

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процеси, машини і обладнання

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

ПОЛІЩУК ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 631.354

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Оптимізація параметрів і режимів роботи універсального
шнекового ріжучого апарату**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ О.С. Поліщук

Керівник роботи

Сукманюк О.М.

кандидат історичних наук, доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Поліщук Олександр Сергійович. Оптимізація параметрів і режимів роботи універсального шнекового ріжучого апарату. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В результаті статистичної обробки даних випробувань косарок, кормозбиральних комбайнів, жниварок встановлено, що висота зрізу зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами в середньому на 67 % менше, ніж у косарок з сегментними та ротаційними ріжучими апаратами і зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами, хоча робоча ширина захвату в 2,5 рази менше, ніж у зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами. Розроблений багатофункціональний універсальний шнековий ріжучий апарат, може бути використаний для зрізу зернових (пшениці, ячменю та ін.), просапних культур (кукурудзи, соняшнику) та інших рослин (очерету, чагарників, трав), як у жниварках кормоуборочних та зернозбиральних комбайнів, так і косарках. В результаті обробки експериментальних даних з різання стебел комбайном Тисано 450 з жниваркою С660, встановлено, що по втратах зерна варіанти різняться не суттєво при швидкостях 5-8 км/год. Обробкою експериментальних даних з різання стебел комбайном Togun 740 з жниваркою Power Stream 700 встановлено, що за втратами зерна варіанти різняться не істотно при швидкостях 5-9 км/год, що підтверджує доцільність використання жниварки без мотовила при роботі на вивчених швидкостях руху комбайну.

Ключові слова: шнек, зріз, мотовило, комбайн, косарка, ріжучий апарат.

ANNOTATION

Polishchuk Alexander Sergeevich. Optimization of Parameters and Modes of Operation of the Universal Screw Cutting Device. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

As a result of statistical processing of test data of mowers, forage harvesters, harvesters, it was found that the cutting height of grain harvesters with segmental cutters is on average 67% less than mowers with segmental and rotary cutters and grain harvesters. capture is 2.5 times less than that of grain harvesters with segmental cutters. Developed multifunctional universal auger cutting machine, can be used for cutting cereals (wheat, barley, etc.), row crops (corn, sunflower) and other plants (reeds, shrubs, grasses), as in forage harvesters and combine harvesters mowers. As a result of processing experimental data on cutting stems with a Tucano 450 combine with a C660 harvester, it was found that the variants of grain losses do not differ significantly at speeds of 5-8 km / h. Processing of experimental data on cutting stems with a Torum 740 combine with a Power Stream 700 harvester showed that the variants of grain losses do not differ significantly at speeds of 5-9 km / h, which confirms the feasibility of using a harvester without a reel when working at the studied speeds.

Keywords: auger, cut, reel, combine, mower, cutting machine.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІЖУЧИХ АПАРАТІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

ВСТУП

З метою підвищення ефективності роботи машин для зрізу та збирання культур сільськогосподарського призначення доцільно вдосконалювати робочі органи сільськогосподарських машин. У сучасних економічних та політичних умовах (зміна курсу валют, рецесія в економіці) збільшення виробництва не може бути досягнуто лише шляхом збільшення посівних площ. Вирішення цього питання може бути пов'язане з використанням принципів ресурсозбереження та універсальності, а також пошуком альтернативних схем конструкцій робочих органів та принципів роботи машин.

Ефективність скошування рослин сільськогосподарських культур залежить від стану поверхні, фізико-механічних властивостей та біометричних характеристик стебел, типу ріжучого апарату, вимог до подрібнення або видалення скошених стебел.

До основного недоліку сегментно-пальцевого апарату можна віднести низьку швидкість при зрізі. Також обертальний рух перетворюється на зворотно-поступальний. Сегментно-пальцеві ріжучі апарати не забезпечують задовільного скошування рослинності на поверхні з кутом понад 30° .

Існуючі ріжучі апарати не забезпечують одночасний зріз, збирання, подрібнення та видалення скошеної маси. Тому підвищення ефективності скошування рослин за рахунок розробки багатофункціонального універсального шнекового ріжучого апарату є актуальним завданням.

Мета і задачі дослідження. Мета досліджень розробка багатофункціонального універсального шнекового ріжучого апарату.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати існуючі ріжучі апарати;
- Розробити методику досліджень та конструкцію багатофункціонального універсального шнекового ріжучого апарату;
- Провести лабораторні та польові дослідження.

Об'єкт дослідження: процес скошування сільськогосподарських культур.

Предмет дослідження: вплив конструктивних параметрів та режимів роботи багатофункціонального універсального шнекового ріжучого апарату на якість скошування сільськогосподарських культур.

Методи дослідження. Досліджено виконано з використанням методів землеробської механіки, прикладної фізики та теорії машин і механізмів. Обробку експериментальних методів виконували із застосуванням математичної статистики, методики планування та обробки експерименту за допомогою прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Ярош Я.Д. **Поліщук О.С.** Процес переміщення і різання стебел в лабораторних умовах. Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної онлайн конференції *«Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України»*, присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ. 2021. С. 193-197

2. Сукманюк О., **Поліщук О.** Огляд існуючих ріжучих апаратів. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 51-53.

3. Сукманюк О.М. **Поліщук О.С.** Методика досліджень косарки з універсальним шнековим різальним апаратом. Матеріали МНПК *«Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»* Харків: ДБТУ, 2021. С. 127-130.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських та машинобудівних підприємств представляє розроблений багатофункціональний універсальний шнековий ріжучий апарат.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту містить 3 таблиці і 45 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІЖУЧИХ АПАРАТІВ

Ріжучі апарати збиральних машин можна класифікувати на сегментні та ротаційні (рис. 1.1) [18].

За способом різання різальні апарати косарок діляться на дві групи: що роблять безпідпирний і підпирний зріз рослин [18].

По виду траєкторії руху робочих органів можна розділити на ті що здійснюють зворотно-поступальний і обертальний рух ножів.

Робочий орган косарок, що здійснюють підпирний зріз, здійснює зворотно-поступальний рух ножа при швидкості різання до 20-30 м/с, безпідпирний зріз при обертальному русі ножів зі швидкістю різання 40-70 м/с.

Низька швидкість різання та наявність великих сил інерції є основними недоліками ріжучого апарату сегментно-пальцевого типу. При цьому обертальний рух необхідно змінювати у зворотно-поступальний [18].

До переваг ротаційних косарок можна віднести здатність здійснювати технологічний процес зрізу на високих поступальних швидкостях [1-7].

Косарки з сегментно-пальцевим різальним апаратом працюють при поступальній швидкості 5-10 км/год, а з роторним апаратом – 10-15 км/год.

Косарки з роторним робочим органом споживають більше потужності (15–19 л. 14 к. с.). Застосування косарок з ротаційним робочим органом мають більш високим ККД, оскільки на процес зрізу витрачають 60-65% енергії, що підводиться, в інших косарок цей показник становить лише 30-40% [9].

При зрізі підпирним способом рослин використовують сегментні апарати, швидкість яких становить 1-3 м/с. Швидкість переміщення косарки з трактором 2-6 км/год [2].

Деякі зразки косарок і жниварок з різними ріжучими апаратами представлені на рис. 1.2–1.7.

