу за формами власних коливань $\xi(l)$ [11].

$$\sigma(l, t) = \sum_{i=1}^n q_i^*(t) \xi(l) \quad (2.20)$$

де n – число власних частот системи;

$q_i^*(t)$ – координати, які узагальнені і головні, які показують характер інтенсивності власних форм коливань. Кінетична енергія системи, яка враховує ортогональність власних форм, вираженна сумою квадратів головних координат, які є похідними:

$$T = 1/2 \sum_{i=1}^n \mu_i \dot{q}_i^{*2} \quad (2.21)$$

де μ_i – приведена маса системи для I-II форми власних коливань.

$$\mu = \int \xi_i^2(l) dm$$

(2.22)

Потенційна енергія системи? яка враховує ортогональність власних форм виражається сумою квадратів, які ідуть від головних координат:

$$\Pi = 1/2 \sum n_{i=1} c_{ik} q_{ik}^{*2}$$

(2.23)

де c_{ik} – коефіцієнти, які враховують розмірність жорсткості.

Енергія дисипації для позначення систем з малою дисипацією:

$$D = 1/2 \sum n_{i=1} \varepsilon_{ik} q_{ik}^{*1}$$

(2.24)

ε_{ik} – коефіцієнти дисипації, які задаються координатами.

Робота наружних сил $f(\xi)$, що розподіленні по поверхні S:

$$U = \int f(\xi) \xi(l, t) dS$$

(2.25)

Головні координати виражаються за угазальнені, і підставляєм вираження кінетичної, потенціальної і диссипативної енергії в залежність Лагранжа II роду.

Моделювання коливань носка лапи комплекту робочих органів:

$$F_{(t)} = [A]q'' + [B]q' + [C]q^*$$

(2.26)

Де q^* – вектор-стовпець головних координат, які узагальнені,

$F(t)$ – вектор зовнішніх впливів, які узагальнені,

$[A]$ – матриця діагональних коефіцієнтів інерції,

$[B]$ – матриця симетричних коефіцієнтів дисипації,

$[C]$ – матриця симетричних коефіцієнтів жорсткості.

Для лапи культиватора на пружній стійці спектр істотних частот за віброприскоренням охоплює діапазон до 1000 Гц [11], що зумовлює необхідність урахування приблизно 20 власних форм коливань. Відповідно, матриці $[A]$, $[B]$ та $[C]$ мають розмірність 20×20 , що істотно ускладнює визначення їх числових елементів.

Для низькочастотних форм елементи матриці жорсткості $[C]$ можуть бути достатньо точно визначені за результатами статичних випробувань, якщо статичні прогини приймати як наближення форм нижчих власних коливань. Однак для вищих частот пряме експериментальне визначення елементів матриці $[C]$ є практично неможливим. У такій ситуації доцільно використовувати взаємозв'язок між елементами матриць $[A]$ і $[C]$ та формами коливань пружної стійки, який може бути встановлений на основі варіаційних принципів аналітичної механіки.

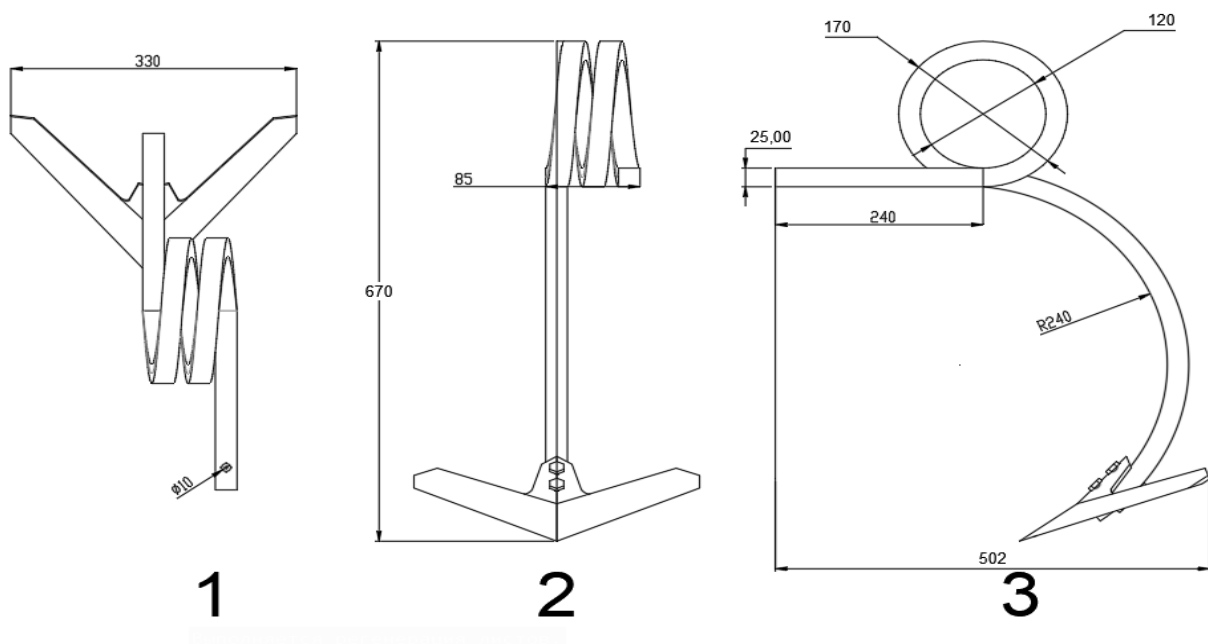
Усі матриці моделі мають розмір $n \times n$, де n визначає кількість урахованих власних частот системи. Для частотного діапазону 0–1000 Гц необхідно приймати $n = 20$. Водночас у загальному машинобудуванні зазвичай обмежуються урахуванням збурень у діапазоні до 60 Гц, що дозволяє розглядати лише коливання до другого порядку і, відповідно, приймати $n = 6$.

2.4 Геометрія і характеристика комплексу робочих органів

Застосування пружних стійок є найкращим варіантом у більшості випадків, завдяки зниженню тягового опору культиватора, завдяки вищій якості обробітку ґрунту, простоті заміни та установки та адаптації до рельєфу. Но пружні стійки при роботі мають властивість відхилитись від теоретичної траєкторії на 10-15%, аніж на ресорній. Тому проведемо моделювання спіралелоподібної стійки з стріловидною лапою на параметри пружності і відхилення леза при навантаженні.

Тому від вибору матеріалів для стійки і лапи культиватора і залежить якість деталі, її абразивні і пружинні характеристики, якість обробітку ґрунту, тяговий опір і тд. Тому при виборі матеріалу для пружної стійки і лап необхідно враховувати такі показники

- міцність;
- пружні, пластичні, ударні властивості;
- зносостійкість;
- щільність;
- корозійну стійкість.



1. Вид зверху. 2. Вид спереду. 3. Вигляд збоку

Рисунок 2.3 – Вигляд спіралеподібної стійки з стріловидною лапою

Стійки виготовляють з спеціальних марок сталі, які містять манганець, нікель, бор і тд, які і забезпечують пружні, абразивні та високу однорідність мікроструктури. Такими марками сталі по ГОСТу являються 60C2A, 60C2Г, 60C2H2A, 50ХФА, 65Г. По стандарту ISO такими аналогами являються **60Si7, 30MnB5, 34MnB5**. За основу матеріалу комплекту приймаємо марку сталі 60C2A.

Таблиця 2.1 Характеристика сталі [12].

Марка:	60C2A
Аналоги:	60C2Г, 60C2H2A, 50ХФА
Класифікація:	Конструкційна сталь ресорно-пружинна
Застосування:	Важконавантажені пружини, торсіонні вали, пружинні кільця, цанги, фрикційні диски, шайби Гровера та ін.

Таблиця 2.2 Хімічний склад сталі [12].

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.58 - 0.63	1.6 - 2	0.6 - 0.9	до 0.25	до 0.025	до 0.025	до 0.3	до 0.2

Таблиця 2.3 Фізичні властивості сталі [12].

