

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Підвищення ефективності роботи капустозбиральної машини
з удосконаленням робочих органів

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ-41

спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Бурак В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Левкович М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бураку Василю Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності роботи капустозбиральної машини
з удосконаленням робочих органів

Керівник роботи Сташків М.Я., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до роботи агротехнічні вимоги до збирання капусти; типовий технологічний процес збирання капусти; базова конструкція капустозбиральної машини

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ.

1. Аналіз об'єкту дослідження

2. Технологічна частина

3. Проектна частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки.

Перелік посилань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Схема класифікації способів збирання капусти. 2. Засоби збирання качанної капусти.

3. Схема конструкцій зрізувальних апаратів. 4. Схема модернізації зрізувального апарату.

5. Зрізувальний апарат. Складальне креслення. 6. Техніко-експлуатаційні показники

машино-тракторного агрегату. 7. Схема розрахунку вала листовідгинача на міцність.

8. Схема для розрахунку зварного шва та болтового з'єднання кронштейна листовідгинача

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Бурак Василь Михайлович.

Тема роботи – „Підвищення ефективності роботи капустозбиральної машини з удосконаленням робочих органів”.

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Сташків Микола Ярославович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи капустозбиральної машини шляхом дообладнання її конструкції механізмом відгинання листя.

Об’єкт дослідження – технологічний процес збирання качанної капусти.

Предмет дослідження – робочі органи машини для збирання капусти.

Методи дослідження: порівняльний, теоретико-емпіричний, математичного та комп’ютерного моделювання.

Отримані результати:

- проведено аналіз сучасних технологій збирання качанної капусти;
- проведено аналіз засобів механізації збирання качанної капусти;
- розраховано витрати часу при збиранні качанної капусти;
- розраховано техніко-експлуатаційні показники;
- розраховано техніко-економічні показники;
- розраховано ланцюгову передачу приводу листовідгинача;
- розраховано вал приводу листовідгинача на міцність;
- розраховано на міцність зварне з’єднання;
- розраховано болтове з’єднання;
- визначено шкідливі виробничі фактори при експлуатації модернізованого капустозбирального комбайна;
- розглянуто вимоги техніки безпеки при експлуатації та технічному обслуговуванні модернізованого капустозбирального комбайна.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано дообладнати робочі органи капустозбиральної машини механізмом відгинання покривного листа, що забезпечує підвищення ефективності машини при виконанні технологічного процесу.

Структура роботи.

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та ілюстративної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків.

Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 58 арк. формату А4, додатки – 3 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 10 арк. формату А4.

Ключові слова: технологічний процес збирання качанної капусти, капустозбиральна машина, робочі органи, ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КАПУСТИ	8
1.1. Огляд технологій збирання качанної капусти	8
1.2. Аналіз засобів механізації збирання качанної капусти.....	14
1.3. Аналіз зрізувальних апаратів капустозбиральних машин	19
1.4. Опис конструктивної розробки	21
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1. Визначення витрат часу при збиранні капусти.....	24
2.2. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників	27
2.3. Розрахунок техніко-економічних показників	31
3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	35
3.1. Розрахунок ланцюгової передачі приводу листовідгинача	35
3.2. Розрахунок валу приводу листовідгинача на міцність	39
3.3. Розрахунок на міцність зварного з'єднання.....	42
3.4. Розрахунок болтового з'єднання	44
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1 Визначення шкідливих виробничих факторів при експлуатації модернізованого капустозбирального комбайна	47
4.2. Вимоги техніки безпеки при експлуатації та технічному обслуговуванні модернізованого капустозбирального комбайна	49
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55
ДОДАТКИ.....	58

ВСТУП

Овочівництво є однією із великих галузей сільського господарства України. Під овочевими культурами відкритого ґрунту зайнято близько 22 тисяч гектарів, половина з них зосереджена у південних областях.

В Україні однією з найпопулярніших овочевих культур є капуста. Її вирощують переважно розсадним способом (особливо ранні сорти) або прямим висівом у відкритий ґрунт (пізні сорти для зберігання та переробки).

Білоголова капуста – одна з основних овочевих культур. Частка капусти у посівах овочів становить на півдні до 25%, на півночі – до 40%. Таке поширення зумовлено як харчовою цінністю, і великим лікарським значенням капусти. У ній міститься клітковина, що сприяє виведенню з організму холестерину та покращує роботу кишечника. З вітамінів найвищий вміст вітаміну С, присутні вітаміни А, В1, В6, Р і К. Свіжа капуста містить багато аскорбінової кислоти та інших ферментів. Медичні якості капусти значно розширилися із відкриттям її противиразкових властивостей. Фітонциди, що містяться в капусті, мають антибактеріальну дію на стафілокок і туберкульозну паличку. На цьому ґрунтується лікувальна дія капусти при зовнішньому застосуванні – лікуванні гнійних ран, опіків, виразок та інших уражень. Свіжий капустяний сік корисний при гастритах зі зниженою кислотністю, холециститах, колітах, а також для полоскання при запальних захворюваннях ротової порожнини та горла.

Вирощування капусти пов'язано із значними трудовитратами, з яких приблизно дві третини займає процес збирання. Вирішення завдання комплексної механізації процесу вирощування качанної капусти передбачає створення сортів, придатних до механізованого збирання, вдосконалення існуючих та проєктування нових капустозбиральних машин.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КАПУСТИ

1.1. Огляд технологій збирання качанної капусти

Для впровадження механізованого збирання капусти потрібно виконання низки заходів, що створюють умови для роботи капустозбиральних машин. До них відносяться: добір сортів капусти; підготовка ґрунту; висаджування розсади; боротьба з бур'янами та передзбиральна підготовка поля.

Перед початком збирання на полях необхідно підготувати поворотні смуги шириною 10...12 м і прокласти перші проходи шириною 8 м для забезпечення можливості руху збирального агрегату та транспортних засобів.

Для класифікації способів збирання капусти можна скористатися схемою (рис. 1), доповненою способами післязбиральної обробки продукції.

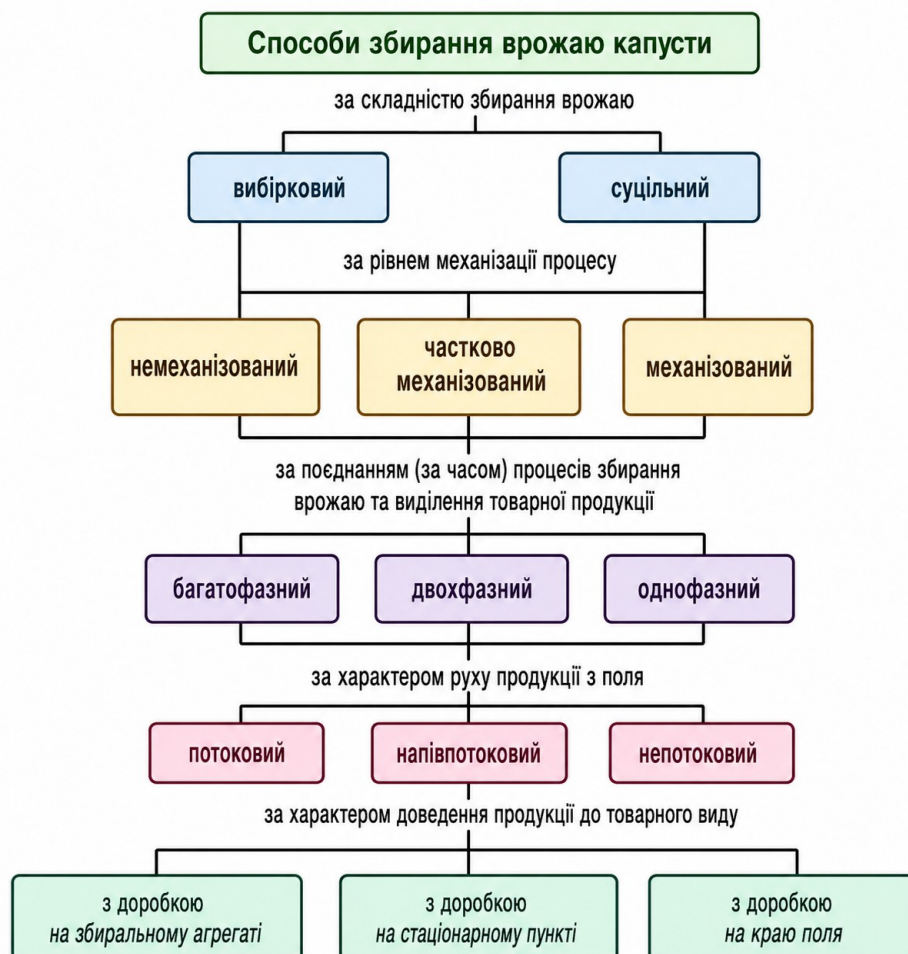


Рисунок 1.1 – Класифікація способів збирання капусти

Вибіркове збирання врожаю ранніх сортів капусти

При вибірковому збиранні зрізаються і збираються тільки ті качани, які на момент збирання мають масу не менше, ніж обумовлено ДСТУ 7037:2009 «Капуста білоголова свіжа. Технічні умови» [7]. Інші ж рослини на полі продовжують рости. Надалі збирання врожаю повторюється. Увесь урожай ранньої капусти збирається з поля за кілька підходів (до чотирьох разів). Враховуючи, що машини для вибіркового збирання капусти є дуже дорогими як через складність, так і дрібносерійність виробництва, їх використання є економічно не вигідним.

Повністю механізовані способи вибіркового збирання капусти у світовій практиці практично відсутні. У 1990-х років у Японії розроблялися автоматизовані комбайни для механізованого вибіркового збирання капусти. Комбайн оснащувався гідравлічним маніпулятором («рукою»), камерою, що сканує зображення качанів у полі, та процесором системи управління.

Випробування цього комбайна показали, що було зібрано 43% дозрілих качанів. Водночас у середньому знадобилося 55 секунд, щоб розпізнати та зібрати один качан. Сканування зображення утруднялося через те, що качани мали різний ступінь освітленості, деякі були прикриті покривним листям.

Ці дослідження показали, що створення машин для вибіркового механізованого збирання пов'язане з необхідністю подолання низки труднощів: розпізнавання дозрілих рослин, збереження в неушкодженому вигляді інших і т. ін. Тому враховуючи їх складність і високу вартість, в найближчому майбутньому подібні конструкції машин для вибіркового збирання капусти, швидше за все, широкого впровадження не набудуть.

Основним напрямом зниження трудомісткості вибіркового збирання врожаю капусти в даний час є створення та впровадження технічних засобів для часткової механізації процесу. Застосування транспортерів та овочевих платформ при вибірковому збиранні дозволяє усунути витрати часу збирачів на винесення врожаю за межі поля та зворотний перехід. Ці витрати становлять при ручному збиранні 30...35% робочого дня [14].

Суцільне збирання врожаю середньостиглих, середньопізніх та пізніх сортів качанної капусти

Збирання врожаю середньостиглих, середньопізніх та пізніх сортів білокачанної капусти здійснюється одноразово. Терміни збирання цих сортів у більшості природно-кліматичних зон не перевищують 15...20 днів і обмежуються з одного боку технічною стиглістю качанів і часом встановлення температури повітря 1...5 °С, а з іншого боку - часом настання заморозків (-3...-5 °С).

Нестійкість погоди в період збирання врожаю пізніх сортів створює додаткову складність, скорочуючи фактичний фонд часу на збирання до 10...15 днів. Тому при немеханізованому збиранні врожаю пізніх сортів щодня необхідно залучати до 30...50 осіб на 1 га, або 3...5 тис. чоловік на кожні 100 га.

Частково механізоване суцільне збирання

Для частково механізованого збирання врожаю середніх та пізніх сортів капусти застосовувалися овочева універсальна платформа ПОУ2, навісна платформа на самохідному шасі НПСШ-12А та навісний транспортер ТН-12А, рекомендований інститутом овочівництва і баштанництва НААН України.

Транспортер ТН-12А складається з трьох секцій: центральної та двох бічних. Центральна секція розташовується горизонтально, бічні секції, шарнірно підвішені до центральної, можуть займати горизонтальне положення або встановлюватись під різним кутом до горизонту в залежності від висоти навантаження. Управління кутовим положенням бічних секцій транспортера здійснюється гідроциліндром, що працює від гідросистеми трактора. Транспортер ТН-12А агрегується тракторами тягового класу 1,4 та приводиться в дію від ВВП трактора. Привод транспортера реверсується, що дозволяє працювати в загоні човниковим способом, здійснюючи навантаження головок у транспортний засіб правою і лівою секціями.

При встановленні всіх секцій горизонтально робітники зрізають головки вручну з 18 рядків і завантажують на транспортер, який укладає в один валок.

Технологія суцільного збирання капусти із застосуванням транспортера ТН-12А аналогічна технології вибіркового збирання, яка описана вище.