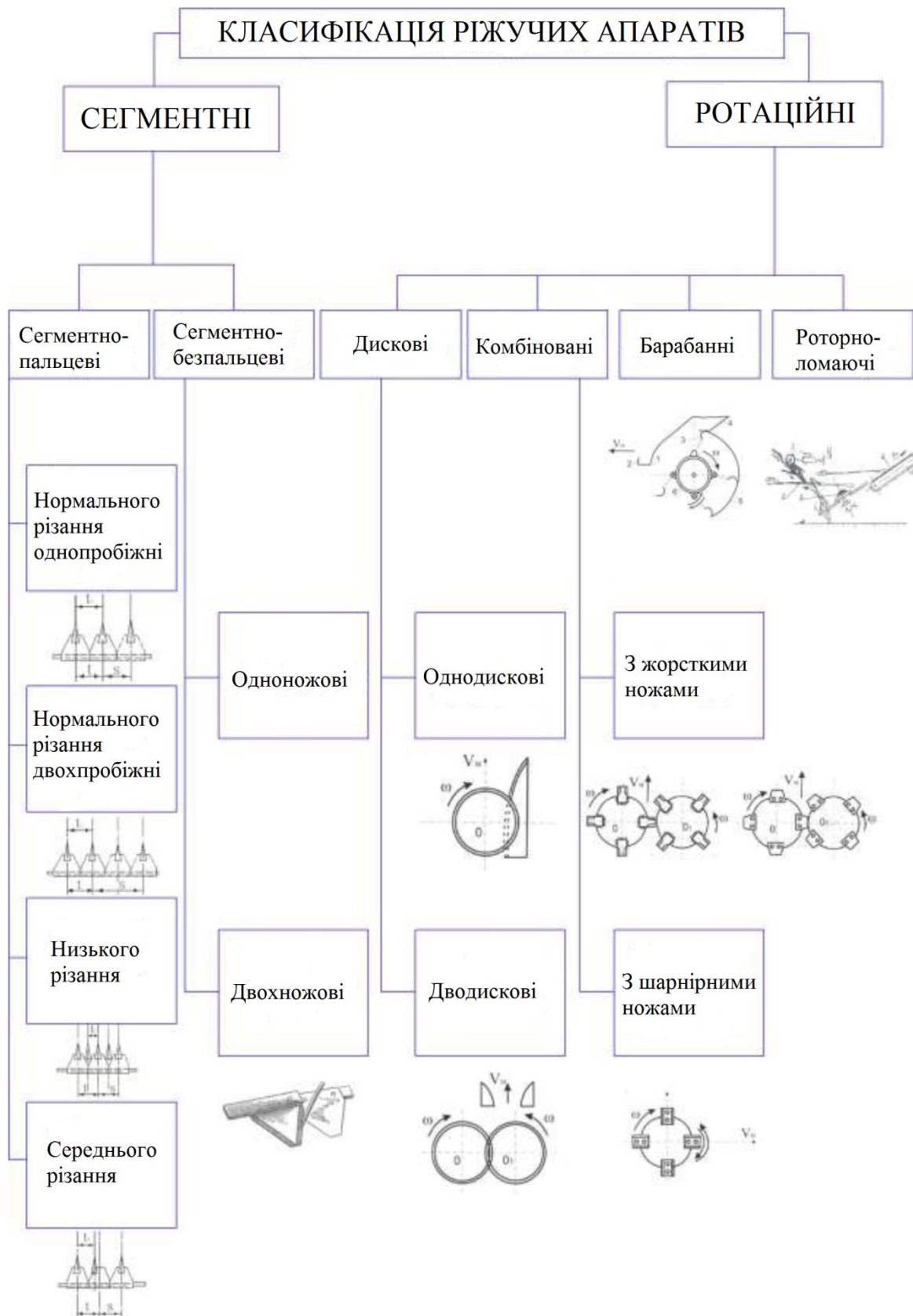


Рис. 1.1. Класифікація основних типів різальних апаратів



Рис. 1.2. Косилка КСФ-2,1 з сегментним ріжучим апаратом

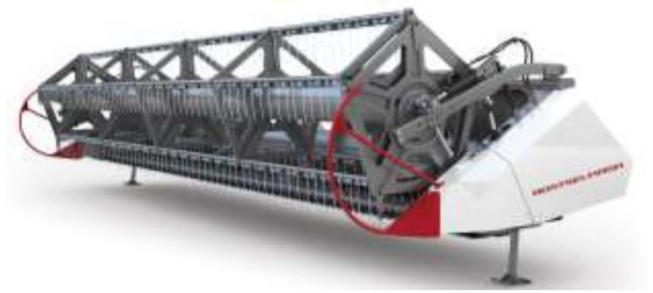


Рис. 1.3. Жнивварка Float Stream з сегментним різальним апаратом



Рис. 1.4. Косарка КРН-2,1Б з ротаційним різальним апаратом



Рис. 1.5. Косарка Z010/2 з дисковим різальним апаратом



Рис. 1.6. Косарка Hydraulic TG4650 з барабанним різальним апаратом

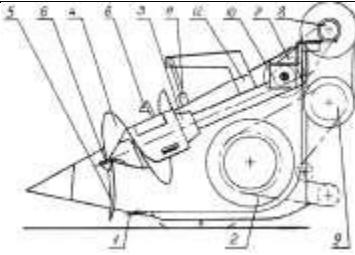
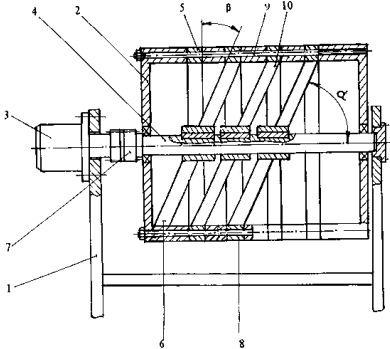
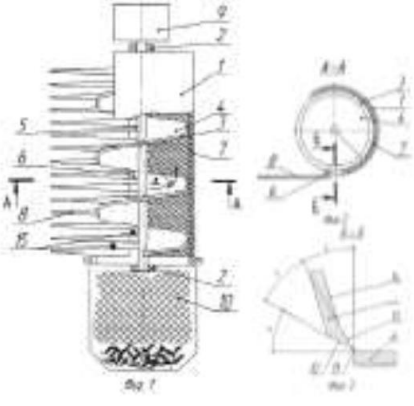
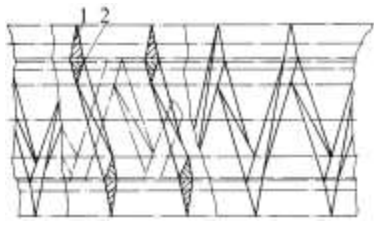
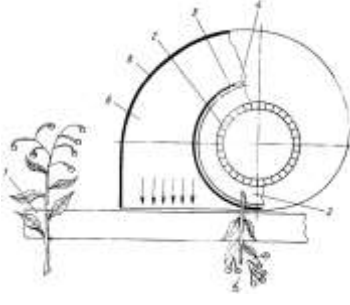


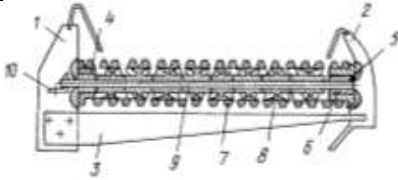
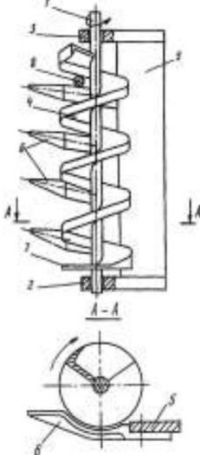
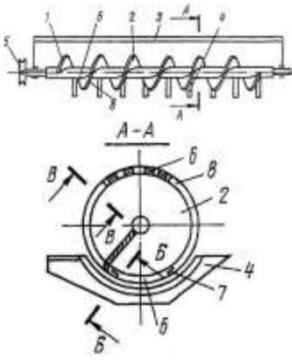
Рис. 1.7. Роторна жнивварка ЖР-6000 з ротаційним різальним апаратом

Результати патентного аналізу показані у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати патентного огляду та аналізу різальних апаратів

Ілюстрація	Опис	Недоліки
	<p>Різуча система виконана у вигляді плоского диска, встановленого під корпусом на валу маховика, причому система приводу розкручується за допомогою важеля</p>	<p>Незручність та складність приводу</p>
	<p>Косарка забезпечена колісною кареткою, вісь якої розташована за центром ваги косарки, радіо її коліс не менше середньої висоти зрізу рослин, що скошуюються. Різучий апарат має дільники, які відводять стебла.</p>	<p>Вузькоспеціалізована</p>
	<p>Різучий апарат містить привід, що має вал і дві зірочки, а також зірочки і проміжний вал. Технологічний процес полягає у обертанні валу, що йде на пружини і відбувається скошування</p>	<p>Не забезпечує додатковий збір та подрібнення стебел.</p>
	<p>Має брус, елемент для різання, елемент протирижний трикутної форми. Елемент для різання містить диски за формою двотавра</p>	<p>Відсутність якісного зрізу стебел</p>
	<p>Ніж має елементи з криволінійною поверхнею (протирижучі). У пальців цих елементів крок відрізняється від кроку витків. Апарат також містить пристрій для відгину, який розміщений на внутрішній поверхні</p>	<p>Можливість вислизання рослин із різучої пари. Не забезпечує додатковий збір та подрібнення стебел.</p>

	<p>Підняті спіральним елементом рослини зрізують різальним апаратом протягом одного повороту спірального елемента</p>	<p>Складність збирання зернових культур. Не забезпечує додатковий збір та подрібнення стебел.</p>
	<p>Ріжуча пара виконана у вигляді двох взаємодіючих дисків. Один диск виконаний у вигляді кільця і встановлений на валу з можливістю вільного обертання навколо його поздовжньої осі, другий - встановлений під маленьким кутом до осьової лінії</p>	<p>Складність виготовлення та експлуатації пара виконана у вигляді двох взаємодіючих дисків.</p>
	<p>Має ніж у вигляді гвинта з кутом ріжучого краю від 15 до 500. Внутрішня поверхня корпусу має протиріжучі елементи, розташовані по гвинтовій лінії під кутом від 15 до 45 до кута нахилу лінії пера шнека. Між протирізальними пальцями в корпусі виконані калібрувальні отвори</p>	<p>Можливість вислизання рослин з ріжучої пари. Не забезпечує додаткове подрібнення стебел</p>
	<p>Ріжучий апарат включає привід і різальний елемент, виконаний у вигляді двох вставлених один в одного гвинтових спіралей. Спіралі виконані з однаковим кроком та з поперечним перерізом у вигляді рівнобедреного трикутника. Висота трикутника перевищує його основу</p>	<p>Можливість вислизання рослин з ріжучої пари. Не забезпечує додаткове подрібнення стебел</p>
	<p>Ріжучий робочий орган і кожух з вивантажним вікном, по периферії лопатей вентилятора, які утворюють циліндричний контур, встановлений гвинтовий ніж, а на кожусі закріплений протиріжучий ніж, що має форму кільця, поверхня кожуха виконана за формою спіралі</p>	<p>Не має універсальності</p>

	<p>Містить пружинний протиризальний елемент. Елементи для різання мають двотаврові диски</p>	<p>Можливість вислизання рослин із ріжучої пари.</p>
	<p>Містить гвинтовий ніж, що обертається, розташований над брусом з протиризальними пальцями, виконаними по дугах кіл, центри яких зміщені з віссю обертання ножа, з метою підвищення надійності в роботі, кінець ножа має форму диска</p>	<p>Можливість вислизання рослин із ріжучої пари. Не забезпечує додатковий збір та подрібнення стебел.</p>
	<p>Гвинтовий ніж виконаний з елементів, що чергуються: знімних ріжучих і жорстко закріплених підводять, дані елементи встановлені попарно між сусідніми пальцями. При обертанні шнека стебла рослин захоплюються підводять елементами і переміщуються в зону різання до ріжучих елементів і пальців, де відбувається защемлення цих стебел і зріз</p>	<p>Можливість вислизання рослин з ріжучої пари. Не забезпечує додатковий збір та подрібнення стебла</p>

В результаті патентного аналізу можна помітити, що рядом авторів запропоновано шнековий різальний апарат, проте представлені конструкції допускають вислизання рослин з ріжучої пари і не забезпечують додаткового подрібнення та збирання стебел [18].

Основним робочим органом пропонованого нами ріжучого апарату є шнек, тому представимо класифікацію гвинтових транспортерів (шнеків).

Залежно від виду матеріалу, що переміщується і призначення шнеки бувають (рис. 1.8):

- суцільні – для сипких та рідких вантажів;
- стрічкові – для крупнокускових і вантажів, що злипаються;

- лопатеві – для сильно злипаючих та волокнистих вантажів для активного їх перемішування;
- спіральні – для криволінійного переміщення у гнучких трубопроводах.



Рис. 1.8. Класифікація шнеків

У напрямку навівки шнеки можна класифікувати на: ліві; праві; комбіновані.

За кількістю заходів на: однозахідні; багатозахідні.

В результаті аналізу апаратів для зрізу сільськогосподарських культур пропонується універсальний шнековий ріжучий апарат, що здійснює як підпірний, так і безпідпірний зріз (рис. 1.9).

Протирізальними елементами є сегменти. Ріжучою частиною є шнек із різними додатковими ріжучими елементами.

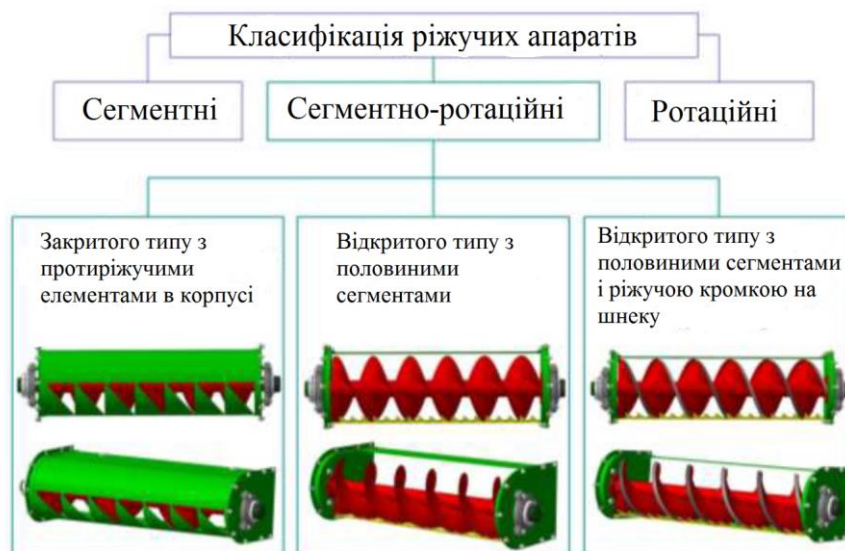


Рис. 1.9. Класифікація з урахуванням нових конструкцій

Новий різальний апарат повинен бути універсальний – мати можливість використання його як в жниварках зернозбиральних комбайнів, так і косарках. При цьому апарат повинен мати багатофункціональність.

При вирощуванні садів і виноградників за інтенсивною технологією, де використовується залуження міжрядь з мульчуванням смуг може бути використаний даний апарат [6]. Залуження міжрядь передбачає багаторазове скошування травостою за період вегетації та транспортування подрібненої маси у стовбурову смугу.

Скошування трави в міжряддях і покривання приствольної смуги матеріалом, що мульчує, доцільно об'єднати в одну технологічну операцію.

Пропонований різальний апарат може бути також використаний в конструкції жнивarki зернозбирального комбайна.