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	2.12		28	7680		
100	2.06	11.8	29	7660	510	
200	1.98	12.7	29	7630	510	
300	1.92	13.3	30	7590	520	
400	1.81	13.7	30	7570	535	
500	1.78	14.1	30	7520	565	
600	1.58	14.5	29		585	
700	1.44	14.4	29		620	
800	1.34	12.2	28		700	

2.5 Моделювання комплекту робочих органів

Для того щоб визначити основні характеристики комплекту та розрахувати характер поведінки при навантаженнях виникає необхідність використовувати сучасні CAD програми, які зможуть розрахувати модель на предмет міцності, на відхилення робочих органів, на характери навантаження і коливань. Тому для цих розрахунків буде використовуватись програма SOLIDWORKS з спеціальним режимом Simulation

Ця модель буде моделюватись на показники:

- На предмет зміщення по осям і по показнику URES
- На предмет міцності
- На предмет напружень

Вісь X означає переміщення лапи культиватора вперед/назад (- вперед, + назад)

Вісь Y означає бокові переміщення лапи культиватора (+ вправо, - вліво в передній проекції)

Вісь Z означає переміщення лапи культиватора ввєрх/вниз (- вниз, + ввєрх)



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд комплекту в програмі SOLIDWORKS

На лапу культиватора буде діяти сила від 500Н до 2500Н, так як саме 2500Н

являються прийнятним і розрахованим максимальним показником навантаження для комплекту робочих органів.

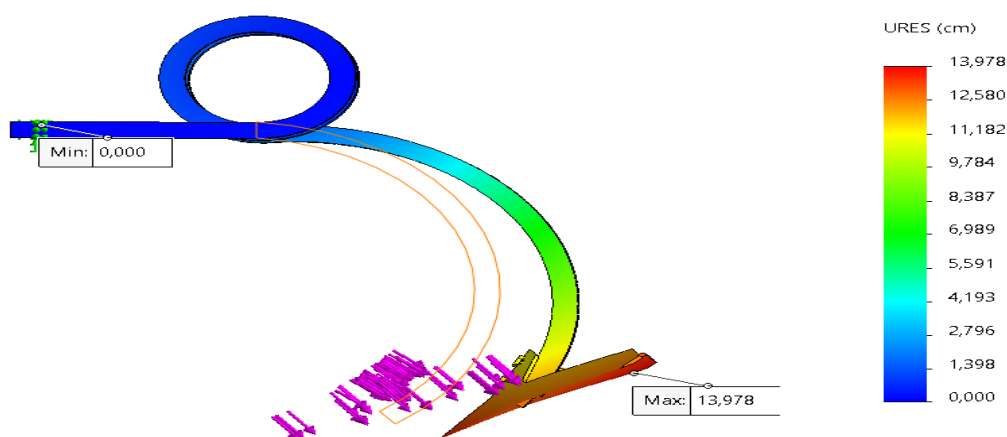


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд моделі в SOLIDWORKS SIMULATION і демонстрація відхилення лапи культиватора при навантаженні 2500Н

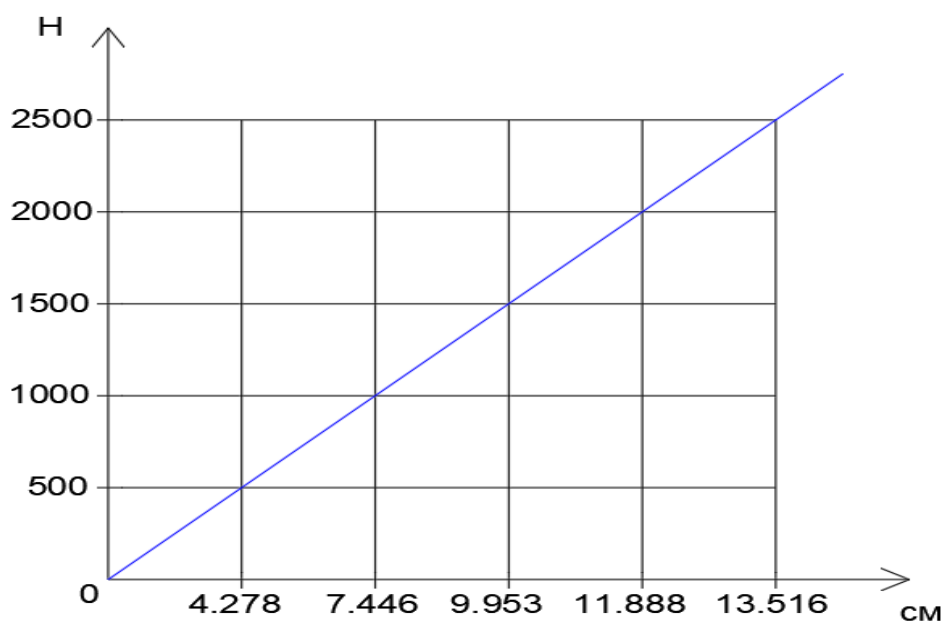


Рисунок 2.6 – Таблиця з відхиленнями лапи культиватора при певних навантаженнях по осі X.

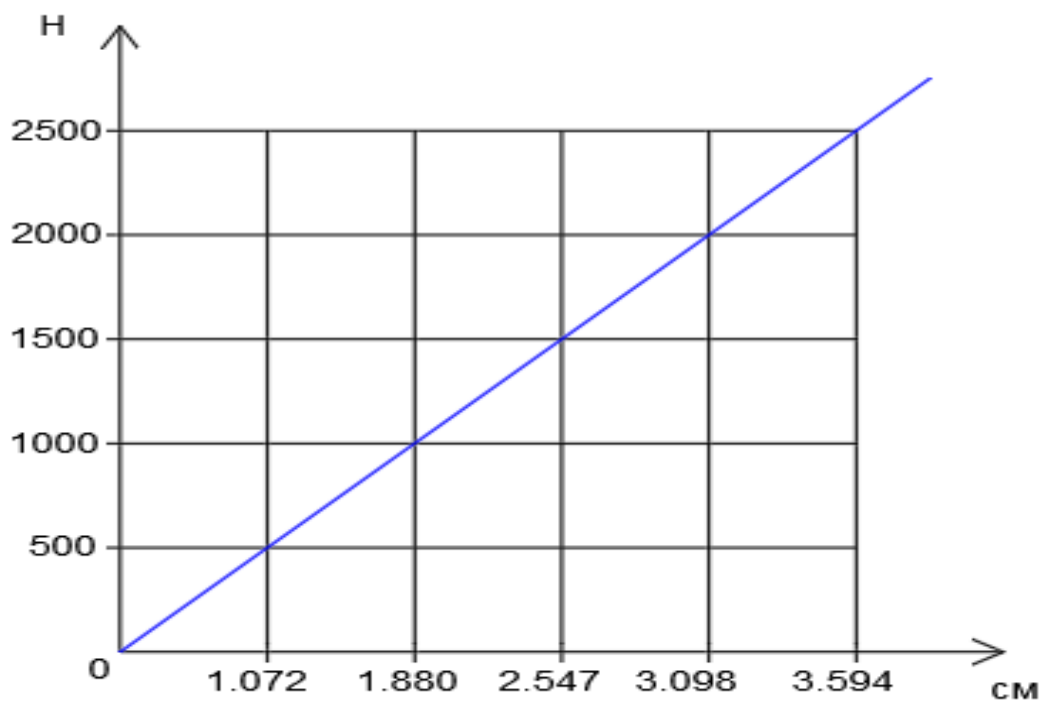


Рисунок 2.7 – Таблиця з відхиленнями лапи культиватора при певних навантаженнях по осі Y.

