

Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет  
Факультет транспорту та механічної інженерії  
Кафедра галузевого машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ПРОЄКТУВАННЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ  
ПОЗИЦІЙНОГО УТВОРЕННЯ ЛУНОК І  
МАЙДАНЧИКІВ ПІД САДІННЯ ЛІСОВИХ  
КУЛЬТУР

спеціальність 133 Галузеве машинобудування

освітня програма Галузеве машинобудування

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи М-41

**Юшак Вадим Олегович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

**Пуць Віталій Степанович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

К.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

**Пуць Віталій Степанович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *транспорту та механічної інженерії*

Кафедра *галузевого машинобудування*

Ступінь вищої освіти: *бакалавр*

Галузь знань: *13 Механічна інженерія*

Спеціальність: *133 Галузеве машинобудування*

Освітня програма: *«Галузеве машинобудування»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *В. Пуць*

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Юшаку Вадиму Олеговичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *«Проектування агрегату для позиційного утворення лунки і майданчиків під садіння лісових культур»*

Керівник роботи: *к.т.н, доцент Пуць Віталій Степанович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» березня 2025 р. № 163/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «04» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи *Технічна документація. Патентні матеріали. Технічні умови.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

*Вступ. 1 Оглядова частина. Аналіз технологічного процесу, роботи машин і знарядь для підготовки посадкових місць для лісових культур. Огляд конструкцій, патентний пошук.*

*Технічне завдання. 2 Проектна частина. Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми позиційного комбінованого лункоформування. Моделювання взаємодії робочих органів з ґрунтом. Моделювання робочого процесу. Обґрунтування до побудови схем агрегату.*

*Розрахунок приводу та параметрів пристрою. 3. Рекомендації з експлуатації агрегату.*

*Підготовка до роботи. Правила експлуатації. Технічне обслуговування. Безпека праці.*

*Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки*

5. Перелік графічного матеріалу:

*1. Лист оглядовий. Класифікація машин для утворення дискретних посадкових місць.*

*Конструкції існуючих машин та знарядь – 1 лист ф. А1 (2 листи ф. А2)*

*2. Позиційний лункоутворювач. Схема кінематична. 3-D модель – 1 лист ф. А1 (2 листи ф. А2)*

*3. Позиційний лункоутворювач. Вид загальний – 1 лист ф. А1*

*4. Приводний редуктор. Складальний кресленик – 2 листи ф. А1*

*5. Робочі кресленики деталей приводу – 1 лист ф. А1*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Пуць В.С., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Пуць В.С., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Пуць В.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «18» березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	<i>29.03.2025 р.</i>	
2.	<i>1 Оглядова частина</i>	<i>15.04.2025 р.</i>	
3.	<i>2 Проектна частина</i>	<i>10.05.2025 р.</i>	
4.	<i>3 Експлуатаційна частина</i>	<i>24.05.2025 р.</i>	
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>28.05.2025 р.</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічної частини</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
7.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
9.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>14.06.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (Юшак В.О.)  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (Пуць В.С.)  
(підпис) (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Юшак В.О. Проектування агрегату для позиційного утворення лунок і майданчиків під садіння лісових культур. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконана розробка позиційного лункоутворювача для механізованої підготовки дискретних посадкових місць сіянців та саджанців лісових культур. Даний пристрій адаптивний, комбінованої дії і призначений для формування майданчиків у вигляді мікропідвищень або мікропонижень з паралельним розпушуванням і формуванням лунки для садивного матеріалу лісових культур із закритою кореневою системою.

Проведений аналіз існуючих конструкцій ямокопачів, лунко- і майданчикутворювачів, їх робочих органів дозволив розробити пристрій, обладнаний приводом, комбінованим робочим органом нової конструкції, який складається зі сферичних дискових ножів і шнекового бура. Розроблено технічне завдання на проект нового агрегату.

Виконані інженерні розрахунки для визначення основних параметрів взаємодії робочих органів з ґрунтом, та приводного редуктора.

Розроблені інструкції з експлуатації, налагодження, технічного обслуговування проектованої машини, а також безпечних та нешкідливих умов праці.

