

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“Дослідження параметрів осі опорного котка ґрунтообробного
дискового агрегату *Avalon 3,2* за допомогою САПР *SolidWorks*”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Степан КУРАХ
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Сергій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“ ___ ” _____ 202 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Кураху Степану Володимировичу

1. Тема роботи: **«Дослідження параметрів осі опорного котка ґрунтообробного дискового агрегату Avalon 3,2 за допомогою САПР SolidWorks»**

Керівник роботи: Березовецький Сергій Андрійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 09.12.2024 року

3. Вихідні дані: Базова конструкція дискового агрегату Avalon 3,2, ширина захвату – 3,2 м, глибина обробки – 8-15 см, робоча швидкість – 8-12 км/год. Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз об'єкту проектування.

2. Огляд робочих органів дискових ґрунтообробних агрегатів

3. Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки.

4. Дослідження параметрів об'єкту розробки;

5. Охорона праці та захист населення;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: огляд існуючих конструкцій та класифікація ґрунтообробних машин; огляд робочих органів дискових ґрунтообробних агрегатів; обґрунтування основних параметрів дискового агрегату; моделювання, дослідження, оптимізація параметрів вісі опорного котка; результати моделювання стандартної вісі опорного котка; результати моделювання модернізованої вісі опорного котка; дослідження Design Study (Дослідження проектування); аналіз результатів моделювання вісі опорного котка; загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Березовецький С.А. к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Аналіз об'єкту проектування»</i>	<i>12.09.24-27.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Обґрунтування основних параметрів об'єкту дискового агрегату»</i>	<i>30.09.24-11.10.24</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Моделювання, дослідження, оптимізація параметрів вісі опорного котка»</i>	<i>14.10.24-25.10.24</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Результати моделювання, дослідження та оптимізація параметрів вісі опорного котка»</i>	<i>28.10.24-08.11.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>11.11.24-22.11.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>25.11.24-06.12.24</i>	

Студент _____ Степан КУРАХ
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ
(підпис)

УДК 631.316+620.17

«Дослідження параметрів осі опорного котка ґрунтообробного дискового агрегату Avalon 3,2 за допомогою САПР *SolidWorks*». Курах С. В. Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

55 с. текст. част., 30 рис., 2 табл., 25 джерел інформації.

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення надійності та ефективності роботи ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2* шляхом оптимізації конструктивних параметрів осі опорного котка. Враховуючи високі навантаження, які зазнають робочі елементи під час експлуатації у польових умовах, основною метою дослідження стало забезпечення стійкості конструкції за рахунок зниження маси осі при збереженні необхідної міцності.

У роботі використовувалася САПР *SolidWorks*, яка дозволила провести детальне моделювання та аналіз напружено-деформованого стану осі під впливом різних навантажень. Результати аналізу дали змогу оптимізувати геометрію деталі, що призвело до зменшення її маси з 2,98 кг до 1,82 кг, при цьому коефіцієнт запасу міцності підвищився до 2,3. Це сприяє зниженню енерговитрат на виробництво деталі та покращенню довговічності агрегату загалом.

Дослідження також включає економічне обґрунтування впровадження оптимізованої конструкції, що демонструє зниження собівартості за рахунок економії матеріалів та енергоресурсів. Впровадження запропонованих змін дозволить зменшити витрати на обслуговування агрегату та підвищити його загальну продуктивність.

Результати роботи є корисними для конструкторів та інженерів сільськогосподарської техніки, які займаються розробкою та вдосконаленням ґрунтообробних машин, зокрема дискових агрегатів.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ	8
1.1. Опис об'єкту розробки	8
1.2. Огляд конструкцій сучасних дискових ґрунтообробних агрегатів	12
1.3. Комплектування ґрунтообробних агрегатів опорними котками	17
1.4. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра	19
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО АГРЕГАТУ ..	22
2.1. Технологічні та конструкційні розрахунки	22
2.2 Розрахунок енергетичних показників	31
3. МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІСІ ОПОРНОГО КОТКА	33
3.1. Розрахунок вісі опорного котка на міцність	33
3.2. Моделювання вісі на згин осі опорного котка в САПР Solidworks	34
4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІСІ ОПОРНОГО КОТКА	36
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	45
5.1. Охорона праці при роботі на дискових ґрунтообробних агрегатах	45
5.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Першочерговим завданням сільського господарства України є стабільне та поступове нарощування виробництва основних видів сільськогосподарської продукції, таких як зерно, цукрові буряки, овочі, що забезпечить продовольчу безпеку та зміцнить аграрний потенціал країни. Це завдання вимагає не тільки розширення обсягів виробництва, але й значного підвищення продуктивності аграрного сектору шляхом впровадження нових інтенсивних технологій, підвищення родючості ґрунтів, використання новітніх науково-технічних досягнень та ефективного застосування наявного і новоствореного виробничого потенціалу.

Однією з ключових ланок у технологічному процесі сільськогосподарського виробництва є сільськогосподарська техніка, зокрема ґрунтообробні агрегати, які забезпечують якісний механічний обробіток ґрунту: оранку, дискування, боронування, лушення, розпушування та коткування. Ці операції спрямовані на підтримку та підвищення родючості ґрунту, накопичення і збереження вологи, а також на ефективне знищення бур'янів, що створює сприятливі умови для розвитку рослин і підвищення врожайності. Сучасна техніка для механічного обробітку ґрунту, зокрема плуги, глибокорозпушувачі, дискові борони та комбіновані агрегати, займає центральне місце в системі забезпечення аграрного виробництва.

Серед агрегатів, призначених для основного обробітку ґрунту, важливе місце займають дискові культиватори, які виконують різні функції, включаючи розпушування ґрунту, видалення бур'янів та внесення органічних і мінеральних добрив у ґрунтовий шар. Використання високопродуктивних і надійних машин є ключовим для забезпечення якісного та ефективного виконання операцій з основного обробітку ґрунту, що безпосередньо впливає на родючість ґрунтів, створює сприятливі умови для зростання сільськогосподарських культур і забезпечує високу продуктивність.

Зважаючи на важливість забезпечення надійної роботи ґрунтообробної техніки, актуальним є дослідження та оптимізація її конструктивних параметрів. У цьому контексті детальне вивчення параметрів та оптимізація окремих компонентів ґрунтообробного агрегату Avalon 3,2 є важливим завданням, яке сприятиме підвищенню надійності, зниженню витрат на обслуговування і ремонти та забезпеченню стабільної роботи агрегату в польових умовах.

1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Опис об'єкту розробки

Дисковий ґрунтообробний причіпний агрегат Avalon 3,2 (рис. 1.1) призначений для проведення обробітки різноманітних за механічним складом ущільнених ґрунтів з одночасним їх подрібненням та заробленням поживних решток у ґрунт.

Дані агрегати розраховані на роботу з тракторами класу 30 кН (ХТЗ-17021) і використовуються в більшості ґрунтово-кліматичних зон України.

Агрегати Avalon 3.2 особливо ефективні під час роботи на сухих, твердих ґрунтах, а також на схилах, оскільки вони не переміщують пласти ґрунту у поперечному напрямку до переміщення агрегатів та якісно заробляють залишки поживних речовини в ґрунт.

Принцип роботи цих ґрунтообробних пристроїв полягає в наступному: при русі по полю диски здійснюють обертальний рух, тому тертя ґрунту об диски мінімальне, що забезпечує високу ефективність і на порядок меншу енергоємність у порівнянні із лемішними плугами.

В результаті контакту з очисним пристроєм ґрунт відходить від увігнутої сторони дисків більш рівномірно, забезпечуючи при цьому рівну поверхню ґрунту на обробленій ділянці поля та закопуючи рослинні поживні залишки в ґрунт. Завдяки використанню двох рядів дисків вони забезпечують більш інтенсивне подрібнення ґрунту. Опорні котки, положення яких регулюється гідравлічним циліндром, забезпечують необхідну глибину розпушування ґрунту разом із розбиванням грудок у верхніх шарах ґрунту. Також в конструкціях агрегатів Avalon 3.2 передбачена можливість змінювати кут атаки дисків залежно від типу та вологості ґрунту.

Диски виготовлені з внутрішньою заточкою, що забезпечує надзвичайно ефективне використання агрегату для обробки в'язких, важких ґрунтів, у тому числі чорнозему, а також знижує тягове зусилля та підвищує стійкість під час його

роботи. Насічки на дисках у поєднанні з внутрішніми заточками забезпечують краще подрібнення шарів ґрунту та виключають накопичення рослинних залишків перед самим диском.



Рис. 1.1 – Ґрунтообробний агрегат Avalon 3,2

Конструктивною особливістю дискових агрегатів типу «Авалон» є наявність 2-х послідовно встановлених дискових секцій робочих органів, за якими розміщені опорні ролики. На дискових секціях робочих органів встановлені окремі стійки з дисками, додатково осі дисків встановлені під кутом 20° до горизонту.

Диски, встановлені в передній і задній секціях, мають вирізи. Кути атаки дисків регульовані і зазвичай становлять $30-35^\circ$ (рис. 1.2).



Рис.1.2 – Регулювальний механізм кута атаки агрегату Avalon 3,2

Котки (рис. 1.3) виготовлені з пруткового матеріалу круглого або пластинчастого перерізу. Кількість котків підбирається залежно ширині агрегатів. Довжина одного ролика (котка) здебільшого становить 1000-1500 мм. Завдяки збільшеній кількості робочих органів такі дискові агрегати здатні ефективніше подрібнювати рослинні рештки та бур'яни, забезпечуючи краще розпушування ґрунту, культивуацію на глибину до 20 см, і при цьому характеризуються відносно низькою енергоємністю.

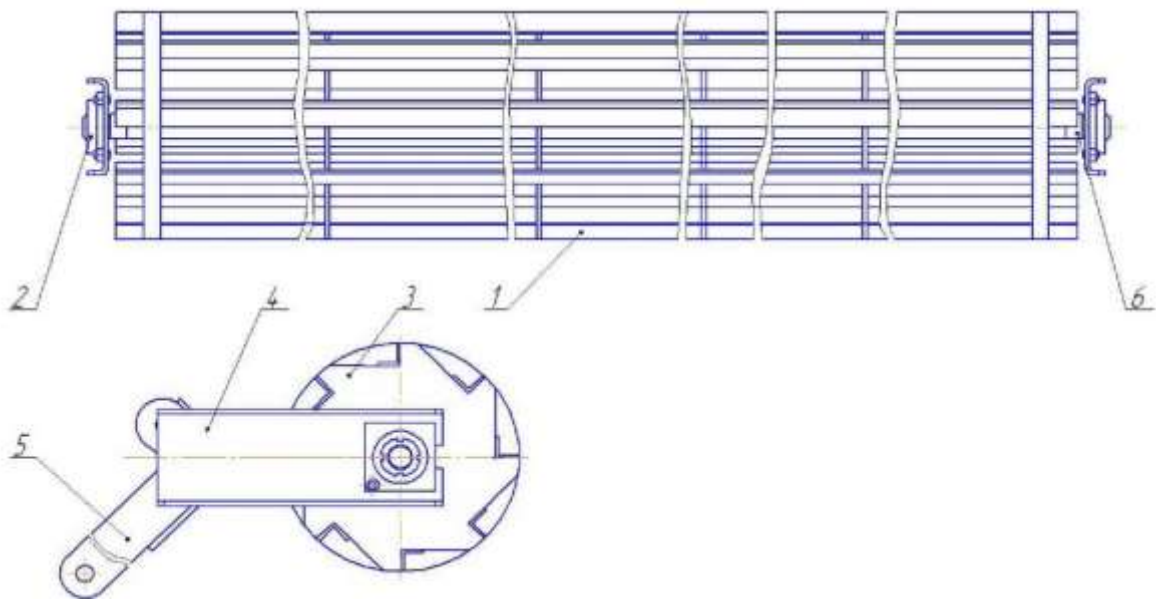


Рис. 1.3 – Прикочувальний коток агрегату *Avalon 3,2*

Дані ґрунтообробні агрегати складаються з передньої і задньої секцій робочих органів, осі яких розміщені перпендикулярно напрямку їх руху. Сферичні диски розміщені окремо на осях, які мають вирізи. Ззаду дисків встановлено по два котки з пластинчастими прутками. До рами агрегату (рис. 1.4) у передній частині кріпляться опорні ролики.

Робочими органами агрегату *Avalon 3,2* є диски сферичної форми діаметр яких становить 0,65 м. Розташовані вони рядами на відстані один від одного 0,35 м. Відстань між дисками складає 0,38 м. Диски розташовуються у 2 ряди і їх кількість вибирається залежно від ширини захвату ґрунтообробного агрегату. Кут атаки встановлених дисків регульований у двох площинах: фронтальній і вертикальній. Всі диски встановлено на осях зі запресованими підшипниками кочення і манжетами, які закриті кришками.

Рис. 1.4 – Рама ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2*

Прикочувальні котки суцільної конструкції по ширині захвату і мають діаметр 0,38 м. Вони ребристі і збираються з дисків та приварених до них кутників.

Рівномірність заглиблення першого та другого рядів дисків можна

регулювати за допомогою центральної тяги навісного пристрою енергозасобу.

Ходова система складається з двох металевих котків розміщених з лівої та правої сторін агрегату.

Технічна характеристика ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2* наведено у табл. 1.

