

**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:

**“ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ РОТОРНОЇ НАЧІПНОЇ  
КОСАРКИ КРН-2,1 ІЗ ВСТАНОВЛЕНИМ КОНДИЦІОНЕРОМ  
ЗА ДОПОМОГОЮ САПР SOLIDWORKS”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Тарас БОРЧУК  
(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  
**Борчуку Тарасу Миколайовичу**

1. Тема роботи: **«Оптимізація конструкції роторної начіпної косарки КРН-2,1 із встановленим кондиціонером 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: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів подрібнення рослинних реїток; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методика експериментальних досліджень.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання, літературно-патентний пошук;

2. Теоретичні дослідження;

3. Програма і методика досліджень;

4. Результати досліджень;

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

## 5. Перелік ілюстративного матеріалу:

*Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: огляд існуючих конструкцій та класифікація роторних косарок; аналіз робочих органів об'єкта дослідження; технологічний процес ротаційної косарки з кондиціонером; теоретичні дослідження; розрахунок параметрів кондиціонера; програма і методика експериментальних досліджень; експериментальні дослідження; результати досліджень міцнісних характеристик планки; оптимізація параметрів досліджуваних матеріалів; висновки і пропозиції.*

## 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'єкта дослідження»</i>	<i>12.09.24-26.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Обґрунтування конструкції. аналітичні дослідження»</i>	<i>27.09.24-11.10.24</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Програма і методика експериментальних досліджень»</i>	<i>12.10.24-02.11.24</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Результати досліджень»</i>	<i>04.11.24-15.11.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та захист навколишнього середовища»</i>	<i>18.11.24-29.11.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>02.12.24-10.12.24</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Тарас БОРЧУК  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сергій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ  
(підпис)

УДК 686.12-681.628.35

«Оптимізація конструкції роторної начіпної косарки КРН-2,1 із встановленим кондиціонером за допомогою САПР SolidWorks». Борчук Т.М. Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

56 с. текст. част., 35 рис., 2 табл., 18 джерел інформації.

У даній кваліфікаційній магістерській роботі викладені теоретичні основи процесу скошування рослин і можливості використання різних конструкцій робочих органів. Проведено аналіз сучасних моделей сільськогосподарських машин, визначено основні недоліки їх конструкцій та обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих рішень. У роботі запропоновано встановлення кондиціонера для інтенсифікації процесу сушіння скошеної трави, що забезпечує підвищення якості кормів за рахунок зменшення втрат поживних речовин.

Застосовано сучасні методи моделювання в середовищі SolidWorks Simulation для виконання теоретичних та експериментальних досліджень. Проведено статичний і втомний аналіз конструктивних елементів, оцінено розподіл напружень, коефіцієнт запасу міцності та оптимізовано конструктивні параметри. Запропоновано вибір матеріалів робочих органів кондиціонера роторної косарки, що підвищує довговічність конструкції та її експлуатаційні характеристики.

Розроблено заходи для мінімізації виробничих ризиків, забезпечення захисту працівників від небезпек, пов'язаних із використанням техніки, та дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Запропоновані рекомендації включають інструкції з техніки безпеки, регламентовані вимоги до експлуатації, а також заходи з покращення умов праці.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
1.2 Обґрунтування конструкції модернізованої косарки .....	15
1.3 Будова та принцип роботи модернізованої косарки КРН-2,1. ....	17
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
2.1. Теоретичні передумови розрахунку параметрів ножів роторної косарки ...	20
2.2. Теоретичні дослідження параметрів роторного ріжучого апарату.....	23
2.2. Розрахунок параметрів кондиціонера .....	29
Висновки до розділу 2 .....	31
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У SOLIDWORKS SIMULATION.....	33
3.1. Підготовка об'єкта дослідження до проведення експериментальних досліджень у Solidworks Simulation.....	33
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У SOLIDWORKS SIMULATION .....	38
4.1. Статичні розрахунки об'єкта дослідження в цілому .....	38
4.1. Статичні розрахунки деталі «Планка» об'єкта дослідження .....	40
РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	46
6.1 Аналіз травматизму для підприємства.....	46
6.2 Стан техніки безпеки у господарстві .....	46
6.3 Стан виробничої санітарії .....	47
6.4 Оцінка безпеки та розробка заходів щодо безпечної експлуатації модернізованої косарки КРН-2,1 .....	47

6.5 Заходи безпеки під час заготівлі грубих кормів .....	48
6.6 Аналіз стану пожежної безпеки.....	49
6.7 Безпека життєдіяльності у надзвичайних ситуаціях .....	50
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ .....	54
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	55

## ВСТУП

Рослинництво є однією з провідних галузей сільського господарства. На сучасному етапі підвищення якості та обсягів виробництва зернових і кормових культур залишається одним із ключових завдань агропромислового комплексу.

Використання новітніх досягнень науки і передового досвіду у вирощуванні сільськогосподарських культур сприятиме значному зростанню обсягів продукції рослинництва.

Однією з основних причин недоотримання врожаю є недостатня матеріально-технічна база господарств, помилки в плануванні та прогнозуванні, а також низький рівень оплати праці. Okремо слід зазначити недостатній контроль за якістю заготовлених кормів, а також нерівномірне забезпечення господарств цими ресурсами. Зокрема, потребує вирішення проблема підвищення якості заготовлюваного сіна та сінажу, питома вага яких у раціонах великої рогатої худоби становить до 60%. Сіно є одним із головних компонентів кормів, який забезпечує тварин необхідними поживними речовинами.

Проте недоліки існуючих технологій і конструкцій машин для заготівлі сіна призводять до збільшення його собівартості та зниження якості.

Дана кваліфікаційна робота спрямована на розробку ефективної технології заготівлі грубих кормів, заснованої на модернізації конструкції косарки КРН-2,1, що дозволить підвищити якість кормів та оптимізувати процес їх виробництва.

## 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Аналіз об'єкта проєктування

На сучасному ринку техніки представлено понад 700 моделей начіпних, напівпричіпних і самохідних косарок, а також косарок-плющилок, що виробляються провідними компаніями, такими як *Krone*, *Claas*, *Kuhn*, *Vicon*, *Casparido* та інші. В Україні серійне виробництво косарок здійснюється такими підприємствами, як ТОВ “КДТ Сільгоспмаш”, ВАТ “Львівагромашпроект”, ВАТ “Львівсільмаш”, ВАТ “Новоград-Волинсьільмаш” і ВАТ “Білоцерківсьільмаш”.

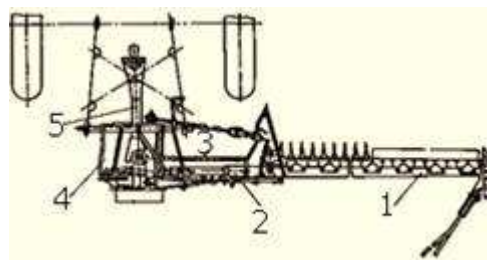
Залежно від типу різального апарату, косарки класифікуються на сегментні, сегментно-пальцеві та ротаційні моделі.

Косарки з сегментно-пальцевими різальними апаратами (рис. 1.1) призначені для скошування як природних, так і сіяних трав на рівнинних ділянках з укладанням скошеної маси в прокіс. Їх конструкція включає механізм піднімання різучого апарату (1), тягову штангу (2), шатун (3), раму з приводом (4) та карданну передачу (5).

Різальні апарати в таких косарках зазвичай приводяться в рух кривошипно-шатунним механізмом. Для косарок з фронтальним розташуванням різального апарату використовуються також механізми приводу ножа типу коливальної вилки або коливальної шайби, які забезпечують ефективність і надійність роботи апарату.



а



б

Рис. 1.1 – Навісна косарка КС-2,1 із сегментно-пальцевим різальним апаратом (а – зовнішній вигляд; б – конструкційна схема)



Сегментно-пальцеві різальні апарати зрізують рослинність при швидкості ножа 1,5-3,0 м/с. Їхня перевага полягає в низькому енергоспоживанні порівняно з апаратами безпідпiрного зрізування, а також у здатності не подрiбнювати рослини. Однак їхня робота супроводжується значними iнерційними зусиллями, викликаними зворотно-поступальним рухом ножа, що обмежує можливість використання таких косарок на високих робочих швидкостях. Сегментно-пальцеві косарки мають обмежену продуктивність і надійність під час роботи на високоврожайних або переплутаних травостоях, через що спостерігаються підвищені втрати врожаю, викликані завищенням висоти зрізу.

Недоліки конструкції сегментно-пальцевих апаратів не дозволяють використовувати їх на нерівних рельєфах чи ділянках із кротовинами. Через це та низьку продуктивність, ці косарки займають незначну частку ринку. Натомість ротаційні косарки та косарки-плющилки з роторними (барабанними) та дисковими різальними апаратами домінують завдяки здатності працювати з високою продуктивністю на різних типах травостоїв, у тому числі виляглих, і на високих швидкостях.

Ротаційні косарки випускаються в різних типорозмірах із шириною захвату від 1,2 до 5 м з інтервалом у ряді 0,1-0,3 м. Крім того, на ринку представлені широкозахватні косарки, наприклад, *BNG 630 (Kuhn)* із шириною захвату 619 см або *Disco (Claas)* – до 9,10 м. Для підвищення ефективності використовуються уніфіковані ряди задньонавісних і фронтальних косарок в одному агрегаті. Також можлива комплектація косарок валкоутворювачами, як пасивними, так і активними, що дозволяє покращити формування валків.

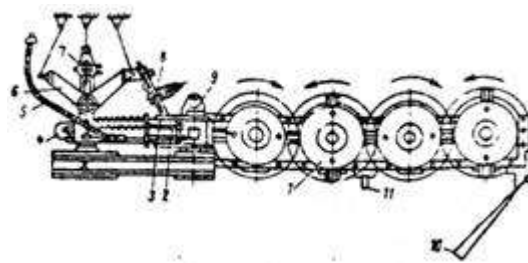
Ротаційні косарки працюють без зворотно-поступального руху робочих частин, а ножі здійснюють обертальні рухи з лінійною швидкістю 50-60 м/с разом із диском або барабаном. Це дає змогу збільшити робочу швидкість косарки, підвищуючи її продуктивність на 30%-50% у порівнянні з косарками із сегментно-пальцевими апаратами.

Барабанні та дискові косарки функціонують за однаковим принципом: ножі обертаються навколо вертикальної осі. У дискових косарках редуктор і робочі диски розташовуються на одній балці, що зменшує їхню масу та знижує потребу в потужності трактора. У роторних косарках балка з редуктором винесена вгору, а ножі закріплені на роторах із жорсткими стійками.

Ротаційні дискові косарки (рис. 1.2) складаються з рами навісного пристрою 6, підрамника 3, механізму зрівноваження 2, роторного різального апарату 1, польового дільника 10, тягового запобіжника 8, механізму приводу 7 та гідрообладнання.



а



б

Рис. 1.2 – Навісна дискова косарка (а – зовнішній вигляд; б – схема конструкції)

Дисковий різальний апарат складається з плити бруса та днища, які з'єднані між собою болтами. У середині бруса розташовані шестерні, що приводять у дію ротори. Під днищем закріплені башмаки 9, які забезпечують опору різального апарату на ґрунт. Ротори, встановлені на брусі, оснащені пластинчастими ножами, які кріпляться спеціальними болтами. Для забезпечення ефективності роботи ножі на суміжних роторах мають різну довжину. Захисне огороження використовується на більшості ротаційних косарок.

Робочі органи косарки приводяться в рух від валу відбору потужності (ВВП) трактора через карданний вал, клинопасову передачу, одноступінчатий конічний редуктор і зубчасту передачу. Дискові косарки з нижніми редукторами, що розміщені по всій ширині захвату, мають складнішу

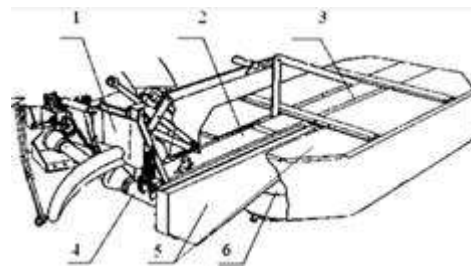
конструкцію та можуть забезпечувати завищений зріз трав. Водночас така конструкція обмежує використання косарок на ділянках з нерівним рельєфом або кротовинами.

Апарати безпідпiрного зрізування відзначаються простотою конструкції та більшою надійністю, але при цьому додатково подрібнюють стебла під час зрізування, що спричиняє втрати зеленої маси. Такі косарки мають вищі енергозатрати на одиницю зібраної площі та більшу металомісткість.

Ротаційні дискові косарки (рис. 1.3) складаються з рами навісного пристрою 1, середньої балки 2, карданного вала приводу 3, основної рами 4, різального апарату 5, захисного огороження 6 і пружинного запобіжного пристрою. Копіювання поверхні ґрунту забезпечується за допомогою диска (роторного різального апарату).



а



б

Рис. 1.3 – Ротаційна навісна косарка (а – загальний вигляд; б – конструкційна схема)

Ротаційні барабанні косарки мають верхній редукторний привід, що забезпечує відносно високу якість скошування, проте характеризуються меншою надійністю конструкції. Роторні косарки, навпаки, вирізняються високою надійністю і здатністю працювати на полях із будь-яким рельєфом. За конструкційною схемою роторні косарки завжди укладають скошену масу у валок, тоді як дискові косарки для цього потребують додаткового оснащення валкоутворювачами.

Для прискорення висихання скошеної трави застосовується кондиціонування або плющення.

Кондиціонери, що встановлюються на ротаційних косарках, зазвичай виконані у вигляді барабанів із шарнірно або жорстко закріпленими пальцями, які обертаються з частотою 700–1000 обертів на хвилину. На ротаційних косарках використовуються різні типи кондиціонерів: пальцевий кондиціонер із вільно обертовими пальцями (рис. 1.4, б); V-подібний кондиціонер із нейлоновими пальцями (рис. 1.4, в); пальцево-гребінний кондиціонер із регульованим кожухом (рис. 1.4, г).

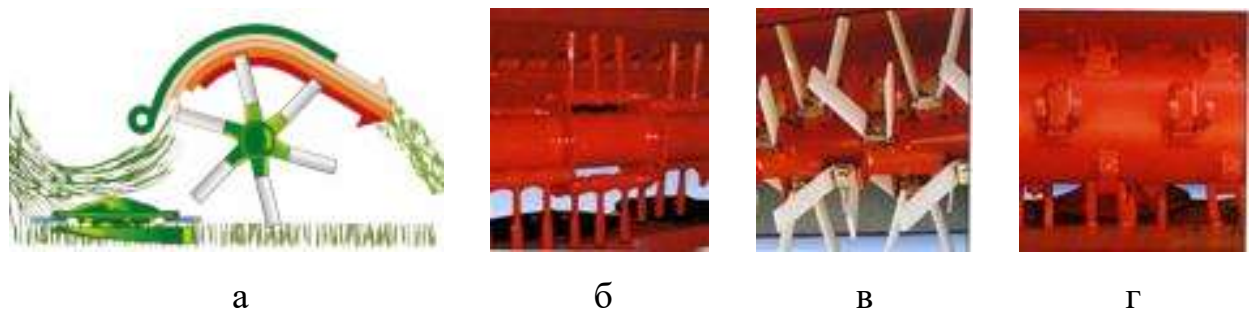


Рис. 1.4 – Технологічна схема роботи косарки з кондиціонером (а) та типи кондиціонерів: б – пальцевий із вільно обертовими пальцями; в – V-подібний із нейлоновими пальцями; г – пальцево-гребінний із регулюванням кожуха.