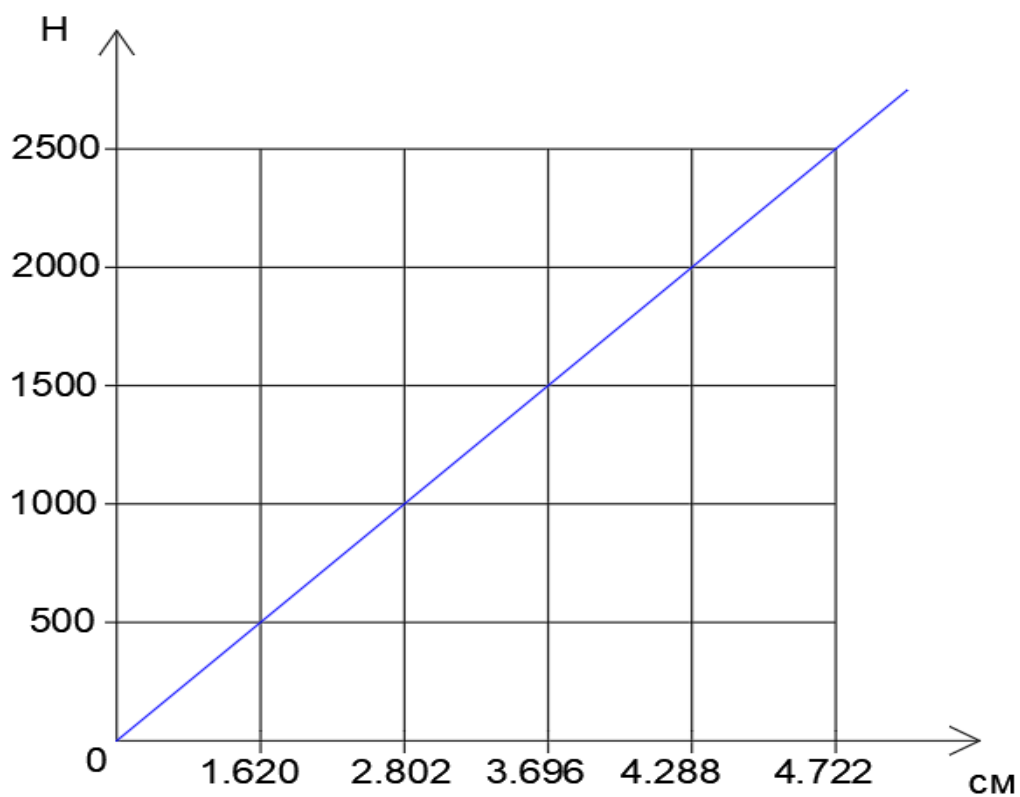


Рисунок 2.8 – Таблиця з відхиленнями лапи культиватора при певних навантаженнях по осі Z.

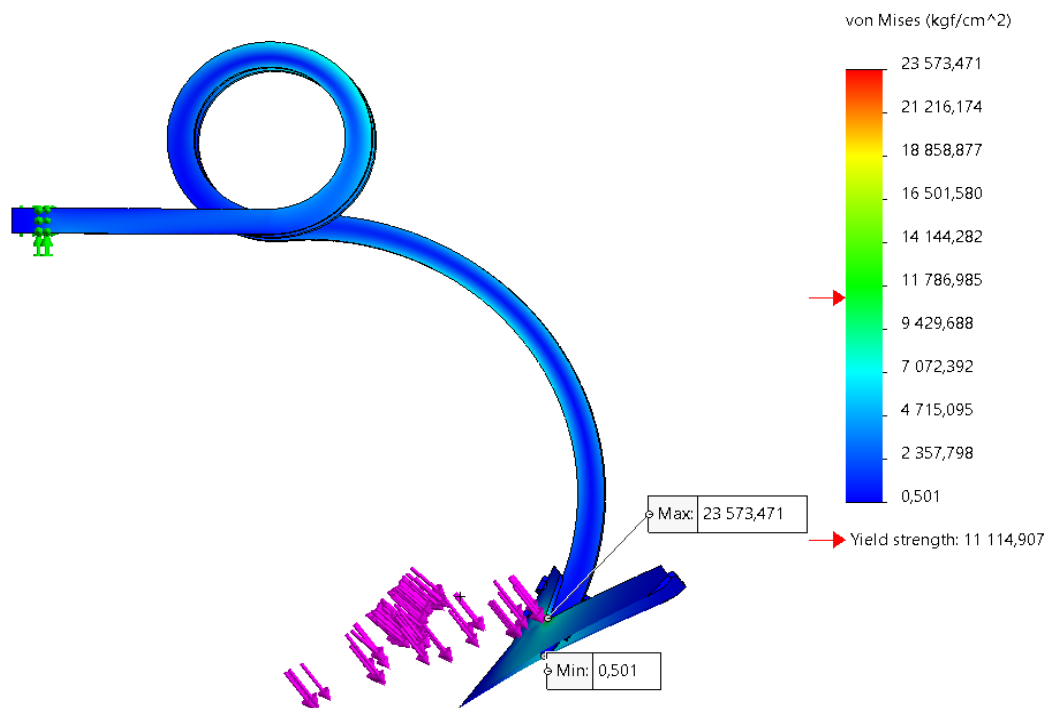


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд моделі в SOLIDWORKS SIMULATION і демонстрація запасу міцності лапи культиватора при навантаженні 2500H

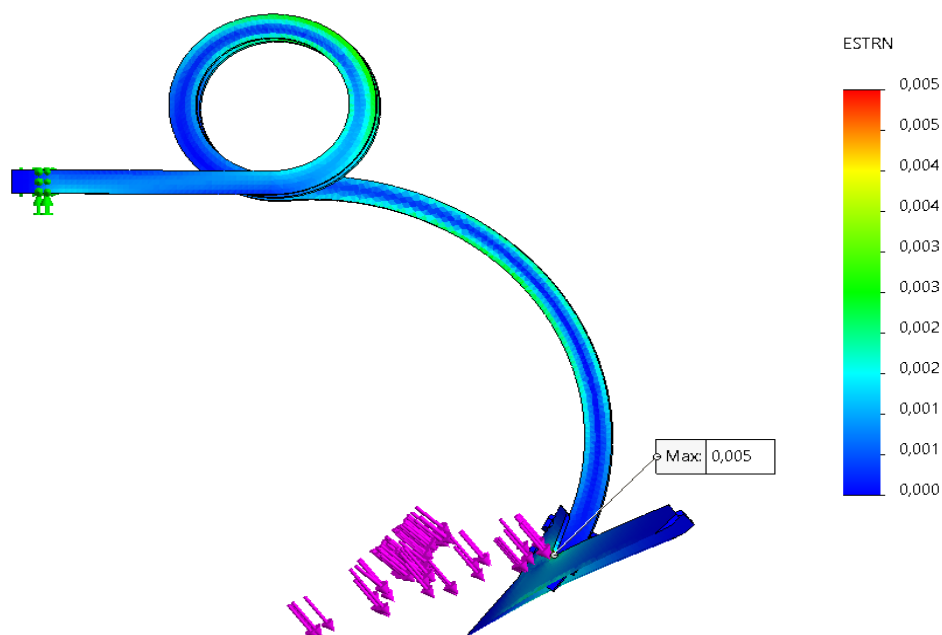


Рисунок 2.10 – Загальний вигляд моделі в SOLIDWORKS SIMULATION і демонстрація деформації лапи культиватора при навантаженні 2500H