Вихідні вимоги до базових машинних технологічних операцій. Умови застосування Рельєф ділянок, може бути нерівним, мікрорельєф поверхні ґрунту – нерівний (відхилення від 5 до 10 см). Щільність ґрунту на поверхні (0-5 см) ділянок, що скошуються, від 5 до 30 МПа. Вологість ґрунту 5–20 %. косіння трав може здійснюватися на схилах крутістю до 20 °. Вологість трав може становити від 60-85%.

Висновки по розділу

В результаті аналізу апаратів для зрізу сільськогосподарських культур пропонується універсальний шнековий ріжучий апарат, що здійснює як підпирний, так і безпідпирний зріз (рис. 1.9). Новий різальний апарат повинен бути універсальний – мати можливість використання його як в жниварках зернозбиральних комбайнів, так і косарках. При цьому апарат повинен мати багатофункціональність.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

У розділі представлена програма експериментальних досліджень (лабораторні, польові) для перевірки збіжності теоретичних передумов і результатів експериментів. Програма передбачала створення конструктивно-технологічних схем універсального ріжучого шнекового апарату; дослідження різання стебел у лабораторних та польових умовах; оптимізацію геометричних параметрів та режимів роботи шнекового ріжучого апарату для стебел соняшника, кукурудзи та пшениці [19].

Для розширення суміщення операцій зрізу та переміщення стеблів запропоновано косарку з універсальним шнековим різальним апаратом [19].

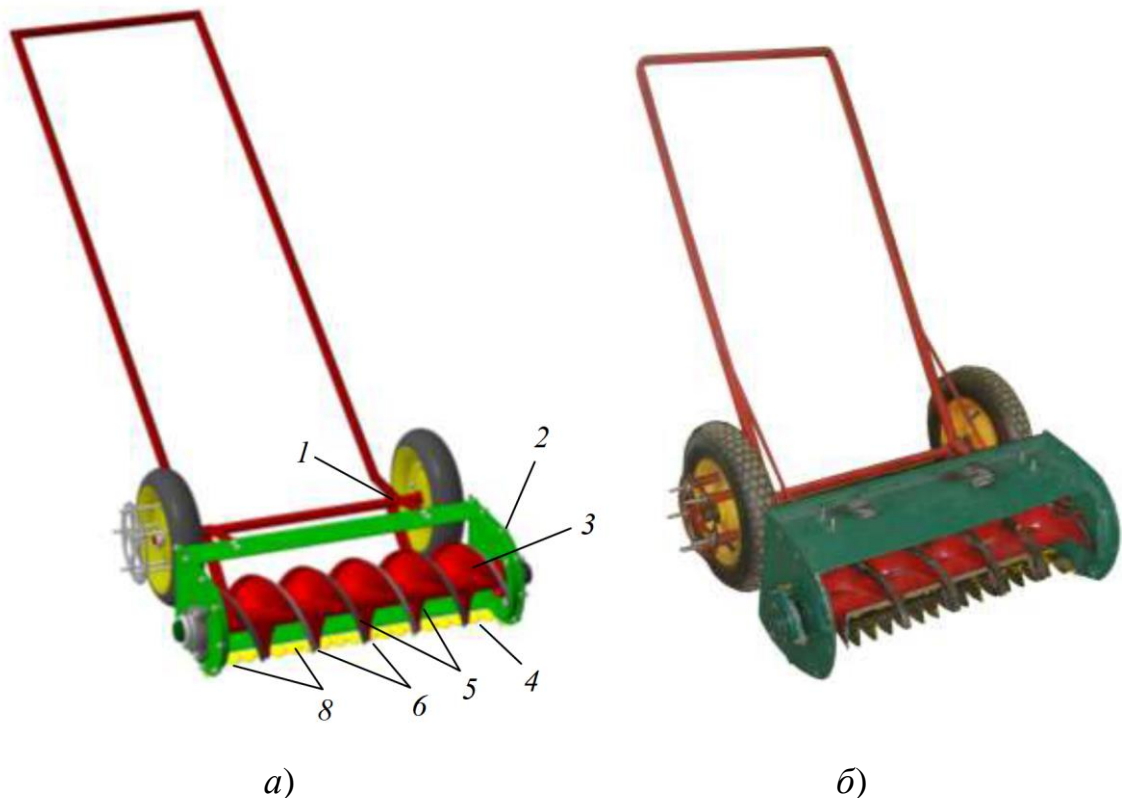


Рис. 2.1. Косарка: *а* – 3D-модель; *б* – експериментальна установка [19].

До спинки 4 (рис. 3.3) закріплені ріжучі сегменти 8, відповідним радіусом (близьким) до радіусу шнека.

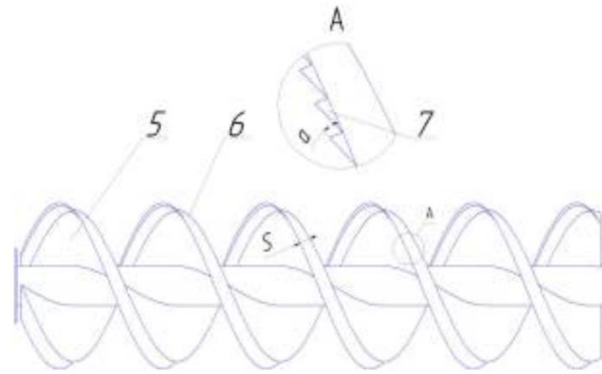


Рис. 2.2. Схема шнека

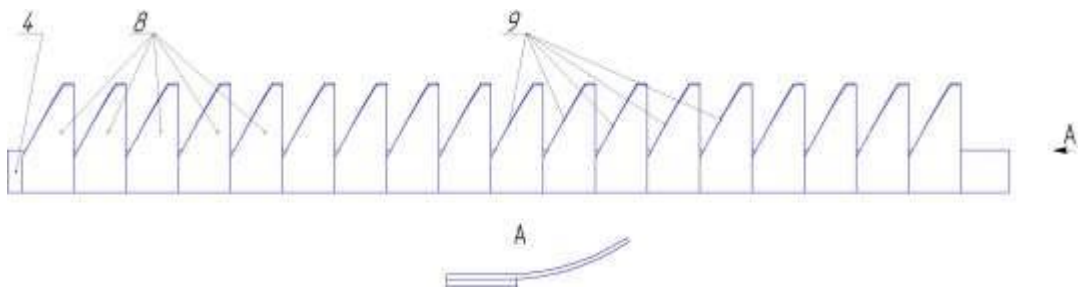


Рис. 2.3. Ніж.

Запропонована жниварка для спрощення конструкції містить шнек 1 (рис. 2.4, 2.5) та протиріжучі сегменти 2 [19].

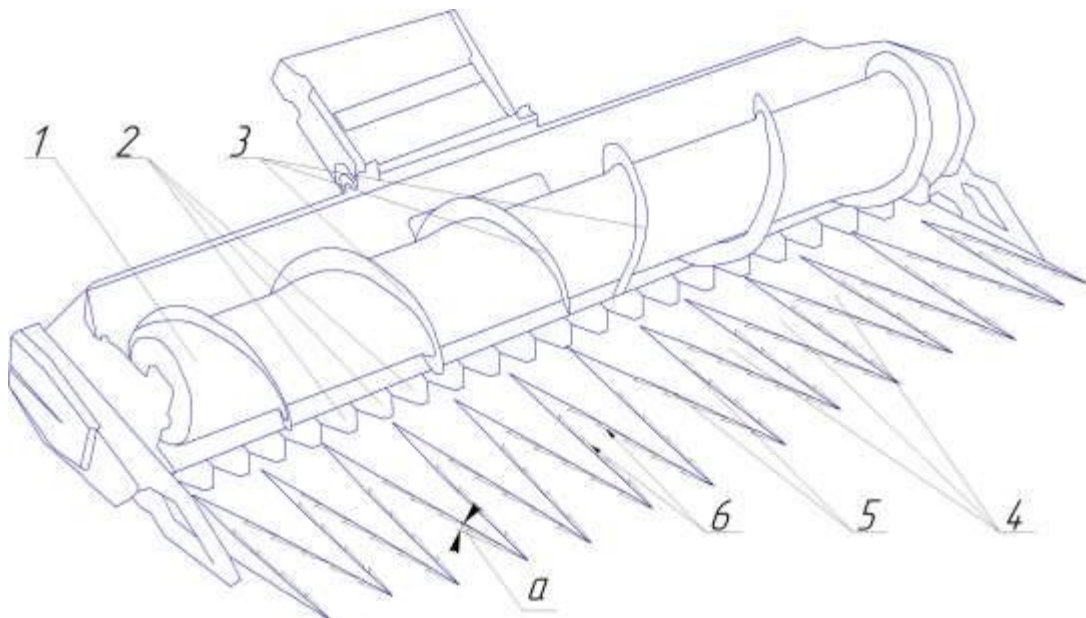


Рис. 2.4. Загальний вигляд жатки зернозбирального комбайна[19].

Шнек має напрямок навивки 3 ліво- та правосторонній. Дільники 4 мають форму рівнобедреного трикутника. Його бічні сторони містять 5 насічку 6, яка спрямована проти руху комбайна (кут менше кута тертя стебел зернових

колосових за матеріалом діляників). Нижня сторона 7 діляників 4 кратна кроку t сегментів 2 [19].

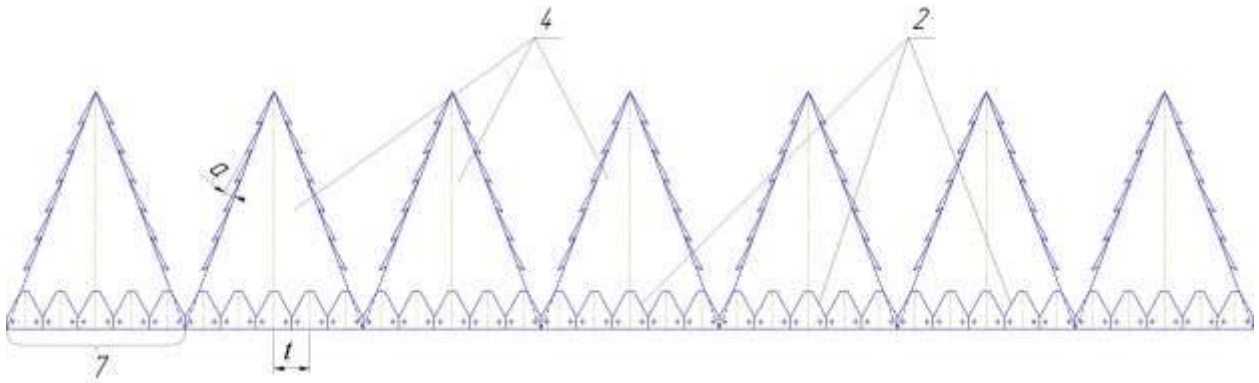


Рис. 2.5. Діляники [19].

Приклад модернізації жнивarki Varіo 900 до комбайна Lexion 620 (рис. 2.6) полягає в наступному. Демонтуються мотовило, шнек, привід ріжучого апарату та встановлюється під шнеком нерухомий брус ріжучого апарату[19].