При суцільному збиранні пізніх сортів капусти за допомогою транспортерів ТН-12А є два недоліки: пошкодження качанів рушієм трактора та складність узгодження швидкості транспортних засобів зі швидкістю транспортера.

Суцільне механізоване двофазне збирання капусти

При двофазному механізованому збиранні врожаю у першій фазі збиральні машини здійснюють тільки операції зрізу та збору качанів, а у другій фазі – операції з доведення продукції до товарного вигляду.

За характером руху продукції з поля технологічна схема двофазного збирання може бути непотоковою, напівпотоковою та потоковою.

Суцільне механізоване двофазне непоточне збирання капусти

При непоточному двофазному збиранні капустозбиральні машини працюють на полі без супроводжуючих транспортних засобів і укладають зрізані качани з кількох рядків в один валок. Сортування та доробка качанів до товарного вигляду здійснюється у цій технології під час завантаження капусти у транспортні засоби. Двофазна непоточна збирання здійснюється комплексом машин, що включає укладача капусти у валки УКВ-6 і навантажувач капусти позиційний ПКП-2.

Укладач УКВ-6 складається з двох зрізуючих апаратів, приймальних транспортерів, листовідокремлювачів і укладаючого транспортера.

Навантажувач ПКП-2 містить наступні основні вузли: два поздовжні транспортери, два поперечні транспортери, елеватор і укладаючий транспортер.

Основною перевагою цього способу збирання є висока продуктивність виконання операцій зрізу качанів та укладання їх у валки, зумовлена незалежністю капустозбиральних машин від транспортних засобів.

Недоліки двофазного непоточного способу збирання: забруднення продукції при поганій погоді, суміщеність у часі операцій сортування та післязбирального доопрацювання з навантаженням, що збільшує простой

автотранспорту під навантаженням, складність збору та використання побічної продукції, складність оперативного управління процесом збирання та контролю якості продукції.

Суцільне механізоване двофазне напівпотокове збирання

При напівпотоковому двофазному збиранні в першій фазі капуста від збиральних машин відразу завантажується в транспортні засоби і відвозиться на край поля. У другій фазі здійснюється сортування та доробка капусти до товарного вигляду вручну на краю поля.

Недоліком суцільного двофазного напівпотокового збирання є наявність додаткових вантажно-розвантажувальних операцій, що збільшують механічні пошкодження качанів.

Суцільне механізоване двофазне потокове збирання

При поточному двофазному збиранні капуста від збиральних машин відвозиться на стаціонарний пункт для сортування та доопрацювання.

У цій технології передбачається збирання капустозбиральними комбайнами всього біологічного врожаю капусти та завантаження їх у транспортні засоби, які відвозять продукцію на стаціонарний пункт. Стаціонарні пункти оснащуються комплексом технологічного устаткування прийому купу капусти з транспортних засобів, подачі капусти до робочих місць перебирачів, відведення товарних качанів і відходів. За допомогою комплексу технологічного обладнання робітники – перебирачі доводять продукцію до товарного вигляду.

Перша фаза технологічного процесу – зріз та збирання качанів, навантаження у транспортний засіб – здійснюється серійними капустозбиральними комбайнами МСК-1, експериментальними машинами МПК-2, МСК-3, а також імпортованими машинами: однорядними капустозбиральними машинами Е800 (НДР); МК-1000Е, МК-1000В, ТК-1000 (Данія), та дворядними машинами ТК-2000 (Данія).

Транспортування вороху капусти від збиральних машин на стаціонарний пункт здійснюється у тракторних причепах.

Друга фаза технологічного процесу – виділення основної продукції з вороху капусти – виконується робітниками-сортувальниками за допомогою технологічного обладнання стаціонарних пунктів.

Суцільне механізоване однофазне потокове збирання

Однофазна механізована суцільна збирання врожаю капусти передбачає суміщення у часі операцій зрізу та збирання капусти з виділенням основної продукції, доведенням її до товарного вигляду та завантаженням у транспортний засіб. Збір побічної (супутньої) продукції, що включає нестандартні качани та листя, у цій технології не передбачається.

Однофазне збирання здійснюється комбайнами МСК-1, а також капустозбиральними машинами МК-1000Е, МК-1000В, ТК-1000, ТК-2000 (Данія). Комбайн МСК-1 однорядний, агрегується із тракторами тягового класу 1,4 т [4]. Капустозбиральні машини МК-1000Е, МК-1000В та ТК-1000 теж однорядні, агрегуються з тракторами тягового класу 1,4 т і 3 т. Капустозбиральна машина ТК-2000 дворядна, причіпна.

При збиранні капусти прямим комбайнуванням найбільший вихід товарної продукції та отримання якісного зрізу качана досягається за умови виконання капустозбиральною машиною наступних технологічних операцій:

- орієнтування рослин до центру рядка;
- підйом полеглих рослин;
- захоплення та орієнтування по висоті зрізу;
- якісний зріз (прямий та з довжиною качана від 0 до 30 мм);
- відділення вільного листа;
- доопрацювання неякісно зрізаних качанів;
- відсортування нестандартних та хворих качанів;
- завантаження у транспортний засіб чи контейнер.

1.2. Аналіз засобів механізації збирання качанної капусти

Перша капустозбиральна машина була виготовлена у 1931 році. Це була однорядна машина теребильного типу. Качани витягувалися з ґрунту двома нескінченними ланцюговими контурами і подавалися до дискового ножа для обрізання качана.

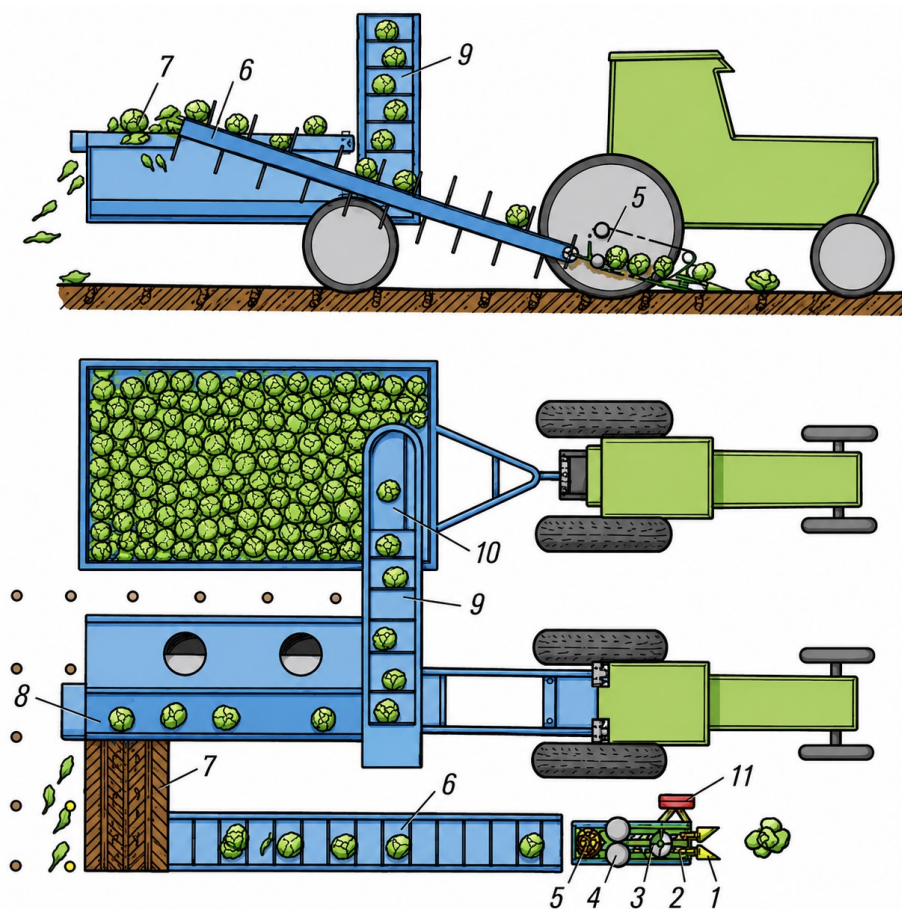
У середині ХХ століття сконструйовано навісну однорядну капустозбиральну машину ПКН-1, призначену для роботи з тракторами КДП-35 та МТЗ-2. Машина виконувала технологічні операції тереблення головок капусти, збирання їх у автопричіп та збирання качанів у бункер.

Технологічний процес збирання капусти здійснюється в такий спосіб. Під час руху агрегату ліфтери ковзали ґрунтом і підходили під листя качанів. Качани витребувалися під тиском похилої площини, утвореної нижньою частиною ринви теребильного транспортера, захоплювалися за качани нескінченними ланцюгами і подавалися вгору жолобом транспортера до елеватора. Розташовані під ланцюгами два дискові ножі з примусовим обертанням обрізали прикореневу частину качана, яка завантажувалася в бункер. Бункер розташовувався на рамі машини та вивантажувався при наповненні відкриттям двостулкового днища. Качани надходили в приймальну камеру поперечного елеватора і подавалися в автопричіп, що саморозвантажуються.

Машина ПКН-1 була знята з виробництва внаслідок неефективності її застосування: пошкодження качанів, косий і рваний зріз качана, втрати листя та забруднення їх землею (особливо при зволоженні ґрунту). Основним недоліком було те, що обрізка качанів проводилася нижче розеткового листя, тому практично кожен качан допрацьовувався вручну, за відповідних витрат праці.

Не надто ефективною була також машина УКН-1. У ній рослини капусти підводилися до ножів шляхом захоплення теребильними лапами, що закріплені на транспортері. У процесі випробувань було встановлено, що машина не забезпечує орієнтовану подачу рослин до ножів.

Першою машиною, у якої якість механізованого обрізання качанів наблизилася до якості ручного обрізання, став однорядний капустозбиральний комбайн МСК-1 (рис. 1.2).



1 - ліфтери; 2 - напрямні вальці; 3 - вирівнюючі вальці; 4 - дискові ножі;
 5 - притискний транспортер; 6 - приймальний транспортер; 7 - листовідділювач; 8 - стіл доопрацювання; 9 - вивантажувальний транспортер; 10 - лоток-гасник; 11 - опорне колесо

Рисунок 1.2 – Технологічна схема капустозбирального комбайна МСК-1

Збирання проводилося за двома технологіями:

1. Ручне доопрацювання качанів до товарного виду на комбайні та навантаження товарних качанів у транспортний засіб, що йде поруч;
2. Завантаження капусти із зеленим листом у транспортний засіб з наступною закладкою на зберігання або доробкою у сортувальному пункті.

Комбайн працював за принципом обрізання качана на корені. Застосовувався зрізувальний апарат шнекового типу з дисковими ножами.

Для потокової технології застосовують машини УКМ-1 та УКМ-2 (рисунок 1.3). Вони складаються лише з двох робочих органів: клавішного зрізаючого механізму і вивантажувального транспортера. Агрегатуються із трактором МТЗ-82. Обслуговують їх тракторист та машиніст. Продуктивність агрегату 0,8 – 1,5 га за зміну.



Рисунок 1.3 – Капустозбиральна машина УКМ-2

УКМ зрізає головки капусти, відокремлює їх від качанів і розеткового листя, вантажить купу в транспортний засіб. Потім продукція доставляється до ліній доопрацювання.

У зарубіжжі для збирання капусти застосовувалися різні моделі капустозбиральних машин.

Однорядна машина "Рустика" фірми "Генріх Блейнрот" (рис. 1.4) працює за принципом висмикування. Шнековий зрізаючий механізм подібний до зрізувального механізму комбайна МСК-1, але відрізняється конструкцією притискного транспортера і ножа для обрізки качанів, виконаного у вигляді нескінченної пилкоподібної стрічки. Машина обладнана шнековим листовідділювачем, перебірним столом та бункером-наповнювачем ємністю 3,28 м³. Усі робочі органи мають гідропривод.