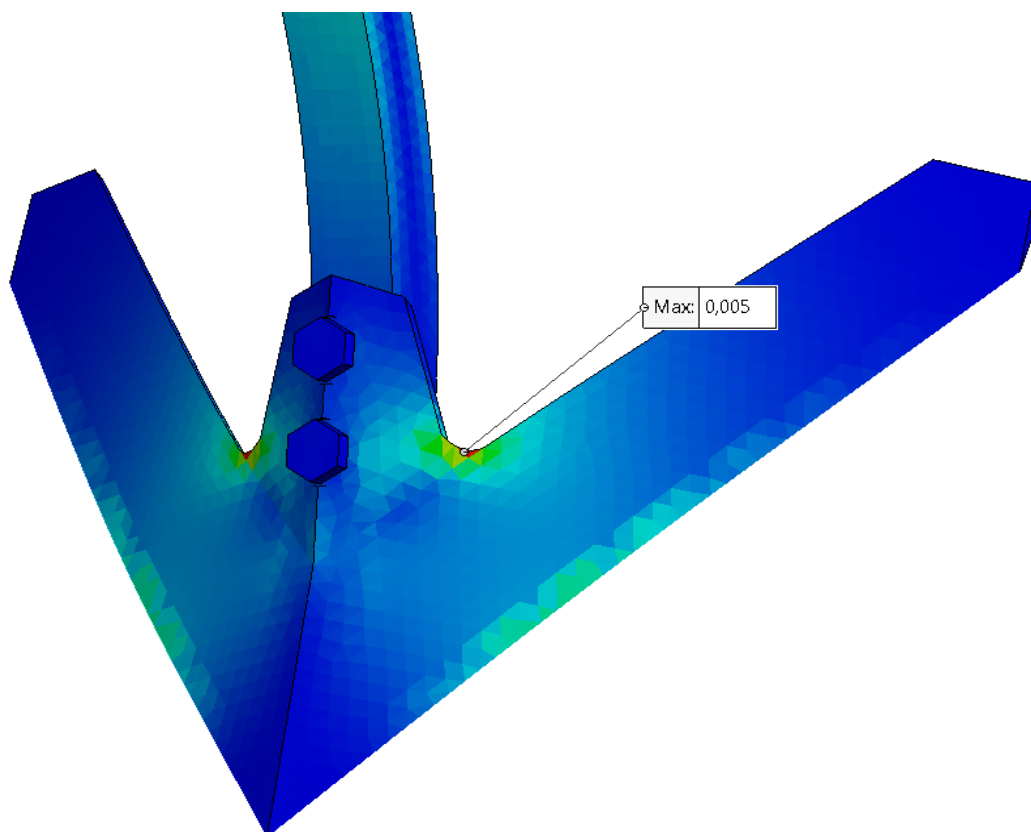


Рисунок 2.11 – Показ найдеформованої точки в комплекті

По цим ілюстраціям видно, що лапа культиватора успішно витримує зазначенне навантаження на неї, а стійка не проявляє ознак зламу, тріщин, сильних деформацій і тд. Тому конструкція успішно витримує зазначенні навантаження та не зазнає ушкоджень та сильних деформацій і показники знаходяться в нормі.

2.6 Висновок до розділу

По проведеній симуляції стійки культиватора на показники на напружень, переміщень та на запас міцності було виявлено що з підвищенням прикладеного навантаження на стійку культиватора, різниця відхилення такої стійки по осям стає все меншою і меншою, що свідчить про коректну роботу стійки культиватора. Також при дослідженні були розглянуті формули, які допомогли полегшити процес вивчення стійки культиватора, та зрозуміти

природу коливань, заземлень та загальних параметрів комплекту робочих органів культиватора. Самий комплект робочих органів культиватора успішно витримує зазначене максимальне навантаження в 2500Н і максимальна точка навантаження мала показники тиску в розмірі 23573 кгс/см², що складає 2311 МПа, що являється задовільним результатом. Максимальне переміщення було зафіксовано в межах 13.556см по осі X, що при деяких сценаріях може бути критичним, тому виникає необхідність в спеціальному фіксаторі, який зменшить це відхилення, і дасть стабільну траєкторію обробітку ґрунту.

ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування вирішення і покращення комплекту робочих органів

В минулому розділі ми розглядали комплект робочих органів культиватора, їх характеристики, та характер поведінки. Но у такої конструкції також є і деякі параметри, які можливо змінити і вдосконалити, задля кращої ефективності культиватора на всіх ділянках. Такими параметрами являються

- Пружність стійки, яка в деяких випадках може бути недостатньо жорсткою, особливо це критично на ґрунтах з великою твердістю та на ділянках великою засміченістю, що може призвести до нерівномірної обробки поля і тим самим погіршенням якості операції і відповідно урожаю

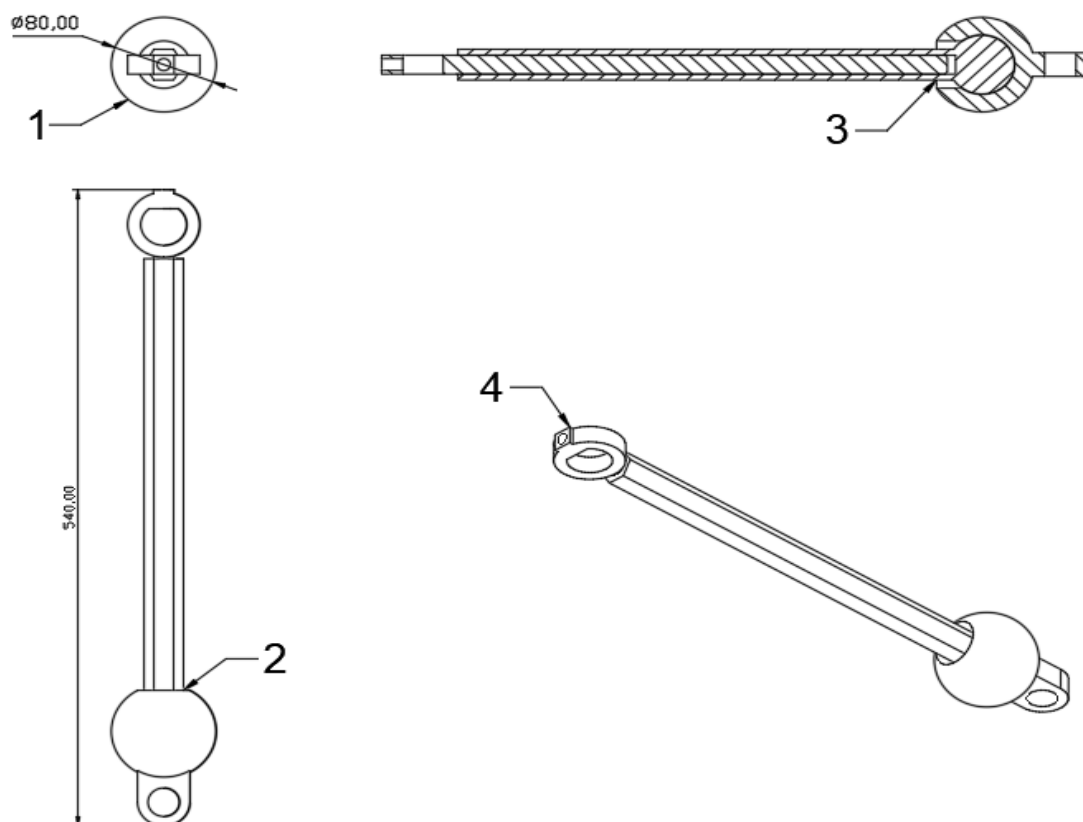
- Кут положення лапи культиватора в спіралоподібних стійках, яка в деяких випадках стоїть під кутом і тим самим збільшуючи тяговий опір культиватора і зменшує ресурс робочих органів

- Глибина обробки ґрунту, яка в силу будови комплекту втрачає свою ефективність на глибині більше 20см в порівнянні з жорсткими стійками.

Тому для вирішення цих проблем, запропонований спеціальний регулятор жорсткості, який також водночас може виступати і регулятором кута положення лапи культиватора по принципу вигину стійки культиватора вперед, чи назад.

Принцип регулятора полягає в тому, що завдяки регулюванню довжини регулятора, яке досягається поворотом шестиграного циліндра з внутрішньою різьбою, можна збільшити чи зменшити кут лапи культиватора і тим самим збільшуючи чи зменшуючи тяговий опір і висоту обробки ґрунту. Також завдяки кріпленню на стійці культиватора можливо змінити положення кріплення на стійці культиватора і тим самим збільшуючи чи зменшуючи довжину робочої зони стійки і тим самим збільшуючи жорсткість. Якщо наприклад не треба сильної жорсткості, але треба регулювати кут лапи

культиватора, то такий регулятор можна підвісити на самі витки і так само регулювати кут положення лапи культиватора.