Ключові слова: ЛІСОВІДНОВЛЕННЯ, САДИВНИЙ МАТЕРІАЛ, ПОСАДОЧНЕ МІСЦЕ, ПОЗИЦІЙНИЙ ЛУНКОУТВОРЮВАЧ, МАЙДАНЧИКУТВОРЮВАЧ, МІКРОПОНИЖЕННЯ, МІКРОПІДВИЩЕННЯ, ДИСК СФЕРИЧНИЙ, БУР ГВИНТОВИЙ, АГРЕГАТ, РЕДУКТОР, ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ

					КРБ 0030.00.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Юшак			Проектування агрегату для позиційного утворення лунок і майданчиків під садіння лісових культур	Літ.	Аркуш	Аркушіє
Перевір.		Луць					3	71
Реценз.						ЛНТУ, ФТМІ, каф. ГМ, ст. гр. М-41		
Н. контр.		Мартинюк						
Затверд.		Луць						

## ANNOTATION

Yushak V.O. Design of an aggregate for positional formation of holes and sites for planting forest crops. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP «Industrial Mechanical Engineering» specialty 133 Industrial Mechanical Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, list of references.

In the bachelor's qualification work, a positional hole maker was developed for mechanized preparation of discrete planting sites for seedlings and saplings of forest crops. This device is adaptive, of combined action and is intended for forming sites in the form of micro-elevations or micro-depressions with parallel loosening and formation of holes for planting material of forest crops with a closed root system.

The analysis of existing designs of pit diggers, hole and platform formers, their working bodies allowed to develop a device equipped with a drive, a combined working body of a new design, which consists of spherical disk knives and an auger drill. The technical specifications for the design of the new unit were developed.

Engineering calculations were performed to determine the main parameters of the interaction of the working bodies with the soil, and the drive gearbox.

Instructions for operation, adjustment, maintenance of the designed machine, as well as safe and harmless working conditions were developed.

Keywords: REFORESTATION, PLANTING MATERIAL, PLANTING SITE, POSITION HOLE MAKER, SITE MAKER, MICRO-DEPRESSION, MICRO-ELEVATION, SPHERICAL DISC, SCREW DRILL, UNIT, REDUCER, ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА .....	8
1.1 Аналіз технології підготовки посадкових місць для лісових культур .....	8
1.2 Аналіз роботи машин і знарядь для підготовки посадкових місць .....	11
1.3 Огляд конструкцій машин та знарядь для утворення лунок під саджанці та сіянці лісових культур .....	15
1.4 Аналіз патентних розробок .....	22
1.5 Висновки до розділу. Технічне завдання .....	26
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	30
2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми позиційного комбінованого лункоформувача .....	30
2.2 Моделювання взаємодії робочих органів агрегату з ґрунтом .....	35
2.3 Обґрунтування до побудови схем агрегату .....	43
2.4 Розрахунок приводного редуктора .....	47
2.5 Розрахунок основних параметрів шнекового бура лункоформувача .....	52
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ .....	61
3.1 Підготовка позиційного лункоформувача до роботи .....	61
3.2 Правила експлуатації позиційного лункоформувача та основні регулювання .....	63
3.3 Технічне обслуговування агрегату .....	64
3.4 Організаційно-технічних заходів з охорони праці під час роботи .....	64
3.5 Короткий інструктаж з охорони праці для працівників .....	66
ВИСНОВКИ .....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	70
ДОДАТКИ .....	71

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Відновлення лісових насаджень на вирубках і згарищах залишається однією з пріоритетних задач сучасного лісового господарства України, зокрема для Волинського краю, де вирубки складають значну частину лісокультурного фонду. Попри багаторічний досвід лісосадивних робіт, питання підвищення ефективності підготовки ґрунту під садіння лісових культур не втрачає своєї актуальності.

Рациональна підготовка ґрунту є запорукою створення сприятливих умов для приживлюваності, росту та розвитку сіянців і саджанців лісових порід. Для цього необхідно забезпечувати оптимальний водний режим, зменшувати надмірне зволоження чи пересихання кореневої системи та обмежувати конкуренцію з боку трав'янистої рослинності.

Лісовідновлювальні роботи характеризуються значною трудо- та енергоємністю. Найбільших затрат потребують викорчовування пеньків та підготовка ґрунту. З досвіду вітчизняних і закордонних лісогосподарств відомо, що підвищити продуктивність і знизити негативний екологічний вплив можливо шляхом використання машин і агрегатів дискретної дії, які дозволяють уникнути суцільної розчистки поверхні, зберігаючи родючість ґрунту та запобігаючи ерозійним процесам.