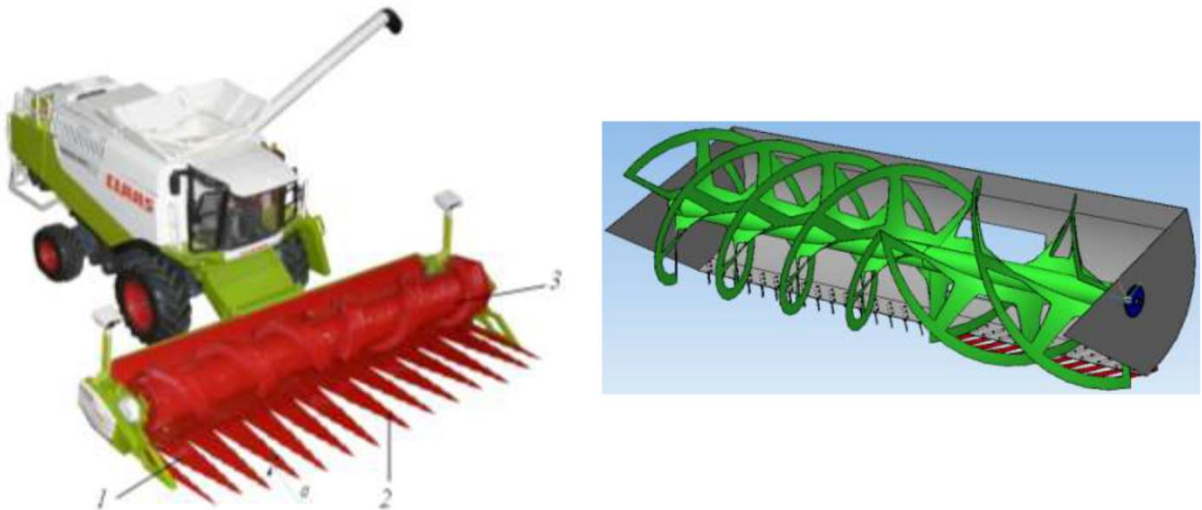


Рис. 2.6. Модернізація Varіo 900 та RSM 100.70: 1 – сегменти; 2 – діляники; 3 – шнек.

У шнековому ріжучому апараті, що складається із шнека та корпусу з вирізами, де лопатка витка забезпечена фторопластовими накладками.

Протиріжучі елементи виконані з нанесенням покриття для збільшення їх механічної стійкості та можливості зрізу рослин різних культур з меншою енергоємністю.

Апарат містить шнек 1 і корпус 2 з вирізами 3 для проходу рослинної маси. Лопата шнека містить 1 накладки з фторопласта 4.

Протиріжучі пластини 5 мають напилення з керамічного покриття і представляють продовження корпусу 2, причому знаходяться на пальцях 6 і закріплені гвинтами 7. Пальці 6 закріплені на корпусі 2

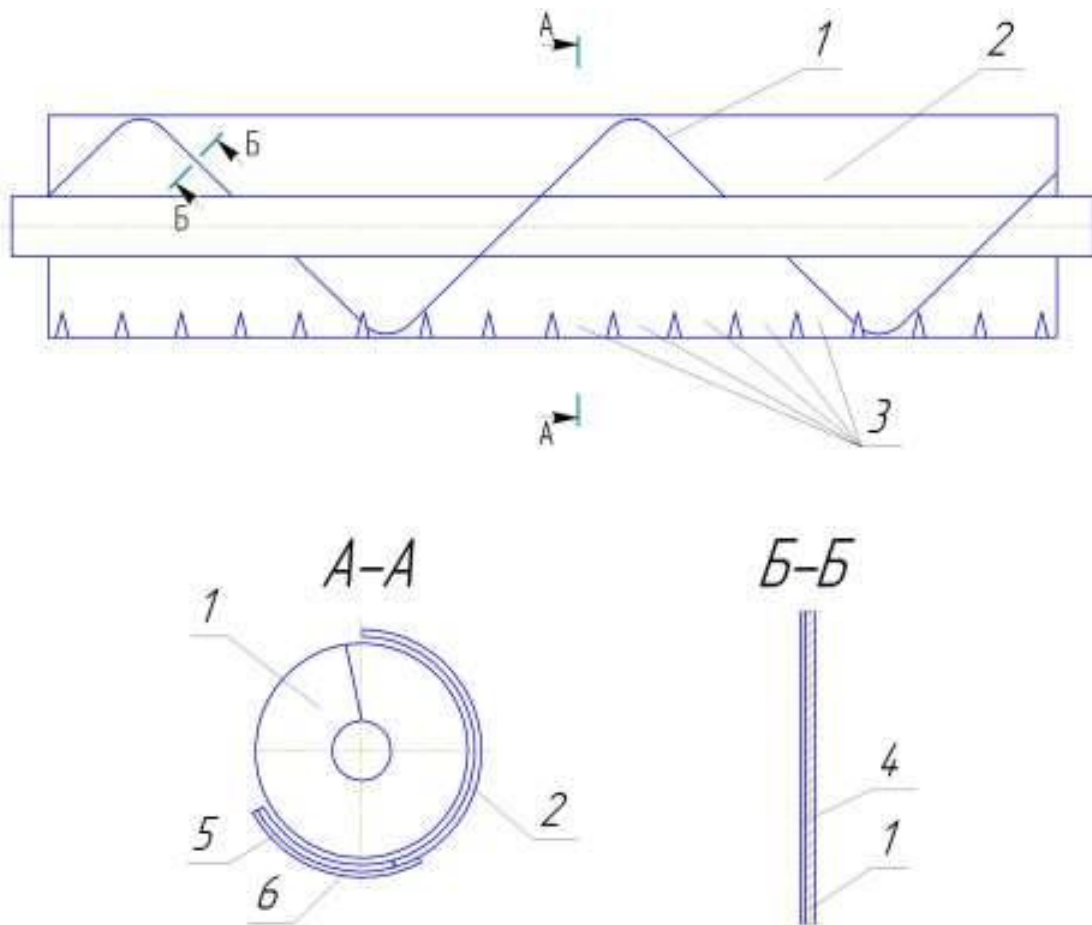


Рис. 2.7. Схема шнекового ріжучого апарату з накладками із фторопласту:
1 – лопаті шнека; 2 – корпус; 3 – вирізи; 4 – накладки з фторопласту; 5 – протиріжучі пластини; 6 – пальці

З метою визначення раціонального кута нахилу витків навивки при зрізі стебел пшениці нами запропонована експериментальна установка, в якій змінювалася площина нахилу диска, що обертається, що імітує навивку витка шнека по відношенню до бруса (рис. 2.9). Частота обертання диска з результатів попередніх досліджень прийнята рівною 600 хв^{-1} .

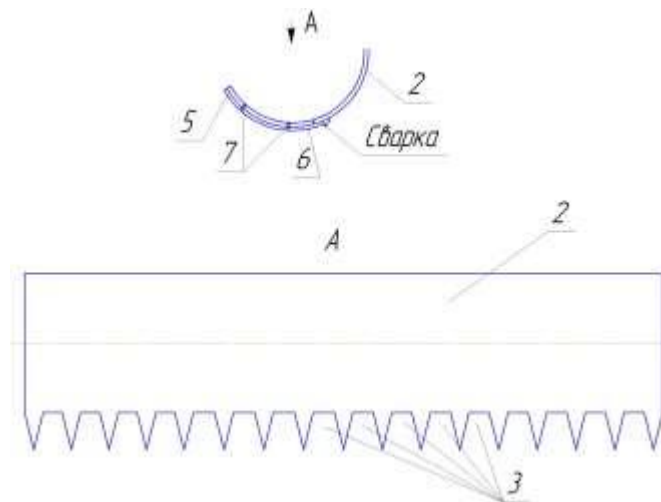


Рис. 2.8. Корпус: 2 – корпус; 3 – вирізи; 4 – накладки з фторопласту; 5 – протиріжучі пластини; 6 – пальці; 7 – гвинти [19].

Процес зрізу знімали відеокамеру Sony Cyber-shot. Потім у програмі Windows Live Movie Maker проводилася обробка (нарізка та монтаж) відеоматеріалу по кадрах [19].

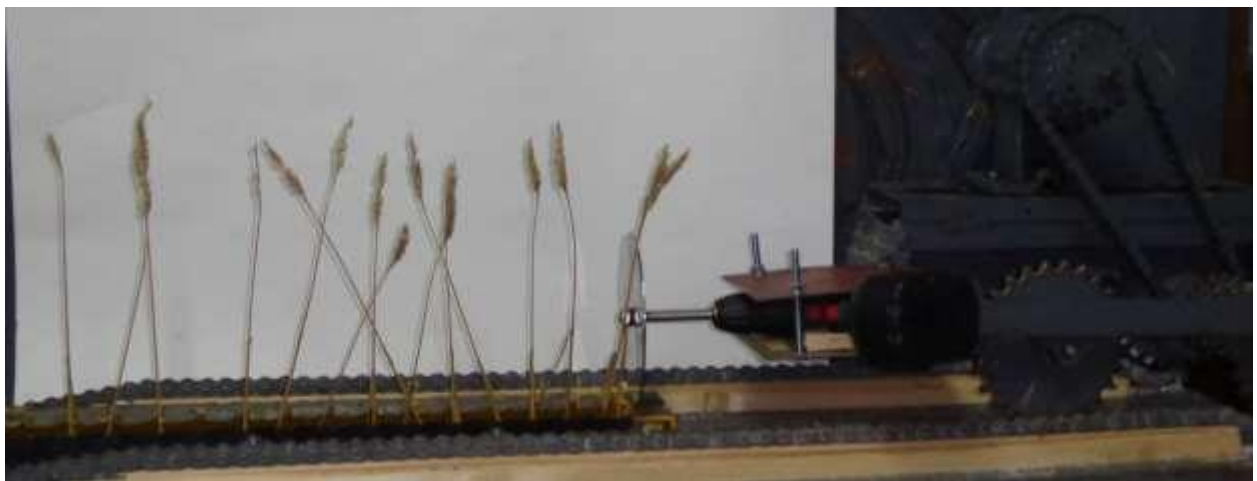


Рис. 2.9. Лабораторна установка: 1 – візок; 2 – дрель; 3 – ланцюги; 4 – диск, що імітує виток шнека; 5 – брус із закріпленими сегментами; 6 – пристрій для закріплення стебел; 7 – стебла пшениці [19].

Метою подальших експериментальних досліджень було виявлення закономірності відгину та переміщення стебел шнеком пропонованим ріжучим апаратом [19].

Для цього проводилося моделювання процесу відгинання стебел двозахідним шнеком (рис. 2.10). Діаметр шнека – 60 мм, крок витків – 30 мм. Подача складала 0,023 м/с. Частота обертання шнека – 35 хв^{-1} [19].