1 – Вигляд спереду. 2 – Вигляд зверху. 3 – Внутрішній вигляд регулятора.
4 – Загальний вигляд

Рисунок 3.1 – Регулятор жорсткості та його вигляд з різних проекцій

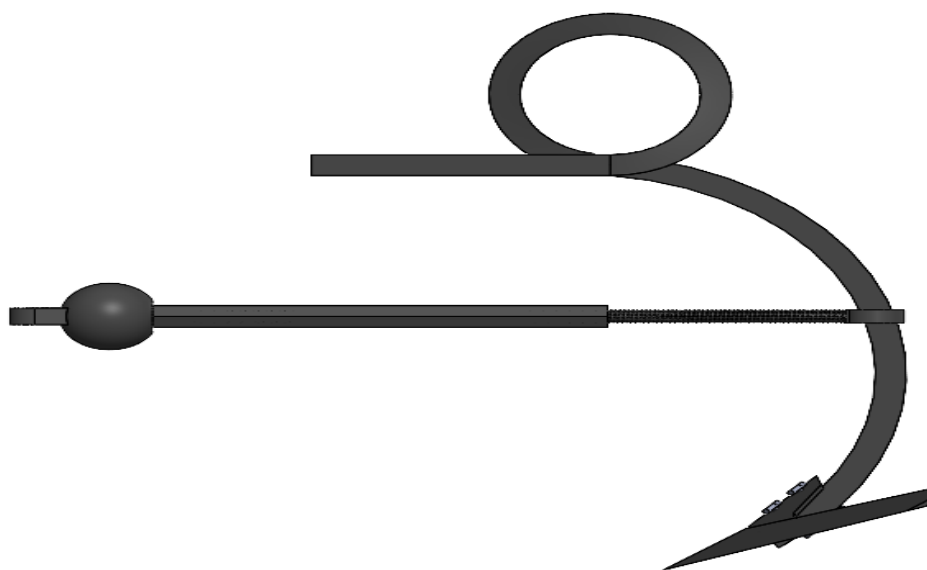


Рисунок 3.2 – Комплект робочих органів з регулятором жорсткості

Кріпиться такий регулятор до рами культиватора під будь яким кутом і положенню завдяки круговому шарнірному кріпленню. Також завдяки йому можливо реалізувати регулювання всіх стійок, при побудуванні гідравлічного/механічного механізму регулювання. Також завдяки цьому можливо реалізувати виключну індивідуальність жорсткості і кута лапи кожної стійки, що дозволяє адаптувати до різноманітних сценаріїв застосування і певних етапів обробітку. Ще одна із основних причин такого рішення являється те, що з цим регулятором можливий обробіток ґрунту на глибині більше 20см, де стандартні пружні стійки показують низьку ефективність.

3.2 Результати досліджень

Для підтвердження вибраного рішення і для доведення ефективності такого рішення, сплануємо симуляцію стійки культиватора з защемленням стійки культиватора на 5 різних положеннях від 140мм від носка культиватора і до 340мм на предмет переміщення лапи культиватора при навантаженнях від 500 до 2500Н, та порівняємо результати з регулятором жорсткості та без нього. Переміщення буде враховатись по осям X, Y, Z та по URES параметру.

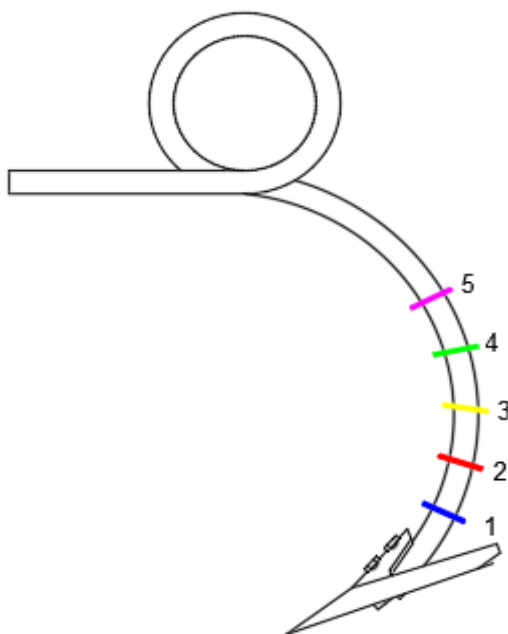


Рисунок 3.3 – Показ точок фіксації при проведенні симуляції

1 положення було зафіксовано на висоті 14см від найнижньої точки комплекту

2 положення було зафіксовано на висоті 19см від найнижньої точки комплекту

3 положення було зафіксовано на висоті 24см від найнижньої точки комплекту

4 положення було зафіксовано на висоті 29см від найнижньої точки комплекту

5 положення було зафіксовано на висоті 34см від найнижньої точки комплекту

По проведенням симуляціям стійки на різних точках кріплення регулятора отримали результати які доводять ефективність регулятора і його працездатність. Показники відхилення лапи культиватора зменшились в декілька разів, в порівнянні без нього і доводять життєздатність цієї системи як такої.

Таблиця 3.1 – Показники максимального відхилення лапи культиватора по осі X (назад), в залежності від місця кріплення та прикладеної сили (в см)

№ Полж/Сила	500	1000	1500	2000	2500
1	0,322	0,561	0,925	1,206	1,474
2	0,339	0,605	1,016	1,259	1,545
3	0,375	0,751	1,126	1,46	1,819
4	0,445	0,89	1,334	1,773	2,208
5	0,549	1,099	1,648	2,176	2,706

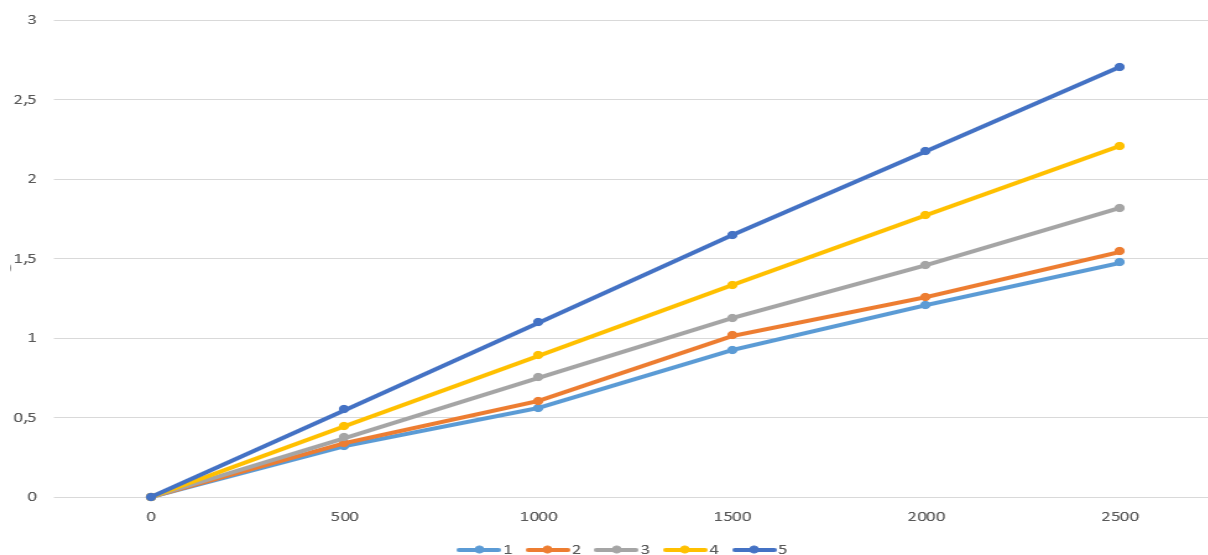


Рисунок 3.4 – Графік максимального відхилення лапи культиватора по осі Х в залежності від положення кріплення регулятора та прикладаємої сили

Таблиця 3.2 – Показники максимального відхилення лапи культиватора по осі Y (вправо), в залежності від місця кріплення та прикладеної сили (в см)

№ Полж/Сила	500	1000	1500	2000	2500
1	0,322	0,614	0,913	1,209	1,502
2	0,298	0,596	0,894	1,147	1,426
3	0,285	0,569	0,854	1,078	1,336
4	0,287	0,573	0,86	1,065	1,316
5	0,287	0,575	0,862	1,043	1,285