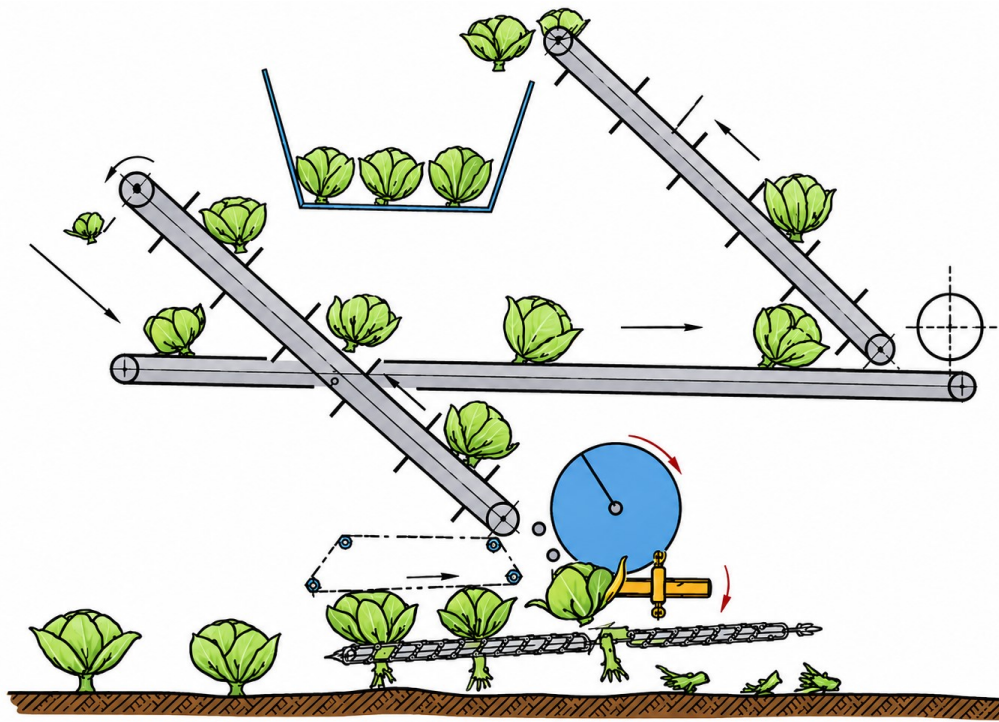
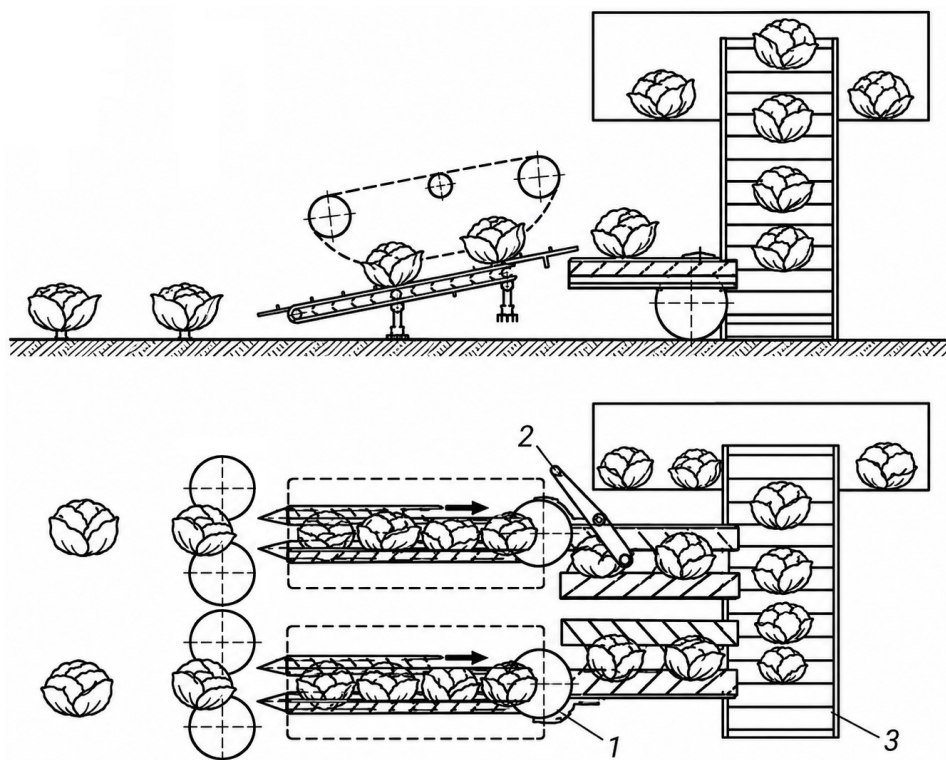


Рисунок 1.4 – Технологічна схема капустозбиральної машини «Рустика» (варіант із бункером накопичувачем) фірми «Генріх Блейнрот » (ФРН)

Дворядна капустозбиральна машина фірми «Лоув машин компанії» (США) (рисунок 1.5) має регульовану ширину захоплення. Машина призначена для суцільного збирання качанної капусти з двох рядків з одночасним навантаженням її на транспортний засіб. Відмінною особливістю машини є гідромеханічний привід всіх вузлів, що є на ній, що обертаються. Як ліфтери використовуються обертові похилі диски.

Машина складається з наступних основних вузлів: рами з ходовими колесами, зрізувального апарату, шнекового листовідділювача, гідронасоса з приводом та масляним баком, розподільника гідросистеми, вивантажувального скребкового елеватора.



1 - відрізні ножі; 2 - шнековий листовідділювач ; 3 - вивантажувальний елеватор

Рисунок 1.5 – Технологічна схема капустозбиральної машини фірми «Лоув машин компані» (США)

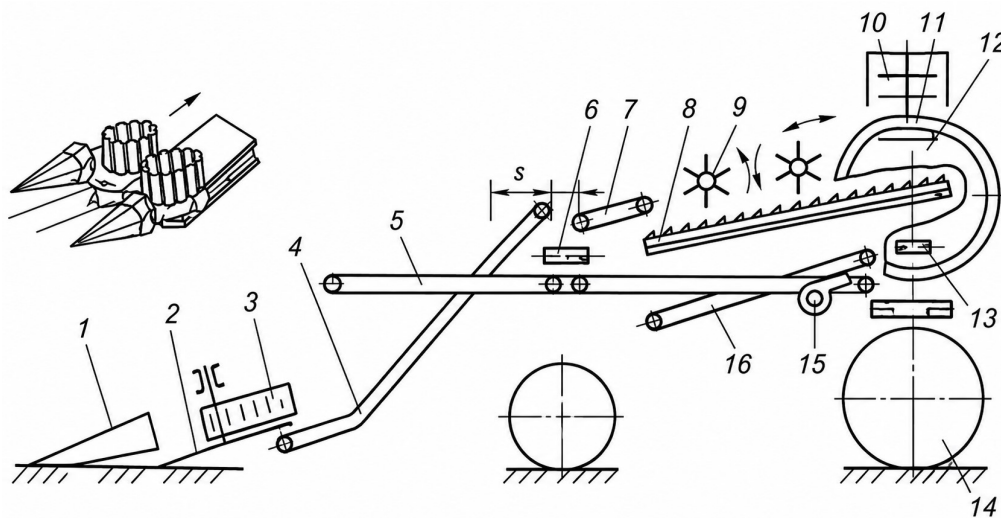
Технологічний процес збирання машиною відбувається так само, як у вищеописаних машин, проте передача зрізаних качанів на шнековий листовідділювач проводиться дисковим ножем, яким качан відокремлюється від головки капусти.

В даний час випускається ряд машин для збирання капусти такими фірмами, як Asa-Lift, Данія; Bleinroht GmbH, Німеччина; Hortech, Італія; Apullma та Sweere, Голландія; Bärtschi-Fobro AG, Швейцарія; Zeyer Agrarsysteme, Німеччина; Vanhoucke Machinery (США).

1.3. Аналіз зрізувальних апаратів капустозбиральних машин

На сьогоднішній день найбільш поширеними є дві схеми зрізувальних апаратів:

- зрізування головки капусти на корені та транспортування зрізаної головки в транспорт. Качан залишається в ґрунті (рисунок 1.6);
- вилучення головки разом із качаном із землі, зріз качана у висячому положенні та транспортування головок капусти в кузов. Качани вільно лежать на землі (рисунок 1.7).



- 1 – напрямні конуси; 2 – зрізувальний ніж; 3 – вирівнювальний транспортер;
4 – подаючий транспортер; 5 – стіл доопрацювання

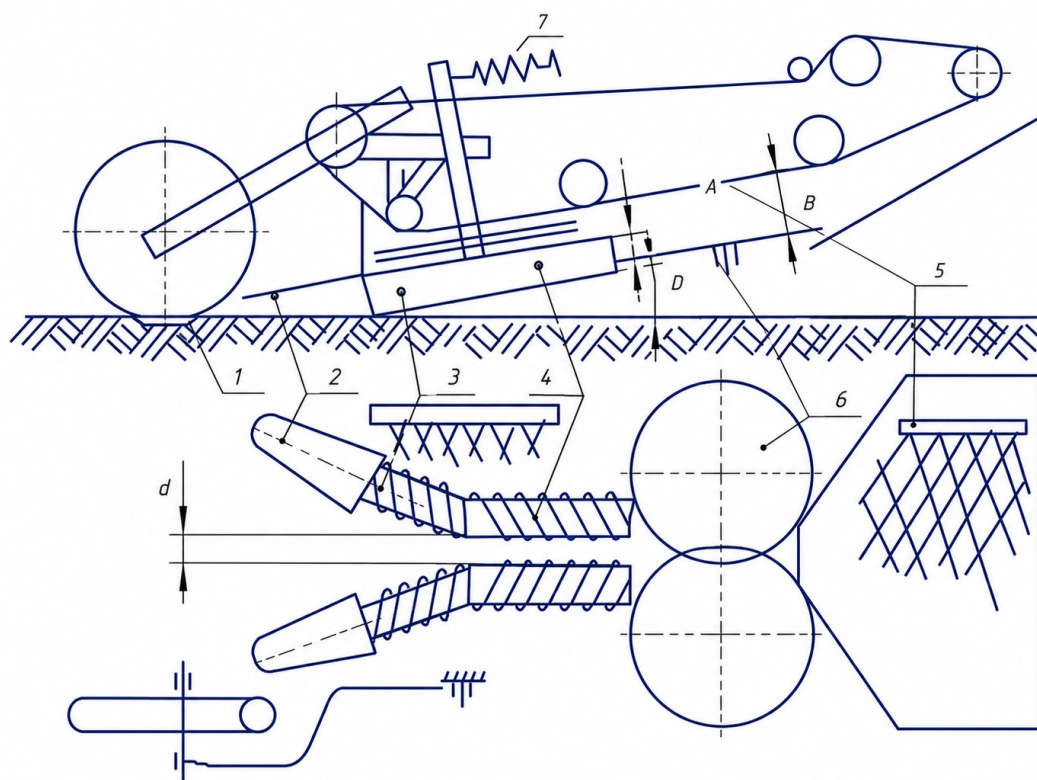
Рисунок 1.6 – Схема зрізувального апарату капустозбиральної машини УКМ-2

При використанні першої схеми роботи знижуються витрати енергії на вилучення головки з ґрунту, але качани, що залишилися, в подальшому підвищать витрати енергії на оранку поля.

Працюючи за другою схемою збільшуються витрати енергії на збирання (потрібно витягти головку капусти разом із качаном з ґрунту), але після збирання качанів з поля його буде легше зорати. Зібрані качани, після певного доопрацювання, можна використовувати на корм худобі.

В умовах України краще працювати за другою схемою. Тому, як прототип, для удосконалення обрано капустозбиральну машину НКМ-1. Технічні характеристики вибраної моделі машини представлено у додатку А.

Більшість капустозбиральних машин не забезпечують вихід товарного качана, оскільки на машині не передбачено робочого органу для відділення покривного листа, або якість відділення покривного листа низька. У багатьох машинах для відділення покривного листа використовується ручна праця або відбувається завантаження в транспорт качана разом з купою. Існуючі листовідокремлювачі (рис. 1.7) не відповідають вимогам високої якості відділення листа і травмують качан у процесі виділення товарного качана з купи.