Перспективним напрямком є поєднання кількох операцій у одному технологічному циклі, що дозволяє одночасно підготувати ґрунт і здійснити садіння сіянців, зокрема з використанням садивного матеріалу із закритою кореневою системою. Для реалізації дискретного способу підготовки посадкових місць розробляється конструкція позиційного Лункоутворювача з комбінованими робочими органами, які формують лунки та мікропідвищення чи мікропониження залежно від стану ґрунту.

Проектування такого агрегату потребує дослідження оптимальних конструктивних параметрів і режимів його роботи, а також розрахунку основних приводних вузлів для забезпечення надійної та ефективної роботи в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

**Актуальність** роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності та якості лісовідновлювальних робіт на вирубках і згарищах шляхом удосконалення

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

процесу підготовки ґрунту. Використання сучасного агрегату для позиційного утворення лунок і майданчиків дозволяє знизити трудо- та енерговитрати, мінімізувати негативний вплив на ґрунтовий покрив та забезпечити високу приживлюваність лісових культур.

**Метою** кваліфікаційної роботи є проєктування агрегату для позиційного утворення лунок і майданчиків під садіння лісових культур, що забезпечує підвищення ефективності підготовки ґрунту та якість посадкових місць у різних умовах лісових ділянок.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

1. Проаналізувати сучасні технології і конструкції машин для підготовки ґрунту під лісові культури.
2. Обґрунтувати конструктивну схему агрегату та принцип роботи комбінованих робочих органів.
3. Розрахувати основні параметри та режими роботи агрегату.
4. Виконати інженерні розрахунки приводних механізмів.
5. Оцінити очікуваний ефект від впровадження агрегату в лісогосподарське виробництво.
6. Розробити заходи з охорони праці та безпечної експлуатації агрегату.

Об'єкт дослідження – процес підготовки ґрунту під садіння лісових культур на вирубках і згарищах.

Предмет дослідження – конструкція, параметри та режими роботи агрегату для позиційного утворення лунок і майданчиків під садіння лісових культур.

Методи дослідження. У роботі використано аналітичні методи дослідження, розрахунково-аналітичні методи проєктування, порівняльний аналіз існуючих технічних рішень, а також методи техніко-економічного обґрунтування ефективності застосування агрегату.

Практичне значення полягає у створенні технічних рішень для підвищення продуктивності механізованої підготовки ґрунту під лісові культури, що сприяє зниженню трудомісткості робіт, збереженню родючості ґрунту та забезпечує екологічну безпеку лісовідновлювальних технологій.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз технології підготовки посадкових місць для лісових культур

Раціональне відтворення лісових ресурсів і підвищення продуктивності лісів є однією з ключових задач сучасного лісового господарства. Штучне лісовідновлення відіграє провідну роль у вирішенні цієї проблеми, особливо на складних ділянках – вирубках і згарищах.

Сьогодні для ефективного виконання робіт застосовуються дві основні технології: створення лісових культур на вирубках із смуговим розчищенням та розкорчуванням і створення культур на нерозкорчованих вирубках.

Смугове розчищення передбачає послідовне виконання кількох операцій із залученням різних машин, здебільшого на гусеничних тракторах. Це значно збільшує металоємність робіт, спричиняє багаторазове ущільнення ґрунту і погіршує його агротехнічний стан. Крім того, технологія вимагає значних фінансових витрат на придбання і обслуговування техніки та потребує великої кількості кваліфікованих працівників.

Основні витрати при смуговому розчищенні припадають саме на корчування і розчищення площі, що часто перевищує витрати на власне підготовку ґрунту, садіння лісових культур і подальший догляд за ними.

Технологія створення лісових культур на нерозкорчованих вирубках набула широкого застосування в різних природних зонах. При цьому передпосадкове очищення території не проводиться, а підготовка борозен виконується між пнями. Такий підхід часто призводить до нерівномірної обробки ґрунту: спостерігається криволінійність борозен, варіативність відстаней між ними, що ускладнює або унеможлиблює механізацію садіння та догляду за культурами.