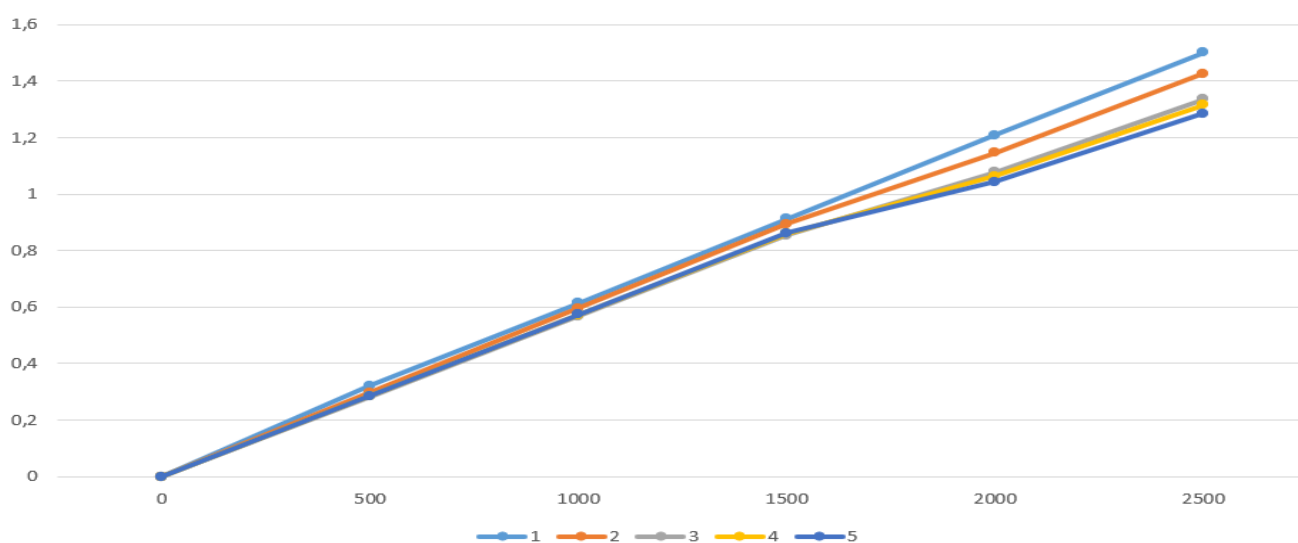


Рисунок 3.5 – Графік максимального відхилення лапи культиватора по осі Y в залежності від положення кріплення регулятора та прикладаємої сили

Таблиця 3.3 – Показники максимального відхилення лапи культиватора по осі Z (вниз), в залежності від місця кріплення та прикладеної сили (в см)

№ Полж/Сила	500	1000	1500	2000	2500
1	0,556	1,101	1,636	2,161	2,676
2	0,547	1,094	1,641	2,094	2,59
3	0,522	1,043	1,565	1,972	2,432
4	0,5	0,998	1,496	1,863	2,292
5	0,463	0,926	1,39	1,706	2,094

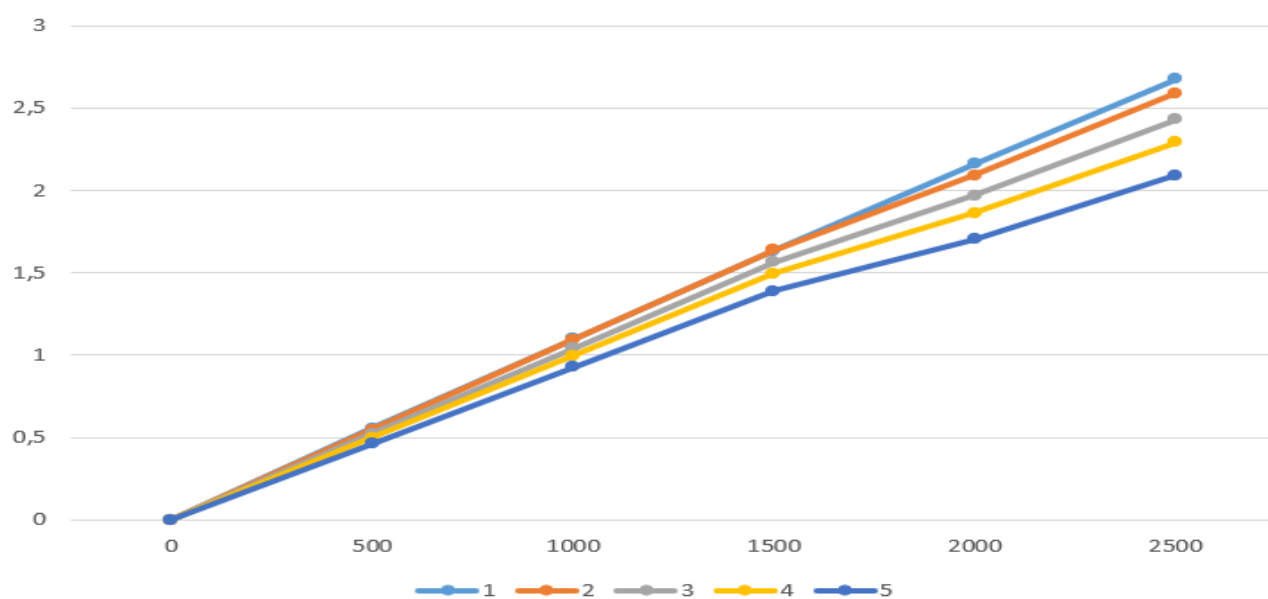


Рисунок 3.6 – Графік максимального відхилення лапи культиватора по осі Z в залежності від положення кріплення регулятора та прикладаємої сили

3.2 Висновок до розділу

Було визначено, що при більшій глибині обробітку, і відповідно більшому навантаженню на комплект робочих органів, при більшій швидкості руху культиватора, жорсткість відіграє все більшу і більшу роль. Відповідно жорсткість культиватора залежить від довжини робочої зони культиватора, яка задавалась фіксацією регулятора на певній висоті від носка лапи культиватора.

Максимальне відхилення лапи культиватора в осі X при максимальному навантаженні з регулятором, який був на 5 положенні фіксації склала 2.7см. В порівнянні з аналогічним показником без регулятора цей параметр склав 13.5см. По цим показникам видно, що завдяки регулятору опору, показник відхилення у верхньому положенні зменшився в 5 раз, що дозволяє проводити глибокий обробіток ґрунту з меншим тяговим опором та стабільним положенням лап культиватора, що позитивно впливає на якість обробітку ґрунту, на якості майбутнього урожаю і тд.

По осям Y та Z теж були зафіксовані зменшення відхилень лапи культиватора які складають по

- осі Y: 1.28 з регулятором на 5 положенні і 3.58 без нього;
- осі Z: 2.09 з регулятором на 5 положенні і 4.72 без нього

Відповідно відхилення зменшились в 2.8 раза для осі Y і в 2.25 раза для осі Z, що дозволяє отримати стабільніший і точний обробіток.

5 положення було вибрано через те, що саме таке положення дозволяє мкксимально реалізувати переваги такої конструкції, а саме при глибокому обробітку ґрунту на глибині більше 20см. Також при такому положенні сам регулятор буде практично в ідеальному положенні відносно рами культиватора.

Економічна сторона такого рішення теж відчутна, так як тепер не буде потреби в культиваторах з жорсткими стійками, при необхідності обробітку на великих глибинах, і дозволяє уніфікувати культиватори і тим самим

нарощуючи парк культиваторів з пружними стійками, без втрат функцій, які раніше були доступні культиваторам з жорсткою стійкою.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці – це система законодавчих, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я, працездатності людини в процесі праці.

З метою організації виконання правових, організаційно-технічних, санітарногігієнічних, соціально-економічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасних випадків, професійних захворювань, аварій у процесі роботи, суб'єкт господарювання забезпечує функціонування служби охорони праці відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» та Типового положення про службу охорони праці.

Суб'єктом господарювання розробляються інструкції з охорони праці відповідно до вимог Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України. Згідно з чинним нині в Україні Положенням про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженим наказом Держнаглядохоронпраці 29 січня 1998 р. за № 9, передбачено періодичність перевірки інструкцій з охорони праці не рідше, ніж один раз на п'ять років, а інструкцій для працюючих за професіями або видами робіт, пов'язаними з підвищеною небезпекою - не рідше ніж раз на три роки.