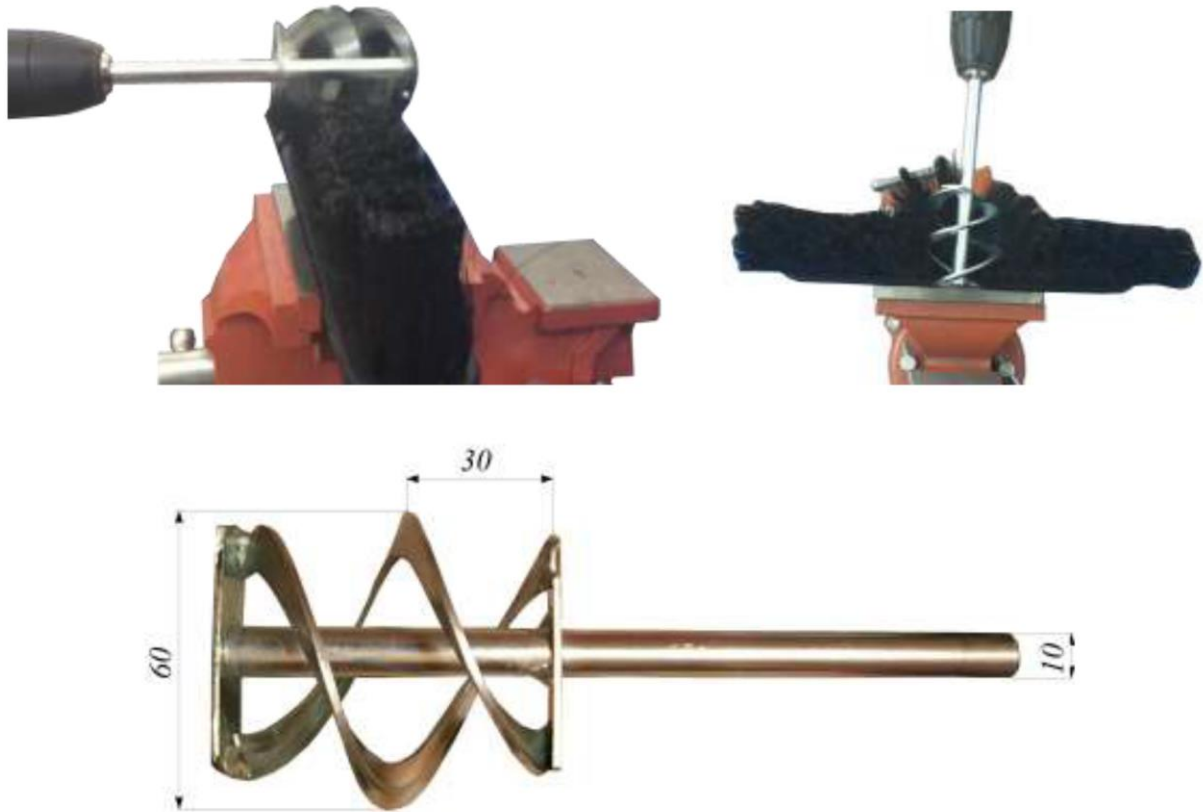


Рис. 2.10. Лабораторна установка та фрагмент шнека для проведення експериментальних досліджень.

Процес переміщення умовних стебел знімався відеокамерою.

Потім у програмі Windows Live Movie Maker проводилася обробка (нарізка по кадрах через 0,06 с та монтаж).

У програмі КОМПАС-3D проводилося обведення зон захоплення стебел з визначенням їх площ.

Для визначення геометричних параметрів та режимів роботи запропонованого універсального шнекового апарату розроблено та зроблено лабораторний пристрій, а також запропоновано методику вивчення зрізу стебел різних фаз стиглості та біометричних характеристик (рис. 2.11, табл. 2.1).

Установка складається з рами з транспортером 1, що має регульований привід 8. Для зрізу рослин є шнек 4 і протирижуча пластина 3 (при підпірному зрізі). Привід здійснюється електроприводом 5 з регулюванням оборотів шнека регулятором 7.

Висота шнека 4 змінювалася гвинтом 6.



Рис. 2.11. Лабораторний стенд: 1 – транспортерна стрічка; 2 – фіксатор; 3 – ніж; 4 – шнек; 5 – привід шнека; 6 – гвинт для зміни висоти підйому шнека; 7 – пристрій регулювання частоти обертання шнека; 8 – електропривод; 9 – пристрій регулювання швидкості переміщення транспортера; 10 – натяжний пристрій

Методика зрізу стебел сільськогосподарських культур реалізується в такий спосіб.

Для вивчення зрізу стебла 1 розміщують у тримачі 2, які жорстко встановлюють транспортері 3 у вигляді нескінченної стрічки (рис. 2.12, 2.13). Тримачі 2 виконані паралельними рядами з відстанню, що відповідає ширині міжрядь h_m відповідної сільськогосподарської культури.

Потім здійснюють переміщення транспортера 3 зі стеблами 1 до ріжучого елемента 4 зі швидкістю, що відповідає швидкості руху машини, призначеної для збирання даної культури.

Потім відбувається зріз стебел 1 ріжучим шнековим елементом 4, що імітує робочий орган прибиральної машини.

Після транспортера 3 із залишками стебел у власниках 2 повертається у вихідне положення. Потім відбувається вимірювання висоти зрізу h_{cp} стебел вимірювальним інструментом 6. Проводять візуальну оцінку якості зрізу і приймають рішення про ефективність роботи ріжучого елемента сільськогосподарської культури, що вивчається.

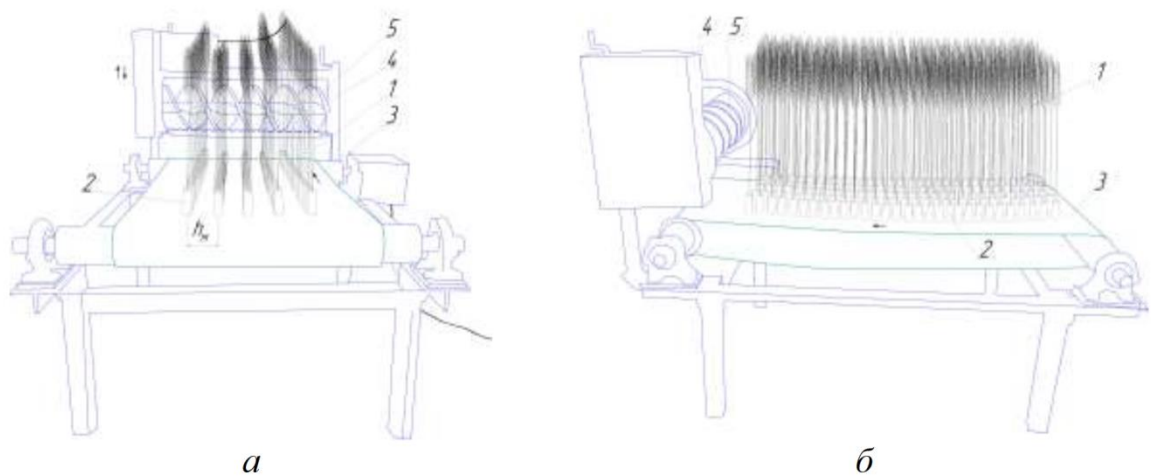


Рис. 2.12. Схема розміщення стебел сільськогосподарських культур на транспортері: а – вид спереду; б – вид збоку

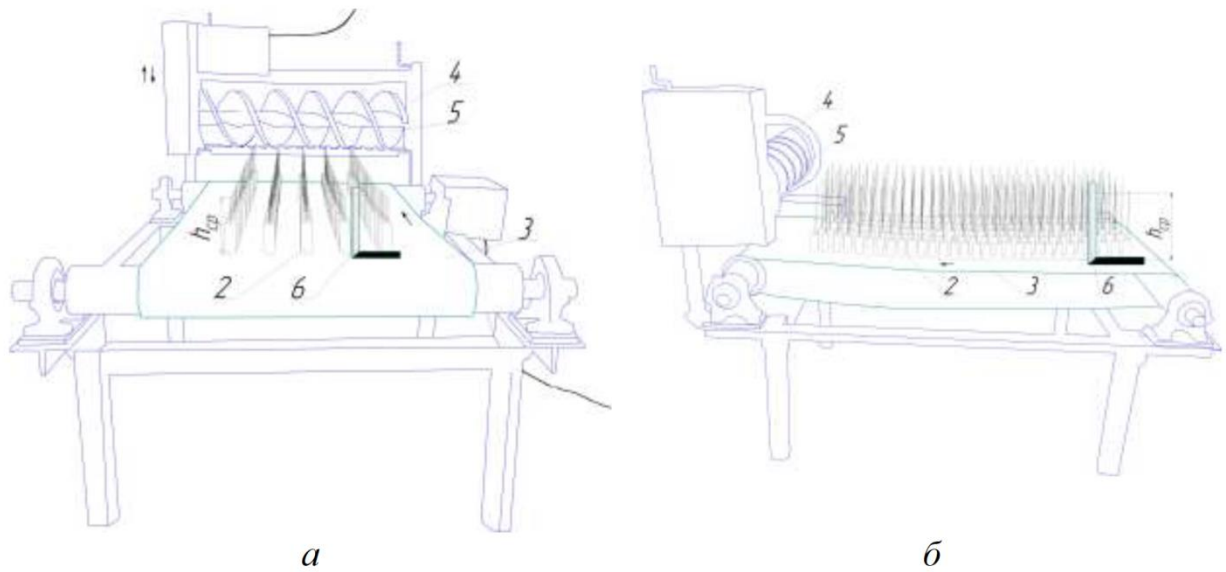


Рис. 2.13. Схема стану стебел після зрізу різальним елементом: а – вид спереду; б – вид збоку

На першому етапі вивчалоя підпірне (з протиріжучою пластиною) різання стебел різної стиглості (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Стебла пшениці, закріплені на транспортері з вологістю зерна: а – 30 %; б – менше 8% (підпірний зріз)



Рис. 2.15. Стебла очерету, закріплені на транспортері: а – вологі; б – сухі (підпiрний зрiз)

Умови проведення експерименту Висота стебел – 60 см (очерет вологий – 100); Число рядiв – 5 шт.; Число стебел в одному рядку – 30 шт. (очерет – 15); Відстань між рядами – 7,5 см; Розмір ряду – 1 м; Крок розміщення стебел у ряді – 3 см; Відстань від стрічки транспортера до зрізаної ділянки стебла – 13 см;

Частота обертання шнека – 500 хв^{-1} ; Швидкість транспортера – 5 км/год.

На другому етапі вивчалося безпідпiрне (без протирiзальної пластини) рiзання стебел кукурудзи з висотою розміщення вістря сегментів над кромкою шнека 15 мм (рис. 2.16, 2.17).



Рис. 2.16. Шнековий рiжучий апарат без рiжучої пластини з рiжучими сегментами трикутної форми



Рис. 2.17. Вивчення різання стебел кукурудзи з вологістю зерна 18 % (безпідпирний зріз із ріжучими сегментами з висотою розміщення вістря над кромкою шнека 15 мм).

Характеристика досліджень: Висота кукурудзи – 30 см; Число рядів - 1 шт.; Число стебел у рядку – 8 шт. (очерет – 15); Крок розміщення стебел у рядку – 11 см; Діаметр стебла у місці зрізу – 20 мм; Висота зрізу стебел – 15 (12) см; Частота обертання шнека – 830 хв-1; Швидкість переміщення стебел – 5 км/год;

Висота розміщення вістря сегментів над кромкою шнека – 15 (45) мм; Крок сегментів – 60 мм; Тип сегмента - трикутний з однією ріжучою кромкою.

Також вивчалоя безпідпирне (без протирізальної пластини) різання стебел кукурудзи з висотою вістря сегментів над кромкою шнека 45 мм (рисунок 2.18).



Рис. 2.18. Вивчення різання стебел кукурудзи з вологістю зерна 18 % (безпідпирний зріз з ріжучими сегментами з висотою вістря над кромкою шнека 45 мм, кут нахилу леза сегмента до дотичної витка шнека 45°)

Для пошуку можливостей модернізації універсальним шнековим ріжучим апаратом проводилися дослідження можливості роботи жнивarki без мотовила.

Метою досліджень була перевірка можливості збирання зернових колосових культур без використання мотовила та встановлення універсального шнекового ріжучого апарату.

Полеві дослідження проводилися з використанням зернозбирального комбайна Tiscano 450 із жнивarkою С660..



Рис. 2.19. Збирання пшениці з використанням мотовила



Рис. 2.20. Збирання пшениці без мотовила

Висновки по розділу

Завданням лабораторних дослідження було вивчення впливу конструктивних і режимних параметрів пропонованого ріжучого апарату на якісні показники процесу різання стебел соняшника, кукурудзи, пшениці (середню висоту зрізу, довжину подрібнених стебел, кількість незрізаних стебел). За класифікацією Ю. П. Адлера обрані параметри оптимізації віднесено до техніко-технологічних

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті моделювання процесу переміщення стебел шнеком виконана швидкісна кінозйомка. Далі в програмі КОМПАС-3D обводилися зони захоплення стебел з визначенням їх площ [17].