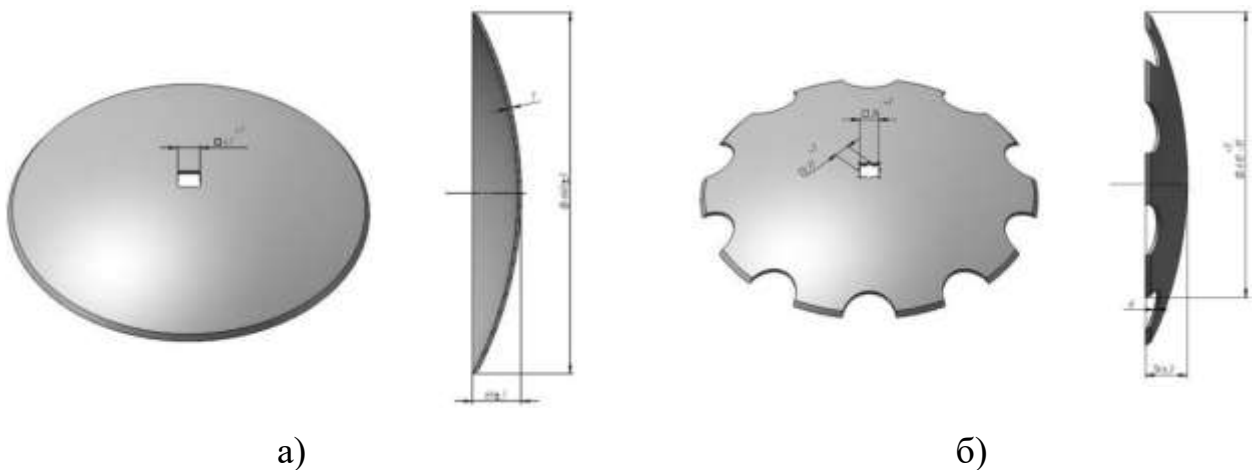
Таблиця 1

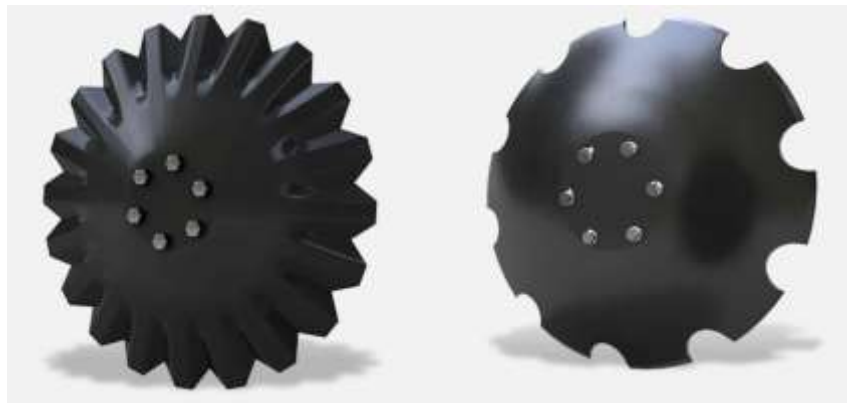
Технічна характеристика ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2*

Ширина захвату, м	3,2
Продуктивність, га/год	2,5...4,1
Глибина обробітку ґрунту, см	8...15
Маса агрегату, т	0,135
Робоча швидкість, км/год	8...12
Агрегатується з трактором	ХТЗ-17021
Витрата палива, л/га	9,6...11,0
Габаритні розміри, м (довжина/ширина/висота)	2,7/4,2/1,7

1.2. Огляд конструкцій сучасних дискових ґрунтообробних агрегатів

Особливістю сферичних (рис. 1.5, а, б, в) дискових робочих органів є те, що під час роботи вони не тільки здійснюють прямолінійний рух машин або знарядь, а й обертаються. Тому, на відміну від робочих органів, які рухаються тільки прямолінійно, вони будуть засмічуватися рослинними залишками в значно меншій мірі. Плоскі диски (рис. 1.5, г) використовуються як корпуси дисків в плугах і луцильниках, які застосовуються для обробітку ґрунтів, схильних до вітрової ерозії, а також на сівалках.





в)



г)

Рис. 1.5 - Сферичні (а, б, в) та плоскі (г) дискові робочі органи

Установка дискових ножів перед кожним корпусом плуга для обробки цілини дозволяє значно підвищити якість оранки і стабільність руху знаряддя; при оранці старих трав'яних полів (луків, висухлого торфу тощо) корпуси плуга без використання ножів взагалі непридатні. Проте в обох випадках глибину оранки дещо зменшують (глибина оранки зменшується в межах 2...4 см). Окрім дисків з гладкими лопатями, також використовуються диски з насічками і канавками. Їх рекомендують застосовувати при обробці сильно засмічених і зарослих ґрунтів. Встановлення плоских дисків на луцильники дозволить проводити культивуацію без перекидання та збереження стерні.

Сферичні диски використовують як робочі органи луцильників, дискових плугів, борін, сівалок (сошників). Дискові плуги в основному використовуються для обробки важких і сухих ґрунтів, а також ґрунтів, що містять коріння дерев. У фермерських господарствах ними орють поля під вирощування рису на глибину 25...30 см. Дискові борони використовують для луцення стерні на глибину 6...15 см, борони – для подрібнення шарів ґрунту та стерні вже зораних полів тощо.

Диски з вирізаними зубами встановлюються на важких боронах, і використовуються як для попередньої обробки важких затверділих ґрунтів, так і для розпушування забитих скиб, що утворилися під час оранки на сирих, мокрих, зарослих, болотяних ділянках оброблюваних угідь.

Ямкоутворювачі призначені для обробітку ґрунтів, схильних до водної ерозії, і являють собою спарені диски, які встановлені на вал ексцентрично таким чином, що один відносно іншого розвернутий на 180° .

По черзі занурюючись у ґрунт, вони роблять овальні ямки об'ємом 20...25 дм^3 загальною кількістю 12000...14000 на один га, і призначені для затримання талих вод.

У випадку ґрунтів, які піддаються водній ерозії, замість сферичних дисків використовують плоскі. Вони розпушують ґрунт, не перевертаючи шари ґрунту, внаслідок чого велика кількість стерні залишається неушкодженою. Стерня захищає ґрунт від вивітрювання та багатьма способами допомагає утримувати вологу. Ямкоутворювачі встановлюються на луцильники або використовуються як пристосування до плуга.

Крильчатки використовуються з плугами (трисмугові) або культиваторами (чотирисмугові) для обробітку ґрунтів, схильних до водної ерозії. Вони рухаються разом із знаряддям, періодично сповільнюючись і занурюючись у ґрунт. Таким чином формуються переривчасті канавки, необхідні для затримки малої води та липневих дощів.

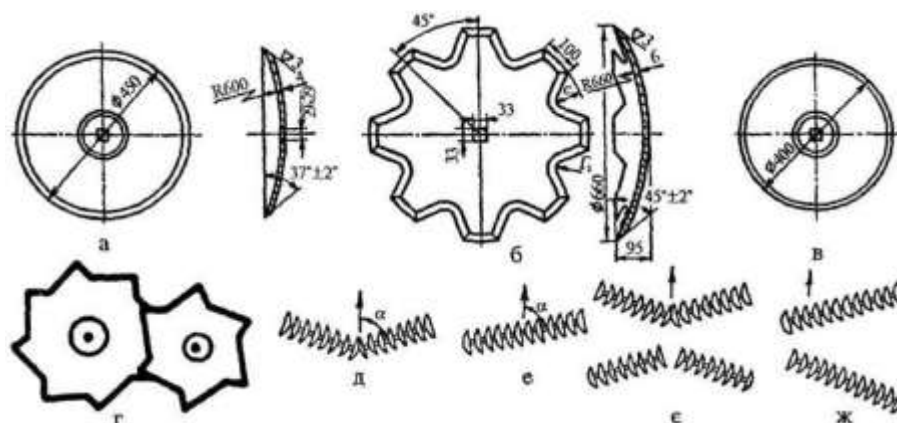


Рис. 1.6 – Дискові робочі органи та схеми з'єднання дискових батарей: а – сферичний; б – сферичний з вирізами; в – плоский; г – плоский зірчастий; д, е, є, ж – схеми з'єднання батарей

Комбіновані знаряддя землеробства призначені для виконання одночасно кількох технологічних операцій. Застосування комбінованих агрегатів дозволяє значно зменшити ущільнення ґрунту ходовою системою агрегатів та скоротити час на виконання технологічних операцій, збільшити продуктивність роботи агрегату, підвищити продуктивність праці та знизити витрати.

Однією із найбільш застосовуваних борін є борона дискова важка (БДВ-3М). Призначена вона для розпушування і лущення ґрунтів глибиною до 160 мм. Вона на 70 % уніфікована з бороною бороною дисковою важкою БДВ-6, агрегуються з тракторами класу 14 та 20 кН, конструктивна схема наведена на рисунку 1.5.

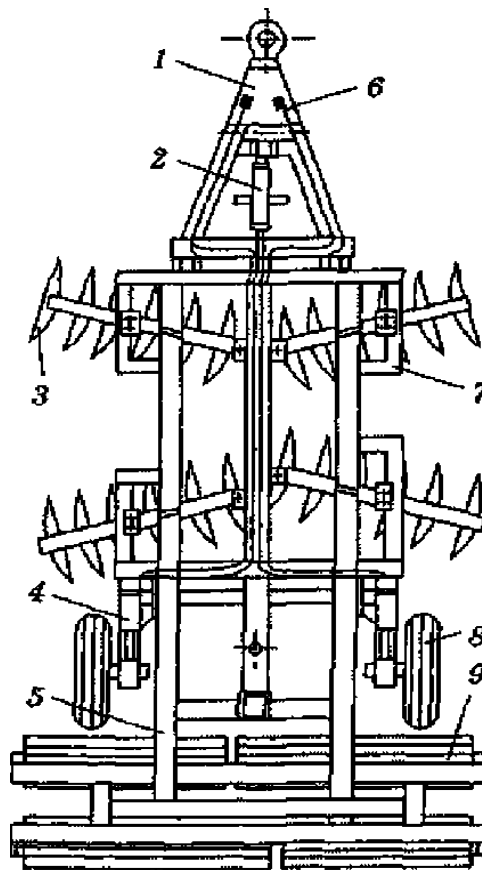


Рис. 1.5 - Борона дискова важка БДВ-3М: 1 - причіпний пристрій; 2 - вузол регулювальний; 3 – робочі органи (диски); 4 – вісь підймальна; 5 - рама; 6 – елементи гідросистеми; 7 - вузол регулювальний кута атаки робочих органів; 8 - колесо; 9 - прутковий каток дворядovий.

У таких борін розширені технологічні можливості за рахунок опорних катків-подрібнювачів, які приєднуються до задньої частини рами. Завдяки цьому

отримуємо вирівняну поверхню поля, і знижуємо у 1,5...2 рази кількість проходів борони по полю. Для збільшення глибини обробітку і покращення якості польових робіт на боронах встановлюють ящики для баласту.

Комбінований агрегат АКП-5 (рис. 1.6) призначений для основного обробітку ґрунту без перевертання пласту під посів зернових і просапних культур. Даний агрегат має передню начіпну частину і приєднану до неї причіпну задню. На рамі секцій розташовано дискові робочі секції, плоскорізальні лапи (2), два пневматичні опорні колеса (4, 7), начіпний пристрій (9), гідросистему та центральну основну і шарнірно приєднані дві бічні рами.

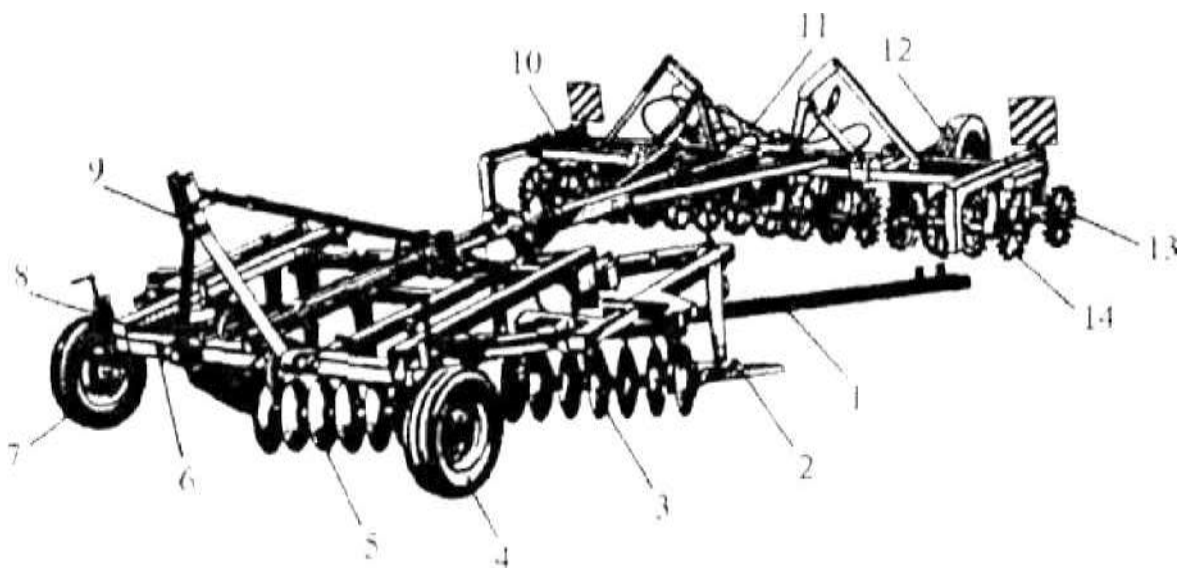


Рис. 1.6 – Агрегат комбінований ґрунтообробний АКП-5: 1 – пристрій для вирівнювання поверхні поля; 2 – плоскорізальні лапи; 3, 5 – батареї дискові секційні; 4, 7, 12 – пневмоколеса; 6 – рама передня; 8 – регулювальний механізм; 9 – начіпний пристрій; 10 – рама задня; 11 – шланги високого тиску гідросистеми; 13, 14 – катки кільцеві, шпорові.