Відсутність належного догляду протягом перших 3–5 років після посадки зумовлює загибель до 30% саджанців через затінення трав'янистою рослинністю, конкуренцію другорядних порід та пошкодження снігом чи сухою травою.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Територія швидко заростає, тому з наступного року виникає потреба щорічного освітлення насаджень, що проблематично при криволінійній схемі розміщення борозен.

Додаткові труднощі виникають на складних рельєфах, таких як гірські та яружно-балкові схили, особливо схильні до ерозії. Для обмеження ерозійних процесів застосовують часткову обробку ґрунту: смугами, борознами, терасами чи окремими майданчиками. На схилах крутістю до 8° допускається суцільна обробка ґрунту, при крутизні 8–12° використовують смугову підготовку, а для ще крутіших ділянок – метод терасування. Широке застосування мають ступінчасті тераси, які ефективно стримують ерозію та забезпечують оптимальні умови для вирощування лісових культур.

Тераси на схилах формують за кілька проходів агрегату впоперек схилу з обертанням ґрунтового шару вниз. Нарізне терасування застосовують на схилах крутизною 12–40°, для чого використовують грейдери, бульдозери та спеціалізовані агрегати – терасери. Обробка ґрунту виконується переважно поперек схилу, адже утворення терас уздовж схилу пов'язане з короткими робочими ділянками, високим ризиком зсувів і, як наслідок, зниженням продуктивності робіт.

На нерозчищених гірських вирубках і згарищах терасування ускладнене через наявність пнів, а корчування пеньків у таких умовах застосовується рідко через загрозу ерозії ґрунту. Тому все ширшого поширення набувають технології, що базуються на використанні машин дискретної дії, які дозволяють виконувати локальну підготовку ґрунту без суцільної розчистки.

Сучасні лісокультурні роботи потребують великої кількості високоякісного посадкового матеріалу з компактною кореневою системою, що забезпечує швидке вкорінення та успішну конкуренцію з трав'янистою рослинністю і порослю другорядних порід. Це сприяє зменшенню обсягів догляду за культурами та покращує приживлюваність саджанців.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перспективним напрямом у забезпеченні ефективного лісовідновлення є використання садивного матеріалу із закритою кореневою системою (СМЗК) – сіянців або саджанців, коренева система яких захищена грудкою ґрунту, брикетом або спеціальним субстратом. Такий підхід мінімізує пошкодження коренів під час механічної обробки та пересадки.

Використання СМЗК сприяє формуванню компактної кореневої системи в контейнері без потреби підрізування. При висаджуванні кореневий кому залишається цілим, що забезпечує швидшу приживлюваність і адаптацію рослин у нових умовах. Контейнери виготовляють із матеріалів, які після посадки легко розкладаються у ґрунті.

Вирощування СМЗК широко застосовується в багатьох країнах – від Скандинавії до Португалії – завдяки високій рентабельності та можливості цілорічного вирощування у теплицях і розсадниках. Великий вибір контейнерів за формою, об'ємом і матеріалом, різноманітність субстратів (торф, компостована кора, вермикуліт) та висока мобільність технології дозволяють успішно використовувати цей метод у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Застосування сіянців і саджанців із закритою кореневою системою створює сприятливі умови для широкого впровадження механізації та автоматизації як під час вирощування, так і при висаджуванні лісових культур.

Посадковий матеріал із закритою кореневою системою має низку переваг порівняно з традиційним матеріалом з відкритою кореневою системою, а саме:

- швидка адаптація у відкритому ґрунті;
- можливість продовження термінів посадки;
- підвищена стійкість на малородючих і сухих ділянках;
- краща конкурентоздатність у боротьбі з трав'янистою рослинністю;
- зниження витрат на догляд за молодими насадженнями.

Водночас повноцінне впровадження зарубіжного досвіду потребує адаптації до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Це обумовлює необхідність розробки спеціалізованих технологічних комплексів, здатних забезпечувати

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цілорічну підготовку високоякісного посадкового матеріалу та його ефективне висаджування. Також потрібне створення нових засобів механізації, які дозволять автоматизувати всі етапи – від вирощування СМЗК у розсадниках до посадки на лісокультурній площі.

Попри значні початкові інвестиції, упровадження таких рішень у перспективі дасть змогу знизити загальні витрати на лісокультурні роботи, подовжити період садіння, підвищити приживлюваність рослин, скоротити обсяги ручної праці та зменшити потребу у трудомісткому догляді за культурами.