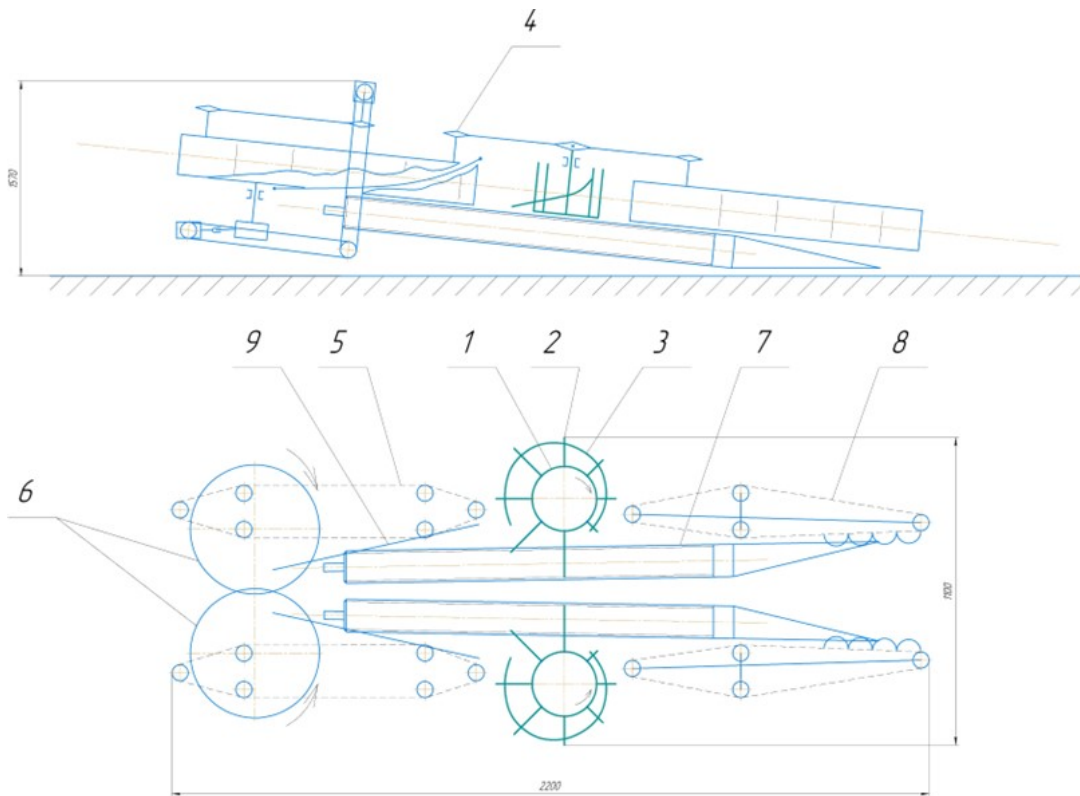


- 1 – копіювальне колесо; 2 – напрямні конуси; 3 – приймальні шнеки;
4 - вирівнюючі шнеки; 5 – стропний транспортер; 6 – ножі; 7 – пружина

Рисунок 1.7 – Схема зрізувального апарату капустозбиральної машини МСК-1

1.4. Опис конструктивної розробки

Пропонований у конструктивній розробці апарат відгину листа розташований у проміжку між утримуючими бічними транспортерами зрізувального апарату капустозбиральної машини НКМ-1 (рис. 1.8).

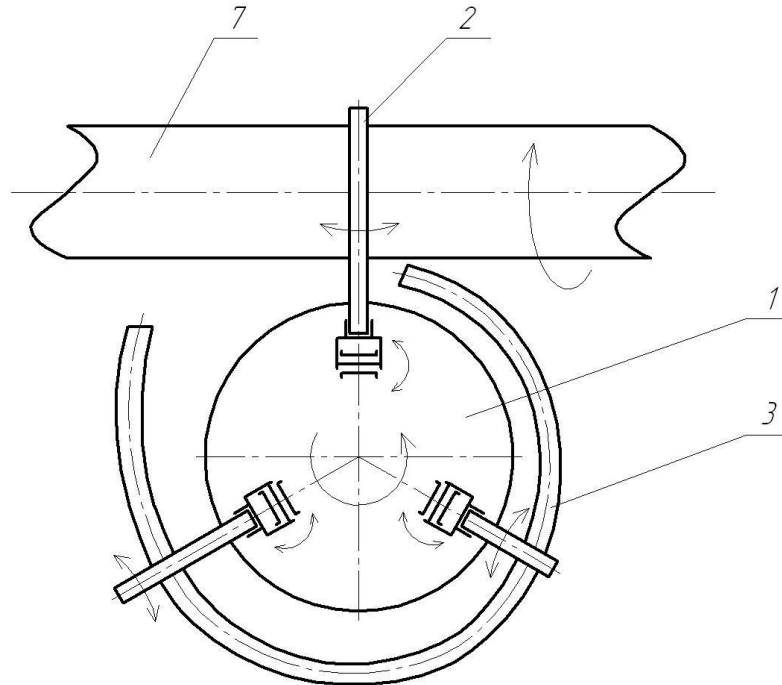


- 1 - диск – листовідгинач ; 2 - палець – листовідгинач ; 3 – гвинтова напрямна; 4 - зірочка приводу листовідгинача ; 5 – пасивні криволінійні напрямні; 6 – дискові ножі; 7 – транспортуючі вали; 8 – передній утримуючий транспортер; 9 – задній утримуючий транспортер

Рисунок 1.8 – Схема зрізуючого апарату капустозбиральної машини НКМ-1

Пристрій складається з диска 1 (рис. 1.9 і рис. 1.10), закріпленого шарнірно на рамі капустозбиральної машини, пальців листовідгинача 2 і гвинтової направляючої 3. Диски приводять у обертання за допомогою ланцюгової передачі від бічних утримуючих транспортерів. Пальці 2 закріплені шарнірно на диску листовідгинача і притискаються до диска за допомогою пружин. Пальці 2 мають три ступені свободи:

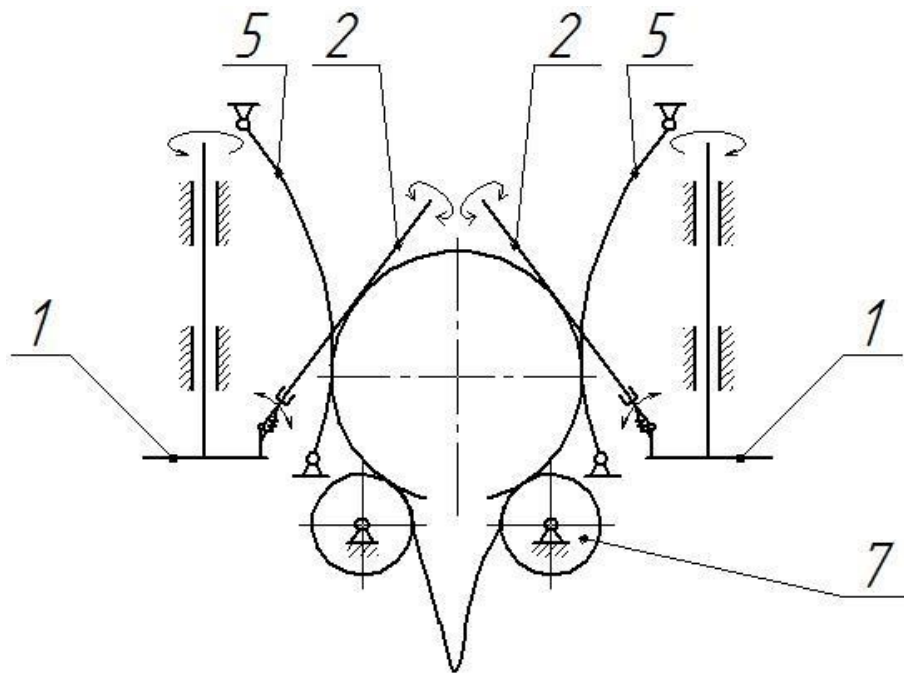
- 1) обертання навколо своєї осі на 360° в основі пальцевого механізму;
- 2) переміщення у вертикальній площині на висоту напрямної 3;
- 3) обертання основи пальцевого механізму дисках листовідгибателя на кут до 120° .



1 - диск – листовідгинач ; 2 - палець – листовідгинач ; 3 – гвинтова напрямна;
7 – транспортуючий вал.

Рисунок 1.9 – Апарат для відгинання листя (листовідгинач), вид зверху

Пристрій працює наступним чином. При русі капустозбирального агрегату качан по валах транспортуючих 7 за допомогою утримуючого транспортера 8 подається до апарату відгину листя. При попаданні качана в апарат відгину листя кожен палець 2, пружний у вертикальному положенні при сході з гвинтовою напрямною 3 впливає зверху вниз на покривне листя качана, при цьому сила удару про качан пальцем 2 знижується за допомогою еластичного покриття пальця 2.



1 – диск листовідгинача; 2 – палець листовідгинач ; 3 – гвинтова напрямна;
 5 – пасивні криволінійні напрямні ; 7 – транспортуючий вал

Рисунок 1.10 – Апарат відгинання листа (листовідгинач), вид спереду

Скочуючись по щільній поверхні відламує принаймні переміщення качана між дисками 1. При цьому диски 1, обертаючись, утримують качани пальцями 2 з двох сторін у вертикальному положенні, виключаючи можливість відхилення качанів від вертикалі. Відігнуте листя заправляється під пасивні криволінійні напрямні 5 і качан просувається до відрізних ножів 6, захоплюючись притискними транспортерами 9 в області найбільшого діаметра.

Використання запропонованої конструкції дозволить збільшити вихід товарних качанів високої якості та знизити витрати ручної праці на збирання качанної капусти. Запропонована конструкція обслуговується одним механізатормом.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Визначення витрат часу при збиранні капусти

При організації збирання за суцільною однофазною поточною технологією зростає час перебування агрегату в полі, що позначається на загальній продуктивності агрегату за зміну.

Розглянемо операції, що виконуються на агрегаті під час збирання:

- орієнтування зрізувального апарату по центру рядка;
- зрізування та транспортування зрізаного качана;
- доопрацювання та інспекція на столі доопрацювання;
- завантаження качана в транспортний засіб.

Максимум часу витрачається на інспекцію та доопрацювання качанів на столі доопрацювання двома робітниками (близько 40% часу). У зв'язку з цим швидкість всього агрегату вибирається те щоб не було заторів продукції на столі доопрацювання.

Визначимо час проходу однієї головки капусти по збиральній машині (час обробки одного качана):

$$t_{\text{прох}} = \frac{l_{\text{прох}}}{v_{\text{прох}}}, \quad (2.1)$$

де $l_{\text{прох}}$ - Відстань одного проходу качана по збиральній машині, км;

$v_{\text{прох}}$ - швидкість качана, що рухається збиральною машиною, км/год.

Відстань одного проходу качана по збиральній машині складається з наступних відстаней (базовий варіант):

- зрізувальний апарат - $l_{\text{зр.ап.}} = 2200$ мм
- стіл доопрацювання - $l_{\text{ст.}} = 2000$ мм
- вивантажувальний транспортер - $l_{\text{вив.тр.}} = 1200$ мм

Разом $l_{\text{прох}} = l_{\text{зр.ап.}} + l_{\text{ст.}} + l_{\text{вив.тр.}} = 5400$ мм = 0,0054 км.

Відстань одного проходу качана по збиральній машині (проектний варіант з листовідгиначем):

- від початку зрізувального апарату до листовідгиначів – 600 мм;
- листовідгинач – 400 мм;
- від листовідгинача до зрізних ножів – 600 мм;
- від ножів до столу доопрацювання – 600 мм;
- горизонтальний транспортер – 1800 мм;
- вивантажувальний транспортер – 1400 мм;

Разом $l_{\text{прох}}' = 5400 \text{ мм} = 0,0054 \text{ км}$.

Швидкість качана на зрізувальному апараті дорівнює швидкості збирального агрегату під час збирання $v_{\text{агр}} = 2,8 \text{ км/год}$. Перевищення робочої швидкості збирального агрегату до 3 км/год призведе до утворення затора в області дороблювального столу.

Швидкість руху головки капусти на дороблювальному столі встановлюється з умовою того, що робітники повинні повністю оглянути кожен качан і, залежно від його стану, доопрацювати до товарного вигляду ($v_{\text{см.}} = 1,5 \text{ км/год}$). Швидкість вивантажувального елеватора синхронізована зі швидкістю зрізувального апарата ($v_{\text{вив.}} = 2,8 \text{ км/год}$).

З формули 2.1 визначаємо час проходження однієї головки капусти по збиральній машині:

$$t_{\text{прох}} = \frac{0,0022}{2,8} + \frac{0,002}{1,5} + \frac{0,0012}{2,8} = 0,000786 + 0,0013 + 0,000429 \approx 9 \text{ с.}$$

У проектному варіанті відсутній стіл доопрацювання, оскільки капуста доводиться до товарного вигляду на зрізному апараті капустозбиральної машини. Швидкість руху агрегату полем можна підвищити до 3,2 км/год. Подальше підвищення швидкості призведе до обриву рослин на корені, що зменшить якість зібраного врожаю.

$$t_{\text{прох}}' = \frac{0,0054}{3,2} \approx 6,1 \text{ с.}$$

Розглянемо продуктивність базового та проектного агрегатів на полі площею 1 га із щільністю посадки 30 коренів на 10 м^2 та довжиною гону 400 м. Загальна кількість рослин на площі 1 га (10000 м^2) становить 30000 коренів.

Час одного проходу агрегату по полю:

$$t_{\text{гон}} = \frac{l_{\text{гон}}}{v_{\text{МТА}}}, \quad (2.2)$$

де $l_{\text{гон}}$ – довжина одного проходу агрегату (довжина гону), км;

$v_{\text{МТА}}$ – робоча швидкість агрегату в полі, км/год.

З формули 2.2 знаходимо час одного проходу агрегату по полю:

– для базового варіанта:

$$t_{\text{гон}} = \frac{0,4}{2,8} = 0,143 \text{ год} \approx 8,6 \text{ хв};$$

– для проектного варіанта:

$$t_{\text{гон}} = \frac{0,4}{3,2} = 0,125 \text{ год} \approx 7,5 \text{ хв}.$$

Агрегат рухається полем безагінним круговим способом від центру до периферії, тому при ширині поля раніше 25 м приймаємо середній час розвороту $t_{\text{розв}} = 3 \text{ хв}$. Пізньостигла капуста висаджується із шириною міжрядь 60-70 см, отже на аналізованому полі в середньому буде 37 рядків.