Усі дискові секції мають по 7 дисків, діаметром 450 мм в розміщуються вони з кроком 185 мм один відносно одного. Задні секції мають 3-секційну раму (10, 8) з двома рядами кільцево-шпорових котків діаметром 520 мм; два опорні колеса (12) та причіпного пристрою. Гідросистема комбінованого агрегата призначена для переведення бокових секцій у положення для транспортування по дорогам загального призначення. Під час руху агрегату із дисковими батареями (3) та (5) ґрунт розпушується на глибину до 8 см, а завдяки встановленим на передній

рамі (6) плоскорізальних лап (2) ґрунт підрізається і розрихлюється на глибину до 14 см. Тоді вирівнювачем (1) вирівнюється поверхня щойно обробленого ґрунту, а котки (13, 14) здійснюють подрібнення грудок та ущільнюють ґрунт. Робоча ширина захвату даного комбінованого агрегату становить 5 м, робоча швидкість – 7...10 км/год, а продуктивність - від 3,5 до 5,0 га/год.

1.3. Комплектування ґрунтообробних агрегатів опорними котками

Дискові ґрунтообробні агрегати, як прийнято, комплектуються опорними котками. В їх задачу входить вирівнювання поверхні, кришення великих грудок, підтримання сталості глибини ходу. Найпростіші з них реберчасті (рис. 1.7,а) і спіралевидні (рис. 1.8).



а)



б)

Рис. 1.7. Реберчасті котки дискаторів: а – з прямолінійними ребрами; б – з спіралевидними ребрами

Реберчасті котки більш інтенсивно дрібнять грудку, але гірше вирівнюють поверхню. Спіралевидні завдяки спіральним виткам краще вирівнюють поверхню, але складніші у виготовленні. Крок спіралі залежить від рядності дискатора: чим більше рядність, тим менше крок.



а)



б)

Рис. 1.8. Спіралевидні котки: а – з малим кроком спіралі; б – з великим кроком спіралі



Рис. 1.9 - Тандемний каток



Рис. 1.10 - Каток з прямолінійними кутниками

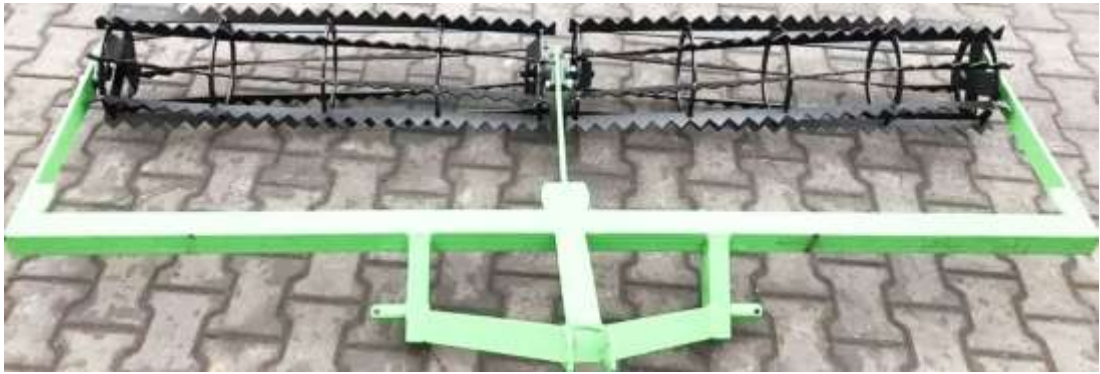


Рис. 1.11 - Каток зубчастий

Таким чином, відзначимо, що дискатори серед дискових агрегатів для поверхневого обробітку ґрунту конструктивно найбільш складні і мають велику кількість модифікацій. Але, на наш погляд, трирядний варіант є найбільш оптимальним як з технічної, так і економічної точки зору.

1.4. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра

Тема кваліфікаційної роботи магістра «Підвищення надійності та ефективності ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2*» є надзвичайно актуальною у світлі сучасних викликів сільськогосподарської галузі. Ринок сільськогосподарської техніки постійно вимагає високопродуктивних та надійних рішень, які здатні забезпечити ефективну та безперебійну роботу на великих площах обробітку. Агрегат *Avalon 3,2*, який призначений для розпушування, вирівнювання та підготовки ґрунту до посіву, використовується в багатьох сільськогосподарських підприємствах України та за її межами. Однак, в умовах активної експлуатації ця техніка стикається з низкою викликів, серед яких значні навантаження на ключові конструктивні елементи, що вимагає підвищеної міцності, стабільності й надійності цих елементів.

Потреба у підвищенні ефективності та надійності роботи *Avalon 3,2* обумовлена прагненням сільськогосподарських підприємств до скорочення витрат на технічне обслуговування і ремонти, зниження простоїв та збільшення терміну служби техніки. Конструкція агрегату повинна витримувати інтенсивні навантаження протягом усього періоду експлуатації. Зокрема, важливим

завданням є підвищення зносостійкості та міцності таких елементів, як вісь опорного котка, що значно впливає на стабільність роботи агрегату. Оптимізація конструкції цієї деталі дозволяє не тільки підвищити надійність агрегату, але й знизити витрати на обслуговування завдяки збільшенню його ресурсу.

Актуальність теми також зумовлена посиленням вимог до екологічної безпеки сільськогосподарської техніки. Використання агрегату *Avalon 3,2* передбачає постійний контакт із ґрунтом, а отже, важливо зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Оптимізація параметрів техніки, що підвищує її ефективність, дозволяє знизити витрати пального та мінімізувати викиди шкідливих речовин. Зменшення викидів в атмосферу та запобігання забрудненню ґрунтів мастильними матеріалами сприяють покращенню екологічної ситуації, що є важливим аспектом при переході до екологічно чистого сільського господарства. Враховуючи це, підвищення екологічної стійкості агрегату є ще одним важливим завданням роботи.

Ще одним вагомим аспектом є використання сучасних інженерних підходів для вирішення задач оптимізації конструкцій. Зокрема, застосування передового програмного забезпечення *SolidWorks Simulation* дозволяє провести детальний аналіз напружено-деформованого стану конструкції, що дає змогу обґрунтовано підходити до вибору параметрів, матеріалів та форм елементів агрегату. В процесі роботи було проведено моделювання роботи осі опорного котка, що дозволило визначити оптимальні параметри для забезпечення необхідної жорсткості та міцності при мінімальній масі. Завдяки цьому знижується ризик виходу осі з ладу при експлуатації та забезпечується тривалий термін служби агрегату навіть в умовах інтенсивного використання. Використання *SolidWorks Simulation* як інструмента для оптимізації конструкції демонструє високу ефективність сучасних методів комп'ютерного моделювання, які дозволяють проводити точні інженерні розрахунки та прогнозувати поведінку техніки за різних умов.

Таким чином, тема цієї магістерської роботи є надзвичайно актуальною, оскільки вона спрямована на вирішення низки проблемних аспектів у роботі сучасної сільськогосподарської техніки, включаючи підвищення надійності,

зниження витрат на технічне обслуговування, мінімізацію екологічного впливу та застосування новітніх технологій для оптимізації конструкції. Вибрана тема відповідає вимогам сучасного сільськогосподарського виробництва та сприяє підвищенню рівня технологічного оснащення, надійності і стійкості ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2*, що є важливим для ефективного функціонування аграрного сектору.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО АГРЕГАТУ

2.1. Технологічні та конструкційні розрахунки

Ґрунтообробні машини та знаряддя мають дискові робочі органи з постійним значенням кривизни на будь-яких точках робочих поверхонь, а саме сферичні сегменти. Диски із змінною кривизною поверхні за звичай не застосовуються.

До головних геометричних характеристик сферичних дисків, які мають окремий вплив на технологічні особливості, відносяться:

- діаметри D ,
- радіуси кривизни сфер дисків r ,
- передні кути ε ,
- кути загострювання i ,
- кути нахилу фасок дисків до їх основи ω ,
- кути різання α ,
- задні кути ε
- товщини дисків δ .

Рис. 2.1 – Параметри сферичних дисків

Одним із вагомих геометричних характеристик є діаметри дисків D . Його розмір пов'язаний з глибиною обробітку ґрунту. Тут із зростанням діаметра диска погіршується властивість їх заглиблення у ґрунт. Залежно від умов експлуатації необхідно вибрати найменші з можливих діаметрів диски.

Рекомендовано такий взаємозв'язок між діаметрами дисків D і глибиною обробітку a :

$$D = ka, \quad (2.1)$$

де k - коефіцієнт (для плугів і дискових знарядь $k=3,0...3,7$; агрегати для лущення $k=5,0...6,0$ і для борін $k=4,0...6,0$).

$$D = 3,61 \cdot 180 = 650 \text{ мм.}$$

На дискових агрегатах застосовуються диски наступних діаметрів: на причіпних 0,61...0,81 м; на начіпних 0,58...0,71 м; на боролах – 0,45...0,66 м, а на лущильних агрегатах – 0,45...0,61 м. Щодо голкових дисків, то їх виготовляють діаметрами 0,35; 0,45 та 0,52 м.

На розкришення, розпушення та обертання пластів ґрунту впливають радіуси кривизни сфер дисків r . Вибір радіусів кривини залежить від діаметрів дисків D . На рис. 2.1 зв'язок між діаметрами дисків D і радіусами кривизни сфер r має наступний вигляд:

$$r = \frac{D}{2 \sin \varepsilon_1}, \quad (2.2)$$

де ε_1 - передній кут, дорівнює половині значення величини кутів дуги діаметральних перерізів дисків (для дискових ґрунтообробних знарядь та плугів дорівнює $31...37^\circ$, для лущильних $26...32^\circ$, для борін $22...26^\circ$).

$$r = \frac{650}{2 \cdot \sin 32^\circ} = 614 \text{ мм.}$$

Значний вплив на технологічні особливості роботи дисків чинить кут загострення i який, як правило, проводять із зовнішньої випуклої сторони сферичного диска, а диски, які працюватимуть на твердих ґрунтах, загострюються з внутрішньої сторони. Кут загострення дисків, які використовуються на ґрунтообробних агрегатах та плугах становить $i = 15-25^\circ$, а у боролах та

луцильниках – $i = 10-20^\circ$.

Кут нахилу фасок дисків до їх основи ω залежать від встановлених передніх кутів ε_1 та кутів загострення i :

$$\omega = i + \varepsilon_1; \quad (2.3)$$

$$\omega = 20^\circ + 32^\circ = 52^\circ.$$

Кут різання α залежить від значення кутів загострення i та задніх кутів ε_2 :

$$\alpha = i + \varepsilon_2. \quad (2.4)$$

Задній кут ε_2 по висоті дисків змінний, що призводить до зміни кута різання від значень яких залежать затрати енергії на проведення технологічної операції обробітку ґрунтів, а також роботоздатність дисків. Коли величина загострення кутів буде додатною на площині поверхні ґрунту, то буде забезпечуватись нормальна експлуатація дисків.

За емпіричною залежністю визначаємо товщину диска δ :

$$\delta = 0,008 \cdot D; \quad (2.5)$$

$$\delta = 0,008 \cdot 650 = 5,2 \text{ мм.}$$

Для експлуатації дисків на тяжких ґрунтах застосовують наступну товщину диска

$$\delta = 0,008 \cdot D + 1. \quad (2.6)$$

Кут атаки β , кут θ нахилу площини обертання дисків до вертикалі або ж кут між осями обертання дисків і горизонталлю, а також власна вага агрегатів відносять до регульованих характеристик дисків, що чинять достатній технологічний вплив. В дискових плугах і в дискових ґрунтообробних знаряддях присутні кути нахилу дисків до площини обертання і складають $\theta = 15 \dots 40^\circ$.

Під час переміщення сферичних дисків за рахунок зчеплення з ґрунтом (під кутом β до руху трактора) вони обертаються і вирізують з нього пласт еліптичного перерізу. Кут атаки β дисків впливає на проходження робочого процесу і чим більшим він є тим сильніше подрібнюються грудки і розпушуються ґрунт, покращується підрізання бур'янів тощо. Та через надмірне збільшення кута атаки погіршується проковзування частинок ґрунту на поверхні диска, а це підвищує

ймовірність нагромадження землі перед дисками. Відрегулювавши кут атаки на невеликі значення (від 10° до 20°) диски розрізають верхні шари ґрунту та тільки незначно кришать і розпушує його. Величини кутів атаки дискових плугів становить $\beta = 40 \dots 45^\circ$, луцильників - $\beta = 10 \dots 35^\circ$, боронах - $\beta = 10 \dots 22^\circ$.

Рис. 2.2 – Профіль дна борозни утворений під час роботи дискових агрегатів

Висота гребенів характеризує якість обробки ґрунтів та залежить від діаметра дисків D , кута атаки β і відстаней b між дисками.

Визначаємо відстань між дисками враховуючи кути нахилу дисків до вертикалі θ :

$$b = [2\sqrt{(c/\cos\theta)(D - c/\cos\theta)}] \operatorname{tg}\beta; \quad (2.7)$$

$$b = [2\sqrt{(90/\cos 40^\circ)(650 - 90/\cos 40^\circ)}] \operatorname{tg}35^\circ = 350 \text{ мм.}$$

Приймаємо відстань b між дисками для 350 мм, яка вибирається з умов недопущення заклинювання скиб ґрунту між двома сусідніми дисками. Цього можна досягнути при виконанні умови $b \geq 1,5a$

$$350 \geq 1,5 \cdot 180 = 270.$$

Умова виконується.

Використовуючи номограму, розроблену професором Г.М. Синєоковим стає можливим визначення кутів атаки β дискових знарядь, якщо є відомими діаметри дисків D , відстані між дисками b і задана висота гребенів. Послідовність визначення кутів атаки наведена на рис. 2.3 стрілками.