## 1.2 Аналіз роботи машин і знарядь для підготовки посадкових місць

Машини для підготовки посадкових місць класифікують за типом утворюваного посадкового простору на дві основні групи:

– машини безперервної дії, які формують безперервну посівну або посадкову щілину за допомогою пасивних робочих органів при постійному русі трактора уздовж усього гону чи лінії ділянки;

– машини дискретної дії, які утворюють переривчасті посадкові щілини або окремі лунки у визначених позиціях.

До машин безперервної дії належать насамперед різні типи лісових плугів: лемішні (ПКЛ-70, ПЛН-135, ПЛО-400 та ін.), дискові (ПЛД-1,2, ПДВ-1,5) та шнекові (ПШ-1).

Лемішні плуги під час роботи відрізають ґрунтовий пласт у вертикальній площині, підрізають його знизу, підіймають, перевертають і укладають збоку від борозни у перекинутому вигляді – дерниною до дернини. Такий спосіб забезпечує закладання рослинних решток переворотом їх догори корінням з подальшим прикриттям ґрунтовим шаром.

У результаті утворюється два різних за властивостями посадкових місця:

– дно борозни (мікропониження) – місце з пониженим вмістом гумусу й більш ущільненим ґрунтом;

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– піднятий пласт (мікропідвищення) – ділянка з кращим дренажем та підвищеною родючістю завдяки зведеному гумусовому горизонту.

Практика застосування показує, що на добре дренованих ґрунтах для посадки лісових культур зазвичай використовують борозни, тоді як на більш вологих та багатих на органіку ґрунтах – підняті пласти, які краще забезпечують доступ кисню до кореневої системи й зменшують ризик перезволоження.

Шнекові плуги працюють за принципом комплексної обробки ґрунту: під час поступального руху агрегату черенковий ніж, розташований перед корпусом, вертикально розсікає ґрунтовий пласт, а горизонтальне підрізання здійснюють лемеші плужного корпусу. Відрізані пласти зсуваються на відвали, де частково обертаються і відсуваються до краю оброблюваної смуги. Шнекові барабани одночасно розпушують ґрунт і переміщують його в протилежні боки, формуючи дренажну канаву з двома мікропідвищеннями по її обидва боки, які служать посадковими майданчиками для лісових культур.

Основним робочим органом дискових плугів є сферичні диски, які підрізають ґрунтові пласти, обертають їх, розпушують і переміщують до середини смуги "всклад". В результаті цього на середині розчищеної смуги формується мікропідвищення. Особливістю конструкції дискових плугів є індивідуальне кріплення кожного дискового корпусу, що дозволяє дискам додатково обертатися навколо похилої осі. Це забезпечує здатність руйнувати дрібні перешкоди у вигляді порубкових залишків, а більші перешкоди, такі як пеньки чи камені, диски можуть перекочувати, знижуючи ризик пошкоджень і зупинок агрегату.

Однак машини безперервної дії при роботі в умовах важкопрохідної місцевості, на схилах та захарашених вирубках мають низку суттєвих недоліків. Основною проблемою є необхідність долати перепони у вигляді повалених дерев, каміння, пнів та коріння, що часто призводить до зупинок, необхідності виглиблення агрегату, підвищеного ризику поломок через заклинювання робочих органів із гострим кутом входження в ґрунт або защемлення ножів, а

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також зростання енергоємності робіт. В результаті порушується технологічний процес і знижується продуктивність.

Ці недоліки машин безперервної дії стали поштовхом для створення та розвитку машин дискретного (точкового) типу. За способом пересування такі машини поділяються на позиційні, які виконують підготовку посадкового місця під час зупинки, та безупинні – що працюють без припинення руху. Приблизну класифікацію машин дискретної дії можна подати у вигляді схеми (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Класифікація машин для утворення дискретних посадочних місць [3]

Одним із перших прототипів машин дискретної дії був лункоформував, робочий орган якого складався зі штампа для заглиблень у ґрунті, змонтованого на рамі з еліптичними колесами. Для збільшення навантаження застосовували вантажний візок, що вільно пересувався по рейках, прикріплених до рами [3]. Через складність і громіздкість ця конструкція не набула широкого застосування, проте сприяла розвитку технології.