Під час плющення відбувається рівномірний розподіл вологи в скошеній масі, що сприяє скороченню часу сушіння. Косарки оснащуються різними типами вальців: спіральними сталевими вальцями, які мають високий експлуатаційний ресурс і є оптимальними для обробки великих обсягів трав (рис. 1.5, б); спіральними вальцями з гумовим покриттям (рис. 1.5, в); спіральними вальцями з гумовим покриттям і збільшеною площею контакту, що використовуються для плющення люцерни та інших бобових культур в умовах низької атмосферної вологості (рис. 1.5, г), а також іншими типами вальців.

Ротаційні дискові косарки можуть бути оснащені як плющильними апаратами, так і кондиціонерами.

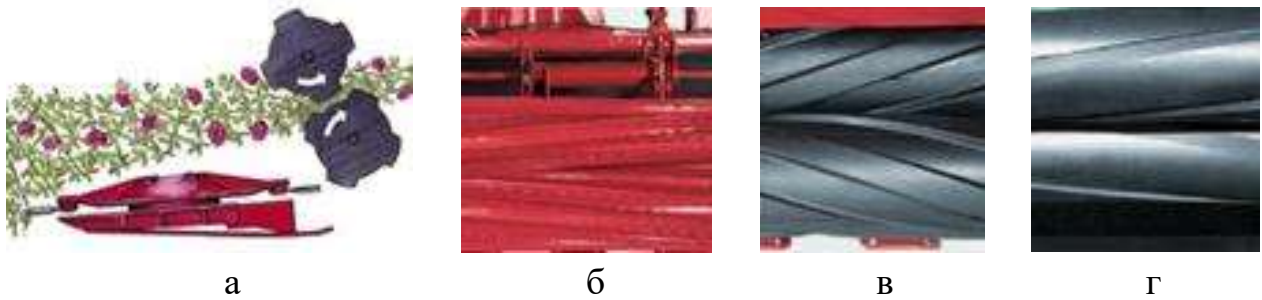


Рис. 1.5 – Схема роботи косарки-плющилки (а) та варіанти вальців кондиціонерів (б, в, г)

Кондиціонери, порівняно з плющильними вальцями, вважаються більш ефективними, оскільки, руйнуючи оболонку стебла, вони одночасно формують більш спушений покis чи валок. Крім того, вони є надійнішими у використанні та менш чутливими до нерівномірності подачі рослинної маси. Проте через інтенсивніший вплив на рослинний матеріал кондиціонери доцільніше застосовувати для злакових культур.

Окремі моделі косарок провідних європейських і світових виробників оснащуються запобіжними механізмами для захисту робочих органів від пошкоджень сторонніми предметами, такими як каміння (рис. 1.6, а). Також вони можуть комплектуватися пристроями для поперечного та поздовжнього копіювання поверхні ґрунту (рис. 1.6, б) і транспортерними механізмами для здовоення покосів (рис. 1.6, в).

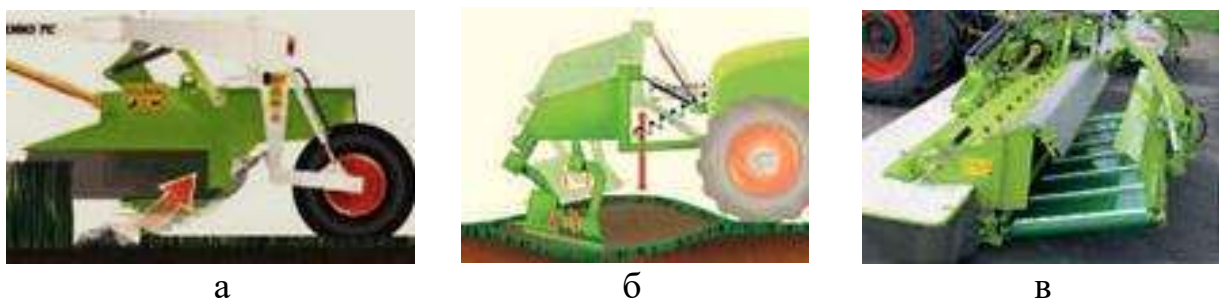


Рис. 1.6 – Конструкції косарок

Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого провела випробування низки моделей косарок від вітчизняних і зарубіжних виробників. Серед досліджених машин були сегментна косарка КС-2,1 (ВАТ “Новоград-

Волинськсільмаш”), дискові косарки КН-2,1 (ВАТ „Завод „Львівсільмаш”), *Mewa 1,65* та *Alka XL 3,00* (*UNIA group*, Польща), *GMD SELECT* (*KUHN*, Франція), *SILVERCUT 300* і *OPTICUT 300* (*SIP Strojna Industrija d.d.*, Словенія), дискові косарки-плющилки *ALTERNA* і *FC 303 RGC* (*KUHN*, Франція), роторні косарки *DRUMCUT 275* (*SIP Strojna Industrija d.d.*, Словенія) і *Z-169* (*Agromech*, Польща).

Результати випробувань показали, що висота зрізу трави залежить від типу косарки. Для сегментно-пальцевої косарки цей показник становив 6,2 см, для дискових косарок – у межах 4-5,8 см, а для роторних – 3,8-4 см. Ширина захвату досліджених косарок варіювала від 1,65 м до 4,85 м (рис. 1.7). Найменші втрати трави за рахунок нижчої висоти зрізу були зафіксовані при використанні роторних косарок.

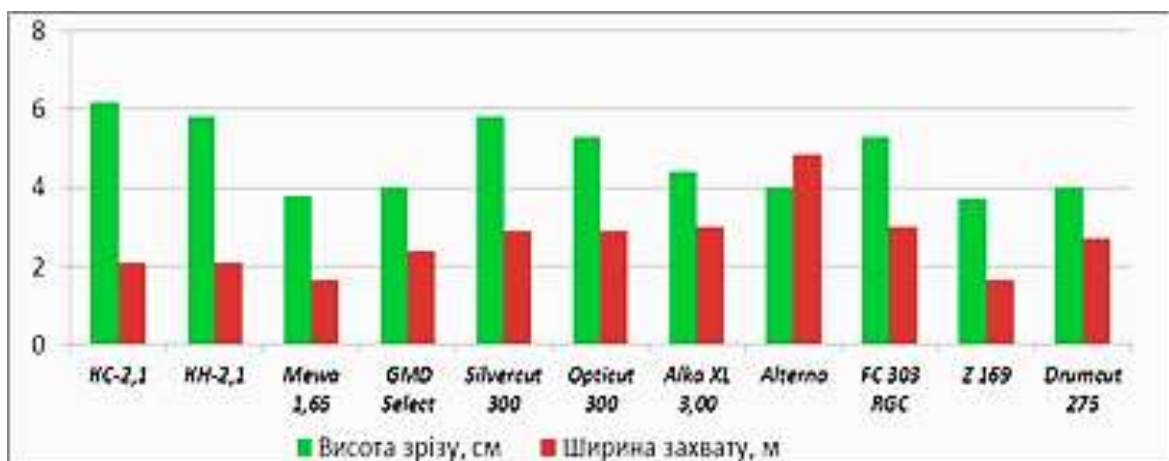


Рис. 1.7 – Агротехнічні показники роботи косарок

Зарубіжні косарки виробництва фірми *Kuhn* демонструють високі функціональні показники та значну надійність у роботі. Проте їхня висока вартість робить ці машини доцільними для використання переважно у великих сільськогосподарських господарствах. Косарки компаній *UNIA group*, *Agromech* (Польща) та *SIP Strojna Industrija d.d.* є оптимальним поєднанням задовільного технічного рівня та доступної ціни. Вітчизняні косарки за рівнем надійності дещо поступаються закордонним аналогам, однак їх агротехнічні та експлуатаційно-технологічні показники дозволяють конкурувати з імпортними машинами.

Одним із головних недоліків сучасних ротаційно-дискових косарок є відсутність у конструкції пристроїв, які могли б інтенсифікувати процес польового сушіння скошених трав. Згідно з дослідженнями, втрати поживних речовин під час природного сушіння можуть досягати 50%. При цьому механічні втрати становлять до 10%, тоді як біохімічні втрати, спричинені впливом сонячних променів і опадів, значно вищі.

Скоротити втрати поживних речовин можна завдяки інтенсифікації польового сушіння. Дослідження підтверджують, що використання плющення, розпушування або ворущіння знижує втрати поживних речовин на 20–30%. Під час ворущіння щільність укладання трави зменшується, що покращує її провітрювання. Це дозволяє скоротити час сушіння після кожного ворущіння на 15–20%. Перше ворущіння рекомендується проводити, коли верхній шар трави підсохне до вологості 60–65%, але не пізніше ніж через три години після скошування. Наступні ворущіння слід виконувати через кожні 3–4 години (залежно від погодних умов) до досягнення вологості 40–45%. Після цього траву згрібають у валки і досушують відповідно до технології заготівлі сіна.

Вибір машинно-тракторних агрегатів (МТА) здійснюється з урахуванням їх оптимальної продуктивності під час виконання основних технологічних операцій, а також агротехнічних розривів між окремими етапами роботи. На основі обраних агрегатів формуються технологічні комплекси.

Ефективність роботи МТА при заготівлі грубих кормів значною мірою залежить від поточності виконання робіт, особливо у вантажно-транспортних процесах. Забезпечення безперервності операцій є важливою умовою для досягнення високої продуктивності та якості кормів.

## **1.2 Обґрунтування конструкції модернізованої косарки**

Вальці, встановлені на роторних косарках-плющилках, прокочуючи між собою скошену траву, роздавлюють її стебла, а це в свою чергу, прискорює вологовіддачу. За несприятливих погодних умов якість сіна через вбирання атмосферних опадів, вимивання та окислення поживних речовин може погіршуватись. Через це, для інтенсифікації сушіння скошеної маси, багато

провідних закордонних виробників почали випуск ротаційних косарок з пристроями, які називаються кондиціонерами. Принцип роботи такого кондиціонера полягає в динамічному впливі на скошені рослини билами чи планками (рухомих частин кондиціонера). Били захоплюють скошену масу і протягують її через зазор між кожухом і кондиціонером. При цьому скошена маса трави пошкоджується і укладається на поле у вигляді спущеного валка, який легко продується вітром.

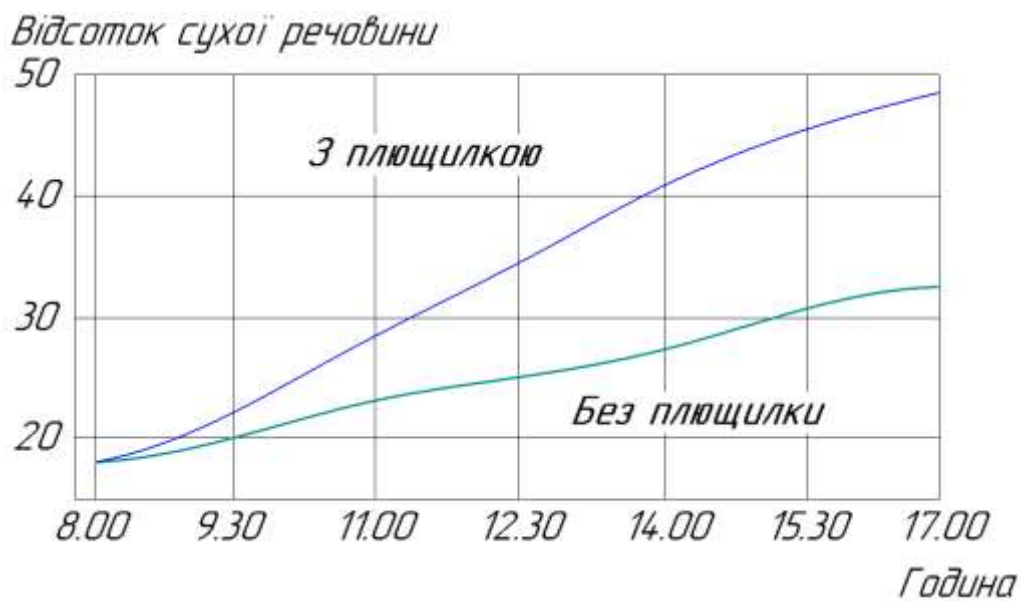


Рис. 1.8 – Частка сухої речовини у скошеній масі.

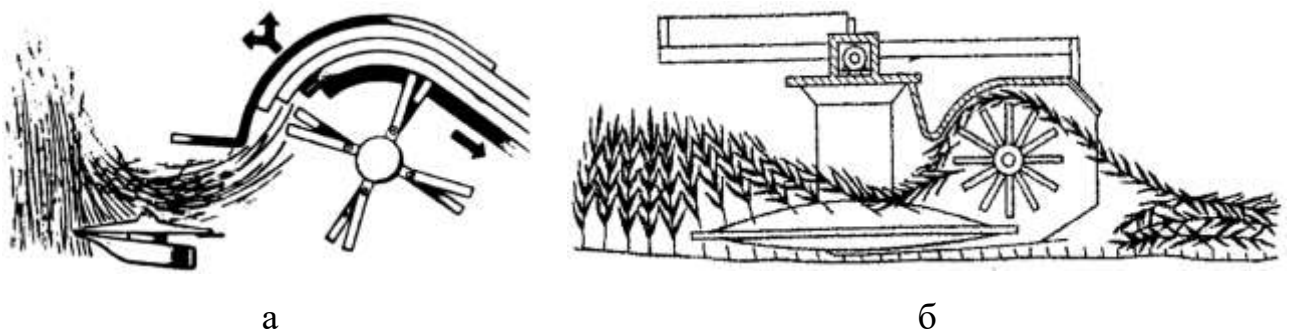


Рис. 1.9 – Схема технологічного процесу ротаційної косарки з бильним апаратом обробки зрізаної мати травостою: а – *John Deere*, США; б – *Hesston*, США



В результаті застосування таких конструкцій косарок з кондиціонерами знижується тривалість висушування і весь процес заготівлі сіна відбувається протягом одного дня.

### 1.3 Будова та принцип роботи модернізованої косарки КРН-2,1.

Одним із недоліків косарки КРН-2,1 є відсутність пристрою, що сприяє пришвидшенню процесу сушіння скошених трав. Для вирішення цієї проблеми пропонується модернізувати конструкцію косарки КРН, яка випускається серійно, шляхом додавання спеціального пристрою — кондиціонера (рис. 1.10 і 1.11). Кондиціонер складається з двох ключових компонентів (рис. 1.12): ротора з шарнірно закріпленими билами та напрямного кожуха, що охоплює передню частину ротора на визначеній відстані.

Ротор виготовлено у вигляді сталеві труби, оснащеної хвостовиками і билами. Било являє собою ударний елемент, до складу якого входять корпус, обмежувач, вісь і два ножі з пружинної сталі, шарнірно встановлені на осі. При обертанні ротора кількість бил має забезпечувати максимальне перекриття робочого простору кожуха без взаємного контакту між ними.