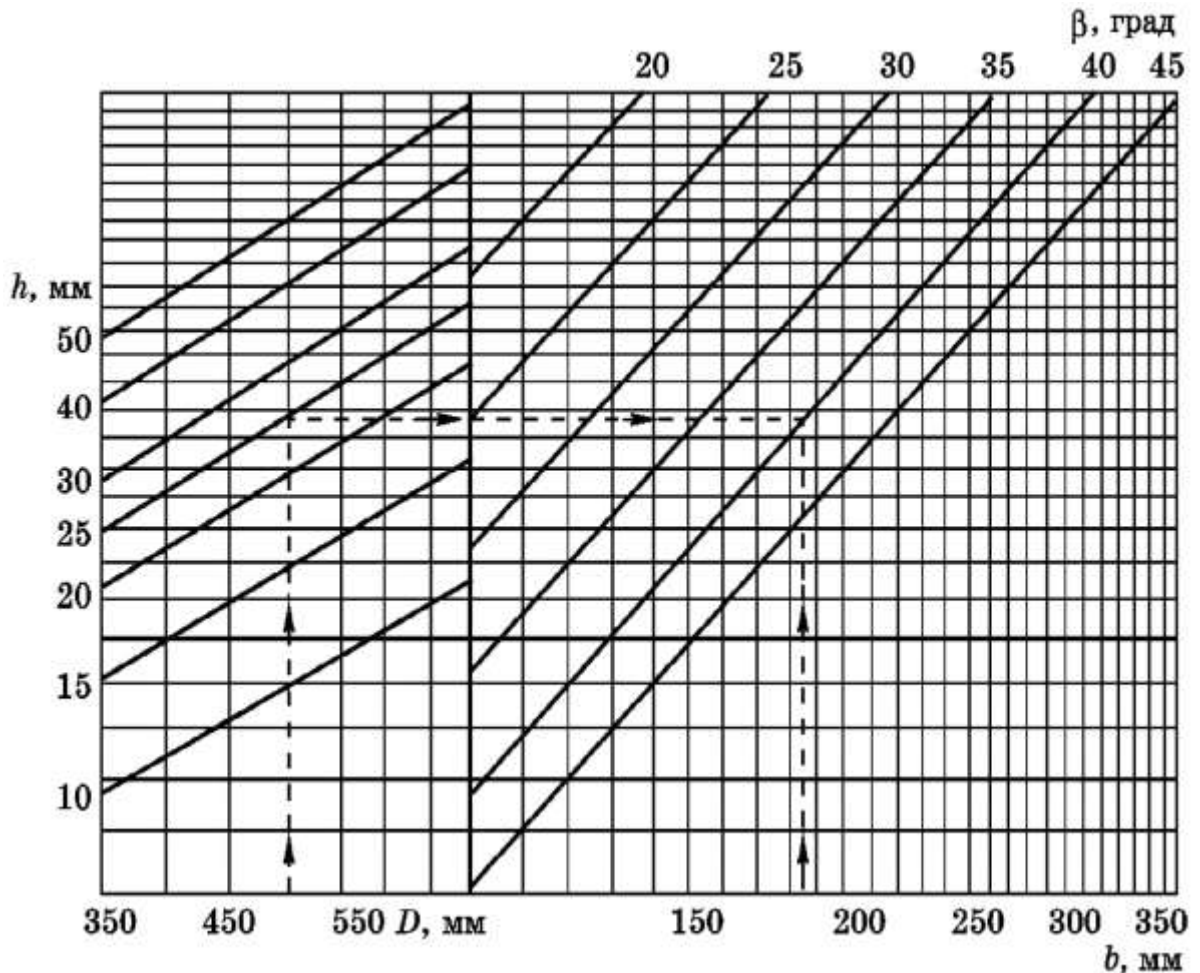


Рисунок 2.3 – Номограма для визначення кутів атак β дискових знарядь розроблена професором Синєоковим Г.М.

На якість проведення технологічної операції луцення впливає повнота підрізання бур'янів та рослинних решток і ця величина залежить не тільки від розмірів кутів атаки, а і від швидкостей виконання операції луцення. Мінімальне не підрізання бур'янів досягається за найбільшого значення кута атаки 35° . Зі збільшенням швидкості руху луцильника до 7 км/год кількість непідрізаних бур'янів зменшується, та при подальшому її зростанні - збільшується.

Глибина ходу дисків залежить від навантаження на диски, кутів атаки і швидкості руху агрегатів. Чим більше навантаження на диск і передні кути, тим

більша глибина диска. Зі збільшенням швидкості руху агрегату глибина руху дещо зменшується. Виправдано використання дискових лушпильників на швидкості до 7 км/год.

Залежно від конструкції робочих органів котки застосовують для ущільнення та вирівнювання поверхні поля, подрібнення брил, руйнування ґрунту та льодової кірки, укочування органічних добрив перед оранкою.

Робочими органами котків є циліндричні поверхні, що діють на ґрунт. Коли катки котяться по поверхні ґрунту, частинки ґрунту рухаються в горизонтальному та вертикальному напрямках, описуючи певні траєкторії. Характер і форма цих траєкторій залежать у більшості випадків від параметрів насипів, радіального навантаження насипів, характеристик ґрунту та розташування частинок у шарах ґрунту.

Прикочування забезпечує вертикальне переміщення частинок ґрунту. Дослідження показують, що поздовжні деформації ґрунту значною мірою залежать від діаметра котків. При однаковій глибині колії поздовжні деформації ґрунту зростають із зменшенням діаметра котка. Застосування роликів малого діаметра призводить до негативних наслідків.

Основними параметрами котків є їх діаметр і ширина (довжина). При виборі діаметрів котків слід враховувати поздовжні деформації ґрунту. Необхідною умовою є те, щоб кут α (рис. 2.4) контакту котка з землею не перевищував 20° . У цьому випадку ґрунтовий насип перед насипом буде мати невеликі розміри.

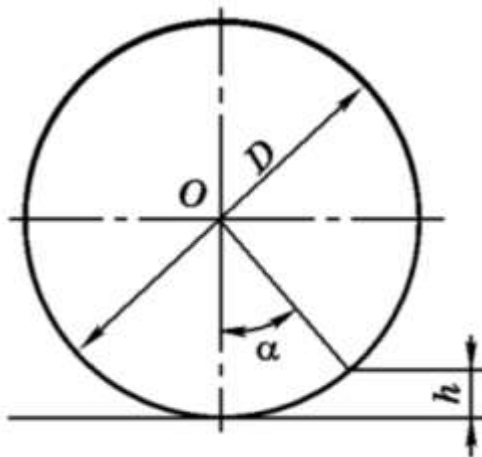


Рис. 2.4 – Схема визначення діаметрів роликів

Рис. 2.4 показує, що

$$\cos \alpha = \frac{D-2h}{D} = 1 - \frac{2h}{D}, \quad (2.8)$$

де D - діаметр котка, м; h - глибина колії котка, м.

Визначаємо діаметр котка:

$$D \geq \frac{2}{1 - \cos \alpha}. \quad (2.9)$$

$$D = \frac{1 - \cos \alpha}{2h} = \frac{1 - \cos 20^\circ}{2(0,07 \dots 0,10)} = 0,43 \text{ м}$$

З урахуванням глибини колії котка і кута обхвату можна знайти мінімально допустиме значення діаметра котка. Ширина захвату котка підбирається залежно від умов його адаптації до рельєфу. Для рівнин ширина насипу становитиме приблизно 2 м, а для гірських і пересічних ділянок до 1 м.

Значна зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів під час коткування ускладнює точний розрахунок зусилля, необхідного для коткування валків. У довідниках, виходячи з тих чи інших міркувань, наводяться різні співвідношення для визначення зусилля, пов'язаного з переміщенням котків. Зусилля P , що затрачається на перекочування гладких котків знайдемо за формулою (2.10) [14]:

$$P = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{q_0 B D^2}}, \quad (2.10)$$

де G - вага котка, Н, $G = 2000$ Н;

B - ширина захвату котка, см, $B = 180$ см;

D - діаметр котка, см, $D = 50$ см;

q_0 - коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, Н/см³, $q_0 = 0,4$ Н/см³.

Зусилля на перекочування котків з негладкою поверхнею є дещо більшим [14]:

$$P = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 B D^2}}, \quad (2.11)$$

де k - коефіцієнт додаткового опору від деформацій ґрунту, яку створюють негладкі елементи котків, $k = 1,0 \dots 1,3$ [14].

$$P = 0,86 \cdot 1,0 \sqrt[3]{\frac{2000^4}{0,4 \cdot 180 \cdot 50^2}} = 383,8 \text{ Н.}$$

Величину глибини колії h можна знайти визначивши всі параметри котків.

$$h = \frac{1,3 \sqrt[3]{G^2}}{\sqrt[3]{q_0^2 B^2 D}}; \quad (2.12)$$

$$h = \frac{1,3 \sqrt[3]{2000^2}}{\sqrt[3]{0,4^2 \cdot 180^2 \cdot 50}} = 3,24 \text{ см.}$$

Завдяки глибині колії h визначатимемо ступінь руйнування структури ґрунтів.

Відповідно загальне зусилля для трьох котків складе:

$$P_{\Sigma} = 3P = 3 \cdot 7,5 \cdot 10^3 = 22,5 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Так як робоча швидкість агрегату становить до 12 км/год то споживана потужність складатиме $N = P_{\Sigma} v$.

Робочі органи сільськогосподарської машини (котка) здійснюють складний рух: поступальний з агрегатом і обертальний біля осі барабана. Розглянемо траєкторію руху робочого органу, коли агрегат переміщається прямолінійно і рівномірно зі швидкістю v (рис. 2.5).

На рисунку показано, що r - радіус котка. Відстань від центра обертання котка до т. М є сумою радіуса r та висоти зуба h . Обертання котка характеризується кутом повороту котка φ .

Траєкторія руху вершини зуба, що показана на рис. 2.5, носить назву «трохоїда». Вона описується параметричними рівняннями типу:

$$\left. \begin{aligned} x &= r\varphi - (r+h)\sin\varphi \\ y &= r - (r+h)\cos\varphi \end{aligned} \right\}$$

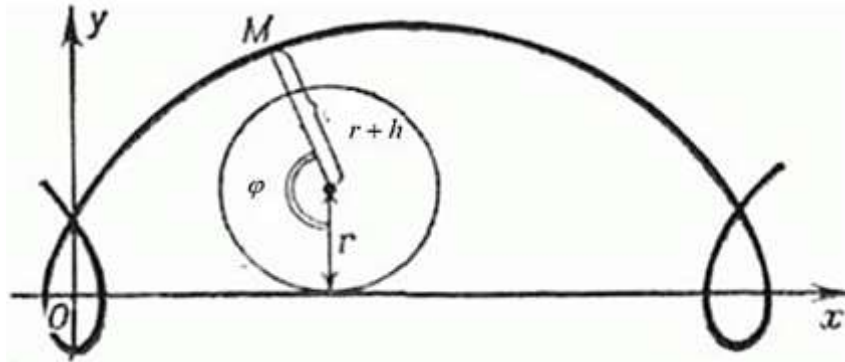


Рис. 2.5 – Схема руху робочих органів котка-подрібнювача

У свою чергу кут φ може бути виражений через відомі кінематичні параметри агрегату, а саме:

$$\varphi = \omega\tau = \frac{v}{r}\tau, \quad (2.13)$$

де τ - системний час, с.

Ґрунтообробні машини з дисковими робочими органами, які мають постійну кривизну у вигляді сферичних сегментів, є важливими елементами сучасного сільськогосподарського обладнання. Їхні технологічні особливості та якість обробітку ґрунту залежать від ряду геометричних характеристик, таких як діаметр дисків, радіус кривизни, кути загострення та нахилу фасок, товщина дисків, кут атаки та нахил площини обертання. Взаємозв'язок між цими параметрами та умовами експлуатації дозволяє досягти оптимальної якості обробітку, зокрема для забезпечення ефективного підрізання бур'янів і розпушення ґрунту.

Залежно від специфічних умов роботи, такі як швидкість руху, навантаження на диски та кут атаки, можна досягти різного ступеня розпушення, ущільнення та подрібнення ґрунту. Оптимізація геометричних характеристик робочих органів дозволяє забезпечити зниження енергетичних витрат та підвищити роботоздатність дискових агрегатів, що є ключовим аспектом у вдосконаленні технологій обробітку ґрунту.

Таким чином, результати дослідження та розрахунки параметрів дискових робочих органів можуть бути використані для вдосконалення сільськогосподарських машин та підвищення їх ефективності у польових умовах, що сприятиме збільшенню врожайності та покращенню якості обробки ґрунту.

2.2 Розрахунок енергетичних показників

Тяговий опір під час технологічної операції дискування:

$$R_a = 23,18 \text{ кН.}$$

Потужність під час технологічної операції дискування:

$$N_o = 65,03 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність для технологічної операції дискування:

$$N_{заг} = N_{mp} + N_k + N_b + N_o \quad (2.13)$$

Втрати потужності у трансмісії:

$$N_{mp} = \frac{P_z \cdot V_p}{3,6 \cdot \eta_{mp}}, \quad (2.14)$$

де P_z - номінальне значення сили зчеплення, кН.

$$P_z = \mu_n \cdot G_z; \quad (2.15)$$

$$P_z = 0,5 \cdot 12,8 = 6,4 \text{ кН.}$$

$$N_{mp} = \frac{6,4 \cdot 10,1}{3,6 \cdot 0,92} = 19,5 \text{ кВт.}$$

Втрати потужності на перекочування, кВт:

$$N_k = \frac{P_f V_p}{3,6}, \quad (2.16)$$

де P_f - опір кочення трактора, кН.

$$P_f = fG_{mp} \quad (2.17)$$

$$P_f = 0,086 \cdot 76 = 6,54 \text{ кН.}$$

$$N_k = \frac{6,54 \cdot 10,1}{3,6} = 18,3 \text{ кВт.}$$

Втрати потужності через буксування, кВт:

$$N_{\delta} = N_e \cdot \eta_{mp} \cdot \frac{\delta}{100}, \quad (2.18)$$

де N_e - ефективна потужність двигуна трактора ХТЗ-17021, кВт.

$$N_{\delta} = 121,3 \cdot 0,92 \cdot \frac{10}{100} = 11,1 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність для технологічної операції дискування складатиме, кВт:

$$N_{заг} = 19,5 + 18,3 + 11,1 + 65,0 = 113,9 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання потужності двигуна трактора ХТЗ-17021

$$N_{\theta} = \frac{N_{заг}}{N_e}; \quad (2.19)$$

$$N_{\theta} = \frac{113,9}{121,3} = 0,93$$

Визначений коефіцієнт використання потужності N_{θ} трактора ХТЗ-17021 становить 0,93, а це вказує на його достатнє завантаження.

3. МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІСІ ОПОРНОГО КОТКА

3.1. Розрахунок вісі опорного котка на міцність

Проведемо розрахунок вісі опорного котка на згин за формулою 3.1:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_{зг}} \leq [\sigma]_{зг} \quad (3.1)$$

Приймаємо матеріал вісі - Сталь 40 ГОСТ 1050-88.

Момент опору на згин визначаємо за формулою 3.2:

$$W_{зг} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (3.2)$$

$$W_{зг} = \frac{3,14 \cdot 0,04^3}{32} = 0,62 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

Момент на згин, що діє на вісь визначаємо за формулою 3.3:

$$M_{зг} = F \cdot l, \quad (3.3)$$

$$M_{зг} = 1000 \cdot 0,05 = 50 \text{ Нм.}$$

Тоді, підставивши значення у формулу 3.1 визначимо $\sigma_{зг}$

$$\sigma_{зг} = \frac{50}{0,0062} = 8\,064,5 \text{ МПа.}$$

що більше допустимого $[\sigma]_{зг} = 1200 \text{ МПа}$.

Перевіряємо міцність вісі на зріз за формулою 3.4:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{A_{зр}} \leq [\tau]_{зр} \quad (3.4)$$

де $[\tau] = 800 \text{ МПа}$ – допустиме напруження зрізу (для сталі 40 ГОСТ 1050-88); $A_{зр}$ - площа зрізу, мм^2 ; F - сила зрізу, $F = 1000 \text{ Н}$.

$$\tau_{зр} = \frac{4 \cdot 1000}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \approx 318,47 \text{ МПа}$$

Результат розрахунку становить 318 МПа, що значно менше допустимого (800 МПа). Таким чином, вісь є достатньо міцною.

Оскільки розрахунок на згин $\sigma_{зг} = 8\,064,5 > [\sigma]_{зг} = 1200 \text{ МПа}$ проведемо моделювання вісі на згин за допомогою програмного продукту САПР *Solidworks*.

3.2. Моделювання вісі на згин осі опорного котка в САПР Solidworks

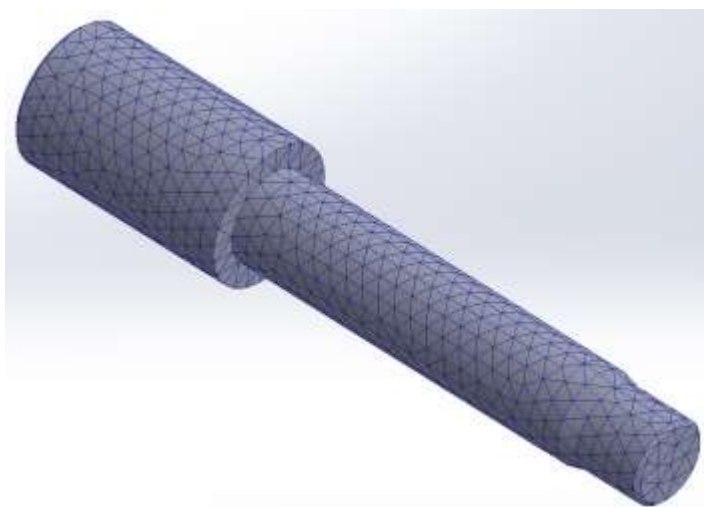
Проведемо аналіз напружено-деформованого стану вісі опорного котка. Для цього створюємо твердотілу модель вісі котка у САПР *SolidWorks* (рис. 3.1).



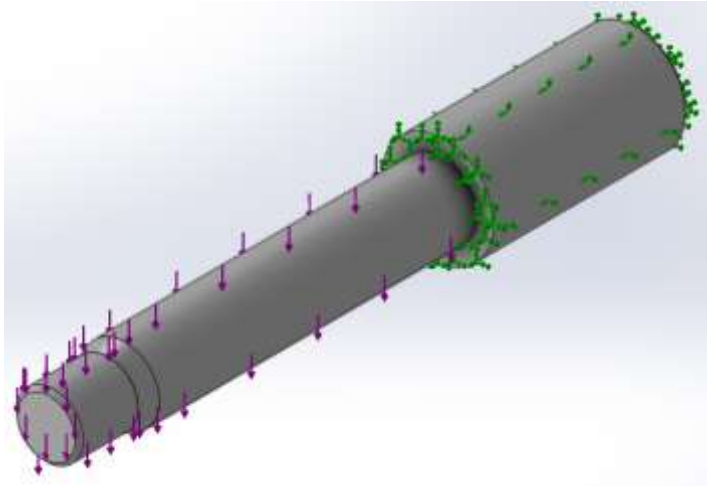
Рис. 3.1 – Твердотіла модель вісі опорного котка

За допомогою *SolidWorks Simulation* проведемо аналіз напружено-деформованого стану вісі опорного котка. Для цього накладемо на модель вісі опорного котка сітку кінцевих елементів (рис. 3.2, а).

Для подальшого дослідження необхідно задати умови закріплення – защемлення тої частини вісі, яка закріплюється в стійці. Задаємо навантаження на вісь – зусилля 1000 Н (рис. 3.2, б).



а)

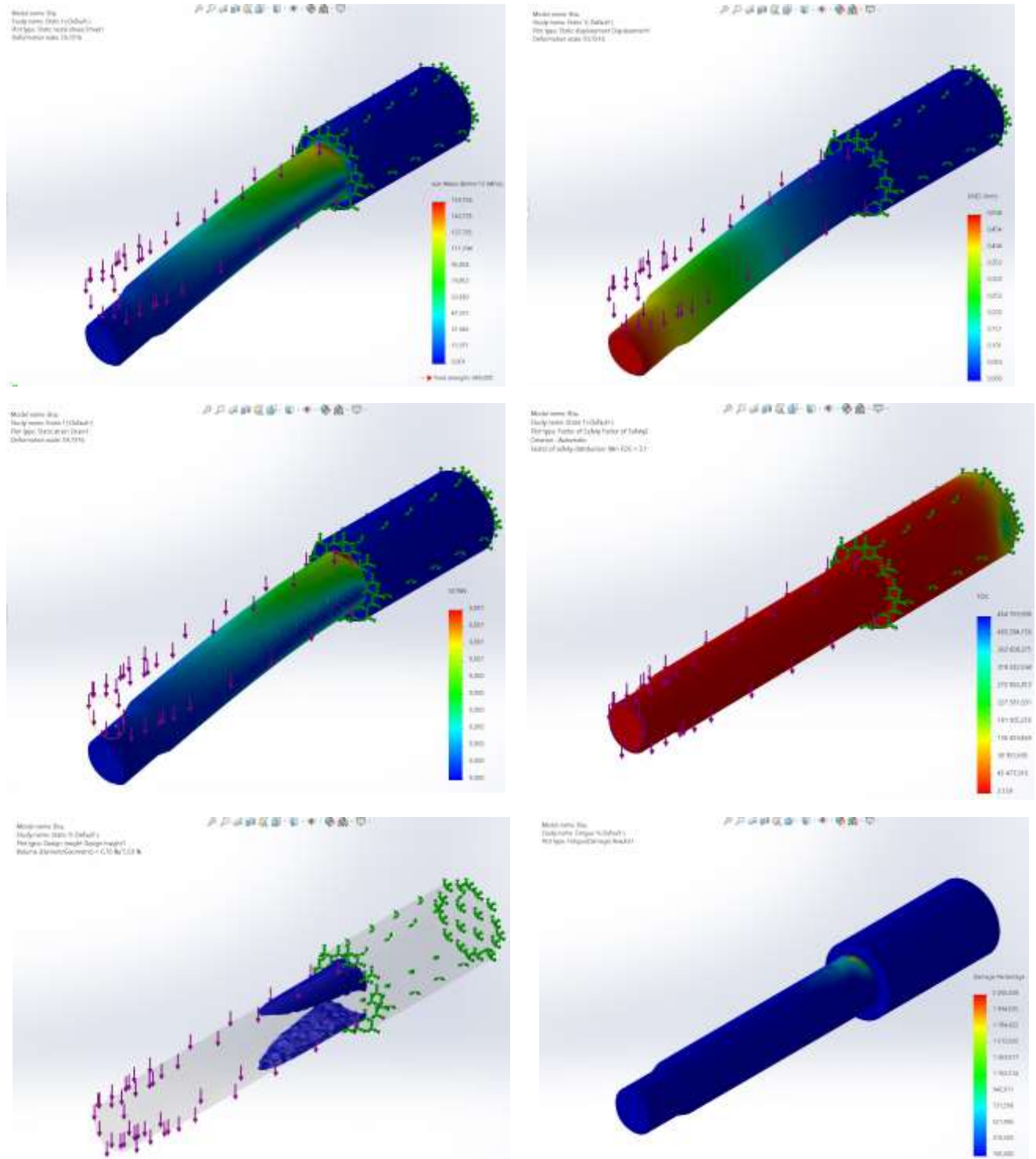


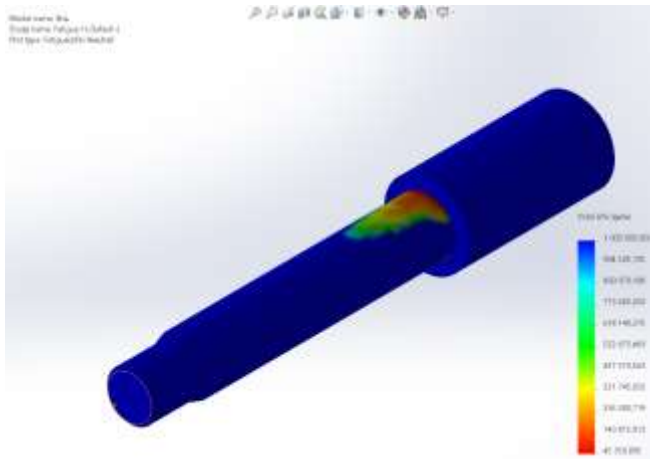
б)

Рис. 3.2 – Моделювання вісі опорного котка

4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІСІ ОПОРНОГО КОТКА

Результати розрахунків осі опорного котка за допомогою системи тривимірного моделювання *SolidWorks* подано на рис. 4.1.





За результатами перевірного розрахунку вісі отримано наступні дані:

1. *Stress* (Напруження) – 159,7 МПа
2. *Displacement* (Переміщення) – 0,5 мм
3. *Strain* (Деформація) – 0,001
4. Коефіцієнт запасу міцності – 2,1
5. Відсоток пошкоджень – 22,05
6. Кількість циклів до руйнування - 45351

Рис. 4.1 - Результати розрахунків стандартної вісі опорного котка

З метою зменшення маси (2,98 кг) та збільшення коефіцієнта запасу міцності, який у стандартному виробі становить 2,1 проведемо дослідження вісі на *Stress* (Напруження); *Displacement* (Переміщення); *Strain* (Деформацію); *Define Factor Of Safety* (Коефіцієнт запасу міцності); *Damage* (пошкодження) і *Life* (термін служби).

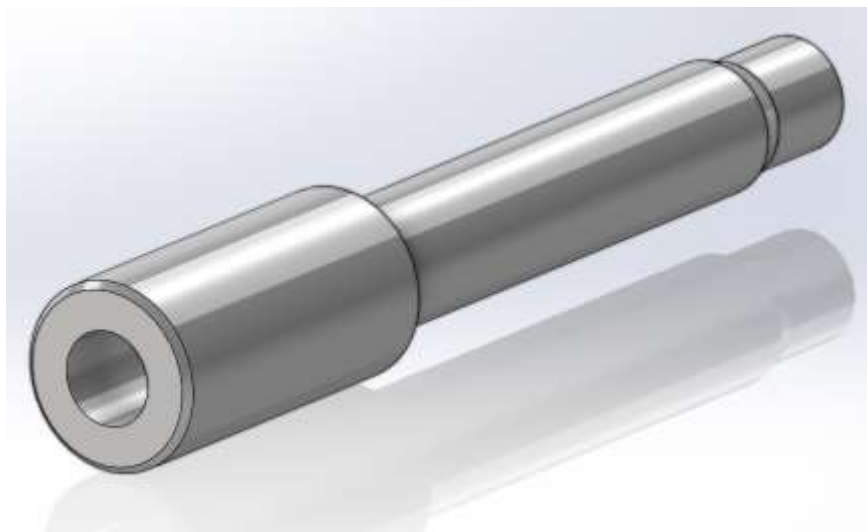
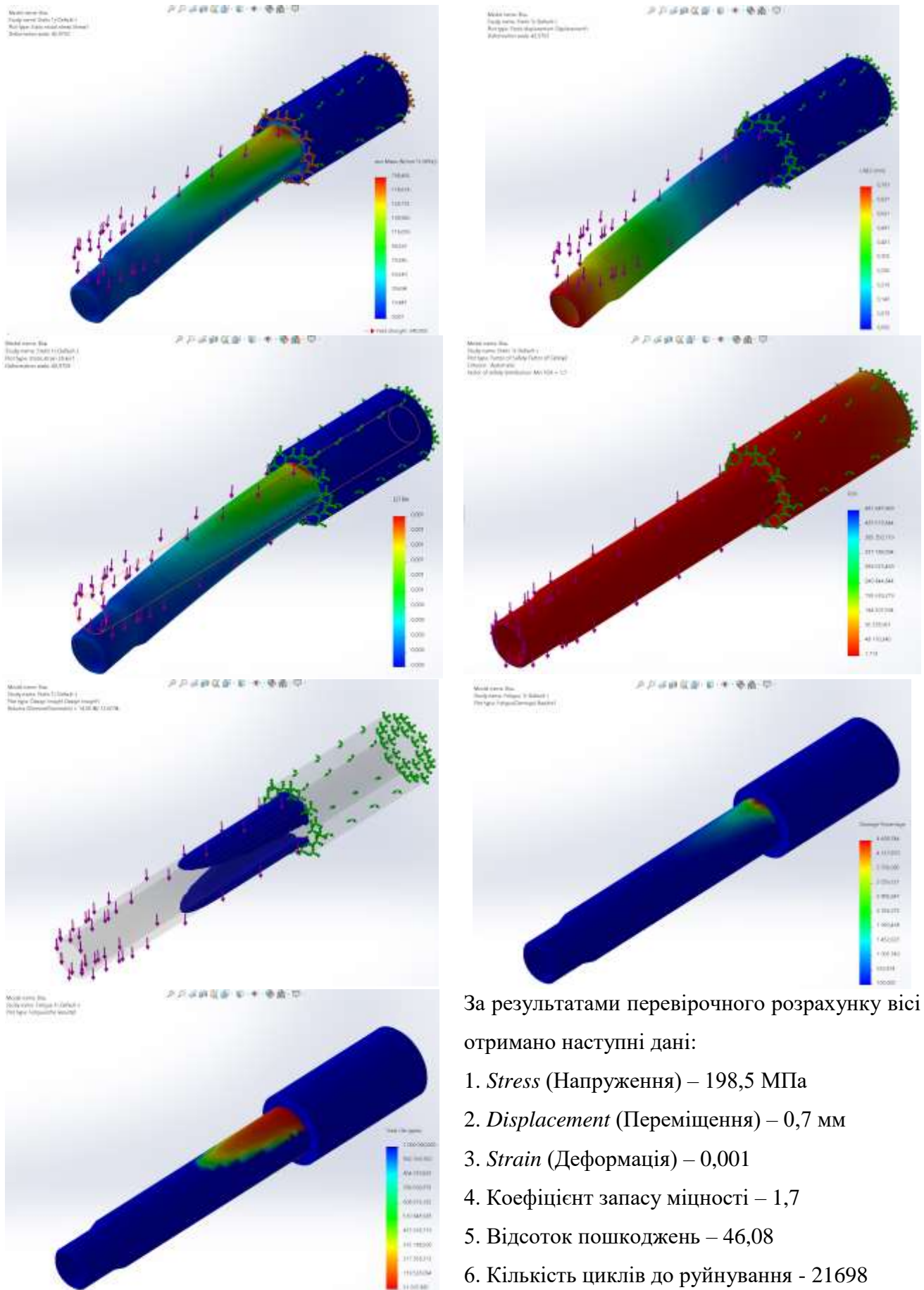