На поверхні шнека існує область, в якій ковзання матеріалів неможливо, потрапляючи в цю область, стебло буде захоплене в обертання і перекинута через вал, тобто переміститься вперед («пасивна область шнека»). Критерієм кордону пасивної області на робочій поверхні шнека може служити величина кута підйому гвинтової лінії $\alpha_{ш}$ (якщо $\alpha_{ш} = \varphi$, то точка знаходиться на кордоні пасивної області) [17].

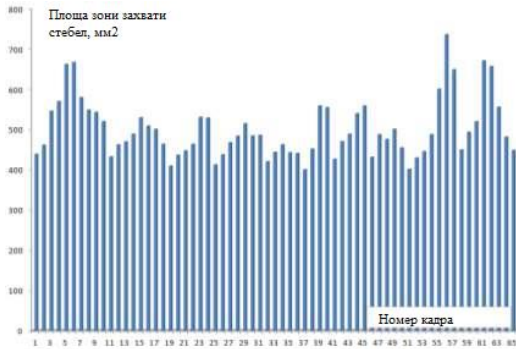
Апроксимуємо отримані експериментальні дані методом найменших квадратів, отримали залежності: лінійну $-y=0,2343969x+491,0802885$, квадратичну $-y=0,0967128x^2-6,1486501x+562,3576465$ і кубічну $-y=-4,7226456e-4x^3 + 0,1434670x^2-7,3924061x + 569,4580497$ (рис. 1) [17].

Представлений характер зміни величини подібний гармонійним коливанням, при яких величина площі зони захоплення стебел змінюється з плином часу за гармонійним (косинусоїдальним) законом. Даний процес можна віднести до вимушених коливань, які здійснюються під впливом зовнішньої періодичної сили [17].

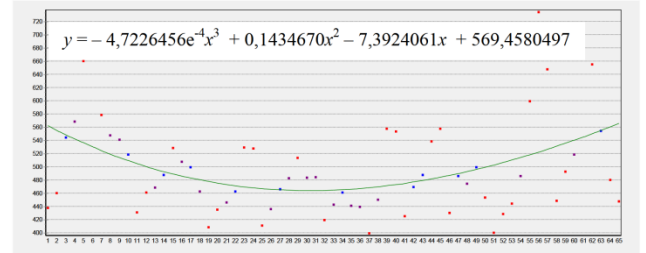
Розглянемо площі 5 ділянок: S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 . Сумарна площа в залежності від часу фіксації змінюється від 399 мм^2 до 734 мм^2 , тобто на 84% [17].

На підставі визначення основних параметрів пасивних областей шнека, в теоретичних дослідженнях обґрунтовано рівняння кордону пасивної області при малій кутовій швидкості обертання шнека [17].

Завданням лабораторних досліджень є моделювання характеру відхилення стебел, визначення площ зони захоплення витками шнека і пасивних областей [17].



а)



б)

Рис. 3.1. Результати апроксимації експериментальних даних: а – площа ділянки стебел, яка переміщується витком; б – функція [17].

Вивчення різання виконувалося на лабораторній установці.

Елементи розкадровки в програмі Windows Live Movie Maker показано на рис. 3.2-3.4 [17].



а

б

Рис. 3.2. Різання одного стебла (а) і групи стебел (б) ріжучим апаратом



Рис. 3.3 Різання одного стебла ріжучим апаратом [17].



Рис. 3.4. Різання групи стебел ріжучим апаратом [17].

В результаті експериментальних досліджень нами було визначено, що стебло після зрізу ріжучим апаратом додатково транспортується витком шнека, що розширює його функціональні можливості.

Різання стебла в ріжучому апараті підпiрного зрізу з вигнутими по формі шнека сегментами буде найкращим [17].

Результати зрізу і транспортування стебел пшениці при змінному куті α розташування площини диска до спинки пластини, що імітує лопать шнека представлені нижче [17].

Якщо $\alpha=95^\circ$, то відбувається переміщення (викидання) стебел вперед по відношенню до ріжучого апарату, що збільшує втрати врожаю (рис. 3.5).

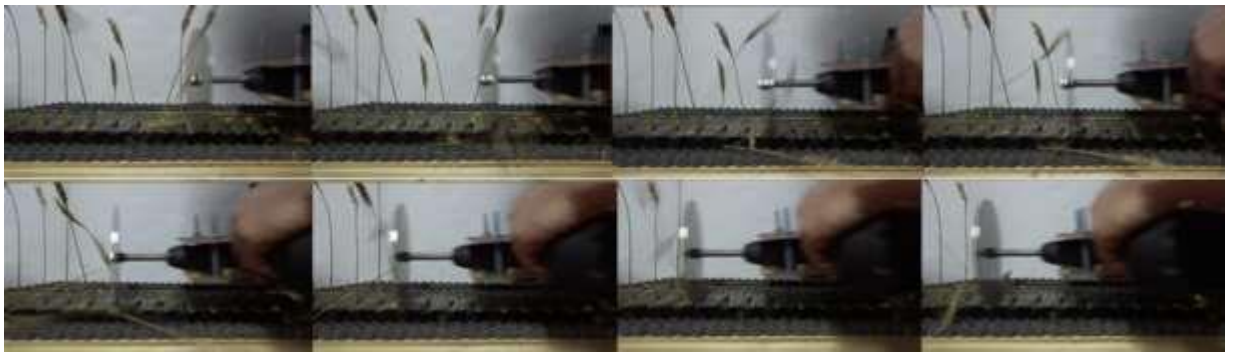


Рис. 3.5. Поділ на кадри при $\alpha = 95^\circ$

При $\alpha=90^\circ$ відбувався нормальний і рівний зріз, однак відбувалося також відкидання стебел (рис. 6). При цьому викликає складність виготовлення шнека з кутом навивки витків шнека 90° .

Спостерігається рівний зріз стебел з переміщенням їх у напрямку руху диска при 70 і 80° , що задовольняє роботу шнекового ріжучого апарату (рис. 7, 8).

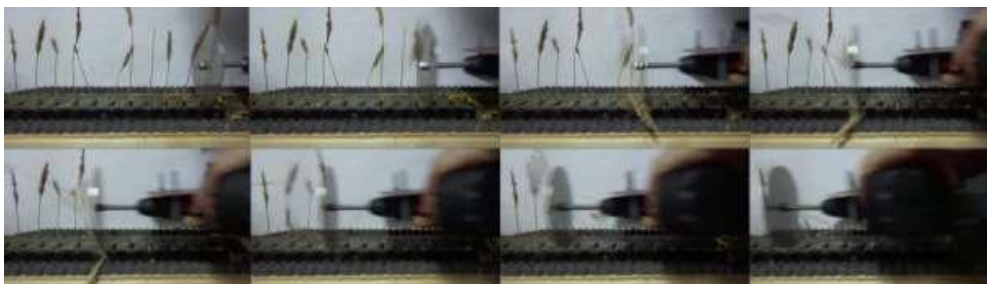


Рис. 3.6. Розкадрування процесу зрізування стебел при куті нахилу диска 90° [17].

Після обробки даних статистичними методами одержали табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обробки статистичним методом висоти зрізу стебел пшениці по рядах [17].

Вологість зерна	Ряд	Статистичні показники				
		\bar{X} , мм	S , мм	V , %	$S\bar{x}$, мм	$S\bar{x}$, %
30 %	1	228	23	10	5	2
	2	226	46	20	10	4
	3	220	21	9	4	2
	4	226	51	22	13	6
Середнє		226	34	15	8	4
менше 8 %	1	238	48	20	10	4
	2	248	47	19	11	4
	3	224	40	18	8	4
	4	232	47	20	11	5
Середнє		236	45	19	10	4

Аналізуючи результати дослідження, можна побачити середнє значення мінливості ознаки – висота зрізу (коефіцієнт варіації від 9 до 22 %) (рис. 3.7).

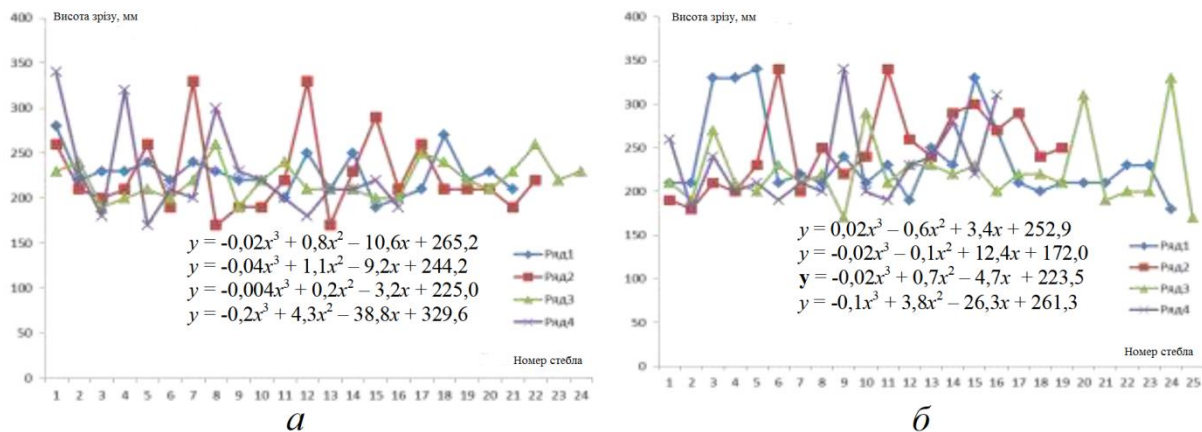


Рис. 3.7. Графік варіювання висоти зрізу стебел пшениці, що має різну вологість зерна: а – 30 %; б – менше 8%

Після обробки даних статистичними методами одержали результати представлені на рис. 3.8.

Спостерігається середнє значення мінливості ознаки – висоти зрізу (коефіцієнт варіації від 13 до 18%).

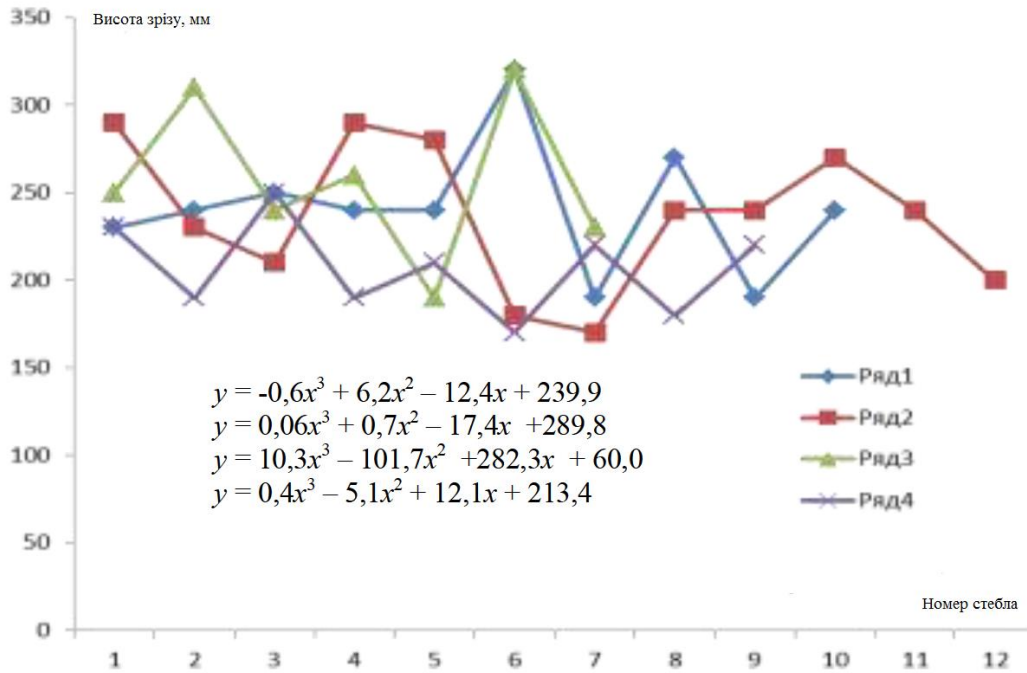


Рис. 3.8. Зміни висоти зрізу стебел очерету

Розглянемо результати лабораторних досліджень зрізу стебел культур на установці з різальним елементом у вигляді шнека без ріжучої пластини.