Привід кондиціонера передбачається організувати від валу клинопасової передачі косарки із використанням аналогічного конічного редуктора. Такий підхід дозволить інтегрувати модернізацію без значних конструктивних змін базової моделі косарки.

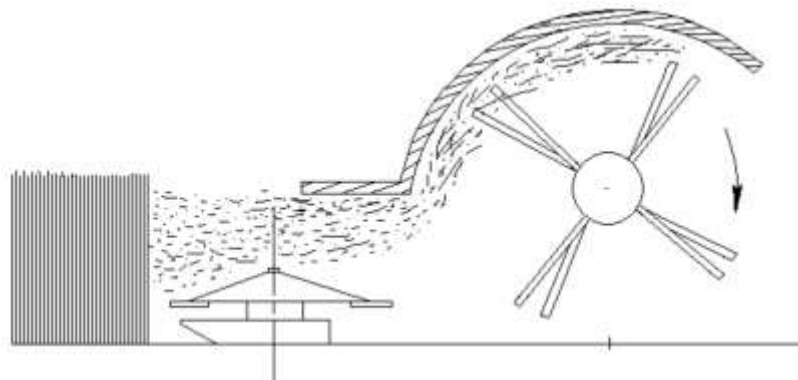


Рис. 1.10 - Технологічний процес роботи косарки, оснащеної кондиціонером

Рослини, зрізані ножами роторів, під дією відцентрових сил спрямовуються в зону роботи кондиціонера. Біла кондиціонера, рухаючись з високою швидкістю назустріч скошеній масі, захоплюють її та протягують через зазор між внутрішньою поверхнею кожуха та траєкторіями руху крайніх точок бил. У процесі проходження через цей зазор рослинна маса зазнає пошкоджень і укладається на полі у вигляді спущеного, легко вентильованого валка. Завдяки цьому значно покращується віддача вологи як за рахунок зниження щільності укладеного валка, так і через механічне пошкодження стебел та порушення їх воскового шару.

Порівняно з вальцевими плющильними апаратами, кондиціонери динамічного типу мають меншу вагу, що позитивно впливає на зменшення енергозатрат під час роботи.

Процес зрізання стебел рослин є досить складним через велику різноманітність характеристик зібраних об'єктів. На якість зрізання різального апарата значною мірою впливають технологічні властивості рослин, які визначаються їх біологічними особливостями.

Стебла рослин, зазвичай, мають трубчасту форму з різною міцністю та гнучкістю. Міжвузля додають стеблам жорсткості, причому нижня частина стебел є міцнішою через більшу кількість міжвузлів, тоді як верхня частина є більш гнучкою. Ця гнучкість дозволяє стеблам згинатися під дією вітру, зменшуючи тиск повітря на їхню поверхню.

Площа поперечного перерізу стебел зернових культур у нижній частині, за виключенням порожнин, становить 0,4 ... 0,6 мм<sup>2</sup>, при цьому діаметр стебел варіюється від 3 до 5 мм. Стебла степових трав мають діаметр до 0,4 мм, а у сіяних трав діаметр стебел складає 2 ... 3 мм. Коефіцієнт тертя стебел залежить від їх вологості та при ковзанні по шліфованій сталі становить 0,25 ... 0,35. Основна частина маси зрізуваних рослин степових трав зосереджена в нижній частині стебел.

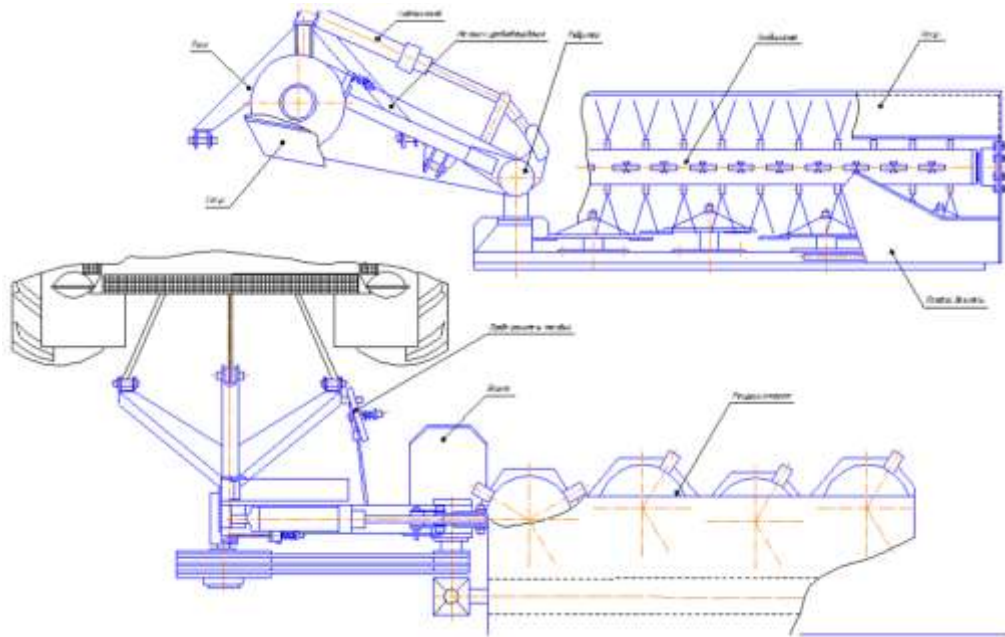


Рис. 1.11 – Косарка КРН-2,1 з кондиціонером

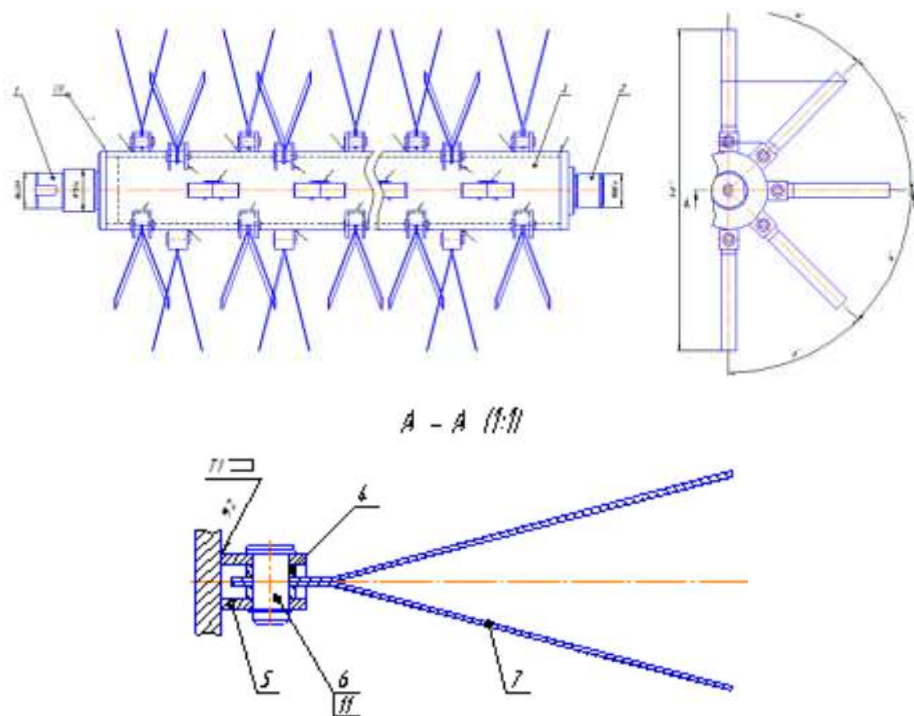


Рис. 1.12 – Кондиціонер косарки КРН-2,1

Через різноманітність властивостей рослинних об'єктів ріжучий апарат косарки забезпечує різну якість роботи залежно від культури, що збирається. Для досягнення оптимальної якості зрізання та ефективності роботи косарки ріжучий апарат потрібно налаштовувати відповідно до кінематичного режиму, що враховує специфічні властивості рослин.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Теоретичні передумови розрахунку параметрів ножів роторної косарки

Для скошування трави під час заготівлі сіна або сінажу безопорні косарки з обертовим рухом використовуються переважно ножі, продуктивність яких складає набагато більше, ніж косарки з сегментними пальцями. Апарати вільного різання з обертальним рухом ножів можуть бути з обертанням навколо вертикальної (ротаційної) і горизонтальної (ротаційної) осей. Косарки, які є оснащені ротаційними ріжучими пристроями значно подрібнюють траву, тому їх використовують у газонокосарках і газонокосарках косарки.

Основні параметри, що характеризують операцію ротаційного різання приладами є: площа, скошена за один цикл обертання диска; ефективна довжина ножа; перекриття суміжних роторів ножі; швидкість різання. Були наступні припущення зроблено при визначенні основних параметрів роторного різального апарату косарки. Передбачалося, що кутова швидкість ротора і швидкість руху косарки незмінні. Крім того, ріжучий апарат виконує скошування у площині, паралельній ґрунту поверхні, яка перпендикулярна площині більшості рослин стебла.

Скошування трави є невід'ємною частиною будь-якої технології заготівлі сіна. Її необхідно проводити в оптимальні строки і з дотриманням агротехнічних вимог. Для цієї техніки найчастіше використовуються вільні косарки з обертовими ножами. Вони виявилися значно продуктивнішими за сегментні пальчикові косарки. Ріжучі апарати належать до основних частин косарок. Вони оновлюються в двох напрямках: перший – удосконалення процесу різання за рахунок оптимізації параметрів апарату та пошуку нових способів різання та нових типів різального апарату; другий спрямований на вдосконалення приводу ножа.

Опорні апарати вільного різання з обертальним рухом ножів можуть мати вертикальні (обертальні) і горизонтальні (обертальні) осі [1]. Косарки, оснащені ротаційними ріжучими пристроями, значно подрібнюють траву, тому їх використовують у косарках-подрібнювачах і газонокосарках [2].

Відмінності в конструкції роторних косарок найчастіше пов'язані з конструкцією ріжучого апарату і типом його приводу. За розташуванням приводу зняряддя роторні косарки можуть мати верхній, нижній і комбінований привід. Слід зазначити, що привід визначає конструкцію різального апарату. Косарки нижнього приводу мають дискову форму роторів ріжучого апарату з шарнірним кріпленням ножів, ріжучі кромки яких розташовані в площині обертання. Ці апарати економічні, мають просту конструкцію, надійні та прості в обслуговуванні. Диски являють собою пресовані конструкції круглої або овальної форми, оснащені ребрами зміцнення.

Ротори ріжучих апаратів косарок верхнього приводу виконані у вигляді циліндрів з шарнірним кріпленням ножів.

Основними параметрами, що описують роботу роторних різальних апаратів, є: площа скошування за один дисковий цикл; ефективна довжина ножа, перекриття ножів суміжних роторів; швидкість різання. Дослідження [3-8, 14, 15] підтверджують зазначені параметри. Слід, однак, зазначити, що дослідження не дають достатнього аналізу кінематики ротора, а висновки про кореляцію, що дозволяє розрахувати кінематичні та геометричні показники роботи різального апарату, мають суперечності.

Ніж є основним функціональним елементом ріжучого апарату косарки і виконує функцію скошування рослин. Він оснащений ріжучою кромкою, яка встановлена під кутом  $\psi$  до радіального напрямку і має кут загострення  $\beta$  (рис. 2.1). Раціональними значеннями кутів є:  $\psi = 0,44 \dots 0,53$  рад,  $\beta = 0,35 \dots 0,70$  рад [3].

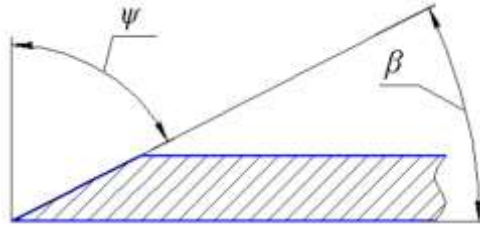


Рис. 2.1. Кути ріжучої кромки ножа роторної косарки

Гострота кромки - важливий параметр ножа. Для забезпечення якісного скошування трави зі швидкістю 40 м/с гострота краю повинна бути в межах 100...200 мікрон [4]. Однак при збільшенні швидкості різання до 80 м/с ширина кромки перестає впливати на продуктивність різального апарату [5, 6, 7].

Згідно з отриманими даними, критична швидкість зрізу трави без опори знаходиться в межах 20 м/с, а швидкість, при якій висота стерні майже дорівнює заданій висоті зрізу, знаходиться в межах 45...60 м/с [7].

У роботі [8] визначено оптимальну швидкість різання для гострих ножів 60, а для тупих – 80 м/с.

Раціональна швидкість різання залежить від подачі трави в ріжучий апарат і, таким чином, від швидкості навантаження косарки та врожаю трави. Збільшення подачі вимагає відповідного збільшення швидкості різання. При подачі 4,2 кг в секунду раціональна швидкість різання 50...60 м/с [9].

Ротаційні різальні апарати мають ряд недоліків, одним з яких є подрібнення трави під час скошування, що призводить до більших втрат врожаю. Пояснення – неузгодженість кругової швидкості ножів і швидкості навантаження косарки. Вищезазначений ефект також спостерігається, коли кількість і довжина ножів перевищує оптимальну. Спроби перевернути параметри можуть призвести до несправних плям, тобто нескошених сегментів поля [10].

Таким чином, фундаментальним завданням є виявлення узгодженості конструктивних і кінематичних параметрів роторних різальних апаратів та умов їх використання.

## 2.2. Теоретичні дослідження параметрів роторного ріжучого апарату

Основними факторами продуктивності роторної косарки є площа зрізу одного ножа за один цикл обертання, ефективна довжина ножа та швидкість вільного різання опори. Ці фактори визначають робоче навантаження на ніж за потужністю різання та енергією, витраченою на скошування трави.

Для визначення основних параметрів роторного ріжучого апарату звернемося до рис. 2.2, на якому подано схему одного з роторів косарки, який рухається поступально зі швидкістю  $V$  і обертається з круговою швидкістю  $\omega$ .

Для визначення основного параметра роторного ріжучого апарату косарки прийнято наступні припущення. Будемо вважати, що кутова швидкість ротора і поступальна швидкість косарки не змінюються, а рух агрегату прямолінійний. Ріжучий апарат косить також у площині, паралельній поверхні землі, тобто поперек більшості стебел рослин.

Початок координат розміщується відповідно до рис. 2.2. Вісь  $Y$  спрямована в бік поступального руху (навантаження) косарки.

Скошування опорними вільнообертливими апаратами є результатом ударної взаємодії між ножем і стеблами трави. Одним із головних факторів такого режиму скошування є швидкість скошування. Для порівняння між різними пристроями швидкість зазвичай визначається для крайніх зовнішніх точок ріжучих країв ножів.

Оскільки швидкість переміщення косарки  $V$  значно нижча за кругову швидкість ножів, усі її точки простежують циклоїдні траєкторії в абсолютному русі. Рівняння траєкторії вістря 1 (точка  $a$ ) в параметричному вигляді записується у вигляді:

$$x_a = R \cos \alpha t \quad (2.1)$$

$$y_a = Vt + R \sin \alpha t, \quad (2.2)$$

де  $x_a$  та  $y_a$  – проекції переміщення точки  $a$  на вісь координат, м;

$R$  – радіус кола, проведеного точкою  $a$  протягом круговий рух, м;

$t$  – час, с.