Час, що витрачається на обробку 1 га поля:

$$t_{\text{поля}} = t_{\text{зону}} \cdot n + t_{\text{розв}} \cdot 2(n-1), \quad (2.3)$$

де n – кількість рядків на оброблюваному полі.

З формули 2.3 знаходимо час, що витрачається на обробку поля площею 1 га одним агрегатом:

– для базового варіанта:

$$t_{\text{поля}} = 8,6 \cdot 37 + 3 \cdot 2(37 - 1) = 534,2 \text{ хв} \approx 8,9 \text{ год};$$

– для проєктного варіанта:

$$t_{\text{поля}} = 7,5 \cdot 37 + 3 \cdot 2(37 - 1) = 493,5 \text{ хв} \approx 8,2 \text{ год}.$$

Таким чином застосування капустозбирального комбайна з листовідгиначем дозволить скоротити час збирання капусти на 8% порівняно з базовим варіантом комбайна і, відповідно, підвищити продуктивність агрегату.

2.2. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників

Час одного проходу збирального агрегату МТЗ-82 + капустозбиральна машина НКМ-1 з листовідгиначем визначаємо з формули 2.2:

$$t_{\text{зон}} = 0,4 / 3,2 = 0,125 \text{ год}.$$

Середній час розвороту – $t_{\text{розв}} = 3 \text{ хв} \approx 0,05 \text{ год}$.

Час основної роботи збирального агрегату за зміну розраховуємо за формулою:

$$t_o = T_{\text{зм}} - t_{\text{розв}} \cdot 2 \cdot (n_{\text{прох}} - 1) - t_{\text{техн}}, \quad (2.4)$$

де $T_{\text{зм}}$ – час однієї зміни, год; приймаємо $t_{\text{см}} = 8 \text{ год}$;

$t_{\text{техн}}$ – технологічний час, час на підготовку і обслуговування агрегату, год.

Приймаємо $t_{техн} = 30 \text{ хв} = 0,5 \text{ год}$.

Оскільки час витрачений на обробку поля площею 1 га базовим капустозбиральним комбайном – 8,9 год, приймаємо кількість проходів $n_{прох} = 31$. Отже, час основної роботи базового МТА:

$$t_o = 8 - 0,05 \cdot 2 \cdot (31 - 1) - 0,5 = 4,5 \text{ год.}$$

Час витрачений на обробку поля площею 1 га проектним капустозбиральним комбайном – 8,2 год, отже приймаємо кількість проходів $n_{прох} = 35$.

Час основної роботи проектного МТА:

$$t_o = 8 - 0,05 \cdot 2 \cdot (35 - 1) - 0,5 = 4,1 \text{ год.}$$

Добову продуктивність збиральних агрегатів у базовому і проектному варіантах розраховуємо за формулою:

$$Q_{доб} = t_o \cdot v_{МТА} \cdot B, \quad (2.5)$$

де B – ширина захвату одного комбайна, км.

У випадку з капустозбиральним комбайном НКМ-1 ширина захвату буде рівна діаметру розетки однієї рослини капусти плюс ширина міжряддя, тобто

$$B = 60 + 67 = 127 \text{ см} = 0,00127 \text{ км.}$$

За формулою 5 розраховуємо добову продуктивність:

– для базового варіанту:

$$Q_{доб} = 4,5 \cdot 2,8 \cdot 0,00127 = 0,016 \text{ км}^2 = 1,6 \text{ га};$$

– для проектного варіанту:

$$Q_{сут} = 4,1 \cdot 3,2 \cdot 0,00127 = 0,017 \text{ км}^2 = 1,7 \text{ га.}$$

Годинна продуктивність збирального агрегату розраховується за формулою:

$$W_{\text{ч}} = Q_{\text{сут}} / (T_{\text{см}} \cdot n_{\text{зм}}), \quad (2.6)$$

де $n_{\text{зм}}$ – кількість змін за добу; приймаємо 1 зміну за добу.

За формулою 2.6 знаходимо годинну продуктивність збирального агрегату:

– для базового варіанту:

$$W_{\text{ч}} = 1,6 / (8 \cdot 1) = 0,2 \text{ га/год.}$$

– для проєктного варіанту:

$$W_{\text{ч}} = 1,7 / (8 \cdot 1) = 0,213 \text{ га/год.}$$

Питому витрату палива при виконанні збиральних робіт розраховуємо за формулою:

$$q_{\text{м}} = G_{\text{год}} \cdot K_{\text{T}} / W_{\text{год}}, \quad (2.7)$$

де $G_{\text{год}}$ – годинна витрата палива енергетичного засобу при номінальній потужності двигуна; $G_{\text{год}} = 17,2 \text{ кг/год}$ [14];

K_{T} – поправочний коефіцієнт, що враховує неповне навантаження двигуна трактора; приймаємо $K_{\text{T}} = 0,9$ [3].

За формулою 2.7 знаходимо питому годинну витрату палива:

– для трактора з базовим капустозбиральним комбайном:

$$q_{\text{м}} = 17,2 \cdot 0,9 / 0,2 = 77,4 \text{ кг/га.}$$

для трактора з проєктним капустозбиральним комбайном:

$$q_{\text{м}} = 17,2 \cdot 0,9 / 0,213 = 72,68 \text{ кг/га.}$$

Визначаємо питомі витрати праці за формулою:

$$Z_{mp} = (m_1 + m_2) / W_{год}, \quad (2.8)$$

де m_1 і m_2 – число механізаторів і допоміжних робітників на один транспортний агрегат;

–для трактора з базовим капустозбиральним комбайном:

$$Z_{mp} = (1 + 2) / 0,2 = 15 \text{ люд-год/га.}$$

–для трактора з проєктним капустозбиральним комбайном:

$$Z_{mp} = (1 + 0) / 0,213 = 4,69 \approx 5 \text{ люд-год /га.}$$

У таблиці 2.1 наведені техніко-експлуатаційні показники використання трактора МТЗ-82 з базовим і проєктним капустозбиральними комбайнами.

Таблиця 2.1 – Техніко-експлуатаційні показники транспортних агрегатів

Показники	Значення	
	МТЗ-82 із базовим комбайном	МТЗ-82 із проєктним комбайном
Витрати часу на один прохід, год	0,143	0,125
Час основної роботи збирального агрегату за зміну, год	4,5	4,1
Продуктивність за 1 год основного часу, га	0,2	0,213
Питома витрата палива, кг/га	77,4	72,68
Питомі витрати, люд-год/га	15	5

З таблиці 2.1 видно, що використання трактора МТЗ-82 з капустозбиральним комбайном НКМ-1 обладнаним листовідгиначем на збиранні капусти забезпечує підвищення продуктивності на 6,5%, зниження питомої витрати на 6% і витрат праці на 66,7%.

2.3. Розрахунок техніко-економічних показників

Визначаємо техніко-економічні показники роботи збирального агрегату на полі площею 10 га.

Час роботи механізатора в наряді T_n приймаємо рівним 8 год.

Годинна продуктивність агрегату $W_{год} = 0,213$ га/год.

Змінна продуктивність агрегату:

$$W_{зм} = W_{год} \cdot T_{зм}. \quad (2.9)$$

Підставляємо відомі значення у формулу 2.9:

$$W_{зм} = 0,213 \cdot 8 = 1,704 \text{ га/зм.}$$

Знаходимо коефіцієнт використання часу зміни $\beta_{зм}$:

$$\beta_{зм} = t_o / T_{зм}. \quad (2.10)$$

Підставляємо значення у формулу 2.10:

$$\beta_{зм} = 4,1 / 8 = 0,51.$$

Визначаємо сумарну продуктивність трактора за час збирання:

$$W_{сум} = W_{см} \cdot n_{тр} \cdot D_p \quad (2.11)$$

де $n_{тр}$ – кількість тракторів, що обслуговують поле, шт;

D_p – кількість робочих днів; $D_p = 10$ днів.

Тоді

$$W_{сум} = 1,704 \cdot 1 \cdot 10 = 17,04 \text{ га.}$$

Потрібна кількість тракторів для збирання 10 га дорівнює:

$$N_{тр} = S_n / W_{сум} \quad (2.12)$$

де S_n – площа поля, що розраховується, га.

Підставляємо значення у формулу 12 і отримуємо:

$$N_{тр} = 10 / 17,04 = 0,587 \text{ тракторів}$$

Приймаємо для подальших розрахунків 1 трактор.

Витрату палива на одну зміну збирання визначаємо за формулою:

$$P_m = G_z \cdot T_{см} \cdot K_m \quad (2.13)$$

де G_z – годинна витрата палива, кг/год;

K_m – поправочний коефіцієнт, що враховує неповне завантаження двигуна на поворотах, переїздах та зупинках; $K_m = 0,9$ [11].

Годинну витрату палива при номінальному навантаженні знаходимо за формулою [14]:

$$G_z = 0,7 \cdot R \cdot N, \quad (2.14)$$

де R – питома витрата палива, г·кВт/год; для МТЗ-82 $R = 230$ г·кВт/год;

N – потужність двигуна, к.с.; для МТЗ-82 $N = 75$ к.с.

Годинна витрата палива для МТЗ-82:

$$G_z = 0,7 \cdot 230 \cdot 75 = 12\,075 \text{ г/год} = 12,1 \text{ кг/год}$$

Підставляємо значення у формулу 13 і отримуємо:

$$P_m = 12,1 \cdot 8 \cdot 0,9 = 87,12 \text{ кг} (\approx 103,50 \text{ л})$$

Вартість палива визначається за формулою:

$$C_m = P_m \cdot C_k \quad (2.15)$$

де C_k – ціна 1 л дизельного палива, грн; Актуальна ціна $C_k = 87$ грн/л.

Звідси $C_m = 103,50 \cdot 87 = 9\,004,50$ грн.

Питома витрата палива на обраному полі становить:

$$P_y = P_m / W_{сум} = 103,50 / 1,704 = 60,7 \text{ л/га.}$$

Витрати на заробітну плату за маршрутом визначаємо відповідно до тарифу оплати одного механізатора $T_o = 1136$ грн за відпрацьовану зміну (розраховано з середньої зарплати механізаторів в АПК України у 2026 р. – 25000 грн/міс) за формулою:

$$C_{zn} = D_p \cdot T_o \cdot N_m \quad (2.16)$$

де N_m – кількість механізаторів на маршруті, чол.; $N_m = 1$ чол.

Підставляємо значення і отримуємо $C_{zn} = 10 \cdot 1\,136 \cdot 1 = 11\,360$ грн.

Витрати на реновацію визначаємо виходячи з балансової вартості машин:

$$C_p = 0,01 \cdot (C_{\text{бт}} + C_{\text{бк}}) \cdot a_{\text{рен}} \cdot \delta \cdot n \quad (2.17)$$

де $C_{\text{бт}}$ – ціна придбання трактора, грн; $C_{\text{бт}} = 936\,271$ грн;

$C_{\text{бк}}$ – ціна придбання комбайна; $C_{\text{бк}} = 531\,300$ грн;

δ – частка виконаних робіт у річному завантаженні МТА; $\delta = 0,2$;

$a_{\text{рен}}$ – відсоток відрахувань на реновацію, %; $a_{\text{рен}} = 20\%$ [14].

Підставляємо відомі значення і отримуємо:

$$C_p = 0,01 \cdot (936\,271 + 531\,300) \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 1 = 58\,702,84 \text{ грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування та ремонт (ТОР) визначаємо за наступною формулою [14]:

$$C_{TOP} = 0,01 \cdot C_{\delta} \cdot a_{TOP} \cdot \delta \cdot n \quad (2.18)$$

де a_{TOP} – норма відрахувань на TOP, %; для тракторів $a_{TOP} = 15\%$, комбайнів $a_{TOP} = 12\%$ [14].

Підставляємо значення у формулу 18 та знаходимо:

$$C_{TOP} = (0,01 \cdot 936271 \cdot 15 \cdot 0,2 \cdot 1) + (0,01 \cdot 531300 \cdot 12 \cdot 0,2 \cdot 1) = 40839,33 \text{ грн.}$$

Прямі експлуатаційні витрати на збиранні капусти знаходимо за формулою [14]:

$$C_e = C_m + C_{zn} + C_p + C_{TOP} + C_n \quad (2.19)$$

де C_n – інші витрати, грн; $C_n = 0$ грн.