Навчання і перевірка знань з питань охорони праці операторів сільськогосподарської техніки проводиться відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань

охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці.

Попередній (під час прийняття на роботу) і періодичний (протягом трудової діяльності) медичні огляди операторів сільськогосподарської техніки проводяться відповідно до Закону України «Про охорону праці» та Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій.

Механізаторам, допоміжному персоналу та спеціалістам зайнятим на виробництві сільськогосподарських культур у відповідності до ДНАОП 0.05-3.03-81 передбачена безкоштовна видача спецодягу, спецвзуття та засобів індивідуального захисту.

Головним нормативним документом, який регламентує вимоги з охорони праці є ДНАОП 2.0.00-1.01-00 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві», затвердженим Наказом Держнаглядохоронпраці від 11.08.2000 № 202. Вказаний документ визначає наступні вимоги до технологічних процесів в рослинництві.

Технологічні процеси вирощування, збирання та первинної обробки продукції рослинництва повинні відповідати типовим технологіям, затвердженим власником.

При розробці нових технологій вирощування продукції рослинництва безпека працівників повинна забезпечуватися вимогами, викладеними в ДНАОП 2.0.00-1.01-00, а також через:

- забезпечення трактористу-машиністу з кабіни оглядовості робочих органів начіпних сільськогосподарських машин;
- застосування сільськогосподарських машин з автоматичним приєднанням до енергетичних засобів; - передбачення візуальної та звукової сигналізації, які б забезпечували узгоджені та безпечні дії спільно працюючих агрегатів та машин;
- погодженість роботи агрегатів, яка унеможливорює виникнення небезпек.

До початку роботи механізатор ознайомлюється з технікою безпеки і несе відповідальність за дотримання правил безпеки праці. При роботі в 1,5 зміни знайомиться з наказом та умовами оплати праці.

Відповідно до розробленої операційної картки, він дотримується умов та режиму виконання роботи та відпочинку, а також розробленого маршруту переїзду агрегату з поля на поле, місця до заправки паливом та ін.

Механізатори під час відпочинку агрегат зупиняють, вимикають двигун і фіксують гальма, а після культивації всі механізми очищають, змащують. Якщо передпосівний обробіток співпадає з піковим періодом, то його проводять в дві зміни, а значить є підмінний тракторист.

4.2 Безпека праці при роботі з культиватором

Культиватор, як і будь який пристрій потребує правильного поводження і безпечного користування щоб не отримати травму чи не загинути внаслідок неправильної підготовки, тому тут будуть наведені випадки які можуть бути небезпечними і те як їх уникати.

За ДСТУ ISO 4254 регламентовані вимоги до конструкції тракторів, самохідних та інших сільськогосподарських машин (обладнання машин приладами безпеки, сигналізації, спеціальними пристроями, інструментами і документацією), до статичної стійкості машин, гідро і пневмоприводів, робочого місця оператора, органів керування та інших елементів конструкції, від яких залежать умови праці і безпека оператора.

Для забезпечення безпечності технологічних процесів потрібно добиватися більш повної механізації і автоматизації, використовувати дистанційне керування небезпечних виробничих ділянок.

Перед початком роботи, оператору необхідно правильно регулювати культиватор, та правильно зафіксувати культиватор, щоб культиватор не від'єднався під час транспортування/роботи і не спричинив трагічних наслідків

для оператора. Також він має перевіряти стан робочих органів, рами та інших елементів конструкції, електричних проводів та заземлення для запобігання критичних ситуацій. Забезпечення чистоти культиватора та трактора теж входить в обов'язки.

Водій трактора з культиватором перед початком роботи має бути ознайомлений з технікою безпеки, інструкцією щодо використання культиватора, технічними характеристиками культиватора та параметрами, які на пряму стосуються безпеки.

Заборонено експлуатацію культиватора в невідповідних для цього умовах, і заборонено збільшувати рекомендовану робочу швидкість, так як це може призвести до травм, чи навіть загибелі.

Оператор не має права вносити в культиватор модифікації і інші зміни в конструкцію культиватора, які не погоджені фірмою і які не погоджені нормконтролем на параметр безпеки.

В тракторі має завжди бути аптечка для надання першої невідкладеної допомоги для себе, чи інших людей. Також тракторист має слідкувати за строком годності препаратів та інших медичних засобів і по потребі їх замінювати на свіжі.

В тракторі чи на культиваторі має бути вогнегасник та інші елементи для запобігання пожеж. Також водій має пройти курс протипожежної безпеки, щоб навчитись діяти при екстрених ситуаціях.

Заборонено залишати культиватор і сам трактор без контролю, а під час роботи не виходити з трактора і не ходити перед ним і за ним під час руху.

Робочий має бути вдягнутий у спеціальну робочу форму, яка запобігає випадковому зацепу одягу до робочих органів. Також він повинен триматись подалі від рухомих частин культиватора, а також від тих частин, які являються небезпечними для нього.

4.3 Захист об'єкта господарювання у надзвичайних ситуаціях.

В наш час ситуація в Україні і в світі залишається нестабільною та непередбачуваною. Війна, стихійні явища і інші надзвичайні ситуації нікуди не зникають, і попри розвиток технологій та еволюції, вірогідність надзвичайної ситуації залишається високою і це аж ніяк не допомагає сільському господарству в позитивному сенсі. Тому виникає необхідність в впровадженні та розвитку заходів з підвищення безпеки на агропідприємствах, та забезпечення їх стабільної та безпечної роботи в надзвичайних умовах.

Відповідальність за організацію охорони праці та за розробку алгоритму дій при виникненні надзвичайних ситуацій повинна бути чітко розподілена серед керівництва та відповідальних осіб (керівник підприємства, інженер з охорони праці, інші відповідальні за безпеку працівники). Кожен працівник має знати свої обов'язки щодо безпеки та бути навченим, як уникнути потенційних небезпек і знати як діяти при виникненні надзвичайних ситуацій.

Важливим етапом у розвитку державної системи безпеки стало ухвалення Закону України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» від 8 червня 2000 року. Цей документ визначив основні стратегічні напрями, механізми та інструменти вирішення питань захисту населення, а також сприяв фактичному формуванню територіальних і функціональних підсистем Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру.

Функції щодо запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного походження в Україні покладені на Єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації (ЄДСЗР), створену відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 98. До складу ЄДСЗР входять центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи

місцевого самоврядування, державні підприємства, установи та організації, які забезпечують нагляд у сфері техногенної та природної безпеки, організовують заходи із запобігання надзвичайним ситуаціям та здійснюють реагування на них з метою збереження життя людей, охорони довкілля та мінімізації матеріальних збитків.

Координацію діяльності ЄДСЗР здійснюють:

- на державному рівні – Державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій і Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення;
- на регіональному рівні – відповідні комісії обласних державних адміністрацій;
- на місцевому рівні – комісії районних державних адміністрацій та виконавчих органів рад;
- на об'єктовому рівні – комісії з питань надзвичайних ситуацій на підприємствах та інших об'єктах.

До сил і засобів ЄДСЗР належать військові та спеціалізовані цивільні аварійно-рятувальні формування, здатні працювати автономно щонайменше протягом трьох діб, а також добровільні рятувальні підрозділи. Залежно від масштабу і специфіки надзвичайної ситуації система може функціонувати в одному з таких режимів: повсякденної діяльності, підвищеної готовності, діяльності в умовах надзвичайної ситуації або надзвичайного стану. За потреби ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у мирний час може проводитися цільова мобілізація.

Держава, гарантуючи право громадян на захист життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, пожеж та природних явищ, створює систему цивільної оборони. Її основним призначенням є забезпечення захисту населення від негативних наслідків техногенних, екологічних, природних та воєнних подій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Підвищення ефективності роботи культиватора є важливим напрямом удосконалення сучасних технологій обробітку ґрунту, оскільки від якості виконання цієї операції залежить рівень підготовки ґрунту до сівби, збереження його родючості та енергоємність технологічного процесу. У ході дослідження встановлено, що ключовим чинником ефективної роботи культиватора є раціональний вибір і обґрунтування параметрів комплексу робочих органів з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, агротехнічних вимог і тягово-енергетичних можливостей трактора.