Рис. 2.2. Схема визначення основних параметрів роторного різального апарату: 1, 2 – ніж, 3 – диск

Розділивши 1 і 2 у часі, ми отримаємо:

$$\frac{dx_a}{dt} = -R\omega \sin \omega t, \quad (2.3)$$

$$\frac{dy_a}{dt} = V + \omega R \cos \omega t. \quad (2.4)$$

Абсолютна швидкість точки  $a$  в будь-який момент часу

$$V_{abs} = \sqrt{\left(\frac{dx_a}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_a}{dt}\right)^2}. \quad (2.5)$$

Прикладаючи фігури проекції швидкості з (2.3) і (2.4) до (2.5), отримуємо:

$$V_{abs} = \sqrt{R^2\omega^2 + 2VR\omega \cos \omega t + V^2}. \quad (2.6)$$

Абсолютна швидкість досягне максимального значення при  $\omega t = 2\pi k$ , де  $k = 0; 1; 2, \dots$ , і т.д.  $V_{abs} = R\omega + V$ .  $V_{abs}$  матиме мінімальне значення при  $\omega t = \pi + 2\pi k$ , тобто  $V_{abs} = R\omega - V$ .

Тому абсолютна швидкість будь-якої точки ножа змінюється від максимального значення, що дорівнює сумі кругової швидкості цієї точки та



швидкості агрегування косарки, до мінімального, що є різницею вищевказаних швидкостей.

Рівняння траєкторії точки ножа 2 (точка  $b$ ) у параметричній формі записується так:

$$x_b = R \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right), \quad (2.7)$$

$$y_b = V + R \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right), \quad (2.8)$$

де  $x_b, y_b$  – проекції руху точки  $b$  на координатну вісь  $b$ ;

$z$  – кількість ножів, встановлених на роторі.

Одним із основних параметрів продуктивності роторної косарки є площа, скошена ножем за один цикл обертання. Як бачимо на рис. 2.2, площа, скошена ножем за один цикл ротора, обмежена абсолютними траєкторіями руху (циклоїдами) точки  $a$  і  $b$  ножів 1 і 2, графік  $cc_1dc_2c$ . Таким чином, лезо кожного ножа зрізає рослини з ділянки поля, обмеженого двома трохоїдами, зміщеними в бік швидкості агрегації косарки.

Координати точок  $c$  і  $d$  (точок перетину циклоїди) визначаються кутами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ . За даними [12]:

$$\varphi_{1,2} = \frac{\pi}{z(\lambda \pm 1)}, \quad (2.9)$$

де  $\lambda$  – кінематичний параметр,  $\lambda = \omega R/V$ .

Знак (+) у цій формулі відповідає точці  $c$ , а знак (-) точці  $d$ . Для ідентифікації площі фігури  $cc_1dc_2c$  використаємо відому Фундаментальну теорему розрахунку [11].

$$S_{cc_1dc_2c} = \int_{-R \cos \varphi_2}^{R \cos \varphi_1} [u(x) - f(x)] dx, \quad (2.10)$$

де  $u(x)$  і  $f(x)$  – функція, що описує, відповідно, криві  $cc_2d$  і  $cc_1d$ .

Для ідентифікації формули для функції  $u(x)$  і  $f(x)$  виключимо параметр  $t$  з рівнянь (2.1) і (2.7) і застосуємо отримані значення часу до (2.2) і (2.8) відповідно. В результаті отримуємо:

$$f(x) = \frac{V}{\omega} \arccos \frac{x}{R} + \sqrt{R^2 - x^2}, \quad (2.11)$$

$$u(x) = \frac{V}{\omega} \left( \frac{2\pi}{z} + \arccos \frac{x}{R} \right) + \sqrt{R^2 - x^2}. \quad (2.12)$$

Застосовуючи (2.11) і (2.12) до (2.10), отримуємо:

$$\begin{aligned} F_{cc_1dc_2c} &= \int_{-R \cos \phi_2}^{R \cos \phi_1} \left[ \frac{V}{\omega} \left( \frac{2\pi}{z} + \arccos \frac{x}{R} \right) + \sqrt{R^2 - x^2} - \frac{V}{\omega} \arccos \frac{x}{R} + \sqrt{R^2 - x^2} \right] dx = \\ &= \frac{2\pi VR}{\omega z} (\cos \phi_1 + \cos \phi_2). \end{aligned}$$

Тоді з урахуванням (2.9) ніж скошує наступну ділянку за один оберт

$$F_{cc_1dc_2c} = \frac{2\pi R^2}{\lambda z} \left( \cos \frac{\pi}{z(\lambda+1)} + \cos \frac{\pi}{z(\lambda-1)} \right). \quad (2.13)$$

Ефективна довжина ріжучої кромки ножа повинна бути більшою або дорівнювати різниці максимальних ординат абсолютного переміщення точок сусідніх ножів (рис. 2.2), тобто:

$$h_p \geq Y_2 - Y_1, \quad (2.14)$$

де  $h_p$  – ефективна довжина ріжучої кромки ножа, м;

$Y_1, Y_2$  – максимальні ординати абсолютних зсувів точок першого та другого ножа відповідно, м.

Відрізнивши (2.7) від (2.8) в часі, отримаємо:

$$\frac{dx_b}{dt} = -R\omega \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{z} \right), \quad (2.15)$$

$$\frac{dy_b}{dt} = V + R\omega + \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{z} \right). \quad (2.16)$$

У точках траєкторій точок ножів, що мають максимальні ординати, похідні  $\frac{dy_a}{dx_a}$  і  $\frac{dy_b}{dx_b}$  дорівнюють нулю, тобто:

$$\begin{aligned} \frac{V + R\omega \cos \omega t}{-R\omega \sin \omega t} &= 0, \\ \frac{V + R\omega \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{z} \right)}{-R\omega \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{z} \right)} &= 0. \end{aligned}$$

Оскільки знаменники цих дробів не можуть дорівнювати нулю, то, прирівнявши до нуля чисельники отриманих дробів і розв'язавши, отримаємо:

$$t_a = \frac{1}{\omega} \left( \pi - \arccos \frac{V}{R\omega} \right), \quad (2.17)$$

$$t_b = \frac{1}{\omega} \left[ \pi - \arccos \left( \frac{V}{R\omega} + \frac{2\pi}{z} \right) \right], \quad (2.18)$$

де  $t_a, t_b$  – час, за який точки  $a$  і  $b$  досягають максимальних ординат.

Застосовуємо значення часу  $t_a$  і  $t_b$  від (2.17) і (2.18) до (2.2) і (2.8) отримаємо:

$$Y_1 = \frac{V}{\omega} \left[ \pi - \arccos \left( \frac{V}{\omega R} \right) \right] + R \sqrt{1 - \left( \frac{V}{\omega R} \right)^2}, \quad (2.19)$$

$$Y_2 = \frac{V}{\omega} \left[ \pi - \arccos \left( \frac{V}{\omega R} + \frac{2\pi}{z} \right) \right] + R \sqrt{1 - \left( \frac{V}{\omega R} \right)^2}. \quad (2.20)$$

Застосуємо (2.19) і (2.20) до (2.14) і після перетворення отримаємо:

$$h_p \geq \frac{2\pi V}{\omega z}. \quad (2.21)$$

Таким чином, ефективна довжина леза ножа прямо пропорційна швидкості руху косарки і обернено пропорційна кутовій швидкості ротора та кількості встановлених на ньому ножів.

Якщо перейти від кутової швидкості ротора до кругової частоти, то отримаємо:

$$h_p \geq \frac{60V}{nz}, \quad (2.22)$$

де  $n$  – частота обертання ротора різального апарату, об/хв.

Точки шляху сусідніх ножів, які мають максимальні ординати, повинні мати рівні абсциси. Давайте перевіримо це. Застосуємо знайдені значення часу з (2.17) і (2.18) відповідно до (2.1) і (2.7) і переконаємося, що абсциси обох точок дорівнюють одна одній.

$$x_a = x_b = -V/\omega. \quad (2.23)$$

На рис. 2.3 наведено графічні кореляції між змінами мінімальної ефективною довжини ріжучої кромки ножа та зміною швидкості обертання ротора косарки, побудовані за (2.22).

На графіках передбачається, що на роторі встановлено два ножі, тобто  $z = 2$ . Як ми бачимо згідно з представленими даними, ефективна довжина ріжучої кромки ножа зменшується зі збільшенням частоти обертання ротора.

Під час роботи роторної косарки траєкторії руху ножів сусідніх роторів повинні перекриватися на величину  $\Delta$ . Якщо вони цього не зроблять, на полі з'являться аварійні ділянки, тобто нескошені ділянки. Як бачимо на рис. 2.2 після того, як косарка пройде над нескошеними ділянками, на полі залишаться криволінійні трикутники  $kfd$ .

Рис. 2.3. Графіки дисперсії між мінімальною ефективною довжиною ріжучої кромки роторного різального апарату  $h_p$  та частотою ротора  $n$ : 1 –  $V = 2$  м/с, 2 –  $V = 3$  м/с, 3 –  $V = 4$  м/с

З рис. 2.3 видно, що перекриття  $\Delta$  ножів має бути більше подвійної проекції інтервалу  $n_d$  на абсцису:

$$\Delta \geq 2|x_n - x_d|,$$

де  $|x_n| = R$  – абсциса крайньої віддаленої від осі  $OY$  точки траєкторії;

$|x_d|$  – точка абсцис перетину траєкторій двох сусідніх ножів.

З рис. 2.2 маємо:

$$|x_d| = R \cos \varphi_2.$$

Тоді

$$\Delta \geq 2R \left( 1 - \cos \frac{\pi}{z(\lambda - 1)} \right). \quad (2.24)$$

З (2.24) робимо висновок, що перекриття траєкторії ножів суміжних роторів залежить від радіуса ротора; кількість встановлених на них ножів і кінематичний режим роботи різального апарату. Крім того, збільшення радіуса ротора вимагає збільшення перекриття, а зростання швидкості кінематичного режиму та кількості ножів призводить до зменшення перекриття траєкторії ножів. Це описано на графіках на рис. 2.4.

Рис. 2.4. Дисперсія перекриття траєкторії ножів суміжних роторів  $\Delta$  у залежності від кінематичного режиму  $\lambda$  та радіуса ротора  $R$  ( $z = 2$ ): 1- $R=0,2$ , 2- $R = 0,3$ , 3- $R = 0,4$  м.

## 2.2. Розрахунок параметрів кондиціонера

У своєму абсолютному русі крайні точки бил описують трохоїди. За один оберт ротора його вісь під час руху агрегату переміститься на відстань:

$$x = 2\pi \cdot \vartheta_i / \omega, \quad (2.25)$$

де  $\mathcal{G}$  - швидкість агрегата, м/с;  
 $\omega$  - кутова швидкість ротора, с<sup>-1</sup>.

Рис. 2.5 - Схема руху била кондиціонера

Під час обробки скошеної маси било робить коливальні рухи, відхиляючись на кут  $\Psi$ . Лінійна швидкість будь-якої точки била:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R_0 \cdot \sin \omega t + l_i \cdot \cos(\omega t - \psi) \\ y_i &= -R_0 \cdot \sin \omega t + r\omega t + r\omega t - l_i \cdot \sin(\omega t - \psi) \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

де  $r$  - радіус утворюючого кола циклоїди, м.

$l_i$  - відстань від шарніра кріплення била до розглянутої точки на ньому, м.

$R_0$  - радіус ротора (точка підвісу била), м.

У процесі роботи било робить вимушені коливання, тобто ротор є подвійним фізичним натягувачем.

Рух била описується рівнянням:

$$\psi + R_0 \cdot \omega^2 \cdot \psi / l_0 = 0, \quad (2.27)$$

де  $l_0$  - довжина била, м.

$$\psi = \alpha \cdot \cos(\gamma t + \theta), \quad (2.28)$$

де  $\gamma$  і  $\alpha$  - частота і амплітуда коливань била;

$\theta$  - початкова фаза.

За умови, що удар по оброблюваному матеріалу миттєвий, а початкове відхилення била дорівнює нулю, амплітуда становитиме:

$$\alpha = \mathcal{G} / \gamma, \quad (2.29)$$

де  $\mathcal{G}$  - початкова швидкість, м/с.

Із закону збереження енергії для не пружного удару, швидкість била після удару розраховується за формулою:

$$\mathcal{G}_i = m_{\bar{o}} \cdot (\omega \cdot R + \alpha \cdot \gamma \cdot l_{\bar{o}}) / (m_{\bar{o}} + m_m), \quad (2.30)$$

де  $R$  – відстань від осі обертання барабана до кінця била, м;

$m_{\bar{o}}$  - маса била, кг;

$m_m$  - маса порції захопленого матеріалу, кг.

$$m_{\bar{o}} = m_m \cdot (\omega \cdot R - \alpha \cdot \gamma \cdot l_{\bar{o}}) / (z \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot l_{\bar{o}}), \quad (2.31)$$

$$m_m = W \cdot B \cdot \mathcal{G} \cdot k / z_n, \quad (2.32)$$

де  $W$  – врожайність, кг/м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина захвату косарки, м;

$\mathcal{G}$  - швидкість руху косарки, м/с;

$z$  - кількість бил, шт.

Для розрахунку частоти коливань била, діаметра ротора  $D_p$  по кінцях бил, частоти обертання  $n$ , за умови швидкості обробки скошеної маси в межах 18 – 25 м/с, слід скористатися залежностями:

$$\gamma = \omega \cdot (R_0 / l_{\bar{o}})^{1/2}; \quad (2.33)$$

$$D_p = 2 \cdot R_0 \cdot (1 + k^2); \quad (2.34)$$

$$n = (18 \dots 25) \cdot 60 / (\pi \cdot D_p). \quad (2.35)$$

## Висновки до розділу 2

1. Основними параметрами, що описують роботу ротаційних різальних апаратів, є площа скошування ножем за один дисковий цикл, ефективна довжина ножа, перекриття ножів суміжних роторів, швидкість різання.

2. Швидкість різання будь-якої точки ножа змінюється від максимального значення, яке дорівнює сумі кругової швидкості цієї точки та швидкості

агрегативання косарки, до мінімального, яке є різницею вищевказаних швидкостей.

3. Ефективна довжина ріжучої кромки ножа прямо пропорційна швидкості агрегативання косарки та зворотно пропорційна кутовій швидкості ротора та кількості встановлених на ньому ножів.

4. Перекриття ножів суміжних роторів залежить від радіуса ротора, кількості встановлених на ньому ножів і кінематичного режиму роботи різального апарату. Збільшення радіуса ротора вимагає збільшення перекриття, а збільшення швидкості кінематичного режиму та кількості ножів призводить до зменшення перекриття траєкторій руху ножів.

5. Отримано кореляцію, яка дозволяє визначити площу, скошену одним ножом за один цикл ротора.

6. Розраховано основні параметри конструкції, включаючи: частоту коливань била залежно від геометричних та динамічних характеристик ротора; діаметр ротора по кінцях бил, який враховує технологічні обмеження та необхідну швидкість обробки матеріалу; частоту обертання ротора для забезпечення оптимальної швидкості обробки матеріалу в межах 18–25 м/с.