Підставляємо відомі значення у формулу 2.19 і отримуємо:

$$C_e = 9\,004,50 + 11\,360 + 58\,702,84 + 40\,839,33 + 0 = 119\,906,67 \text{ грн.}$$

Собівартість збирання капусти на полі, що розглядається, знаходимо за формулою [14]:

$$C_{зб} = C_e / W_{сум} \quad (2.20)$$

У підсумку розрахункова собівартість збирання капусти на полі, що розглядається, дорівнює:

$$C_{зб} = 119906,67 / 17,04 = 7036,78 \text{ грн/га.}$$

3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок ланцюгової передачі приводу листовідгинача

Частота обертання валу листовідгинача становить 200 об/хв і відповідає частоті обертання зірочок притискного транспортера (див. Додаток А). Визначаємо крутний момент на валу ведучої зірочки:

$$T_{кр} = 9550 \frac{P}{n} \quad (3.1)$$

де $T_{кр}$ – крутний момент на валу притискного транспортера, Н·м ;
 P – потужність на ведучій зірочці, $P = 5$ кВт;
 n – частота обертання, $n = 200$ об/хв.

Підставляємо значення та отримуємо:

$$T_{кр} = 9550 \frac{5}{200} = 238,75 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для визначення допустимої колової корисної сили, яка може передаватися ланцюгом, знаходимо коефіцієнт експлуатації:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.2)$$

де K_1 – коефіцієнт динамічного навантаження. При рівномірному навантаженні

$$K_1 = 1;$$

K_2 – коефіцієнт способу регулювання натягу ланцюга. При періодичному регулюванні $K_2 = 1,25$;

K_3 – коефіцієнт міжосьової відстані ланцюга, $K_3 = 1$;

K_4 – коефіцієнт лінії нахилу передачі до горизонту; при $\theta \leq 45^\circ$ $K_4 = 1$;

K_5 – коефіцієнт способу змащення ланцюга. При періодичному способі змащування ланцюга $K_5 = 1,5$;

K_6 – коефіцієнт режиму роботи, що враховує кількість змін роботи на добу. При однозмінній роботі $K_6 = 1$.

Звідси
$$K = 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,875 .$$

Визначаємо число зубів для ведучої зірочки:

$$z_1 = 29 - 2 \cdot i , \quad (3.3)$$

де i – передавальне число ланцюга.

Передавальне число для розраховуваної передачі приймаємо 1, оскільки листовідгинач повинен обертатися з тією ж кутовою швидкістю, що і притискний транспортер, від якого приводиться листовідгинач.

Відповідно, з формули 3.3 знаходимо :

$$z_1 = 29 - 2 \cdot 1 = 27 .$$

Число зубів веденої зірочки:

$$z_2 = z_1 \cdot i = 27 \cdot 1 = 27 .$$

Визначаємо крок ланцюга. Середній допустимий тиск $[p_0]$ у шарнірах при $n = 200$ об/хв становить 29 Н/мм².

Тоді крок ланцюга:

$$t \geq 4,5 \sqrt[3]{\frac{K \cdot T_{кр}}{k_p \cdot z_1 \cdot [p_0]}} , \quad (3.4)$$

де t – крок ланцюга, мм;

k_p – коефіцієнт рядності ланцюга. Для однорядних ланцюгів $k_p = 1$;

$[p_0]$ – допустимий тиск у шарнірах ланцюга, Н/мм².

Підставляємо значення у формулу 3.4:

$$t \geq 4,5 \sqrt[3]{\frac{1,875 \cdot 2387,5}{1 \cdot 27 \cdot 29}} = 8,05 \text{ мм.}$$

Відповідно до ДСТУ 13568-2006 приймаємо ланцюг ПР-8-460 з кроком ланцюга $t = 8$ мм і навантаженням руйнування $F_p = 460$ кН.

Діаметри ділільних кіл зірочок.

$$d_{o1} = d_{o2} = \frac{t}{\sin(180^\circ / z)} = \frac{8}{\sin(180^\circ / 27)} = 67 \text{ мм.}$$

Визначаємо швидкість ланцюга за формулою:

$$v = \frac{z \cdot n \cdot t}{60 \cdot 1000}, \quad (3.5)$$

де z - число зубів зірочки; $z = 27$;

n - частота обертання зірочки, хв^{-1} , $n = 200 \text{ хв}^{-1}$;

t – крок ланцюга мм, $t = 8$ мм.

За формулою 3.5 отримуємо:

$$v = \frac{27 \cdot 200 \cdot 8}{60 \cdot 1000} = 0,72 \text{ м/с.}$$

Колова сила, що передається ланцюгом:

$$F_t = \frac{2000 \cdot T_{кр}}{d_{o1}}, \quad (3.6)$$

Підставляємо значення:

$$F_t = \frac{2000 \cdot 238,75}{65} = 7126,87 \text{ Н.}$$

Визначаємо тиск у шарнірах ланцюга:

$$p_0 = \frac{K \cdot F_t}{A \cdot k_p}, \quad (3.7)$$

де A - площа опорної поверхні шарніра, $A = 13 \text{ мм}^2$ [5]. Підставивши відомі значення, отримуємо:

$$p_0 = \frac{1,875 \cdot 71,269}{13 \cdot 1} = 10,28 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск у шарнірах ланцюга з кроком 8 мм $[p_0] = 31 \text{ МПа}$ [5]. Допустима корисна сила, що передається ланцюгом, визначається за формулою:

$$P = \frac{p_0 \cdot F}{K} = \frac{0,28 \cdot [p_0] \cdot t^2 \cdot k_p}{K}, \quad (3.8)$$

де k_p - коефіцієнт рядності ланцюга; $k_p = 1$.

Підставляємо значення формулу 3.8 і отримуємо:

$$P = \frac{0,28 \cdot 31 \cdot 8^2 \cdot 1}{1,875} = 296,28 \text{ Н.}$$

Оптимальну міжосьову відстань ланцюгової передачі знаходимо із співвідношення $a = (30 \dots 50) \cdot t = 30 \cdot 8 = 240 \text{ мм}$.

Максимальна міжосьова відстань рекомендується обмежувати в межах $a_{\max} = 80 \cdot t = 80 \cdot 8 = 640 \text{ мм}$.

Потрібне число ланок ланцюга W визначаємо по міжосьовій відстані a , кроці ланцюга t і числа зубів зірочок z_1 і z_2 :

$$W = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2a}{t} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{a}, \quad (3.9)$$

Для гілки ланцюга між зірочками z_1 і z_2 знаходимо:

$$W = \frac{27 + 27}{2} + \frac{2 \cdot 240}{8} + \left(\frac{27 - 27}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{8}{240} = 87 \text{ ланок.}$$

Проектну ширину ланцюга визначаємо за такою формулою:

$$B = \frac{2,5 \cdot P \cdot \sqrt[3]{v} \cdot K}{t}, \quad (3.10)$$

Підставляємо розраховані значення формулу 3.10 і отримуємо

$$B = \frac{2,5 \cdot 296,28 \cdot \sqrt[3]{0,72} \cdot 1,875}{8} = 8,7 \text{ мм.}$$

3.2. Розрахунок валу приводу листовідгинача на міцність

При роботі листовідгинача на його вал з боку приводного ланцюга діятиме горизонтальна сила R_x рівна силі натягу ланцюга під час роботи і, відповідно, виникатиме згинальний момент M . Згинальний момент буде максимальним в момент початку обертання приводу листовідгинача. Горизонтальна сила натягу ланцюга становить $R_x = 500$ Н. Розглянемо вал листовідгинача у вигляді жорстко закріпленої балки. Побудуємо епюри діючих на балку поперечних сил Q і згинальних моментів M (рис. 3.1).

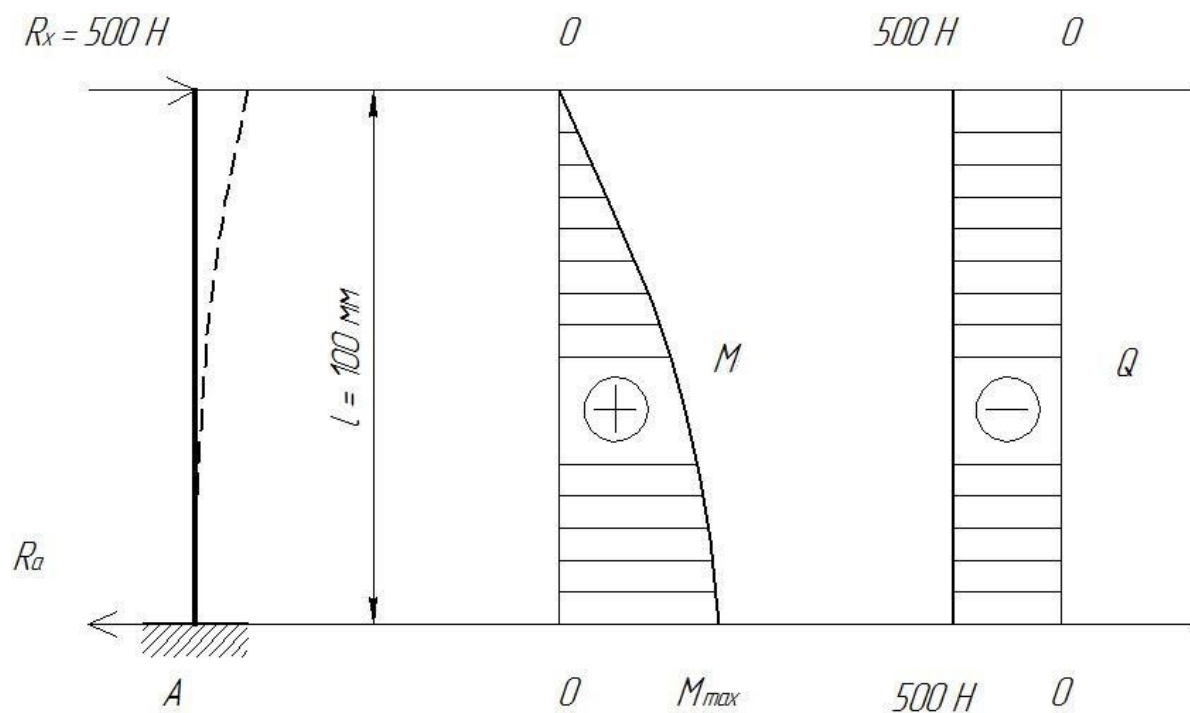


Рисунок 3.1 – Епюри поперечних сил Q і згинальних моментів M

Реакція опори A дорівнює: $R_a = R_x = 500 \text{ Н}$.

Максимальний згинальний момент M діє на вал у місці його закріплення у підшипниковому вузлі.

Знаходимо максимальний згинальний момент:

$$M_z = R_x \cdot l = 500 \cdot 100 = 50 \text{ кН} \cdot \text{мм} .$$

Небезпечний переріз кронштейна знаходиться в місці дії максимального згинального моменту M_{\max} . У небезпечному перерізі вал є коло (рис. 3.2).

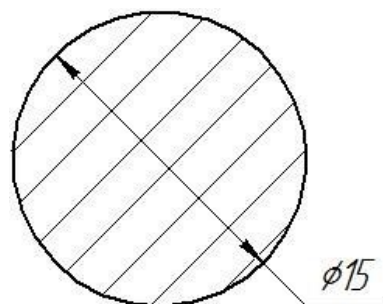


Рисунок 3.2 – Параметри небезпечного перерізу валу листовідгинача

Розраховуємо момент опору кола за формулою:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (3.11)$$

де d - діаметр вала, мм.

$$\text{Звідси, } W = \frac{3,14 \cdot 15^3}{32} = 331,17 \text{ мм}^3.$$

Умова міцності при згинанні має такий вигляд:

$$\sigma_{32} = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{32}], \quad (3.12)$$

де σ_{32} - максимальні напруження при згинанні, Н/мм²;

$[\sigma_{32}]$ – допустиме напруження при згині, Н/мм²; для сталі Ст4 $[\sigma_{32}] = 380$ Н/мм².

Підставляємо відомі значення за умови (3.12) і отримуємо:

$$\sigma_{32} = \frac{50000}{331,17} = 150,98 \text{ Н/мм}^2 \leq 380 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок показує, що умова міцності виконується, а запас міцності валу під дією максимального згинального навантаження складає:

$$n_{32} = \frac{[\sigma_{32}]}{\sigma_{32}} = \frac{380}{150,98} = 2,52.$$

3.3. Розрахунок на міцність зварного з'єднання

Гільза для запресування підшипників кріпиться до кронштейна листовідгинача зварним швом. Розраховуємо на міцність зварні шви кріплення гільзи до кронштейна (рис. 3.3).