Рис. 4.2 - Пропонована конструкція вісі опорного котка з наскрізним отвором довільного діаметра

Результати розрахунків проведеного міцнісного розрахунку вісі опорного котка з наскрізним отвором наведено на рис. 4.3.



За результатами перевірного розрахунку вісі отримано наступні дані:

1. *Stress* (Напруження) – 198,5 МПа
2. *Displacement* (Переміщення) – 0,7 мм
3. *Strain* (Деформація) – 0,001
4. Коефіцієнт запасу міцності – 1,7
5. Відсоток пошкоджень – 46,08
6. Кількість циклів до руйнування - 21698

Рис. 4.3 - Результати розрахунків проведеного міцнісного розрахунку вісі опорного котка з наскрізним отвором довільного діаметра

З даного розрахунку видно, що досліджувані параметри змінюються в гіршу сторону, окрім маси виробу, яка на даному етапі становить 1,82 кг.

Отримавши дані по кількості циклів до руйнування який у варіанті без змін становить 45351, а у варіанті з наскрізним отвором (з довільним діаметром) – 21698 проведемо нове дослідження *Design Study* (Дослідження проєктування). Це дослідження має ціль/мету підібрати вибрану товщину деталі вісь таким чином, щоб забезпечити максимальний *Define Factor Of Safety* (Коефіцієнт запасу міцності).

Для початку нам необхідно заповнити таблицю параметрів, які будуть досліджуватися - за замовчуванням товщина тіла делалі вісь становить 5 мм (рис. 4.64). У нас появиться таблиця у якій необхідно обов'язково заповнити три поля: Змінні, Обмеження, Цілі (рис. 4.5).

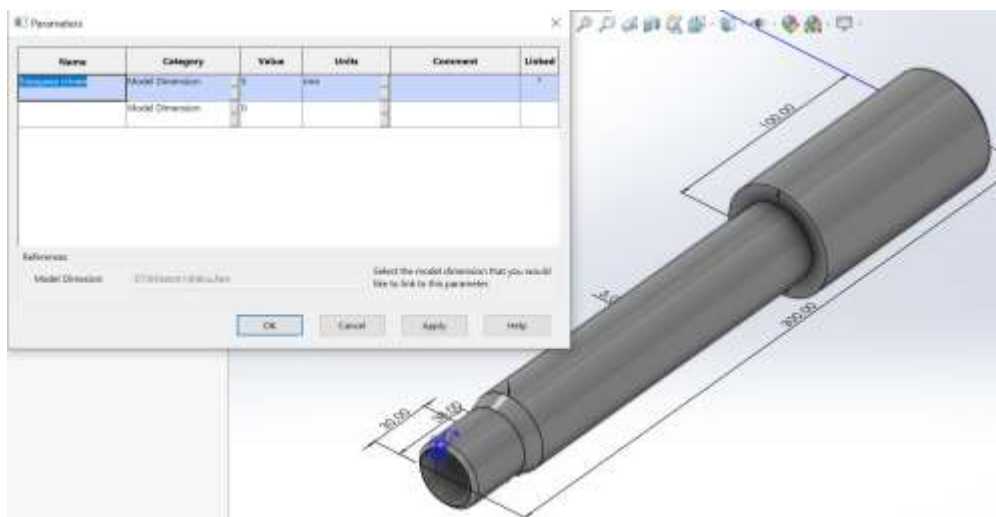


Рис. 4.4 – Таблиця вибору розміру, який будемо досліджувати



Рис. 4.5 – Таблиця введення змінних, обмежень та цілі (мети) дослідження

За результатами *Design Study* (Дослідження проєктування) підібрано товщину деталі вісь, яка становить 14 мм (рис. 4.6), що за попередньо заданою

ціллю/метою забезпечити максимальний *Define Factor Of Safety* (Коефіцієнт запасу міцності). Даний коефіцієнт змінювався в межах від 1,0 до 5,0 (рис. 4.8).

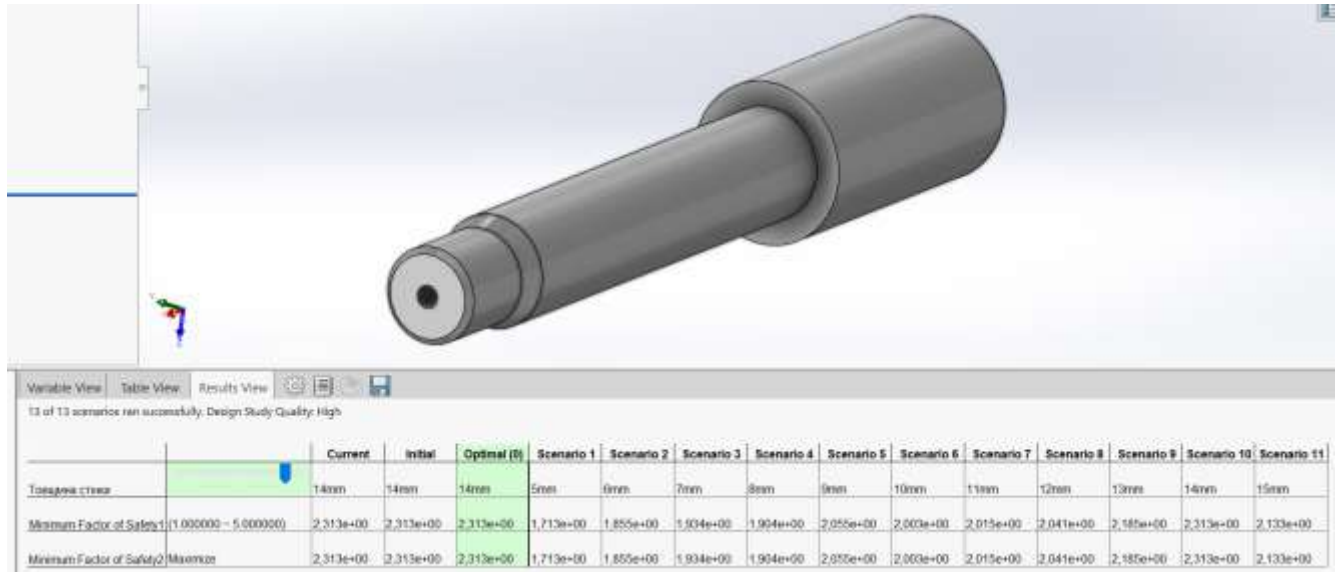
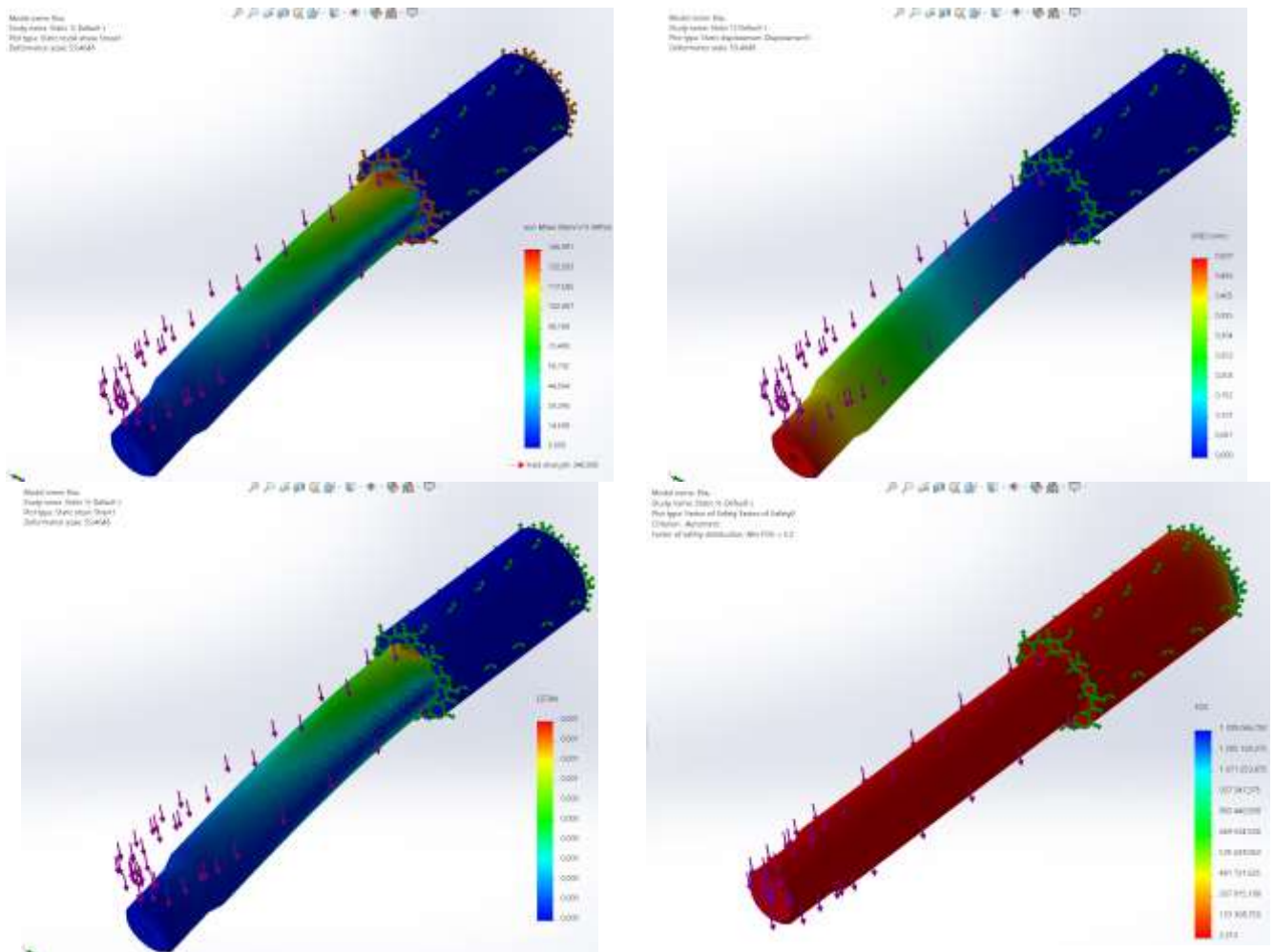


Рис. 4.6 – Результати *Design Study* (Дослідження проектування)