7. Практична значущість роботи полягає у можливості адаптації розрахованих параметрів до різних типів машин та умов експлуатації, що робить запропоновану методику універсальною для застосування в сільськогосподарському машинобудуванні.

8. Результати дослідження можуть слугувати основою для подальших робіт з оптимізації конструкції та динаміки роботи кондиціонера.



## РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У SOLIDWORKS SIMULATION

### 3.1. Підготовка об'єкта дослідження до проведення експериментальних досліджень у Solidworks Simulation

Першим етапом є створення або імпорт *3D*-моделі об'єкта дослідження в середовище *SolidWorks* (рис.3.1). Геометрія моделі ретельно перевіряється на відсутність помилок, таких як зайві деталі, невідповідність вузлів чи некоректно задані параметри.

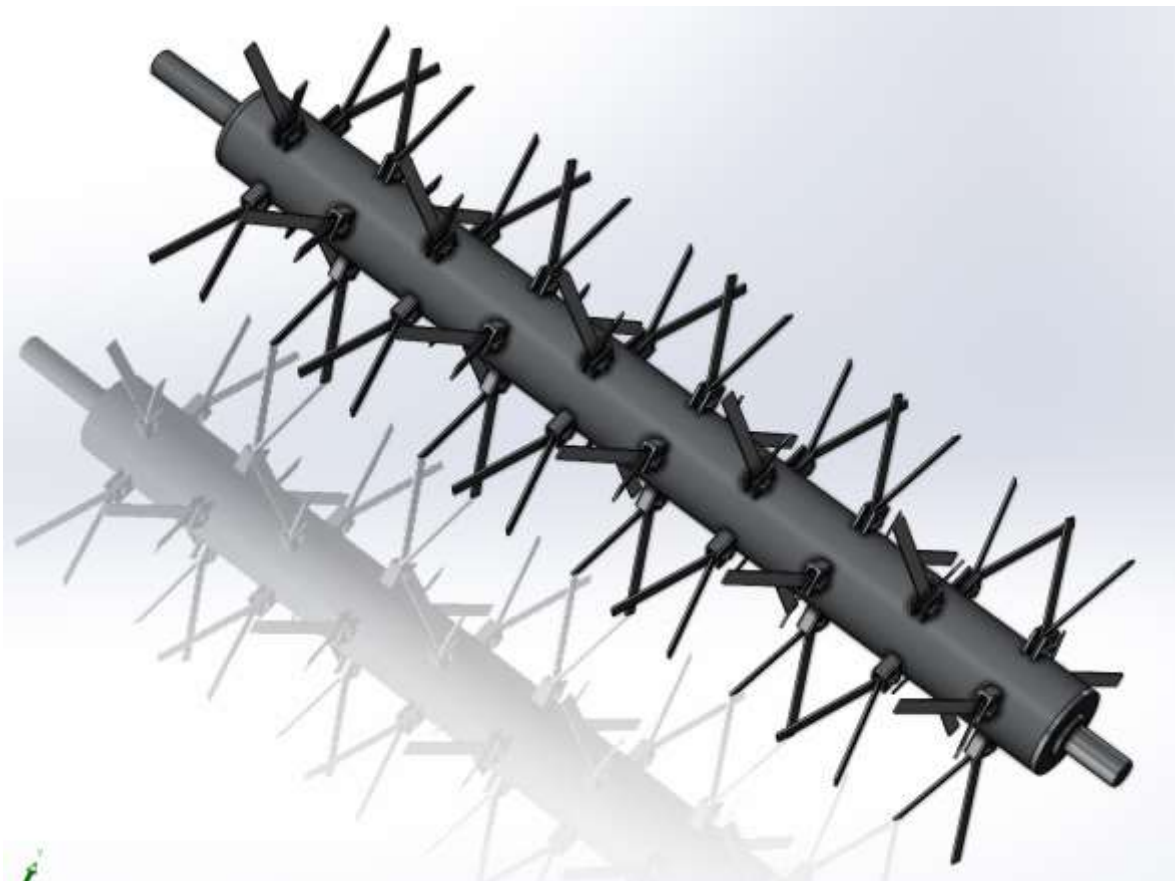


Рис. 3.1 - Створена *3D*-модель об'єкта дослідження

Далі визначається тип дослідження. У модулі *Simulation* створюється новий проєкт, у якому обирається статичний аналіз (*Static*) для визначення міцності або втомний аналіз (*Fatigue*) для оцінки довговічності конструкції.

На наступному етапі для кожного елемента моделі задається матеріал через функцію *Edit Material* (рис.3.2).

У процесі налаштування враховуються фізико-механічні властивості, такі як модуль пружності, межа текучості, коефіцієнт Пуассона. Для втомного аналізу важливими є також криві втоми (*SN*-криві) або дані про циклічне навантаження.

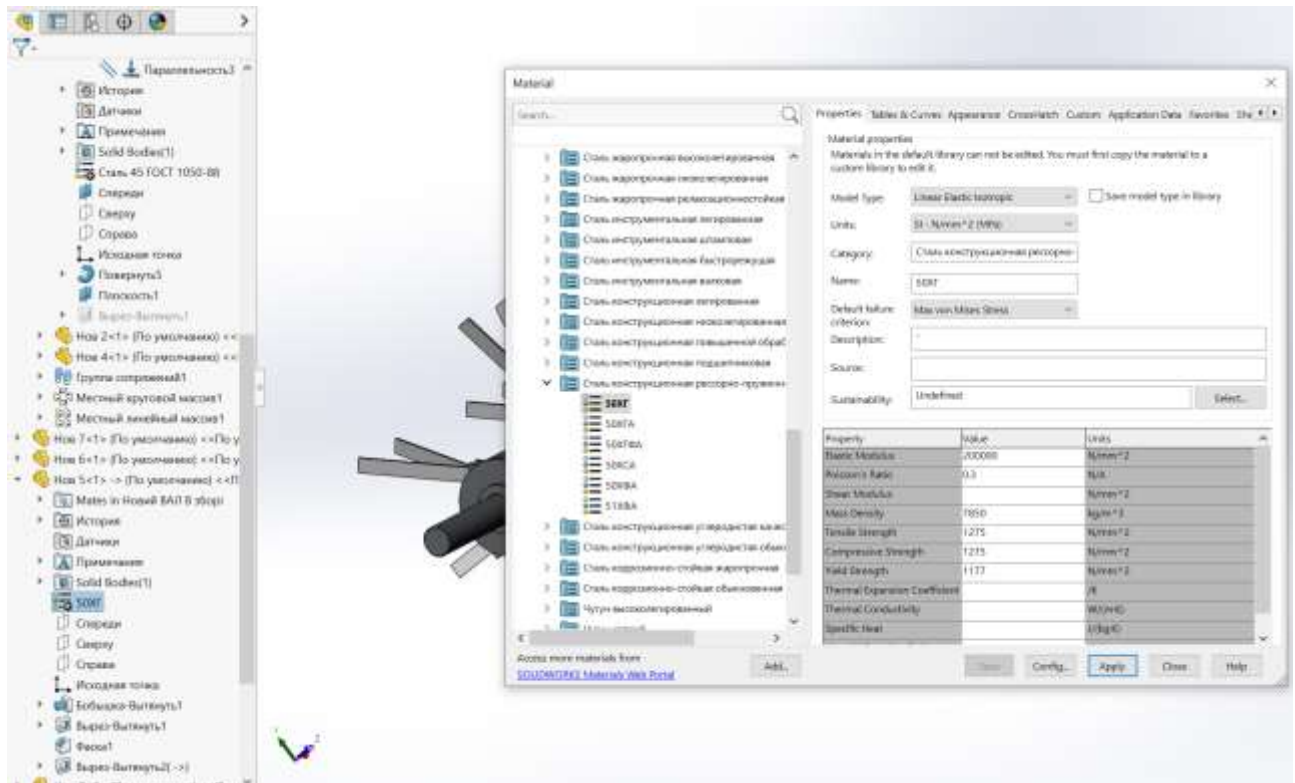


Рис. 3.2 – Вікно вибору матеріалів 3D-моделі об'єкта дослідження

Важливим аспектом є вибір матеріалів для різних деталей конструкції. Оскільки сучасні конструкції часто виконуються із застосуванням кількох матеріалів, необхідно враховувати їхню сумісність та властивості. Наприклад, вибір матеріалів з різними модулями пружності або граничними напруженнями дозволяє оптимізувати роботу деталей залежно від їхньої функції у конструкції. Це забезпечує рівномірний розподіл навантаження, підвищення загальної міцності та довговічності виробу.

На рис. 3.3 відображено застосування різних матеріалів деталей. Несучий вал в зборі пропонується виготовляти зі сталі 45 ГОСТ 1050-88, а самі робочі органи – планки з різних сталей з метою вибору найоптимальнішої: Сталь 50ХГ, Сталь 45Х, Ст3сп.

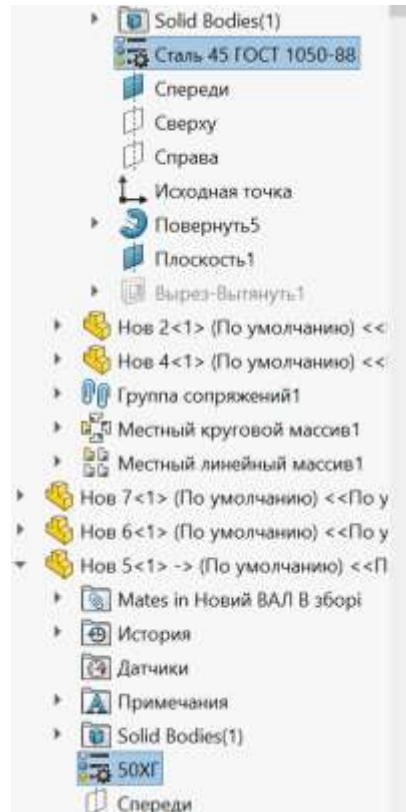


Рис. 3.3 – Вікно застосування різних матеріалів деталей 3D-моделі об'єкта дослідження

Після цього задаються умови закріплення та навантаження. У модулі *Fixtures* визначаються області фіксації, а через *External Loads* задаються зовнішні сили, моменти, тиск або температурний вплив (рис. 3.4). Це забезпечує моделювання реальних умов експлуатації конструкції.

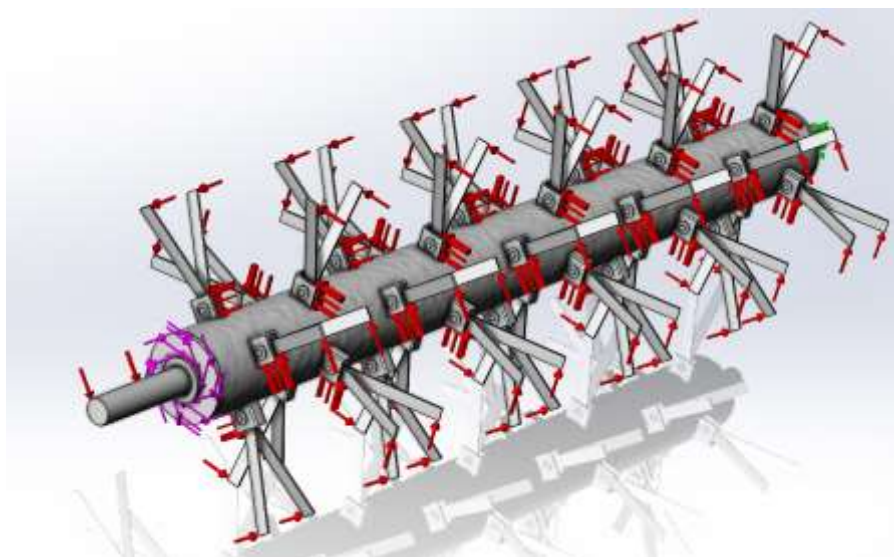


Рис. 3.4 – Вікно задання умов закріплення та навантаження

Задані умови закріплення наступні – *Fixed Hinge* (фіксована петля) та *Roller/Slider* (ролик/повзун). Щодо навантаження, то їх також два – *Torque* (Крутний момент) та *Pressure* (тиск). Крутний момент в даному об'єкті дослідження прикладений до несучого вала і складає 2000 Нм. Тиск в даному дослідженні застосовано з метою заміни маси скошеної трави, яка рухається у напрямку (рис. 1.9, 1.10) і може спричинити забивання косарки через нерівномірність руху сільськогосподарської машини або ж нерівномірності росту стеблостою і становить 2МПа.

Перед тим як перейти до оцінки ризику руйнування деталі, слід врахувати, що це лише один із важливих аспектів якісного аналізу напружень. Не менш важливими є правильна постановка граничних умов та реалістичне відтворення навантажень за допомогою налаштування сітки.

Для розрахунків методом скінченних елементів формується сітка у функції *Create Mesh* (рис. 3.5). Її щільність налаштовується залежно від вимог до точності аналізу та складності геометрії моделі.

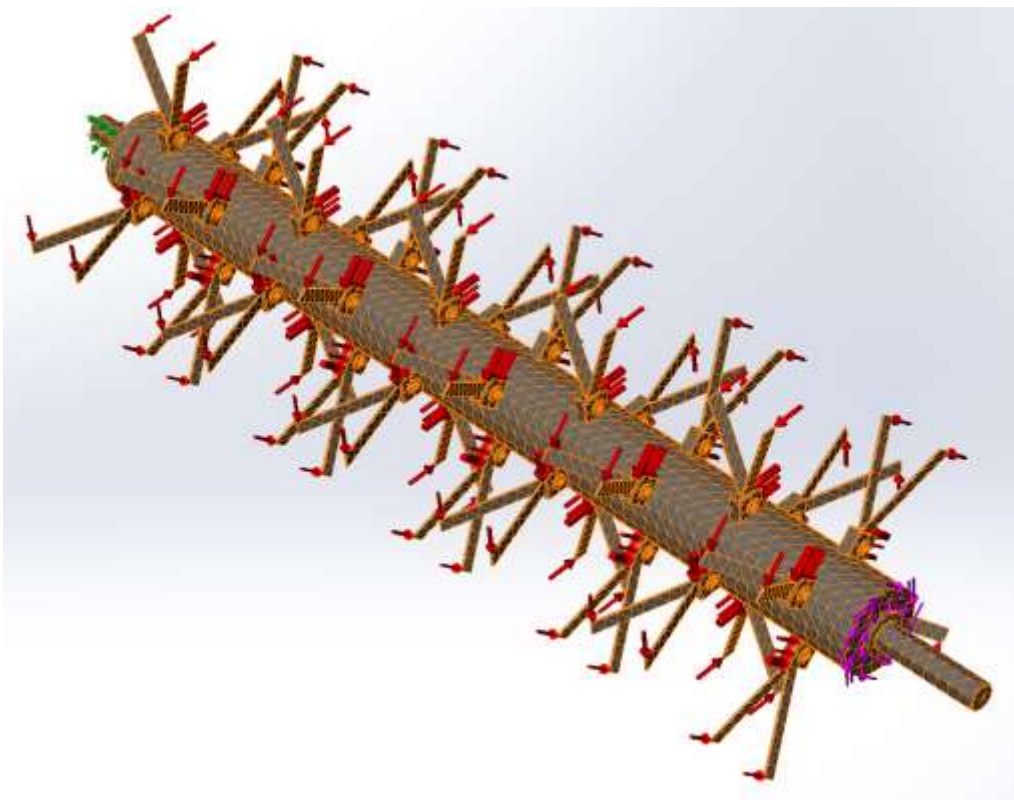


Рис. 3.5 – Вікно формування сітки скінченних елементів у функції *Create Mesh*

Щоб оцінити якість сітки, можна скористатися опцією *Mesh Details* (Деталі сітки) в контекстному меню дерева моделювання, що дозволяє отримати детальну інформацію про параметри сітки. Складну геометрію слід спрощувати та застосовувати елементи керування сіткою для забезпечення прийнятної якості моделі.