Оптимізація геометричних параметрів робочих органів, їх кількості, взаємного розташування та глибини обробітку дає змогу забезпечити рівномірне розпушування ґрунту, ефективне підрізання бур'янів і формування вирівняного посівного шару при зниженні питомого опору обробітку. Це, у свою чергу, сприяє зменшенню витрат палива, підвищенню продуктивності агрегату та зниженню зношування робочих елементів.

Обґрунтований комплект робочих органів культиватора забезпечує стабільність технологічного процесу, покращує агрофізичні властивості ґрунту та створює сприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур. Таким чином, удосконалення конструктивних і технологічних параметрів робочих органів культиватора є ефективним шляхом підвищення якості обробітку ґрунту, економічної доцільності використання машинно-тракторних агрегатів і загальної ефективності землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Культиватор: що це і як правильно вибрати - WEAGRO. WEAGRO. URL: <https://weagro.ua/blog/kultyvator-shho-cze-i-yak-pravylnno-vybraty/>
2. Кухарчук О. О. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОМБІНОВАНОГО КУЛЬТИВАТОРА : Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». Вінниця, 2018. 70 с.
3. Лабораторна робота №4. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/4193467/>
4. SWIFTER SO_PROFI Причіпний професійний передпосівний компактор | BEDNAR FMT. BEDNAR FMT. URL: https://www.bednar.com/uk/swifter-so_profi/
5. КУЛЬТИВАТОР. *Лексика - українські енциклопедії та словники*. URL: <https://leksika.com.ua/18800413/ure/kultivator>.
6. Лісовий А. Л. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ : Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». Вінниця, 2019. 85 с.
7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін., за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.: іл.
8. Купити Культиватор КПП-6,9 З. HYDROLIDER - гідравлічне обладнання, промислове та будівельне, спецтехніка. URL: <https://hydrolider.com.ua/ua/p1524041079-kultivator-kpp-69s.html?srsId=AfmBOoqEDQMKROl3Y0U7nMvbhQM3DDRV65KcBDxPUzLRQwo6iVN33rGt>.

9. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: Хай Тек-Прес, 2011. – 616 с
10. Калетнік Г.М. Технічна механіка [Текст] : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Калетнік Г.М., Булгаков В.М.; Черниш, О.М. та ін.. - К. : Хай-Тек Прес, 2011. - 340 с.
11. Калетнік Г.М. Теоретична механіка в прикладах та завданнях: Навч. посібник / В. М. Булгаков, Г. М. Калетнік, І. В. Гриник та ін.; За ред. : В. М. Булгакова. - К.: Аграрна наука, 2014. - 348 с.
12. Характеристика матеріала 60C2A. Марочник стали и сплавов. URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=268
13. 43 Розділ 5. Охорона праці. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/7495997/page:9/>
14. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.
15. Булгаков В.М. Побудова математичної моделі коливального руху у ґрунті /В.М. Булгаков, І.В.Головач, В.П. Горобей, О.М. Свірень // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. – Кіровоград, 2015. Вип.45. – Ч.1. – С. 50-62.
16. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, до курсового проектування А.Д Довбуш. Паляниця В. А., 2019. 72 с.
17. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с., іл.

- 18.Гевко Р. Б. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навчальний посібник до лабораторних робіт / Р. Б. Гевко, Н. І. Хомик, О. С. Жаровський, Т. А. Довбуш. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. – 256 с.
- 19.Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: Новий світ, 2000. 230 с.
- 20.Довбуш Т.А. Зниження металоємності гнучких транспортуючих механізмів /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Тернопіль: ТНТУ, 2020. С. 20-21.
- 21.Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
- 22.Довбуш А.Д. Прикладна механіка і основи конструювання: навчально-методичний посібник до розрахунково-графічної роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. 116 с.
- 23.Довбуш Т.А. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів// Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Довбуш А.Д. ,Цьонь Г.Б. // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича «Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин», 23-24 вересня 2021. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. С.67-68.
- 24.Хомик Н.І. Вступ до фаху: навчальний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, І.Й. Блозва, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 348 с.

- 25.Хомик Н.І. Деталі машин. Курс лекцій для студентів заочної форми навчання / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 160 с.
- 26.Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Машини та обладнання для тваринництва. Навчальний посібник (курс лекцій). Частина перша. Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.
- 27.Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Технічна механіка: навчально-методичний посібник до курсової роботи для студентів напряму підготовки «Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форм навчання Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулля, 2013. 192 с.
- 28.Довбуш, Т. А., Рубінець, Н. А., Довбуш, А. Д., & Хомик, Н. І. (2015). Аналітичне дослідження напружено-деформованого стану складних конструктивних систем з довільним зовнішнім навантаженням. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, (159), С. 206-212.
- 29.Хомик Н.І., Мартинюк В.В., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш Т.А., Довбуш А.Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
- 30.Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання дипломної роботи для здобуття освітнього ступеня «магістр» для спеціальності 133 Галузеве машинобудування /Н.І. Хомик, М.Я. Сташків, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 164 с.
- 31.Хомик Н.І., Ткаченко І.Г., Довбуш А.Д. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник до курсового проектування для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 100 с.
- 32.Хомик Н.І., Олексюк В.П., Сташків М.Я., Бабій А.В., Довбуш Т.А., Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів

- першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. 180 с.
- 33.Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) /Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.
- 34.Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник до практичних занять та самостійної роботи /Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, Н.А. Антончак. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 320 с.
- 35.Хомик Н.І., Цьонь Г.Б., Довбуш Т.А. Навчальна практика: методичний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 140 с.
- 36.Babii A., Dovbush T., Khomuk N., Dovbush A., Tson A., Oleksyuk V. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor Procedia Structural Integrity, 2022. No 36, 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>
- 37.Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Dovbush Anatolii, Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2022. Vol 108. No 4. PP. 5-15.
- 38.Dovbush T., Dovbush A., Khomyk N., Tson H. (2021) Substantiation of flexible screw conveyor metal consumption under productivity maintenance conditions. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 103, no 3, pp. 33-42.
- 39.Ознайомча практика: методичний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь, Т. А. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 80 с.
- 40.Гевко, Ів. Б., Довбуш, Т. А., Цьонь, О. П., Довбуш, А. Д., &Станько,А. І.(2021). Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх дослідження. *Сільськогосподарські машини*, 47, 63-72.

41. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. (2022) Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 108, no 4, pp. 5-15.
42. *Машины та обладнання для тваринництва: навчальний посібник до практичних занять та самостійної роботи* / Н. І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г. Б. Цьонь. А.Д. Довбуш Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.
43. Hevko, R. B., Lyashuk, O. L., Dzyura, V. O., Dovbush, T. A., Trokhaniak, O. M., & Liashko, A. P. (2021). Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor. (2021) *INMATEH*. pp 479-487.
44. Rybak, T. I., Popovych, P. V., Khomyk, N. I., Dovbush, T. A., & Tson, H. B. (2013). Imitatsiine modeliuвання pry rozrakhunkakh na kvazistatychnu mitsnist konstruktyvnykh struktur vazhko navantazhenykh silskohospo-darskykh mashyn [Simulation calculations on quasistatic strength structural structures are heavily loaded with agricultural machinery] *Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Kh.: KhNTUSH., PP*, 321-326.
45. *Машины та обладнання для тваринництва: навчально-методичний посібник до виконання курсового проекту* / Н. І. Хомик, Т. А. Довбуш, Г. Б. Цьонь. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2017. – 84 с.
46. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. (2024) Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 115, no 3, pp. 112-121.
47. Гевко Р.Б., Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Залуцький С.З., Станько А.І., Довбуш Т.А. *Гвинтові конвеєри з еластичними поверхнями*. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 239 с.
48. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. *Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр»*. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

ДОДАТКИ