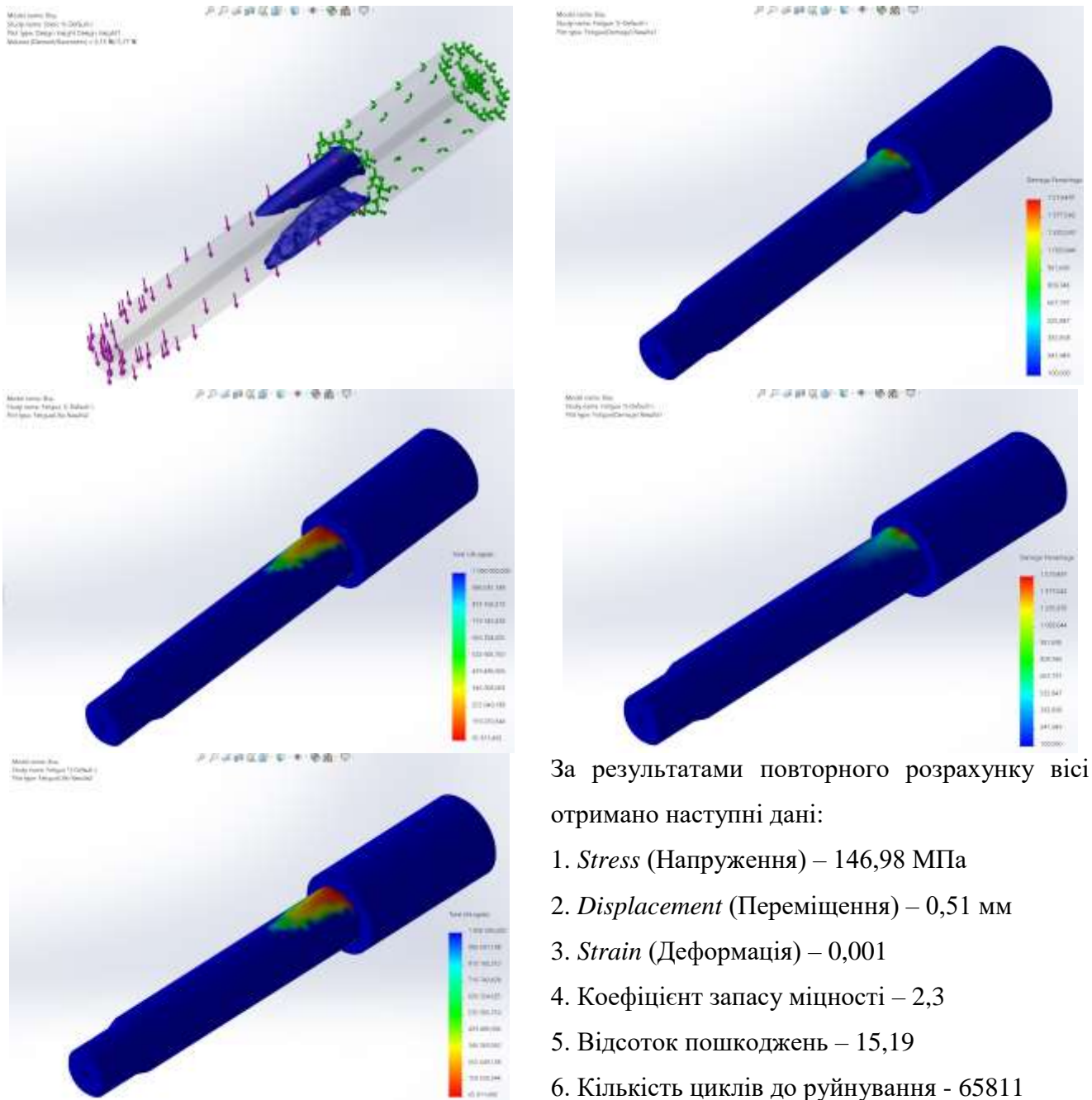


Рис. 4.7 – Результати повторного міцнісного дослідження вісі з отвором, товщина якої вибрана з допомогою дослідження *Design Study* (Дослідження проєктування)

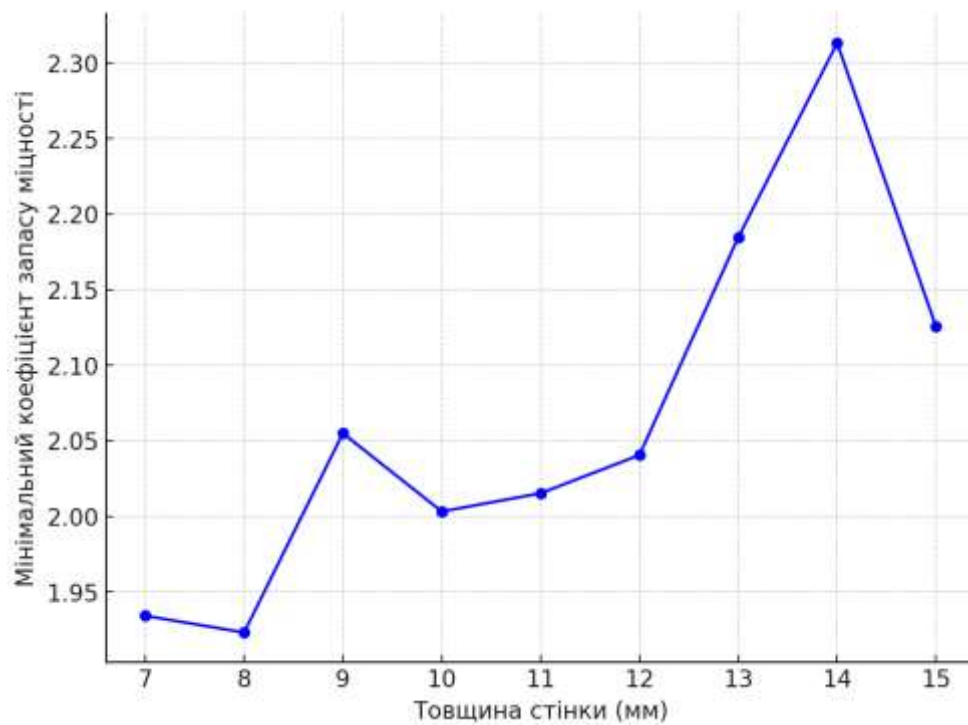


Рис. 4.8 – Графік зміни мінімального коефіцієнта запасу міцності залежно від товщини стінки

Дані з таблиці 4.1 ілюструють, що завдяки детальному аналізу та оптимізації вдалося досягти значних покращень міцності та довговічності конструкції, при цьому зберігши необхідні експлуатаційні характеристики і навіть зменшивши вагу осі.

Таблиця 4.1 – Зведені результати досліджень

Параметр	без отвора	з довільним отвором	з вирахуванням отвором
1. <i>Stress</i> (Напруження), МПа	159,7	198,5	146,98
2. <i>Displacement</i> (Переміщення), мм	0,5	0,7	0,51
3. <i>Strain</i> (Деформація)	0,001	0,001	0,001
4. Коефіцієнт запасу міцності	2,1	1,7	2,3
5. Відсоток пошкоджень, %	22,05	46,08	15,19
6. Кількість циклів до руйнування	45351	21698	65811

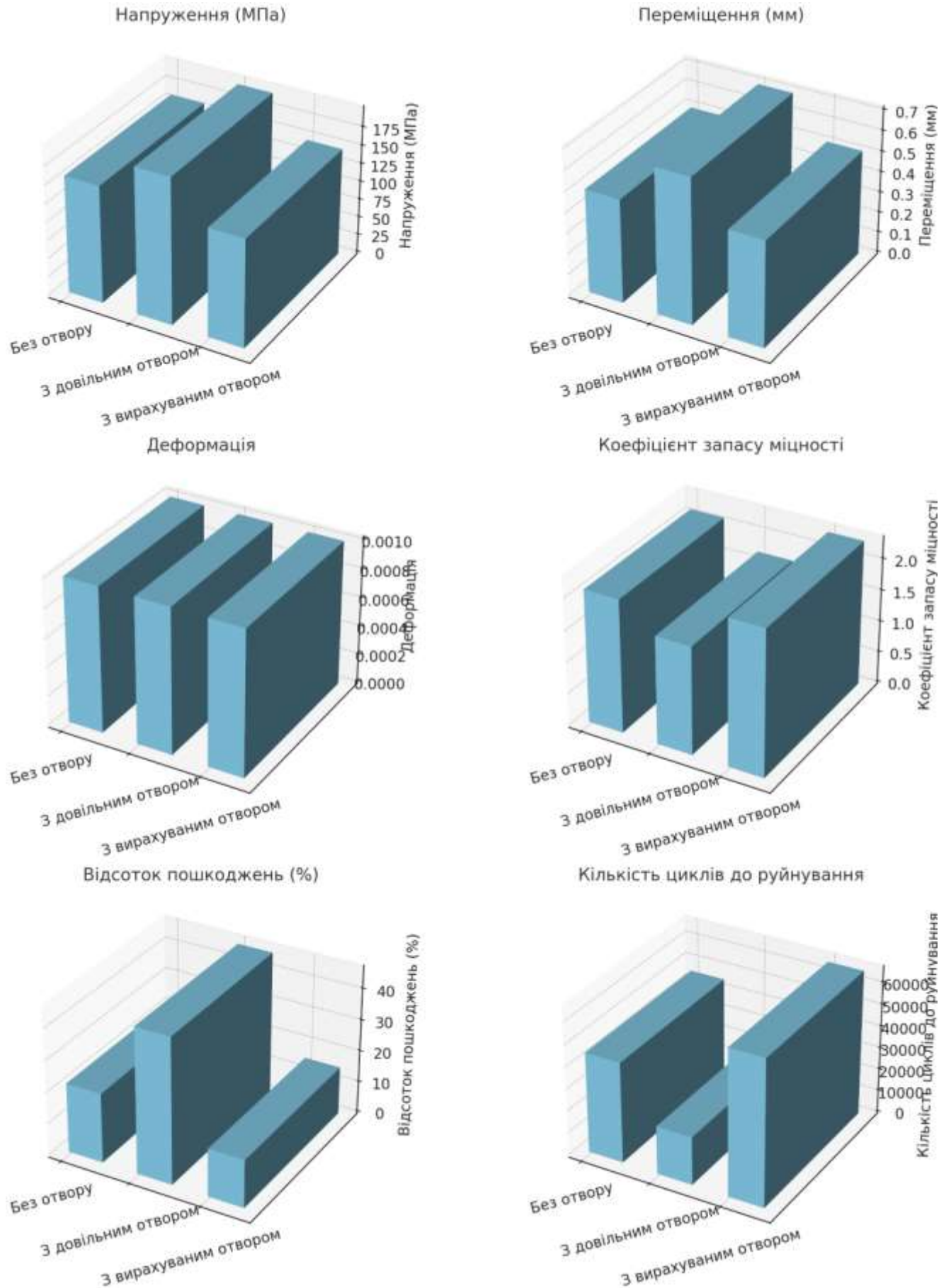


Рис. 4.9 - Графіки порівняння різних конфігурацій товщин стінки вісі

У проведеному аналізі напружено-деформованого стану осі опорного котка ми змогли досягти глибокого розуміння впливу різних конструктивних змін на її міцність і довговічність. За допомогою *SolidWorks Simulation* вдалося створити реалістичну модель, яка продемонструвала, як критичні напруження і деформації змінюються під дією навантаження.

Результати початкового розрахунку показали, що ось має високий запас міцності (2,1), що забезпечує стабільність роботи і дозволяє витримувати значні навантаження. Проте її маса в 2,98 кг залишалась великою, і ми вирішили дослідити можливості її зниження. Додавши наскрізний отвір, ми зменшили вагу осі майже на третину, до 1,82 кг, однак ціною цього стало помітне зниження міцнісних характеристик: запас міцності зменшився до 1,7, а кількість циклів до руйнування – до 21698. Такий компроміс виявився неприйнятним для забезпечення тривалої експлуатації.

Для досягнення оптимального балансу між міцністю і вагою було проведено дослідження проєктування (*Design Study*), у якому шляхом регулювання товщини осі знайдено ідеальне рішення. Збільшення товщини до 14 мм дозволило не лише повернути високий запас міцності (2,3), але й знизити рівень пошкоджень до 15,19% та збільшити кількість циклів до руйнування до 65811. Таким чином, ми створили більш легку, але значно надійнішу конструкцію, що здатна витримувати довготривалі навантаження.

Цей аналіз демонструє, як ретельна оптимізація конструктивних параметрів, поєднана з технологічними можливостями сучасних інженерних програм, дозволяє досягти найкращого результату, зберігаючи високу надійність та функціональність деталі.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці при роботі на дискових ґрунтообробних агрегатах

Основні положення з охорони праці в Україні встановлені і регламентуються Конституцією України, Кодексом законів про працю, Законом "Про охорону праці", а також розробленими нормативно-правовими актами.

Робітники і службовці повинні дотримуватись встановлених вимог і інструкцій з охорони праці. При цьому обов'язковими є проведення інструктажів з техніки безпеки, виробничої санітарії, пожежної безпеки та інших питань з охорони праці.

Роботу на ґрунтообробних машинах регламентують наступні нормативні акти з охорони праці:

примірна інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва. Затверджено наказом Мінагропрому України №110 від 9 березня 1999р.;

ДНАОП. Правила охорони праці на сільськогосподарському виробництві. Затверджено наказом Держнаглядохоронпраці №18 від 17.02.2000р.

В даних документах викладено основні вимоги до охорони праці та техніки безпеки, які передбачають наступне.

Перед початком роботи ґрунтообробних машин проводять інструктаж з охорони праці. Інструктаж проводиться інженерами з техніки безпеки, інженерами з охорони праці.

При виконанні механізованих робіт спеціаліст (інженер) повинен:

- не допускати знаходження в кабіні трактора , а також на ділянці виробництва, осіб не зв'язаних з виконанням технологічного процесу;

- забороняється перевезення людей на начіпних і причіпних машинах, навіть при наявності в них сидінь. Кількість людей, яких перевозять на тракторі, визначається кількістю наявних місць в кабіні необхідно забезпечувати рух машини по завчасно розробленим маршрутам, і ознайомити трактористів з безпекою руху і особливостями роботи на крутих схилах;

- забезпечити робочих підприємства рукавицями та захисними окулярами;
- слідкувати, щоб механізатори при обслуговуванні начіпних машин в піднятому стані фіксували їх підставками;
- забороняти виїзд тракторного агрегату на роботу, якщо гідросистема трактора не утримує начіпну машину.

При організації робіт з отрутохімікатами і мінеральними добривами бригадир повинен:

- для роботи з отрутохімікатами виділяти одних і тих же робітників, які пройшли спеціальне навчання і медичний огляд; забезпечити робочих місцем для паління, прийняття їжі, а також засобами індивідуального захисту, - організувати обприскування так, щоб отрутохімікати відносилися в сторону, а не падали на працівників;
- не дозволяти працювати з отрутохімікатами підліткам до 18 років, а також особам, які не пройшли медичний огляд; забороняється використовувати тару з під отрутохімікатів для зберігання фуражу, води і т.д.;
- забороняється знежирювати, мити тару та засоби індивідуального захисту на берегах річок і водосховищ. Забезпечити наявність: спецодягу, спецвзуття, респіратори, протигази, захисні окуляри, рукавиці, інвентар без якого неможлива робота з пестицидами.