Після налаштування виконуються статичні розрахунки. Модель аналізується на напруження, деформації та коефіцієнт запасу міцності за допомогою функції *Run*. Отримані результати візуалізуються у вигляді графіків та діаграм, що дозволяє оцінити загальну міцність конструкції.

На основі даних статичного аналізу виконується втомний аналіз. У модулі *Add Fatigue Study* задаються циклічні навантаження, кількість циклів та амплітуди. Вибір методу розрахунку залежить від поставлених задач: *SN*-криві використовуються для довготривалого впливу навантажень, а для оцінки накопичення пошкоджень застосовується метод Мінера.

Результати втомного аналізу дозволяють визначити критичні зони конструкції, найбільш схильні до руйнування, та кількість циклів, які модель здатна витримати до втрати працездатності.

Після аналізу результатів за потреби виконується оптимізація конструкції. Це може включати зміни в геометрії моделі, вибір інших матеріалів або корекцію умов навантаження. У разі використання кількох матеріалів оптимізація може передбачати зміну їхніх властивостей або співвідношень у конструкції для досягнення більш рівномірного розподілу напружень і підвищення довговічності.

Застосування цієї методики дозволяє забезпечити високий рівень точності розрахунків, оцінити поведінку конструкції під різними типами навантаження, раціонально вибрати матеріали для її елементів та внести необхідні вдосконалення для покращення експлуатаційних характеристик.

## РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У SOLIDWORKS SIMULATION

Згідно з методикою (розділ 3) нами попередньо задано вхідні параметри експериментальних досліджень, такі як: матеріал об'єкта дослідження, задано умови закріплення та навантаження, а також сформовано сітку скінченних елементів. Дані параметри дозволяють провести статичні та втомні дослідження, зробити оптимізацію і зробити висновки про дану модель.

### 4.1. Статичні розрахунки об'єкта дослідження в цілому

Після налаштування виконуються статичні розрахунки. Модель аналізується на напруження, деформації та коефіцієнт запасу міцності за допомогою функції *Run*. Отримані результати візуалізуються у вигляді графіків та діаграм, що дозволяє оцінити загальну міцність конструкції (рис. 4.1).

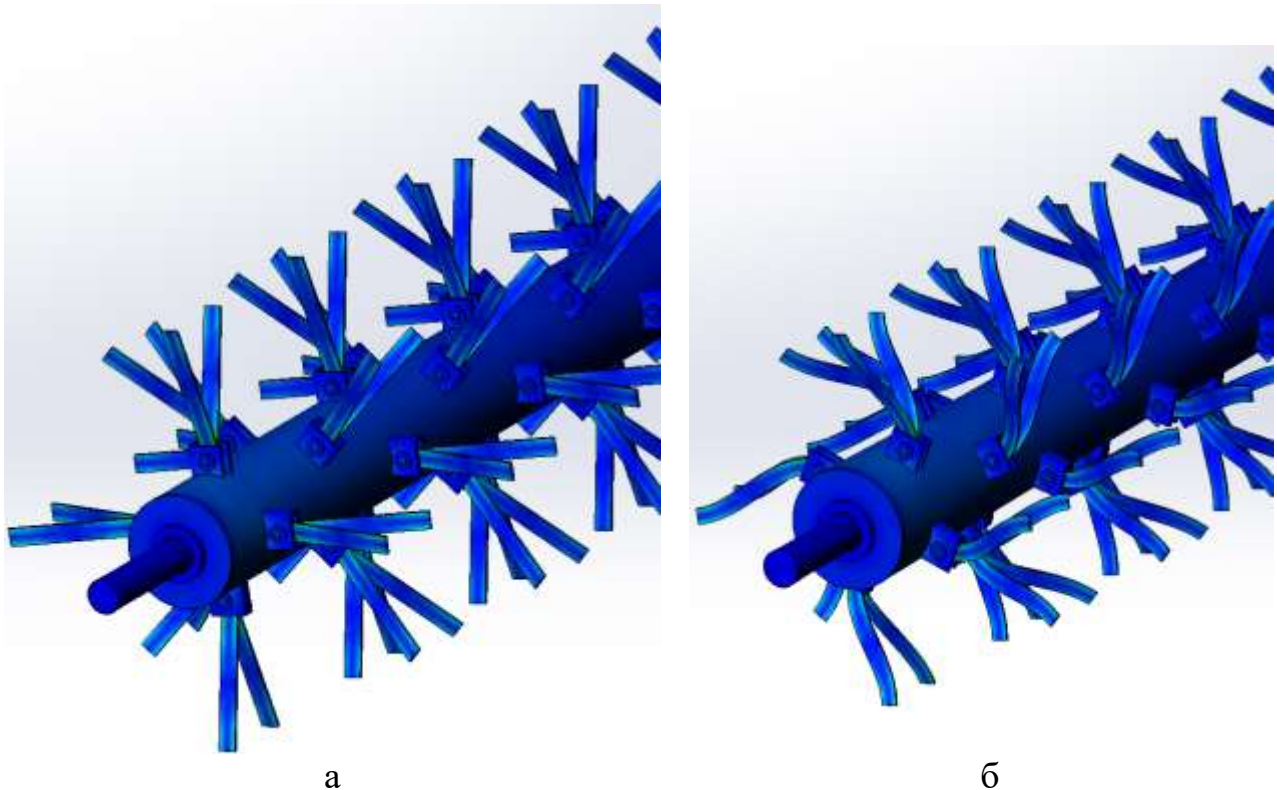


Рис. 4.1 – Результат міцнісних розрахунків кондиціонера косарки а – до прикладення зусиль; б – після прикладення зусиль

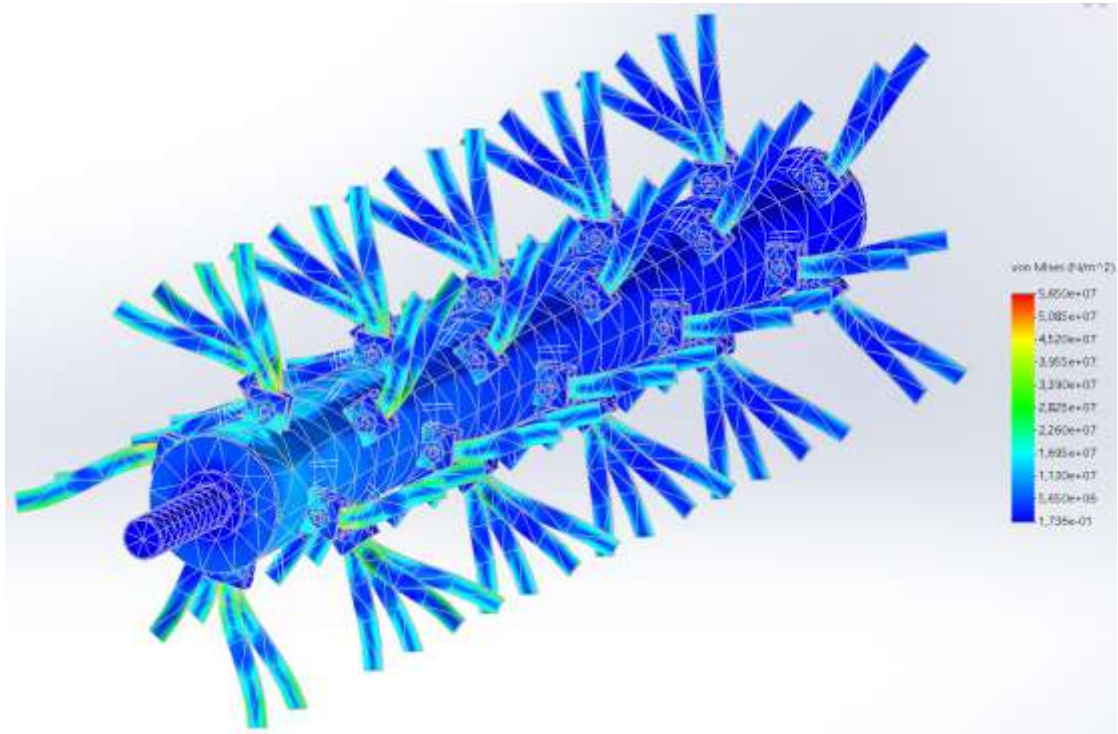


Рис. 4.2 – Результат міцнісних розрахунків кондиціонера косарки з накладено сіткою кінцевих елементів

Це зображення (рис. 4.1, 4.2) показує модель у вигляді візуалізації методу кінцевих елементів (FEA), яка, ймовірно, відображає аналіз напружень на валі циліндричної форми з прикріпленими елементами. Напруження за Мізесом (von Mises stress) згідно легенди праворуч показує шкалу значень напружень, виміряних у  $\text{H/m}^2$  (паскалях) в межах від  $1,736 \times 10^{-7}$  до 56,5 МПа максимальні значення напружень (червоні області) зосереджені у точках кріплення елементів. Рівномірність розподілу навантажень в більшій частині конструкції перебуває у діапазоні середніх значень напружень (сині та зелені області), що свідчить про рівномірний розподіл навантаження на сам вал, а от щодо пластин, то вони зазнають великих деформацій. Тут, у точках високих напружень (червоні ділянки) може виникати ризик пошкодження або руйнування, що слід врахувати під час оптимізації конструкції.

Як видно з рис. 4.1, 4.2 деформація у даному об'єкті дослідження за заданих вхідних параметрів стосується лише планок

#### 4.1. Статичні розрахунки деталі «Планка» об'єкта дослідження

Деталь «Планка» кондиціонера косарки призначена для безпосереднього збурення скошеної маси трави для пришвидшення технологічного процесу її сушіння. В попередніх дослідженнях визначено, що найбільшого руйнування у даному вузлі, зазнає деталь механізму збурювання скошеної маси «Планка»

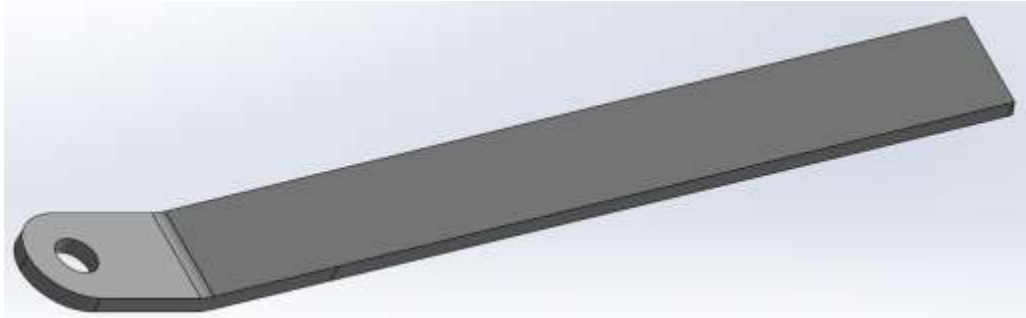


Рис. 4.3 - 3D-модель деталі «Планка»

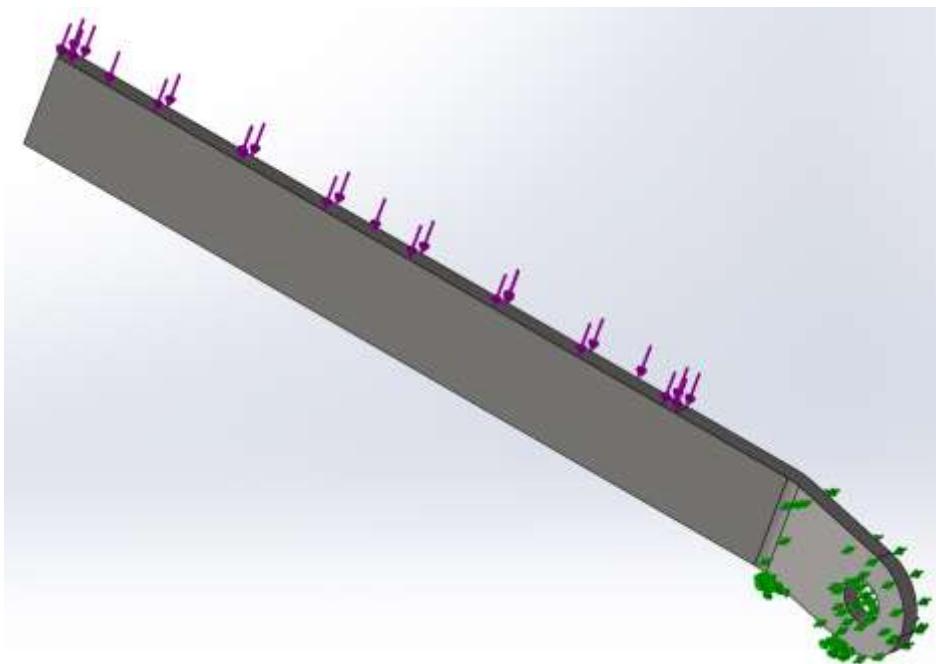


Рис. 4.4 - Вікно задання умов закріплення та навантаження деталі «Планка»

До прямолінійної ділянки планки прикладено силу 200Н (рис. 4.4), оскільки загальне навантаження на всі серції становить 2000Н (200 кг). Кількість планок в ряді  $n=10$ .



## РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати досліджень наведено на рис. 5.1-5.3 з застосуванням різних марок матеріалів сталей.