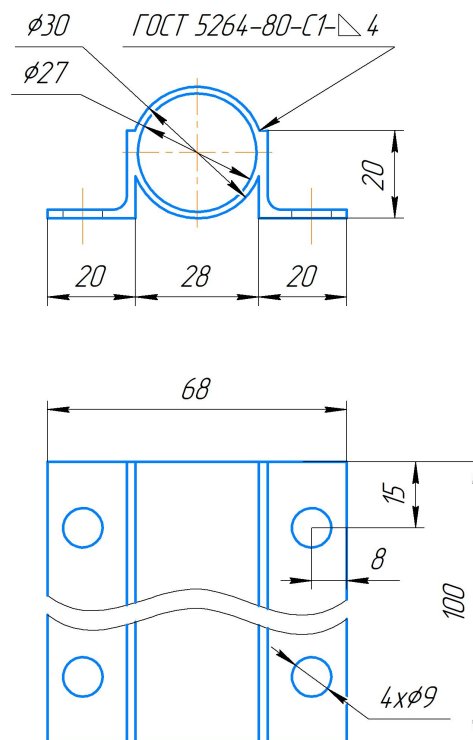


Рисунок 3.3 – Кронштейн листовідгинача

Зварне з'єднання виконане кутувими швами згідно ДСТУ 9692-1:2014 з катетом шва 5 мм. Гільза навантажена моментом у площині, перпендикулярній площини стику.

Визначаємо згинальний момент, що діє на гільзу, за формулою:

$$M_{зг} = P_{ц} \cdot l_1, \quad (3.13)$$

де $P_{ц}$ – сила, що діє на гільзу, залежить від натягу ланцюга приводу, Н; приймаємо $P_{ц} = 500$ Н;

l_1 - плече дії сили на гільзу, мм; $l_1 = 50$ мм.

За формулою 3.13 знаходимо

$$M_{32} = 500 \cdot 50 = 25000 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Для розрахунку зварного шва використовуємо умову міцності зварного з'єднання під дією сил розтягу - стиску [23]:

$$\sigma_{32} = \frac{6 \cdot M_{32}}{l_{ш}^2 \cdot s} \leq [\sigma_p], \quad (3.14)$$

де M_{32} – згинальний момент у площині, перпендикулярній площині стику, Н·мм;

$l_{ш}$ – довжина шва, мм, $l_{ш} = 100$ мм;

s – товщина тоншої з деталей, що з'єднуються, мм, $s = 1$ мм;

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження при розтягуванні, МПа. Допустиме напруження при розтягуванні $[\sigma]_p$ для сталі Ст 3 $[\sigma]_p = 160$ МПа [5].

З умови міцності 3.14 розраховуємо:

$$\sigma_{32} = \frac{6 \cdot 25000}{100^2 \cdot 1} = 15 \text{ МПа} \leq [\sigma]_p = 160 \text{ МПа}.$$

Таким чином, умова міцності при розтягуванні та стисканні зварного шва гільзи підшипників валу листовідгинача та кронштейна листовідгинача виконується.

3.4. Розрахунок болтового з'єднання

Проведемо розрахунок болтового з'єднання кронштейна механізму листовідгинача з рамою комбайна. Кронштейн кріпиться до рами комбайна за допомогою 4-х болтів М8х25 ДСТУ 7798:2008, схема розташування яких подано на рис. 3.4.

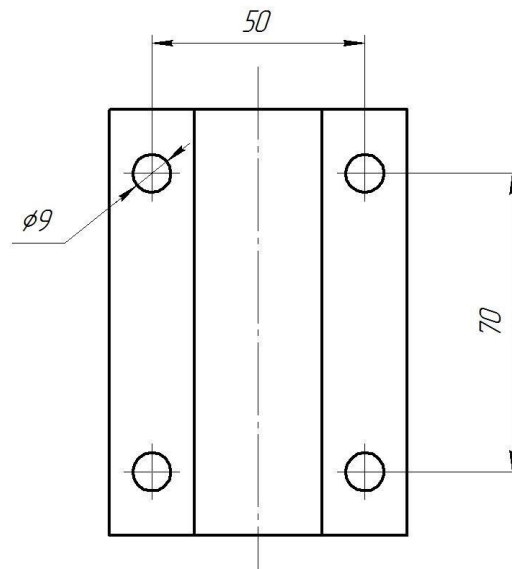


Рисунок 3.4 – Схема розташування болтів

Болти в цьому з'єднанні навантажені однаково. Для болтів з однаковим навантаженням спочатку визначаємо зовнішню силу, що діє на болтове з'єднання, а потім зовнішню силу, що припадає на один болт, за якою проводиться розрахунок болта на зріз і зминання. У процесі роботи болтове з'єднання навантажено, в основному, поздовжньою силою та частково поперечною.

За умовами міцності проведемо перевірочний розрахунок болтів. При навантаженні болта розтягуючою осьовою силою, умова міцності має наступний вигляд [5]:

$$\sigma_p = \frac{P_1}{\pi \cdot d_1^2 / 4} \leq [\sigma_p], \quad (3.15)$$

де σ_p – розрахункове напруження розтягу в поперечному перетині різьбової частини болта, Н/мм²;

P_1 – сила, що розтягує болт, Н;

d_1 – внутрішній діаметр різьби болта, мм;

$[\sigma_p]$ – напруження, що допускається на розтягування болта, Н/мм².

Сила, що розтягує болт визначається з виразу:

$$P_1 = \frac{P_1}{z}, \quad (3.16)$$

де Q_1 – поздовжня сила, що діє на болтове з'єднання, Н, приймаємо $Q_1 = 500$ Н;

z – кількість болтів групи.

Звідси $P_1 = 500 / 4 = 125$ Н.

Допустимі напруження на розтяг при межі текучості матеріалу болта $\sigma_T = 520$ Н/мм² (сталь 40Х) розраховуємо за формулою:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[n]}, \quad (3.17)$$

де $[n]$ – необхідний коефіцієнт запасу міцності; приймаємо $[n] = 4,5$ [5].

За формулою 3.17 розраховуємо

$$[\sigma_p] = 520 / 4,5 = 115,6 \text{ Н/мм}^2.$$

Підставляємо отримані значення в умову 3.15 і отримуємо:

$$\sigma_p = \frac{125}{3,14 \cdot 8^2 / 4} = 2,49 \text{ Н/мм}^2 \leq [\sigma_p] = 115,6 \text{ Н/мм}^2.$$

Таким чином, умова міцності болтів на зминання виконується.

Розраховуємо болтове з'єднання на зріз із умови міцності болта:

$$\tau_{зр} = \frac{P}{\pi \cdot d^2 / 4} \leq [\tau_{зр}], \quad (3.18)$$

де $\tau_{зр}$ – розрахункове напруження зрізу болта, Н/мм²;

P – поперечна зовнішня сила, що зрізає болт, Н; приймаємо $P = 100$ Н;

d – діаметр стрижня болта в небезпечному перерізі, мм;

$[\tau_{зр}]$ – допустимі напруження зрізу болта, Н/мм².

Допустиме напруження на зріз для болтів рекомендується приймати $[\tau_{зр}] = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T [5]$. Звідси, сталі 40Х $[\tau_{зр}] = 0,25 \cdot 520 = 130$ Н/мм².

Підставляємо значення у формулу 3.18 і отримуємо:

$$\tau_{зр} = \frac{100}{3,14 \cdot 8^2 / 4} = 1,99 \text{ Н/мм}^2 \leq [\tau_{зр}] = 130 \text{ Н/мм}^2.$$

Умова міцності на зріз виконується при використанні у з'єднанні листовідгиначів з рамою комбайна болтів $d = 8,0$ мм.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Визначення шкідливих виробничих факторів при експлуатації модернізованого капустозбирального комбайна

Охорона праці включає комплекс заходів правового, організаційного, технічного та санітарно-гігієнічного характеру, спрямований забезпечення здорових умов праці з виробництва [15].

У процесі виконання трудової діяльності на людину впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що визначаються згідно з ДСТУ 2293:2014 [6]. Для зниження впливу цих факторів, а також для виключення травматизму при виконанні робіт виявляються небезпечні елементи у конструкції тракторів та сільськогосподарських машин, шкідливі фактори та розробляються заходи щодо захисту від шкідливих виробничих факторів.

Шкідливі виробничі фактори, що виникають при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні модернізованого капустозбирального комбайна представлені в таблиці 4.1.

З таблиці 4.1 видно, що при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні модернізованого капустозбирального комбайна виникають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори: підвищена загазованість та запиленість робочої зони, монотонність праці, гідропроводи під високим тиском, підвищені навантаження на механізми та вузли тощо.

Основними засобами виключення травматизму є: дотримання трудової дисципліни, навчання робочих безпечним прийомам праці, експлуатація справного устаткування. Поліпшення умов праці можна забезпечити за рахунок зручного компонування обладнання та доступного розташування вузлів, де необхідне проведення регулювань та мастила при виконанні технічного обслуговування та ремонту.

Таблиця 4.1 – Шкідливі виробничі фактори та можливі причини травматизму при експлуатації модернізованого капустозбирального комбайна

Найменування операції	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори в системі «людина-машина-середовище»			Можливі причини травматизму
1. Управління трактором при збиранні сільськогосподарської продукції	- монотонність праці; - емоційні навантаження	- підвищені навантаження на механізми та вузли трактора	- підвищений рівень шуму; - підвищена загазованість та запиленість робочої зони	1. порушення трудової дисципліни; 2. робота з несправною сільськогосподарською машиною
2. Ремонт та технічне обслуговування модернізованого капустозбирального комбайна	- фізичні навантаження	- шланги гідروприводу під високим тиском; - незахищені гідропроводи; - недостатня міцність конструкції	- вплив метеорологічних факторів; - підвищена загазованість та запиленість робочої зони	1. недостатня надійність механізмів; 2. недоліки навчання персоналу безпечним прийомом праці

4.2. Вимоги техніки безпеки при експлуатації та технічному обслуговуванні модернізованого капустозбирального комбайна

Вимоги технічної безпеки

Згідно ДСТУ 12.2.019-2005 та ДСТУ 2293:2014 [6]:

- до роботи на тракторі при збиранні сільськогосподарських культур допускаються особи не молодші 18 років, які мають права та пройшли інструктаж з безпечної роботи;
- не допускаються до роботи особи, які перебувають у нетверезому стані;
- машинно-тракторний агрегат дозволяється експлуатувати лише у технічно справному стані та за наявності всіх захисних кожухів;
- перед початком руху трактора з навісним комбайном механізатор повинен переконатися у відсутності людей на шляху прямування МТА;
- технічне обслуговування та ремонт модернізованого капустозбирального комбайна проводять тільки при непрацюючому двигуні;
- забороняється обслуговування та ремонт машини, а також його очищення під час руху агрегату;
- перед виїздом у поле збиральний агрегат має бути укомплектований справним інструментом, чистиками тощо;
- очищення вузлів і механізмів машини необхідно проводити металевими чистиками, щоб уникнути травмування рук;
- у процесі технічного обслуговування машини забороняється відкручувати та підтягувати штуцери гідросистеми та накидні гайки маслопроводів та шлангів, що знаходяться під тиском;
- забороняється використовувати випадкові підставки при ремонті та технічному обслуговуванні комбайна та приєднанні його до трактора.

Вимоги електробезпеки

За ГОСТ 12.1.030-81 пред'являються такі вимоги [15]:

- забороняється використання МТА під час грози;
- електропроводка трактора не повинна мати механічних пошкоджень, щоб унеможливити іскроутворення та витоків струму;
- забороняється експлуатація МТА під лініями електропередач (ЛЕП), якщо відстань від найвищої точки машини до проводів не перевищує 2 м при напрузі лінії електропередач 1-20 кВт; менше 3-4 м при напрузі – 35-110 кВт; менше 6-9 м при напрузі 330-500 кВт.

Вимоги виробничої санітарії

Умови праці робочому місці механізатора визначаються відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 [15].

- необхідний мікроклімат у кабіні трактора забезпечується установкою кондиціонера, системи опалення та герметизацією кабіни;
- температура повітря в робочій зоні в зимовий період має бути не менше + 20 ° С, у літній - не більше + 25 ° С;
- гранично допустима локальна величина вібрації робочого місця повинна перевищувати 250 Гц, при віброприскоренні трохи більше 21 м/с² і віброшвидкості до 1,4·10⁻² м/с;
- концентрація пилу робочому місці механізатора має перевищувати 0,3-0,4 мг/м³;
- допустимий рівень шуму на робочому місці при низькочастотних коливаннях (до 350 Гц) не повинен перевищувати 90-100 дБ, при середньочастотних (від 350 до 800 Гц) – 85-90 дБ;
- відносна вологість повітря у робочій зоні має перевищувати 30-60 %;
- при ремонті та технічному обслуговуванні, освітленість основних вузлів модернізованого капустозбирального комбайна повинна бути не менше 20 лк .