Вибір засобів індивідуального захисту повинні проводити із фізико-хімічних і токсичних властивостей пестицидів і різних препаратів. Спецодяг необхідно кожного дня після роботи просушувати на повітрі 8-12 годин.

Відповідальний за інструктаж повинен вказати на самі небезпечні ділянки роботи кожному члену бригади.

При підготовці до роботи машин і агрегатів необхідно:

- перевірити технічний стан сільськогосподарських машин, наявність на них захисних кожухів карданних і ремінних передач, справність механізму керування, гальм, причіпних пристроїв, сигналізації, освітлення, наявність медичної аптечки;

- рух агрегату необхідно розпочинати за встановленими сигналами і користуватись ними під час виконання робіт;

- суворо забороняється під час роботи доторкатись до обертових частин, проводити обслуговування вузлів та робочих органів тракторів і сільськогосподарських машин;

- комплектування і наладка агрегату здійснюється трактористом-машиністом при участі інженерно-технічного працівника. Зміна трактористом-машиністом складу агрегату без дозволу відповідних спеціалістів не допускається. Агрегаткування сільськогосподарських машин дозволяється лише з тими тракторами, які рекомендовані заводом і відповідають тяговому зусиллю;

- виконання сільськогосподарських робіт, рух тракторів і агрегатів повинні проводитись у відповідності з розробленою технологією і маршрутами. На ділянках площ, де працюють агрегати, повинні бути виділені місця для короткочасного відпочинку працюючих.

Для регулювання або заміни робочих органів начіпних плугів необхідно підкласти під опорні колеса дерев'яні бруски, товщиною на 1-2 см (величина заглиблених коліс у ґрунт) менше від глибини обробітку поля. Регулювання виконують на рівному твердому майданчику. Перевіряють стан плуга, кріплення гряділів, робочих органів і коліс. Осьове переміщення коліс не повинно перевищувати 2 мм.

Якщо робочі органи заглиблені в ґрунт, не можна робити крутих поворотів, бо це призводить до поломок і аварій. Перед поворотом робочі органи виглиблюють, а на початку прямолінійного руху знову заглиблюють.

Для заміни лемешів плуга в польових умовах необхідно від'єднати машину від трактора або вимкнути його двигун, під раму начіпної машини підставляють надійні підставки. Якщо ці роботи тракторист виконує з помічником, то після їх закінчення і перед початком руху слід переконатись, що помічник перебуває на безпечній відстані від агрегату.

5.2 Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів

Охорона навколишнього середовища є важливим завданням загальнодержавного значення, вирішення якого пов'язане з охороною здоров'я людей.

Особливу увагу слід приділяти правильному регулюванню паливної апаратури, тому що при неправильному її регулюванні виділяється сажа. Вона викликає подразнення носоглотки, а при тривалій дії - легеневі захворювання.

В атмосферу часто виділяються токсичні речовини, що не є продуктами згорання. До таких в першу чергу належать сполуки свинцю. Щоб підвищити потужність та економічність бензинових двигунів, збільшують октанове число бензину. Для цього до нього додають етилову рідину, що запобігає відкладенню свинцю на деталях двигуна.

Як і відпрацьовані гази атмосферу забруднюють картерні гази та випаровування з бака і карбюратора, в яких міститься майже 40% вуглеводів, що виділяються двигуном. Значної шкоди завдають ці речовини тваринам. негативно впливають вони на стан земельних угідь, водних ресурсів та тваринного світу.

Необхідно слідкувати за справністю та правильним регулюванням системи живлення, тому від цього залежить кількість токсичних викидів. Склад суміші значно впливає на токсичність відпрацьованих газів та економічність двигунів.

Внаслідок неправильної експлуатації автомобільного парку та самохідних сільськогосподарських машин нафтопродукти потрапляють в ґрунт в результаті переливів при заправках, зливанні відпрацьованих масел з двигунів та агрегатів трансмісії, а також під час миття автомобілів, тракторів та сільськогосподарських машин в непризначених для цього місцях. Значної шкоди завдають нафтопродукти водним джерелам.

Правильна підготовка транспортних засобів та раціональна організація їх роботи також є заходами, що запобігають забрудненню навколишнього середовища. Перед початком роботи щоденно слід провести контрольний огляд

автомобіля чи машинно-тракторного агрегату і переконатись у відсутності підтікань палива з елементів системи живлення, масла через нещільності у з'єднаних двигуна, коробки передач, мостів, рульового керування, електроліту з акумуляторних батарей.

Значний вплив на забруднення навколишнього середовища має загальний технічний стан транспортного засобу чи МТА, тому слід пам'ятати, що будь-яка несправність призводить до підвищення витрати палива та збільшення викидів шкідливих речовин. Цьому можна запобігти, якщо раціонально використовувати техніку і високоякісно її обслуговувати.

При широкому впровадженні в сільському господарстві нових технологій, технологічних процесів і енергонасичених і технічних засобів, використання електроенергії, мінеральних добрив, пестицидів одночасно із зростанням продуктивності і культури праці, може поширюватись на працівників шкідлива і небезпечна дія виробничих факторів, спричиняючи різні захворювання і виробничий травматизм. Керівництво підприємства зобов'язане приділяти велику увагу поліпшенню умов і безпеки праці на виробництві. Передбачено створювати сприятливі умови для високопродуктивної праці, покращувати культуру виробництва, послідовно скорочувати ручну малокваліфіковану і важку фізичну працю.

В процесах сільськогосподарського виробництва повинні бути застосовані змінні режими праці і відпочинку обслуговуючого персоналу.

Комплектування машинно-тракторного агрегату має здійснюватись трактористом-машиністом і при необхідності за допомогою допоміжною робітника.

Перед дискуванням необхідно спочатку оглянути поле, підготувати засоби і засипати рови, яри і ями. Не усунуті перешкоди позначаються табличками з попереджувальними написами. При переїздах, а також при виконанні робіт під електропередачами напругою до 1000 В віддаль від машини до електричного провідника не повинна перевищувати по горизонталі 1,5 м, а по вертикалі 1 м.

Якщо агрегати працюють біля ліній високої напруги, то віддаль

збільшують і в кожному конкретному господарстві є свої норми. Під час дискування можлива дія таких небезпечних факторів:

- рухомі механізми; незахищені рухомі частини; підвищені рухомі частини;
- підвищення концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- фізичні і нервово психологічні перевантаження, які діють на персонал при роботі;
- підвищення запиленості і загазованості повітря в робочій зоні;
- підвищення рівня шуму на робочому місці.

Розроблені заходи безпеки з охорони праці сприятимуть уникненню травмонебезпечних і аварійних ситуацій при технічному обслуговуванні дискувального агрегату і під час проведення дискування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Головним завданням кваліфікаційної роботи є вдосконалення конструкції ґрунтообробного агрегату *Avalon 3,2* шляхом оптимізації параметрів вісі опорного котка за допомогою САПР *SolidWorks*. Це включає зменшення маси вісі, підвищення її міцності та довговічності, а також розробку рекомендацій для забезпечення економічної та енергетичної ефективності агрегату при збереженні його експлуатаційних характеристик.

У виконаній магістерській роботі досліджено параметри вісі опорного котка ґрунтообробного дискового агрегату *Avalon 3,2* за допомогою САПР *SolidWorks*, що дозволило не лише покращити міцнісні характеристики, а й оптимізувати конструкцію для підвищення ефективності та надійності в експлуатації.

1. Огляд об'єкту розробки показав, що дисковий агрегат *Avalon 3,2* призначений для ефективного обробітку ґрунтів різної щільності, зокрема завдяки високій продуктивності, що досягається завдяки регульованому куту атаки дисків та системі опорних котків. Особлива увага приділяється ролі вісі опорного котка, яка забезпечує стабільність і рівномірність обробки ґрунту.

2. Конструкційні параметри дискового агрегату були обґрунтовані на основі аналізу діаметрів, радіусів кривизни та інших параметрів, що впливають на ефективність обробки ґрунту. Вибір оптимальних значень забезпечив високу продуктивність агрегату і надійність його основних вузлів.

3. Аналіз та оптимізація параметрів вісі опорного котка за допомогою *SolidWorks Simulation* надали детальну картину напружено-деформованого стану осі під дією навантажень. Початковий розрахунок, проведений у *SolidWorks Simulation*, показав високий коефіцієнт запасу міцності (2,1), що забезпечує надійну роботу. Внесення змін у конструкцію через додавання наскрізного отвору дозволило зменшити масу осі з 2,98 кг до 1,82 кг, проте призвело до зниження запасу міцності. Подальше проектування з оптимізацією товщини до 14 мм допомогло досягти коефіцієнта запасу міцності 2,3, що покращило довговічність вісі (кількість циклів до руйнування зросла до 65811) і знизило відсоток

пошкоджень до 15,19%. *SolidWorks Simulation* став ключовим інструментом для точного аналізу та виявлення оптимальних конструктивних параметрів.

4. Розрахунок енергетичних показників та розробка рекомендацій щодо оптимізації витрат на дискування продемонстрували можливість значного підвищення економічної ефективності агрегату за рахунок раціонального використання енергоресурсів, що забезпечується завдяки оптимізації параметрів обробки ґрунту.

5. Заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища під час експлуатації агрегату *Avalon 3,2* спрямовані на мінімізацію ризиків для оператора та навколишнього середовища. Розроблено рекомендації щодо дотримання техніки безпеки, особливо при роботі з механізмами, що підвищує безпеку роботи, а також заходи для зниження викидів шкідливих речовин.

Отримані результати підтверджують, що оптимізація параметрів та конструктивних елементів осі опорного котка суттєво покращує технічні та експлуатаційні характеристики дискового агрегату *Avalon 3,2*. Використання *SolidWorks Simulation* стало ключовим етапом у досягненні оптимального балансу між міцністю, вагою та довговічністю конструкції, що забезпечує високу ефективність і надійність обладнання.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. *Сільськогосподарські машини*. Київ: Каравела, 2004. 552 с.
2. Гречкосій В. Д., Погорілець О. М., Ревенко І. І. *Довідник сільського інженера*. 2-е вид., перероб. і доп. Київ: Урожай, 1991. 400 с.
3. Gehl D., Böhling C. *Machines for Modern Farming: Advances in Agricultural Equipment*. London: Oxford AgriBooks, 2005. 312 p.
4. *Сучасні машини для основного, передпосівного і спеціального обробітку ґрунту* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.calameo.com/books/0024381286ffcf8841de>
5. *Дискові знаряддя для обробітку ґрунту. Агроном* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/dyskovi-znaryaddya-dlya-obrobitku-gruntu/>
6. *Вітчизняні дискові агрегати. AgroTimes* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://agrotimes.ua/article/vitchiznyani-diskovi-agregati/>
7. *Оптимізація обробітку ґрунту: все про дискові борони. AgroElita* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://agroelita.info/optymizatsiia-obrobitku-gruntu-vse-pro-dyskovi-borony/>
8. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.М. Пугач. – Дніпропетровськ: Вид-во «Свідлер А.Л.», 2011. – 140 с.
9. Ільченко В. Ю. *Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві*. Київ: Урожай, 1993. 208 с.
10. Stoll J., Wagner P. *Agricultural Machinery and Equipment: A Comprehensive Guide*. New York: Springer, 2010. 428 p.
11. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. *Машини сільськогосподарського виробництва*. Тернопіль: ТДПУ, 2005. 228 с.

12. Гаврилюк Г. Р., Живолуп Г. Л., Шумейко П. С. *Практикум з технологічної наладки та усунення несправностей сільськогосподарських машин*. Київ: Аграрна наука, 2009. 320 с.
13. Захаренко О. М., Калюжний Ю. І. *Проектування сільськогосподарської техніки: Основи та приклади розрахунків*. Львів: Львівський національний аграрний університет, 2012. 345 с.
14. Čamprag D., Ković M. *Transport in Agricultural Systems*. New York: Springer, 2016. 320 p.
15. Makovetskyi O. A., Brei V. V., Pohorelyi L. V. *Mechanization in Beet Farming*. Kyiv: Agro-Science, 2003. 290 p.
16. Schneider M., Walter B. *Handbook of Agricultural Machines and Equipment*. Berlin: De Gruyter, 2013. 400 p.
17. Захаренко О. М. *Проектування та розрахунок сільськогосподарських машин*. Київ: Техніка, 2010. 348 с.
18. Шевченко І.А. Обґрунтування геометричних параметрів дискових робочих органів / *Праці ТДАТА*. Мелітополь, 2001. Вип. 2, т.16. С. 13–20.
19. Теслюк Г.В., Волик Б.А., Семенюта А.М. Вплив різних варіантів постановки корпусів дискового плуга на структурно-агрегатний склад ґрунту / *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомчий науково-техн. збірник*. Кіровоград: КНТУ, 2011. Вип. 41, ч. 1. С. 326–330.
20. Семенюта А.М., Білокопитов О.В., Волик Б.А. Методика розрахунку загальної реакції різання ґрунту поверхнею довільної геометричної форми / *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10, т. 2. С. 161–167.
21. Семенюта А.М., Пугач А.М., Теслюк Г.В., Волик Б.А. Особливості конструкції та основні результати польових досліджень дискового плуга / *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2011. Т.1, вип. 107. С. 143–147.

22. Березовецький С.А., Гуменюк Р.В., Швець О.П. *Дослідження, моделювання та оптимізація конструкцій машин та обладнання. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт студентами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*. Львів: Львівський НУП, 2023. 39 с.

23. *Примірна інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва*. Затв. наказом № 110 від 9 березня 1999 р. 101 с.

24. ДНАОП. *Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві*. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці № 18 від 17 лютого 2000 р. 158 с.

25. Лехман С. Д. *Довідник з охорони праці в сільському господарстві*. Київ: Урожай, 1990. 210 с.