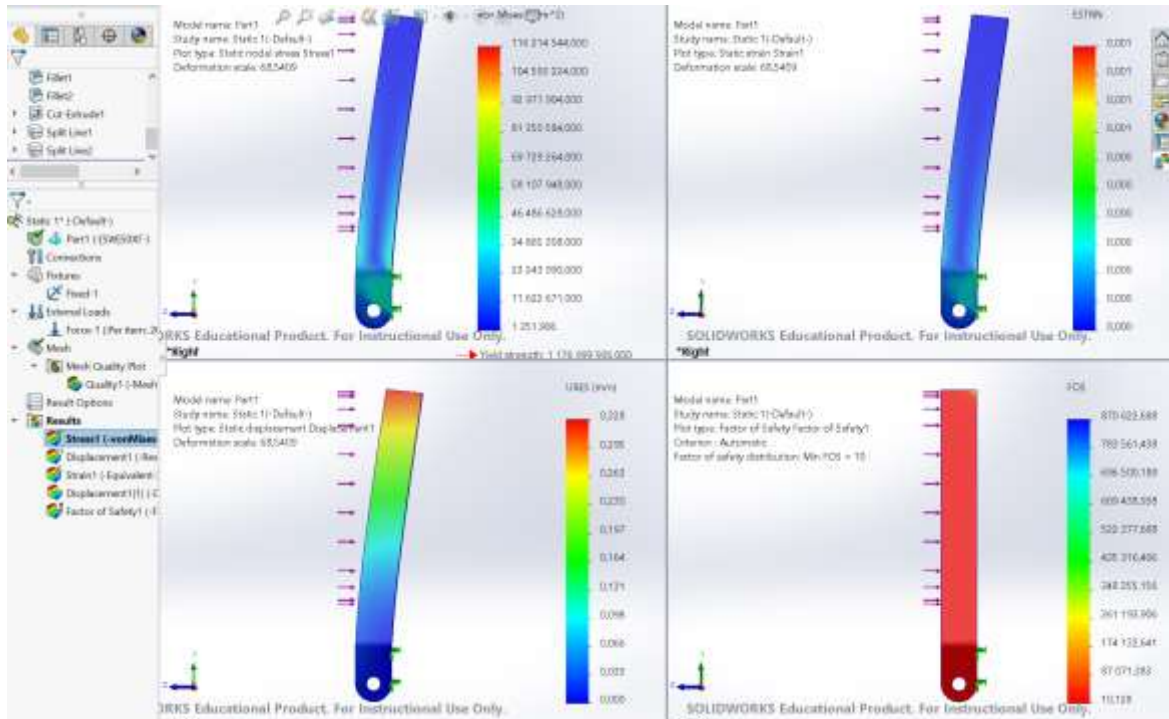


Рис. 5.1 – Результати досліджень деталі «Планка» виготовленої зі сталі 50ХГ

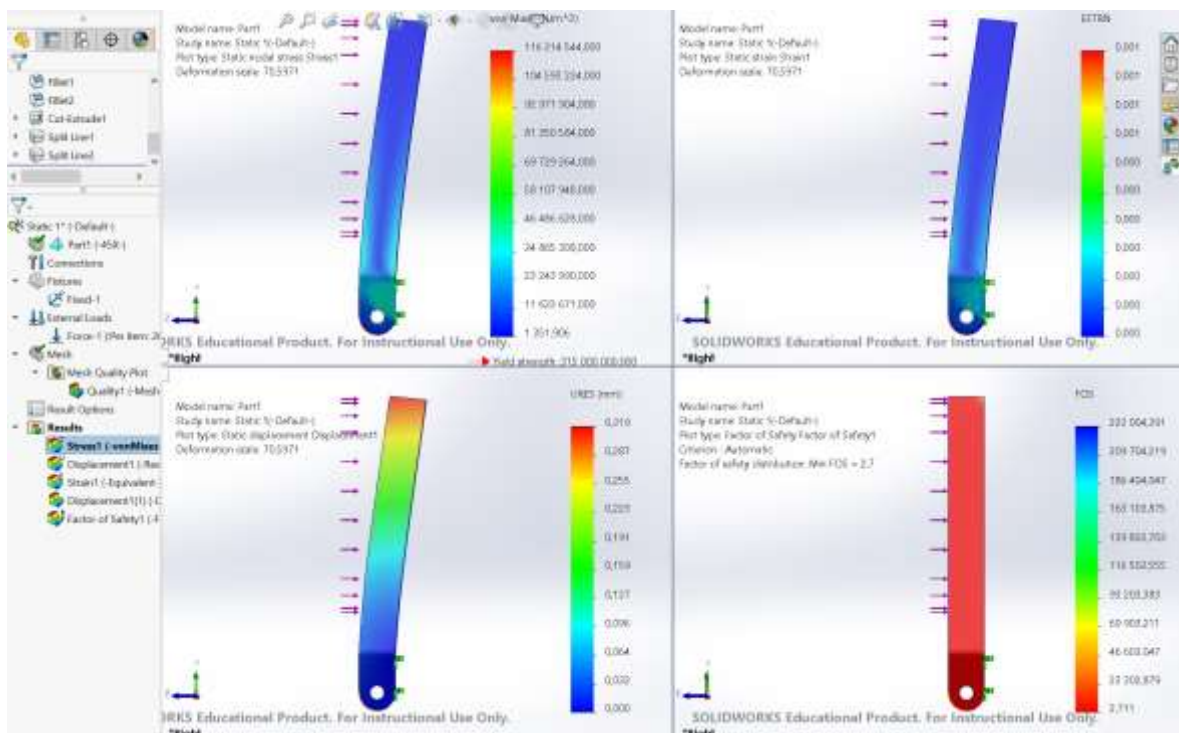


Рис. 5.2 – Результати досліджень деталі «Планка» виготовленої зі сталі 45Х

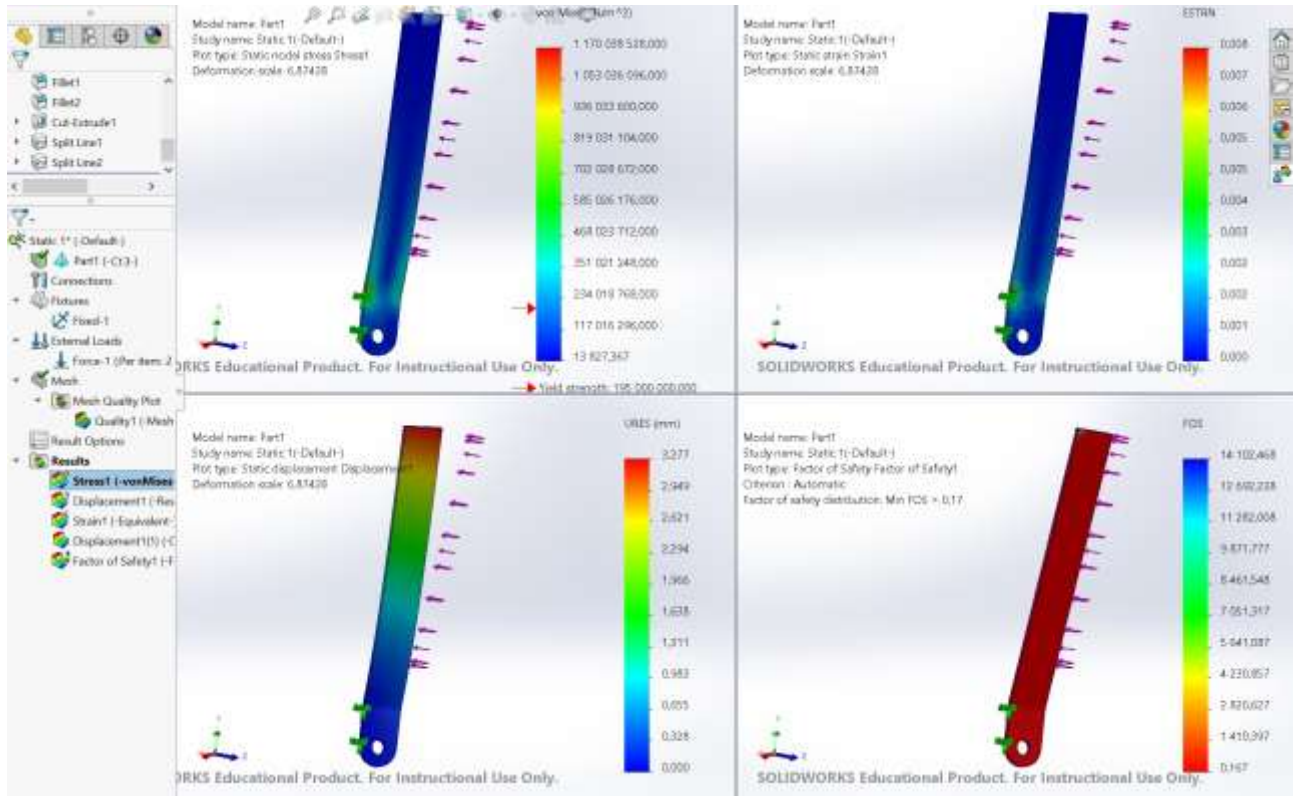


Рис. 5.3 – Результати досліджень деталі «Планка» виготовленої зі сталі Ст3

Зведені результати досліджень наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Порівняння результатів досліджень

Parameter	Сталь 50ХГ	Сталь 45Х	Ст3
Max Stress (Pa)	116214544.0	104593224.0	117 016 296.0
Max Strain	0.001	0.001	0.008
Max Displacement (mm)	0.328	0.319	3.277
Min Factor of Safety	10.0	2.7	0.17

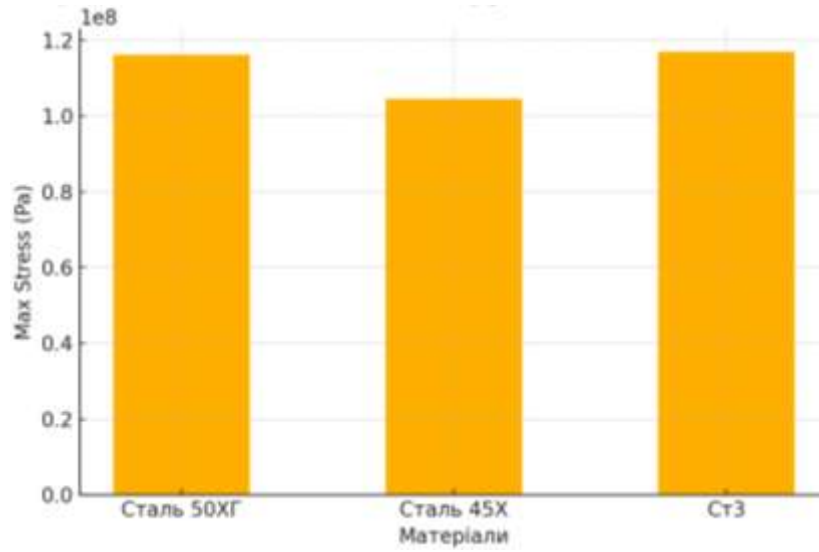


Рис. 5.4 - Порівняння максимального напруження (Па) між випадками

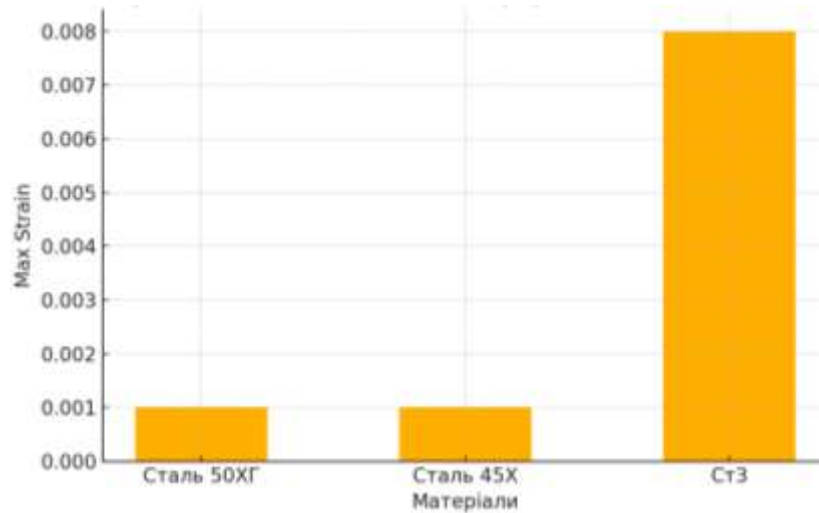


Рис. 5.5 - Порівняння максимальної деформації між випадками

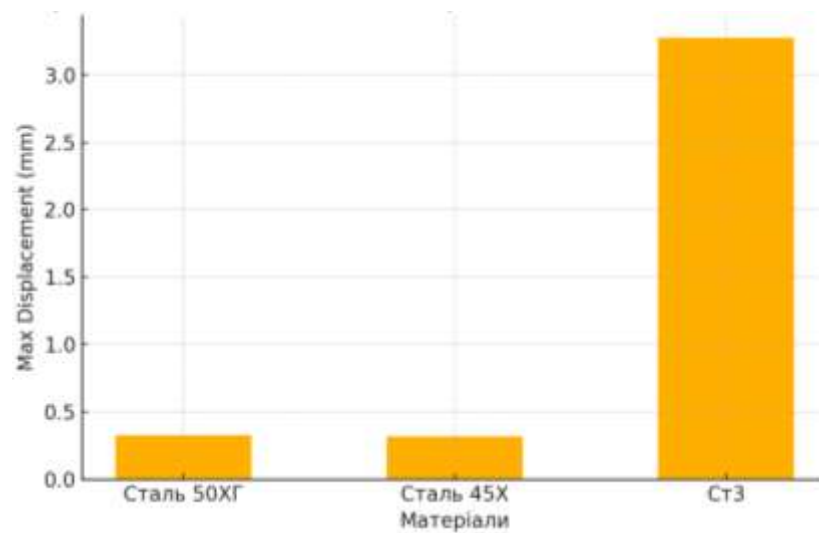


Рис. 5.6 - Порівняння максимального переміщення (мм) між випадками



*Design Study* (Дослідження проектування) має також свої налаштування, які відображені на рис. 5.9, де ми маємо за мету максимізувати  $K_{зм}$ .



Рис. 5.9 – Вікно налаштувань дослідження проектування

Провівши розрахунок товщини пластини відповідно до заданих умов її роботи з врахуванням змінних і мети отримуємо наступний результат (рис. 5.10).

	Current	Initial	Optimal (t)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7
Товщина пластини	4mm	4mm	7mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm
Minimum Factor of Safety1 (10.000000 - 20.000000)	1.580e+01	1.580e+01	1.946e+01	1.250e+01	1.110e+01	1.913e+01	1.889e+01	1.333e+01	1.946e+01	1.838e+01
Minimum Factor of Safety2 Maximize	1.580e+01	1.580e+01	1.946e+01	1.258e+01	1.110e+01	1.913e+01	1.609e+01	1.333e+01	1.946e+01	1.838e+01

Рис. 5.10 – Таблиця результатів дослідження проектування

З даних результатів бачимо, що *Design Study* (Дослідження проектування) після розрахунків запропонувало товщину пластини виконати в розмірі 7 мм, що збільшить  $K_{зм}$  до 19,5, а це в свою чергу подовжить життєвий цикл деталі і кондиціонера косарки на 32% в цілому.

## **6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **6.1 Аналіз травматизму для підприємства**

В інженерній службі господарства передбачена посада інженера техніки безпеки. До його обов'язків входить перевірки техніки безпеки на всіх виробничих ділянках, організація робіт з безпеки праці тощо. Спільно зі спеціалістами структурних підрозділів він розробляє комплексний план покращення умов охорони праці. У його віданні перебуває контроль заявок коштом індивідуального захисту, контроль над правильністю та своєчасністю видачі спецодягу, спецвзуття та засобів індивідуального захисту.

Інженер з техніки безпеки веде журнал травматизму, та кожен нещасний випадок розглядається з його безпосередньою участю.

Інструктаж оформляють у журналі із зазначенням дати інструктування, відомості про інструктованих та інструктора з їх підписами.

Вся документація щодо реєстрації інструктажів зберігається до закінчення потреби у посадових осіб, відповідальних за проведення інструктажу.

Головними причинами травматизму є порушення виробничої дисципліни та нехтування елементарними правилами техніки безпеки.

### **6.2 Стан техніки безпеки у господарстві**

Важливим недоліком випуску транспортних засобів на лінію є відсутність обладнаного посту. Огляд проводиться біля місць паркування транспорту.