Вимоги протипожежної безпеки

Вимоги протипожежної безпеки ставляться відповідно до ДСТУ 8828:2019 [15]:

- трактор має бути обладнаний протипожежним інвентарем (ручними вогнегасниками типу ОХП-10 або ОВП-10, кошмою, лопатою);
- забороняється експлуатація трактора у пожежонебезпечних місцях при знятому щитку колектора та інших захисних пристроях із нагрітих частин двигуна;
 - при тривалій стоянці має бути вимкнена маса;
 - при промиванні деталей гасом або бензином потрібно вжити заходів, що унеможливають займання парів промивної рідини;
 - потрібно запобігати можливості іскроутворення та витоків струму у проводах та клеммах електрообладнання, особливо в місцях, де можливе попадання на них олії чи палива;
 - не можна перебувати біля трактора під час грози. У разі появи вогнища полум'я його потрібно засипати піском, землею, прикрити повстю або брезентом, використовувати вогнегасник.
- не допускається в процесі роботи транспорту тертя металевих частин конструкції один про одного або раму, щоб уникнути іскріння та займання;
- необхідно проводити регулярне очищення МТА від рослинних залишків, покривного листя тощо, а також утримувати машинно-тракторний агрегат у чистоті;
 - забороняється розміщувати на тракторі або комбайні додаткові ємності з паливо-мастильними матеріалами;
 - промаслене шмаття і обтиральний матеріал повинні зберігатися в металевих ящиках з кришками, що закриваються;
 - вихлопна труба трактора повинна бути обладнана іскрогасником.

Вимоги ергономіки

Відповідно до ДСТУ 7234:2011 [8] необхідно виконувати такі вимоги:

- слід забезпечити механізатору нормальну робочу позу, при якій йому не потрібно нахилитися вперед більше ніж на 10-15 град, при цьому нахили назад і сторони небажані, а основна вимога до робочої пози - пряма постава;

- конструкція органів управління тракторів повинна забезпечувати їхнє швидке розпізнавання, необхідну швидкість рухів при керуванні агрегатом, а також відповідати допустимим та оптимальним навантаженням на руховий апарат людини;

- робоче місце тракториста має відповідати ергономічним вимогам згідно з ДСТУ 7234:2011;

- умови переміщення органів управління мають відповідати ДСТУ 12.2.019-2005, зусилля при роботі з важелями не повинні перевищувати 50 Н;

- найважливіші органи управління слід розташовувати спереду та праворуч від механізатора. Максимальні розміри зони досяжності правою рукою – 70-110 см; глибина робочої панелі не повинна перевищувати 80 см;

- педалі керування необхідно розмішувати ближче до поздовжньої осі тіла оператора з відхиленням не більше 100 мм та відстанню між педалями обох ніг 200-400 мм;

- необхідно раціонально чергувати режими праці та відпочинку для запобігання втомі;

- травмонебезпечні вузли та деталі модернізованого капустозбирального комбайна потрібно виділити спеціальними кольорами за ДСТУ 12.4.026-2001 (жовтий із чорними смугами, червоний та ін.).

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасних технологій та технічних засобів для збирання качанної капусти, досліджено особливості конструкцій капустозбиральних машин і виявлено основні недоліки існуючих робочих органів, пов'язані з недостатньою якістю відокремлення покривного листа та значними витратами ручної праці при доопрацюванні продукції.

У результаті аналізу конструкцій зрізувальних апаратів встановлено, що одним із шляхів підвищення ефективності процесу збирання капусти є удосконалення системи підготовки головки капусти до зрізування шляхом механізованого відгинання покривного листа. Для вирішення поставленого завдання запропоновано конструкцію листовідгинача, яка встановлюється в зоні роботи зрізувального апарата капустозбиральної машини.

Розроблений механізм забезпечує попереднє відгинання покривного листа перед зрізуванням головки капусти, що сприяє покращенню умов роботи зрізувальних ножів, підвищенню якості обрізування качана та збільшенню виходу товарної продукції. Запропонована конструкція дозволяє виконувати підготовку головок капусти до зрізування без застосування ручної праці.

У технологічній частині роботи проведено розрахунок витрат часу при збиранні капусти та визначено техніко-експлуатаційні показники базового і модернізованого агрегатів. Встановлено, що використання листовідгинача дає можливість підвищити робочу швидкість агрегату з 2,8 до 3,2 км/год та скоротити тривалість збирання врожаю на 8 % порівняно з базовим варіантом.

Результати техніко-експлуатаційних розрахунків показали, що застосування модернізованого капустозбирального комбайна забезпечує підвищення продуктивності на 6,5 %, зниження питомої витрати палива на 6 % та скорочення питомих витрат праці з 15 до 5 люд.-год/га, тобто на 66,7 %.

У проєктній частині виконано інженерні розрахунки приводу листовідгинача, валу приводу, зварних та болтових з'єднань. Результати

розрахунків підтвердили працездатність і достатню міцність елементів конструкції при експлуатаційних навантаженнях.

Техніко-економічна оцінка удосконалення робочого органу капустозбиральної машини показала доцільність використання запропонованої конструкції. Собівартість виконання збиральних робіт становить 7036,78 грн/га, а підвищення продуктивності та зменшення витрат праці забезпечують покращення економічних показників експлуатації капустозбиральної машини.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці розглянуто основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають під час експлуатації модернізованої машини, а також наведено вимоги щодо безпечної роботи та технічного обслуговування обладнання.

Таким чином, запропонований механізм відгинання листя забезпечує покращення якості збирання качанної капусти, підвищення продуктивності агрегату, зменшення витрат праці та може бути рекомендований для практичного використання в конструкціях капустозбиральних машин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.
2. Гайченко В.А. Основи безпеки життєдіяльності людини. К.: МАУП, 2002. 232с.
3. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
4. Грубань В.А. Машини та обладнання для АПВ: Машини для збирання овочевих культур / В.А. Грубань, О.В. Зубехіна-Хайят. Миколаїв, МНАУ, 2024. 42 с.
5. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП ПаляницяВ.А.,2022. 220 с.
6. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 23 с.
7. ДСТУ 7037:2009. Капуста білоголова свіжа. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 14 с.
8. ДСТУ 7234:2011. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки. [Чинний від 2011-08-01]. Вид. офіційне. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 26 с.
9. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / За ред. А.Ф. Головчука. Кн. 3: Машини сільськогосподарські / А.Ф. Головчук, В.І. Марченко, В.Ф. Орлов. К.: Грамота, 2005. 576 с.
10. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.

11. Лихацький В. І. Улянич О. І., Гордій М. В. Овочівництво. Практикум: навч. посіб. / за ред. В. І. Лихацького. Вінниця, 2012. 442 с.
12. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 47 с.
13. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін. К.: Мета, 2003. 448 с.
14. Овочівництво: Навчальний посібник / В.І. Шемавн'юв, О.М. Лазарева, Н.В. Грекова, О.М. Олексюк. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2001. 391 с.
15. Охорона праці в агропромисловому комплексі: підручник / А. С. Беліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін. Дніпро: Журфонд, 2025. 644 с.
16. М. Підгурський, М. Сташків. Методи визначення КІН для дефектних елементів відкритого профілю // Вісник ТДТУ, 2006. Т.11. №2. С. 92-108.
17. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. Посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.
18. Примак І. Д. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Примак, Ю. П. Манько, Н. М. Рідей та ін. / За ред. І. Д. Примака. К.: ЦУЛ, 2010. 456 с.
19. Пузік Л.М., Колтунов В.А., Романов О.В., Бондаренко В.А., Гайова Л.О., Щербина Є.В. Капустяні овочі. Технологія вирощування і зберігання: кол. монографія / ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Харків: Вид-во Іванченка І.С., 2015. 374 с.
20. Рибак Т., Підгурський М., Сташків М.. Проблеми пошукового конструювання сільськогосподарських машин // Техніка АПК, 2007. №11-12. С. 6-9.
21. Рибак Т.І., Попович П.В., Сташків М.Я. Концепція пошукового конструювання мобільної техніки в АПК // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». Вип. 39. Кіровоград: КНТУ, 2009. С. 40-47.

22. Рослинництво: Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко; За ред. О.І. Зінченка. К Аграрна освіта, 2001. 591 с.
23. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
24. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Т.1. Машини для рільництва. К.: Урожай, 2001. 384 с.
25. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
26. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: «Агроосвіта», 2015. 679 с.
27. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
28. Сташків М. Визначення КІН для кутової наскрізної тріщини у тонкостінному стержні прямокутного профілю при дії згинального моменту // Вісник ТДТУ, 2003. Т.8. №3. С. 32 – 38.
29. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н . І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.
30. Pidgurskyi, M., Stashkiv, M., Pidgurskyi, I., Oleksyuk, V., Pidluzhnyi, O., & Vykyv, D. (2024). Methodology of experimental and analytical research of technical systems. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 116 (4), 50-58.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Основні технічні дані та техніко-експлуатаційні показники
капустозбиральної машини НКМ-1

Показник	Значення
Тип машини	Напівнавісна
Марка машини	НКМ-1
Продуктивність за 1 годину чистої роботи, га	0,2 ... 0,25
Робоча швидкість руху агрегату, км/год	2,8 ... 3,6
Ширина міжрядь, см	70
Число рядків, що збираються	1
Транспортна швидкість, км/год	15...20
Маса машини (включаючи ЗІП), кг	4250
Габаритні розміри, мм	
довжина	3200
ширина	3500
висота	200
Дорожній просвіт, мм	6
Мінімальний радіус повороту агрегату, мм по крайній зовнішній точці сліду колеса трактора	4,5
Необхідна ширина поворотної смуги, м	5
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб:	
тракторист	1
машиніст	2
Агрегаткування	МТЗ-80/82
Привод машини	від ВОМ трактора
Ширина колії, мм	1800
Потужність, що споживається від ВОМ, кВт (к.с.)	35 (25)
Основні характеристики складальних одиниць машини	
Зрізувальний апарат	
Частота обертання вирівнювальних вальців, с ⁻¹	9
Частота обертання дискових ножів, с ⁻¹	6
Частота обертання приводних зірочок притискного транспортера, с ⁻¹	4
Транспортер приймальний	
Лінійна швидкість полотна, м/с	0,6
Крок ланцюга, мм	38,1
Крок скребків полотна транспортера, мм	380
Ширина полотна, мм	535
Листовідділювач	
Частота обертання вальців, с ⁻¹	4
Крок навивки прутків, мм	250

Продовження таблиці А1

Показник	Значення
Дообрізувач	
Лінійна швидкість комірчастого транспортера, м/с	0,3
Крок ланцюга, мм	38,1
Діаметр осередків, мм	120...150
Лінійна швидкість стрічкового конвеєра, м/с	0,5
Транспортер вивантажний	
Лінійна швидкість полотна, м/с	0,6
Крок ланцюга, мм	38,1
Крок скребків полотна транспортера, мм	380
Ширина полотна, мм	535
Колеса опорні	
Тип	3 пневматичними шинами
Кількість	2
Розмір шин, дюймів	6,50 – 16
Гідросистема	
Тип	Залежна (від гідророзподільника трактора)
Гідроциліндри	Поршневі, двосторонньої дії
Основні техніко-експлуатаційні показники	
Трудомісткість складання машини в господарстві та монтажу складання агрегату із застосуванням технологічних засобів, що рекомендуються, люд · год	3
Трудомісткість переведення машини з робочого становища в транспортне та назад, люд · год	0,2
Коефіцієнт використання робочого дня зміни	0,75
Коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу	0,97
Коефіцієнт технічного обслуговування	0,98
Термін служби машини, років	8
Середньостатистичний час технічного обслуговування, год	0,4
Середня питома трудомісткість технічного обслуговування за сезон, люд · год /га, не більше	0,4
Коефіцієнт готовності, не менше	0,95
Коефіцієнт технічного використання	0,95
Питома матеріаломісткість, кг · год /га	6000
При врожайності 40 т/га, кг год / т	30

Продовження таблиці А1

Показник	Значення
Основні показники технологічного процесу Умови експлуатації	
Нахил поверхні поля, град., не більше	8
Довжина гону, м, не менше	300
Відстань між гребнями, см:	
основними	67...73
стиковими	65...75
Висота рослини, см	35
Висота товарного качана, см	20...23
Діаметр товарного качана, см	20...23
Висота розташування качана над ґрунтом (довжина качан від поверхні ґрунту до першого листя), см	10...15
Щільність качанів до моменту збирання, кг/м ²	750...850
Полеглість качанів, %, трохи більше	25
Врожайність капусти, ц/га	200 ... 900
Відстань між центрами качанів, см	68 ... 72
Кількість бур'янів на 1 м ² не більше	5
Ширина вільних смуг від капусти для першого проходу машини, м, не менше	6
При русі в прямому напрямку поворотної смуги	10
Показники якості виконання технологічного процесу	
Загальні втрати стандартних головок за масою, %, не більше	1
Вміст пошкоджених головок (за масою) у купі стандартних головок капусти, %, не більше	16
Кількість головок у купі з пошкодженнями на глибину понад 6 листів, %, не більше	4
Кількість головок у купі з пошкодженнями на глибину від 3 до 5 щільно прилеглих листків, %, не більше	12
Кількість головок з качаном до 7 см, %	100