Результати статистичної обробки даних висоти зрізу стебел кукурудзи при випробуванні безпідпирного (без ріжучої пластини) різання з різною висотою розташування вістря сегментів над кромкою шнека рис. 3.9-3.10

Аналізуючи результати обробки даних, можна помітити невелику варіацію ознаки при різанні ріжучим безпідпирним апаратом 6,1 і 5,3 %.



Рис. 3.9. Результати вивчення різання стебел кукурудзи з вологістю зерна 18 % (безпідпирний зріз із ріжучими сегментами з висотою розташування вістря над кромкою шнека 15 мм)



Рис. 3.10. Результати вивчення різання стебел кукурудзи з вологістю зерна 18 % (безпідпирний зріз із ріжучими сегментами з висотою розташування вістря над кромкою шнека 45 мм)

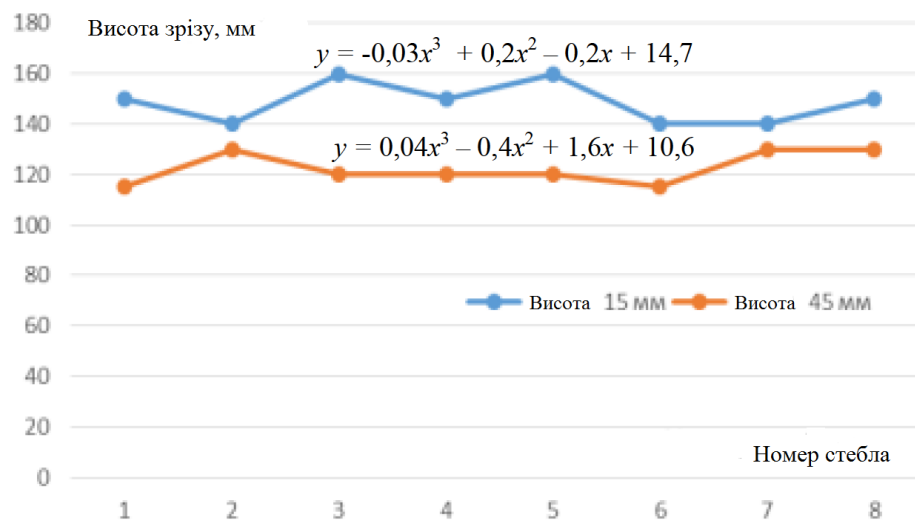


Рис. 3.11. Зміни висоти при зрізі стебел кукурудзи з різною висотою сегментів

Далі представлені дані випробувань зернозбирального комбайна Тисапо 450 з жниваркою С660.

В результаті обробки експериментальних даних вивчення різання стебел комбайном Тисапо 450 з жниваркою С660 визначено, що не відкидається гіпотеза про відсутність реальної різниці між двома варіантами і різниця між порівнюваними режимами роботи комбайнів не істотна при $V_k = 5-8$ км / год. Це дає можливість використання жниварки без мотовила при $V_k = 5-8$ км/год та встановлення шнекового ріжучого апарату на жниварці комбайна Тисапо 450. Залежність втрат від швидкості комбайна при роботі з мотовилом має вигляд $y = -0,35x^3 + 6,67x^2 - 41,56x + 85,01$, без мотовила - $y = 0,95x^3 - 18,6x^2 + 120,29x - 254,91$.

Коефіцієнт кореляції між втратами зерна та швидкістю комбайна при роботі з мотовилом становить $r = 0,68$ (середня кореляція), при роботі без мотовила $r = 0,74$ (сильна кореляція). В обох випадках залежність криволінійна, а за напрямом – пряма.

Розглянемо результати вивчення різання стебел пшениці зернозбиральним комбайном Togum 740 з жнивваркою Power Stream 700 (рис. 3.12).

Середнє значення коефіцієнта варіації висоти зрізу стебел комбайном Togum 740 з жнивваркою Power Stream 700 становить 22% при роботі з мотовилом і 23% без мотовила. У пропонованого ріжучого апарату коефіцієнт варіації становить 19%.



Рис. 3.12. Стерня при роботі на режимах: 1 ряд – 5 км/год (М та Б/М); 2 ряд – 6 км/год (М та Б/М); 3 ряд – 7 км/год (М та Б/М); 4 ряд – 8 км/год (М та Б/М); 5 ряд – 9 км/год (М та Б/М)

Нами проведено виробничі випробування запропонованого ріжучого апарату. В результаті випробувань комбайна Lexion 620 з модернізованою жниваркою Vario 900 на збиранні пшениці запропонована конструкція дозволяє підвищити продуктивність комбайна на 10%.

В результаті обробки експериментальних даних вивчення різання стебел комбайном Togum 740 з жниваркою Power Stream 700 визначено, що не відкидається гіпотеза про відсутність реальної різниці між двома варіантами і різниця не істотна при $V_k = 5-9$ км/год, що дає можливість використання комбайна без використання мотовила при роботі на вивчених швидкостях і встановлення шнекового ріжучого апарату на жниварці комбайна Togum 740. $+ 83,7$, без мотовила - $y = - 0,1 x^3 + 3,8 x^2 - 31,1 x + 89,1$.

З метою вимірювання тісноти зв'язку використовували кореляційний аналіз, виконаний у програмі Statistica.

Коефіцієнт кореляції між втратами і швидкістю комбайна під час роботи з мотовилом становить $r = 0,79$ (сильна кореляція), під час роботи без мотовила $r = 0,43$ (середня кореляція).

В обох випадках залежність криволінійна, а за напрямом – пряма.

Для проведення досліджень різання верхівок стебел кукурудзи використовувався різальний апарат відкритого типу.

При випробуваннях шнек піднімався на відстань від поверхні поля, що відповідає висоті зрізу мітелок (вище качанів). Частота обертання шнека встановлювалася 200, 300 та 400 xv^{-1} .

На рис. 3.13 показано одну зрізану ділянку стебел кукурудзи після зрізу шнековим різальним апаратом відкритого типу.

Внаслідок польових досліджень вивчення різання верхівок стебел одного ряду кукурудзи у фазі повної стиглості, при швидкості руху трактора 12–15 км/год частота обертання шнека має бути понад 400 xv^{-1} .



Рис. 3.13. Вид рослин після зрізу верхівок:

○ – Зрізані ділянки

Отримали наступне рівняння регресії для висоти зрізу стебел соняшнику після математичної обробки експериментальних даних (уявні коефіцієнти):

$$Y_{cp} = 111,45 + 0,13 \cdot x_1 + 5,91 \cdot x_2 + 20,57 \cdot x_3 - 1,1 x_1 x_2 + 2,475 x_1 x_3 + 1,125 x_2 x_3 - 0,7 x_1^2 + 3,3 x_2^2 + 9,5 x_3^2, \quad (3.1)$$

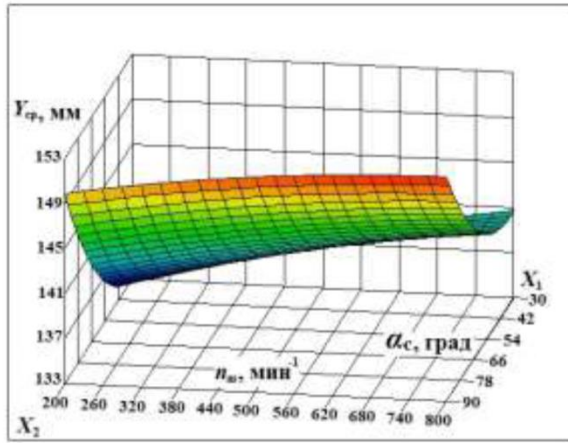
де Y_{cp} - висота зрізу стебел, мм.

Вивчимо поверхню відгуку в системі X-Y-Z, допустивши постійність одного обраного фактора. Виконаємо аналіз залежності висоти зрізу стебел (Y_{cp}) від частоти обертання шнека ($n_{ш}$) та кута нахилу ріжучого сегмента (α_c) при постійному значенні кроку сегментів (l_c).

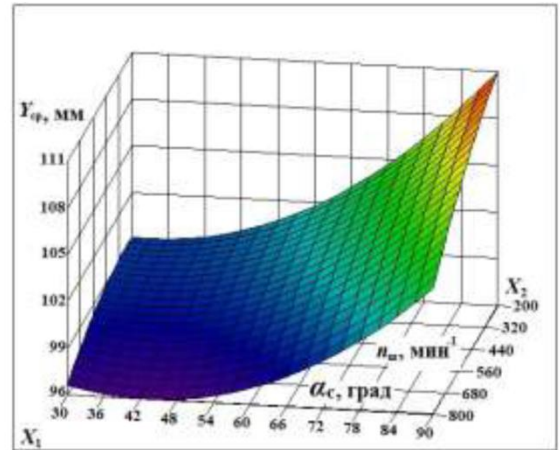
При кроці сегментів $l_c = 180$ мм відбувається збільшення висоти зрізу стебел від 133 до 150 мм рахунок збільшення обертів з 200 до 800 xv^{-1} (рисунок 3.14, а).

При кроці сегментів $l_c = 60$ мм висота зрізу стебел змінюється від 96 до 111 мм із зростанням кута нахилу ріжучого сегмента до 900 (рис. 3.14 б).

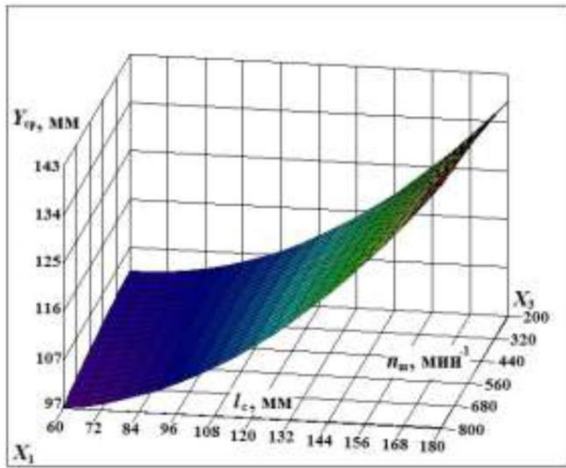
Аналізуючи залежність висоти зрізу стебел (Y_{cp}) від частоти обертання шнека ($n_{ш}$) та кроку сегментів (l_c) при постійному значенні кута нахилу ріжучого сегмента (600), можна побачити збільшення висоти зрізу від 60 до 153 мм при зміні кроку сегментів від 60 до 180 мм (рис. 3.15, а), а також при постійному значенні кута нахилу ріжучого сегмента зростає висота зрізу (рис. 3.15, б).