Першою серійною машиною дискретної дії став вітчизняний коток-наколювач КН-1, розроблений під керівництвом В. Я. Унтома. Робочий орган

цього котка – масивні колеса з рівномірно розташованими радіальними шипами, які під час руху формують два ряди посадочних лунок одночасно. Завдяки ефективності підготовки посадкових лунок коток-наколювач знайшов широке застосування на нерозкорчованих вирубках із кам'янистими ґрунтами (рис. 1.2, а) [3].

Пізніше ця ж група розробила лункоформував Л-1, який відрізнявся наявністю сошників для зняття надґрунтового шару та одночасного формування двох мінералізованих борозенок, за якими рухалися колеса з шипами. Дрібний валеж подрібнювався ножем сошника, а при зустрічі з більшими перешкодами знаряддя піднімалося на відхиляючомуся назад сошнику. Проте агрегат мав недоліки: недостатню ширину мінералізованих смуг і неоптимальні параметри лунок.

Відомим агрегатом, який усунув ці недоліки, є покривоздирач-Лункоутворювач-сівалка ПЛС-2. Його конструкція включає додаткові дискові робочі органи для якіснішого очищення робочої зони перед колесом-Лункоутворювачем. Форма Лункоутворювача виконана у вигляді чверті сфери, що забезпечує оптимальну «V-подібну» лунку без значного ущільнення стінок.

Як видно зі схеми, у машинах для утворення дискретних посадкових місць використовують наколюючі, роторні, оберткові та комбіновані робочі органи.

Наколюючі робочі органи (бойки, штирі, клини тощо) проникають у ґрунт за рахунок динамічного впливу. Для зниження енергоємності процесу застосовують роторні органи у вигляді тонких лез, лопатей або пластин, які радіально закріплені на загальному роторі та при заглибленні здійснюють поворот ґрунтового пласта.

Оберткові органи – це бури, лопатки, розпушувальні зуби, які формують посадкові лунки шляхом вибирання ґрунту або його розпушування.

Загалом способи формування посадочних лунок поділяють на кілька типів: вдавлення штампа, вдавлення пластини з подальшим поворотом, вибір об'єму ґрунту буром, вибирання ґрунту порожнистим штампом (рис. 1.2).

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

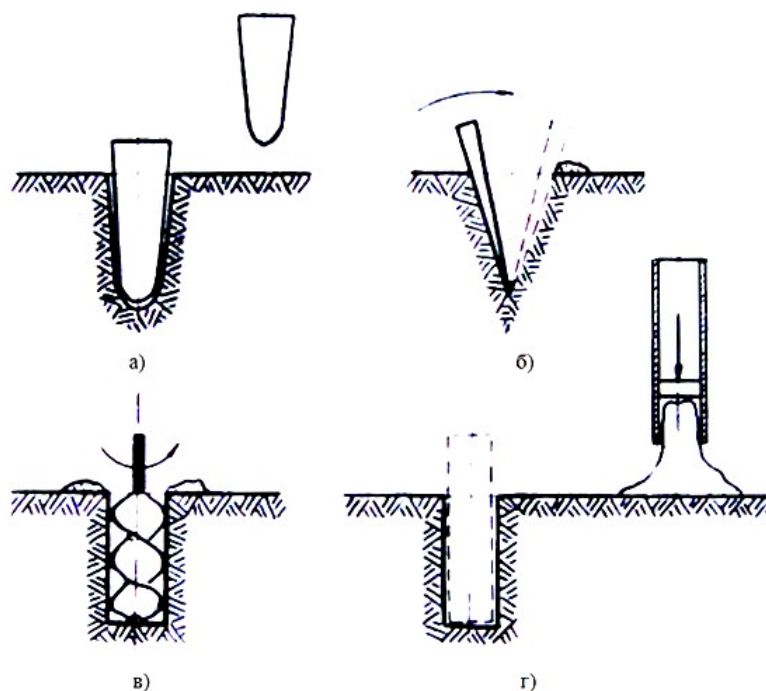


Рисунок 1.2 Варіанти лункоутворення машинами для підготовки дискретних посадочних місць: *а* – втискування штампа, *б* – втискування пластини з наступним поворотом, *в* – вибирання ґрунту буром, *г* – вибирання об'єму ґрунту порожнистим штампом

### 1.3 Огляд конструкцій машин та знарядь для утворення лунок під саджанці та сіянці лісових культур

Ямокопачі застосовуються для підготовки посадкових лунок, зокрема при садінні крупних саджанців на вирубках, озеленувальних ділянках і при створенні розплідників.