Найчастіше автомобілі виїжджають на лінію без огляду. У тракторів та тракторних причепів огляд проводиться рідко і зазвичай експлуатуються без звукової та світлової сигналізації. На механізмах та агрегатах відсутні засоби захисту та безпеки. Дещо краще йде справа з електроустановками та захистом від електричного струму. Майже всі механізми мають різні види заземлення. До найнебезпечніших дільниць відноситься механізований струм. На багатьох

ділянках не проводяться випробування підйомно-транспортного обладнання, недостатня кількість підставок, багато електропускачів, вимикачі в аварійному стані.

Вантажно-розвантажувальні механізми мають несправну пускову систему, а також зупинну та аварійну. На гідрофікованих підйомниках немає обмежувачів підйому, а також обмежувальних ґратів.

### **6.3 Стан виробничої санітарії**

Не всі виробничі приміщення відповідають санітарним та будівельних норм. Так у автомобільному гаражі відсутня система вентиляції, у тракторному гаражі вона перебуває у несправному стані.

Норми вмісту  $CO_2$  на початку та наприкінці зміни перевищують усі ГДК. На виробничі ділянки відсутні теплі санвузли. Відсутні або знаходяться в розграбованому стані душові та кімнати відпочинку, також відсутні роздягальні.

Усі працюючі щорічно проходять профогляд у районній лікарні, де виявляються професійна приналежність до виконання робіт за станом здоров'я. Робочі пов'язані з отрутохімікатами проходять медогляд 2 рази на рік.

Спецодяг, спецвзуття, засобами індивідуального захисту забезпечуються в повному обсязі.

### **6.4 Оцінка безпеки та розробка заходів щодо безпечної експлуатації модернізованої косарки КРН-2,1**

1) Не допускати до роботи осіб, які не мають посвідчення на керування трактором.

2) Перед початком руху або пуском косарки необхідно переконатися, що зазначені дії не загрожуватимуть будь-кому.

3) Не дозволяти людям перебувати попереду косарки під час роботи на місці та під час руху по полю.

4). Не ремонтувати і не регулювати машину під час руху та на стоянці при працюючому двигуні.

5) Косарка на зберігання повинна встановлюватися на спеціальні підставки або тверді рівні основи, що забезпечують стійкість.

6) Дотримуватись правил техніки безпеки при знаходженні біля не огорожених шківів і валів, що обертаються.

7) Не допускається робота з несправним інструментом, розщепленими ручками молотка, голівкою зубила і т.д.

8) Забороняється під час роботи косарки змащувати підшипники.

9) Не можна працювати в незручному чи розвивається одязі.

10) Не палити на тракторі поблизу хлібної маси.

11) Щоб уникнути поранення рук при заміні ножа одягати рукавиці та направляти ніж у ротор тільки дерев'яною палицею-оправкою. Не зчищати масу з різального апарата руками.

12) Для запобігання загорянню маси, а також для зменшення зносу ременів не допускати буксування клинопасової передачі

13) У разі зупинки косарки відразу ж вимкнути робочі органи, усунути причину буксування і лише після цього продовжити роботу.

14) При виконанні робіт у зоні ріжучого апарату косарку підняти в крайнє верхнє положення та спеціальними упорами заблокувати гідроциліндри.

### **6.5 Заходи безпеки під час заготівлі грубих кормів**

1) Скидання сіна проводиться при швидкості вітру не більше 6 м/с.

2) Перед початком робіт скирдоправи повинні пройти медичне огляд на допуск на роботу на висоті.

3) Швидкість пересування копицетателя з вантажем має перевищувати 3 км/год, без вантажу – 17 км/год.

4) Стягувальні пристрої повинні забезпечувати стягування маси за один прийом. Кінці тросів повинні досягати гака трактора не ближче 3 м і не далі 4м.



## 6.6 Аналіз стану пожежної безпеки

Пожежна безпека у господарстві перебуває у незадовільному стані. Основні причини пожеж у полі - іскри, що вилітають із вихлопних труб двигунів тракторів комбайнів, автомобілів та інших машин, попадання соломи та трави на нагріті частини двигунів, необережне поводження з вогнем, порушення заходів протипожежної безпеки.

Для організації пожежної та сторожової охорони, постійного контролю та керівництва роботою з гасіння та попередження можливих пожеж у сільській місцевості має бути відповідальна особа у кожному господарстві. У з метою посилення роботи з попередження пожеж та боротьби з ними організують добровільні пожежні дружини.

Усі особи, які знову надходять на роботу в господарство, повинні бути проінструктовано про заходи пожежної безпеки.

Відповідальність за протипожежний стан на тій чи іншій ділянці покладається персонально на бригадирів, завідувачів майстерень, керуючих відділеннями (радгоспів) тощо.

Двигуни тракторів, самохідних шасі та самохідних машин повинні утримуватися в повній справності і чистоті. Особливо слід стежити за чистотою колектора та вихлопної труби. Не допускати їх забруднення пилом, паливом, соломою, сіном тощо. Потрібно стежити за справністю прокладок між колектором та блоком.

Не можна допускати патьоків масла та палива в двигуні. Одна з основних вимог – треба застосовувати лише справні машини, що обладнані комплектом протипожежних засобів.

Під час роботи машин не можна допускати намотування соломи на частини елементів обертових машин, на вали і шківи пасових і ланцюгових передач. Внаслідок тертя намотаних на рушійні частини сухих стебел рослин може виникнути загоряння та пожежа.

Не можна ремонтувати і очищати паливопроводи, що засмітилися, якщо двигун працює або не охолонув після зупинки.

У разі займання нафтопродуктів на тракторі забороняється заливати їх водою. У цьому випадку гасити вогонь над вогнегасником, закидати землею, піском, накривати повстю, брезентом. Трактори, зайняті на заготівлі кормів, мають працювати із закритими капотами. Під час збирання треба ретельно стежити за справністю електроустаткування та електропроводки. Найменша помилка може завдати шкоди.

Якщо необхідний тривалий ремонт машин під час заготівлі грубих кормів їх слід відвести від трав'яного масиву на відстань не менше 30 м, місце ремонту опахати (не менше 4 м).

Не можна під час грози заправляти трактори та інші машини заправних пунктах, зберігати паливо та олії біля скірт соломи та сіна. Забороняється розводити багаття, курити і кидати недопалки в недозволених місцях.

## **6.7 Безпека життєдіяльності у надзвичайних ситуаціях**

Аналіз розвитку сучасних засобів масового ураження показує, що у разі розв'язування ймовірних супротивників ядерної війни ефективність захисту населення багато в чому залежатиме від якості заходів цивільної оборони у сільській місцевості. Тут створюються необхідні умови для прийому евакуйованого населення та його подальшої життєдіяльності.

Стійке функціонування сільськогосподарського виробництва покликане забезпечити життєдіяльність не лише сільського населення, а й прибув із міст з евакуації.

У планах економічного та соціального розвитку важливе місце займають питання підвищення стійкості функціонування сільськогосподарського виробництва в екстремальних умовах як мирного, так і воєнного часу.

Усі заходи, створені задля забезпечення стійкості функціонування сільськогосподарського виробництва на екстремальних умовах, доцільно

планувати та здійснювати з таким розрахунком, щоб вони якомога більшою мірою збігалися з прогресивними тенденціями розвитку народного господарства і, таким чином, щоб максимум результатів досягався за мінімальних витрат спеціальних коштів на цивільну оборону.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування сільськогосподарського виробництва у воєнний час є:

- захист робітників, колгоспників, членів їх сімей, евакуйованого населення від зброї масового ураження;
- забезпечення життєдіяльності населення;
- раціональне розміщення об'єктів сільськогосподарського виробництва;
- підготовка об'єктів сільськогосподарського виробництва до роботи в умовах воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт з відновлення об'єктів сільськогосподарського виробництва за умов воєнного часу;
- підготовка системи управління сільськогосподарським виробництвом для вирішення завдань воєнного часу.

Радикальним засобом підвищення стійкості сільського електропостачання є застосування замість повітряних ліній, підземних кабельних, які не ушкоджуються ударною хвилею та світловим випромінюванням, не бояться ураганних вітрів, зледенінь, грозових перенапруг. Однак, поки що задовольнити сільське господарство кабельною продукцією найближчим часом неможливо. Отже, потрібно максимально підвищити стійкість роботи повітряних ліній електропередач, а також передбачити автономні джерела електропостачання, використання тракторних двигунів замість електромоторів, створення резервних дизельних електростанцій малої потужності.

Оцінюючи стійкості функціонування енергетичних систем машинно-тракторного парку слід основну увагу приділити питанням постачання паливом та ПММ, оскільки їх відсутність може повністю паралізувати роботу резервних джерел енергопостачання (резервних дизелів, пересувних електростанцій,

котелень, які використовують як паливо нафтопродукти), а машинно-тракторний парк, що залишився без палива приречений на бездіяльність.

У цьому випадку потрібно передбачити можливість переведення частини споживачів на місцеві види палива (вугілля, дрова, торф, газ тощо).

Основу всіх заходів щодо стійкості становить захист населення:

- проектування та будівництво захисних споруд;
- накопичення фонду засобів індивідуального захисту;
- підготовка заміської зони з урахуванням евакуаційних заходів;
- забезпечення життєдіяльності населення в заміській зоні.

Фонд захисних споруд у сільській місцевості невеликий і складає поки що лише найпростіші укриття. А з урахуванням еваконаселення потреба в захисних спорудах різко зростає. В цьому випадку можна і потрібно використовувати великі можливості збільшення фонду ПРУ на об'єктах сільськогосподарського виробництва, і здійснити це за мінімальних витрат (дообладнання до норм ПРУ підвалів, льохів та інших заглиблених приміщень, будівництво найпростіших укриттів силами еваконаселення з використанням підручних матеріалів).

Поряд із укриттям населення у захисних спорудах, все населення має бути забезпечено індивідуальними засобами захисту. З метою наближення засобів індивідуального захисту до споживачів та скорочення термінів їхньої видачі потрібні складські приміщення. Це особливо важливо для районів, що безпосередньо прилягають до хімічно небезпечних міст та об'єктів, які виробляють або використовують у технології сильнодіючі отруйні речовини.

Підготовка заміської зони з урахуванням евакозаходів має проводитися заздалегідь і включати:

- дослідження населеного пункту, призначеного для розміщення об'єкта (населення), його можливості (паливо-енергетичні ресурси, наявність житлового фонду, захисних споруд, стан доріг та мостів, можливості засобів

зв'язку, наявність складських приміщень для розміщення вивезених матеріальних цінностей та ін.);

- накопичення в заміській зоні житлового фонду підприємств (будинки відпочинку, профілакторії, туристичні бази, табори для дітей тощо);
- розгортання дубльованих цехів та підприємств.

Під час виконання евакозаходів кількість населення у заміській зоні різко зросте, тому для забезпечення життєдіяльності населення необхідно передбачити наступне:

- забезпечення всього населення продуктами харчування та предметами першої необхідності;
- медичне забезпечення;
- організацію навчального процесу;
- працевлаштування евакуйованого населення;
- підготовку невоєнізованих формувань ТО для ведення робіт не лише у сільській місцевості, а й на промислових об'єктах сусіднього міста.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було оптимізовано розроблену модернізовану конструкцію косарки КРН-2,1 з кондиціонером, що дозволило суттєво підвищити ефективність процесу заготівлі грубих кормів. Проведені теоретичні дослідження, комп'ютерне моделювання у SolidWorks та експериментальні розрахунки дали змогу отримати результати досліджень.

Максимальне напруження в модернізованих деталях, таких як планки, виготовлені зі сталі 50ХГ, становить 116,2 МПа, що забезпечує коефіцієнт запасу міцності  $K_{zm} = 10$ .

Товщина планки, автоматизовано визначена за результатами досліджень, оптимально становить 7 мм, що підвищує її довговічність у 2 рази порівняно з базовою конструкцією. Максимальне переміщення деталей у конструкції скорочено на 3,277 мм, що значно підвищує її стійкість до навантажень. Використання сучасних методів моделювання дозволило скоротити час проектування на 25% у порівнянні з традиційними методами.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованих змін, що забезпечують підвищення надійності, продуктивності та довговічності косарки, а також зменшення втрат під час заготівлі кормів. Модернізована конструкція має широкі перспективи впровадження в сільськогосподарське виробництво.

Зменшення часу підв'ялювання скошеної маси зрештою призведе до скорочення часу збирання, а отже, і до покращення якості зібраного врожаю. Це в подальшому допоможе отримати більше прибутку від використання більш якісного продукту (великий плюс до ваги ВРХ, збільшення надоїв молока тощо).

Крім цього, у КР були розглянуті питання охорони праці працівників, проведено аналіз заходів щодо протипожежної безпеки. Розроблено заходи щодо покращення роботи з охорони праці у господарстві.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Трончук І.С., Рак Т. М., Чижанська Н. В. Структура і поживність раціонів для дійних корів із річним надоєм молока від 6 до 9 тисяч кілограмів. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2012. № 1. С.107–111.
2. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.:
3. Косарка дискова Mewa 1,65. Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 1601/0712-02-2012. Магерів, 2012.
4. Косарки-плющилки дискові серії ALTERNA. Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК №1679/0706-02-2013. Магерів, 2013.
5. Косарки дискові серії GMD SELECT. Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 1675/0707-02-2013. Магерів, 2013.
6. Косарки навісні барабанні серії DRUMCUT. Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 1673/0714-02-2013. магерів, 2013.
7. Косарки навісні дискові серії SILVERCUT, Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 1664/0716-02-2013. Магерів, 2013.
8. Косарка-плющилка дискова FC 303 RGC. Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 1659/0708-02-2013. Магерів, 2013.
9. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. Посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.
10. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996. 384 с.
11. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Волянський М.С. та ін. Курсові роботи. К.: Видавничий центр НАУ, 2006. 134 с.

12. Каталог KUHN. Тройні комбінації дискових косарок. GMD 1023 F / GMD 1025 F / GMD 1011 / GMD 1030 / GMD 1051 TC FC 1025 F / FC 1015 / FC 1030 / FC 1030 RA. 40 с.

13. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. закл. К.: Урожай, 2002. 364 с.

14. Рибак Т.І., Бабій М.В. Дослідження процесу енергоспоживання різальними апаратами сучасних косарок. Матеріали ІХ-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». КНТУ, 2013. С.140 – 142.

15. Бабій А.В., Рибак Т.І., Бабій М.В. Аналіз конструктивних особливостей приводних 173 механізмів косарок сегментно-пальцевих. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ. Том II Матеріалознавство та машинобудування. Тернопіль, ТНТУ, 2012. С. 124.

16. Дідух В.Ф., Буснюк С.В. Ефективність використання технологічних систем в агропромисловому комплексі. Сільськогосподарські машини. 2013. Вип. 24. С. 109-118.

17. Рибарук В.Я. Сільськогосподарські машини. Практикум з розрахунку і дослідження робочих процесів. Л.: За вільну Україну, 1998. 263 с.

18. Рибак Т., Бабій М., Бабій А. Експериментальні дослідження приводу косарки. Тези доповідей XVIII-ї наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 29- 30 жовтня 2014 року. С.84-85.