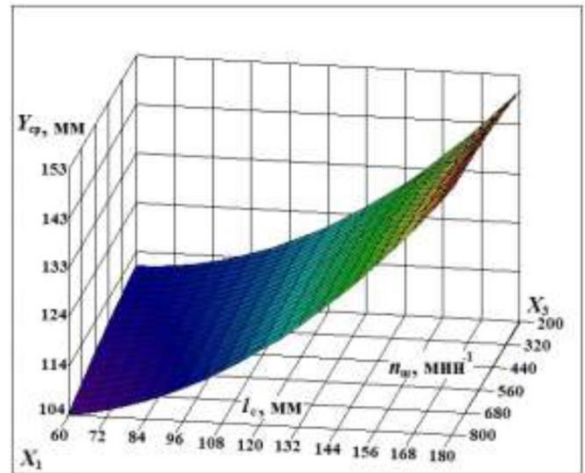
а



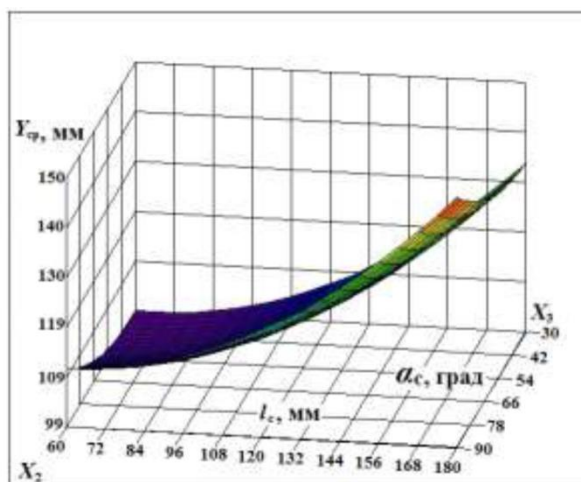
б

Рис. 3.14. Залежність Y_{cp} от $n_{ш}$ и α_c при: а – $l_c = 180$ мм; б – $l_c = 60$ мм

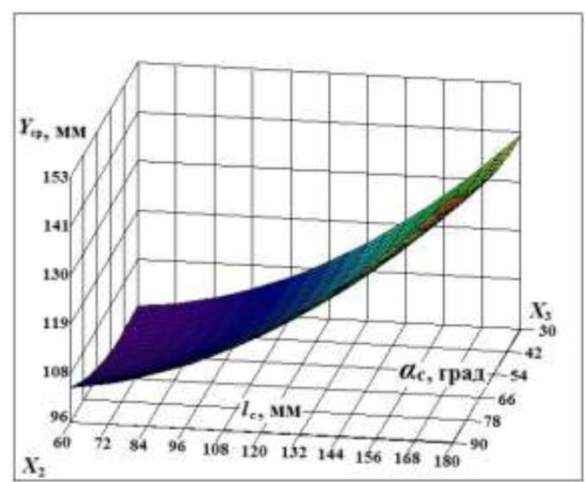
а



б

Рис. 3.15. Залежність Y_{cp} от $n_{ш}$ и l_c при: а – $\alpha_c = 60^\circ$; б – $\alpha_c = 90^\circ$ 

а










б

Рис. 3.16. Залежність Y_{cp} от α_c и l_c при: а – $n_{ш} = 200$ мин⁻¹; б – $n_{ш} = 800$ хв⁻¹

В результаті проведених досліджень щодо вибору конструкції ріжучого апарату нами були експериментально перевірені в польових та лабораторних умовах 7 варіантів розроблених та виготовлених експериментальних варіантів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Аналіз роботи різальних апаратів

№ п/п	Варіант ріжучого апарата	Переваги	Слабкі сторони
1	 підпирний – відкритого типу	Задовільне різання	1. В процесі зрізу спостерігається злом стебел. 2. Не всі стебла, що попадають в ріжучу пару.
2	 підпорний – відкритого типу с сегментами, що копіюють витки шнека	Хороше різання стебел	1. В процесі зрізу спостерігається злом стебел. 2. Не всі стебла попадають в ріжучу пару.
3	 підпорний – закритого типу з протиріжучими елементами, виконанні в корпусі	Погане різання всіх стебел, крім газонної трави.	1. В процесі зрізу спостерігається злом стебел. 2. Не всі стебла попадають в ріжучу пару за рахунок змінання протиріжучими елементами, що виконанні в корпусі.
4	 підпорний – відкритого типу с половинними сегментами, що копіюють витки шнека і додатковою ріжучою кромкою на витку шнека	Хороше різання стебел зернових колосових.	В процесі зрізу спостерігається злом стебел.

5	 <p>підпорний – відкритого типу з половинними сегментами, копіюючого витки двохзахідного шнека</p>	<p>Задовільне різання стебел зернових колосових.</p>	<p>В процесі зрізу спостерігається злом стебел. Складність попадання стебел в ріжучу пару із-за двохзахідного шнека.</p>
6	 <p>підпорний – відкритого типу с половинними сегментами, копіюючого витки шнека і додатково ріжучою кромкою на витку двухзахідного шнека</p>	<p>Задовільне різання групи стебел зернових колосових. Хороше різання одиничних стебел.</p>	<p>При різанні групи (суцільних) стебел створюється складність попадання їх в ріжучу пару із-за двухзахідного шнека.</p>
7	 <p>безпідпирний відкритого типу з однозахідним шнеком – безпідпирний шаг сегментів 60 мм</p>	<p>Хороше різання стебел зернових, зернових колосових, камишу.</p>	

Висновки по розділу

Розроблений багатофункціональний універсальний шнековий ріжучий апарат, може бути використаний для зрізу зернових (пшениці, ячменю та ін.), просапних культур (кукурудзи, соняшнику) та інших рослин (очерету, чагарників, трав), як у жниварках кормоуборочних та зернозбиральних комбайнів, так і косарках.

В результаті обробки експериментальних даних з різання стебел комбайном Tiscano 450 з жниваркою С660, встановлено, що по втратах зерна варіанти різняться не суттєво при швидкостях 5-8 км/год. Це підтверджує доцільність використання жниварки без мотовила під час роботи на вивчених

швидкостях комбайна. Залежність прямих втрат зерна від швидкості комбайна під час роботи з мотовилом має вигляд $y = -0,35x^3 + 6,67x^2 - 41,56x + 85,01$, без мотовила – $y = 0,95x^3 - 18,6x^2 + 120,29x - 254,91$.

ВИСНОВКИ

В результаті статистичної обробки даних випробувань косарок, кормозбиральних комбайнів, жниварок встановлено, що висота зрізу зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами в середньому на 67 % менше, ніж у косарок з сегментними та ротаційними ріжучими апаратами і зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами, хоча робоча ширина захвату в 2,5 рази менше, ніж у зернових жниварок з сегментними ріжучими апаратами. Це у свою чергу на 25% підвищує продуктивність за 1 годину основного часу (на 1 м ширини захвату жниварки). Відповідно питома витрата палива на одиницю виконуваної роботи (на 1 м ширини захвату жниварки) у ротаційних апаратів вище в середньому на 63%. Розроблений багатофункціональний універсальний шнековий ріжучий апарат, може бути використаний для зрізу зернових (пшениці, ячменю та ін.), просапних культур (кукурудзи, соняшнику) та інших рослин (очерету, чагарників, трав), як у жниварках кормоуборочних та зернозбиральних комбайнів, так і косарках.

В результаті обробки експериментальних даних з різання стебел комбайном Tiscano 450 з жниваркою С660, встановлено, що по втратах зерна варіанти різняться не суттєво при швидкостях 5-8 км/год. Це підтверджує доцільність використання жниварки без мотовила під час роботи на вивчених швидкостях комбайна. Обробкою експериментальних даних з різання стебел комбайном Togum 740 з жниваркою Power Stream 700 встановлено, що за втратами зерна варіанти різняться не істотно при швидкостях 5-9 км/год, що підтверджує доцільність використання жниварки без мотовила при роботі на вивчених швидкостях руху комбайну. Рекомендуються такі параметри та режими роботи для зрізу стебел соняшника: $n_{ш} = 431$ хв⁻¹, $\alpha_c = 540$, $l_c = 92$ мм; кукурудзи: $n_{ш} = 532$ хв⁻¹, $\alpha_c = 510$, $l_c = 180$ мм; пшениці: $n_{ш} = 623$ хв⁻¹, $\alpha_c = 560$, $l_c = 127$ мм.

Конструктивно-режимні параметри універсального ріжучого шнекового апарату: $n_{ш} = 530+58$ хв⁻¹; $\alpha_c = 55+50$; $l_c=133+17$ мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бердышев В.Е., Цепляев А.Н. и др. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологий и технических средств обмолота сельскохозяйственных культур. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2012. 224 с.
2. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин: теория и расчет. Москва : Машиностроение, 1967. 168 с.
3. Гольтяпин В.Я., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф. и др. Современные технические средства для уборки зерновых культур. Каталог. Москва: Росинформагротех, 2021. 100 с.
4. Горшенин В.И., Михенин Н.В., Тарабукин Ю.А., Соловьев С.В. Машины для уборки зерновых культур. Мичуринск – наукоград РФ: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2006. 214 с.
5. Дідух В.Ф. Проектування машин та обладнання для вирощування і збирання сільськогосподарських культур. Конспект лекцій для студ. спец. 133 "Галузеве машинобудування" денної та заоч. форм навчання. Луцьк: Луцький НТУ, 2017. 110 с.
6. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины. Ростов н/Д: ДГТУ, 2003. 707 с.
7. Дюжев А.А., Клочков А.В., Попов В.А. Зерноуборочные комбайны КЗС-1218 Палессе GS12, КЗС-10К Палессе GS10. Минск: Беларусь, 2011. 150 с.
8. Калашникова Н.В. и др. Современные зерноуборочные комбайны. Орел: ОрелГАУ, 2011. 327 с.
9. Коновалов В.И., Трубилин Е.И. (сост.) Теория уборочных машин. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. 58 с.
10. Ларюшин Н.П. Сельскохозяйственные машины (раздел Зерноуборочные комбайны). Пенза: РИО ПГСХА, 2011. 252 с.

11. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П. Основы расчета параметров зерноуборочных комбайнов. Ульяновск: Зебра, 2017. 143 с.
12. Погорілець О.М. Електронний посібник з розділу Машини для збирання зернових культур. Київ: НУБіП України, 2008. 206 с.
13. Погорілець О.М., Погорілець М.О., Погорілець Ю.О. Зернозбиральний комбайн сьогодні, вчора завтра. Навчальний посібник. - Ніжин, 2008. 72 с.
14. Радишевский Г.А. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-7. Минск : БГАТУ, 2010. 68 с.
15. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию зерноуборочного комбайна MASSEY-FERGUSON 7260-7270. AGCO Limited. 714 с.
16. Шаткус Д.И. Зерноуборочные комбайны Енисей. Москва : Агропромиздат, 1986. 338 с.
17. Ярош Я.Д. **Поліщук О.С.** Процес переміщення і різання стебел в лабораторних умовах. Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної онлайн конференції *«Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України»*, присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ. 2021. С. 193-197
18. Сукманюк О., **Поліщук О.** Огляд існуючих ріжучих апаратів. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 51-53.
19. Сукманюк О.М. **Поліщук О.С.** Методика досліджень косарки з універсальним шнековим різальним апаратом. Матеріали МНПК *«Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»* Харків: ДБТУ, 2021. С. 127-130.