Вони оснащуються робочими органами активної дії з вертикальною віссю обертання. Робочий орган може бути одно- або двозахідним буром, а також мати інші конструктивні варіанти – наприклад, бур з додатковими пристроями і приводним валом, який з'єднується з ВВП трактора, окремим двигуном (моторизовані бури) або гідродвигуном.

За формою робочої поверхні бури поділяють на лопатеві та гвинтові. Лопатеві бури більш ефективні для викопування широких ям під посадку

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крупних саджанців, особливо плодкових дерев, коренева система яких часто потребує додаткового привозного ґрунту.

Для садіння лісових культур кращими є гвинтові бури. Однозахідні бури легші, але менш збалансовані, тоді як двозахідні – важчі, але більш врівноважені.

У нижній частині бурів розміщені лемеші для горизонтального підрізання ґрунту та його подачі на поверхню бура. Центральна нижня частина оснащена спеціальним наконечником для різання ґрунту в центрі ями.

Наведемо, приклад. «Ямокопач КЯУ-100 (рис. 1.3) служить для підготовки посадочних лунок під садіння крупних саджанців плодкових, горіхоплідних і лісових культур, а також на терасах, схилах, на дні ярів, при освоєнні дрібноконтурних ділянок і т. ін. [7]».

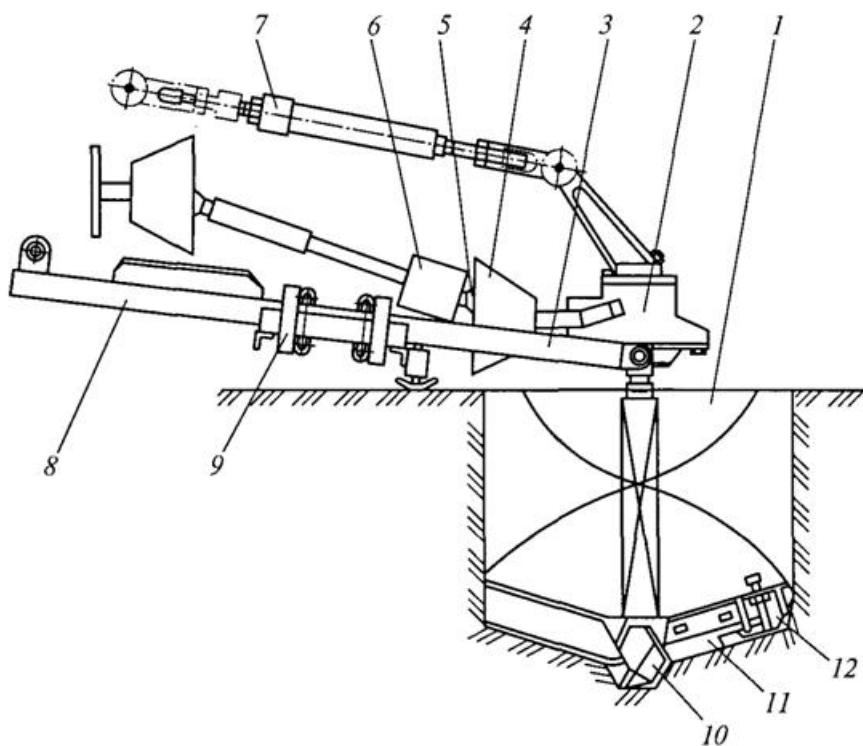


Рисунок 1.3 Ямокопач КЯУ-100: 1 – бур; 2 – редуктор; 3 – рама; 4 – захисний кожух; 5 – карданна передача; 6 – запобіжна муфта; 7 – регульовальна тяга; 8 – поздовжня тяга навішування; 9 – поперечна планка; 10 – центруючий наконечник; 11 – леміш; 12 – опорна п'ята [7]

«Ямокопач складається з рами 3 у вигляді поздовжніх тяг, з'єднаних для жорсткості поперечною планкою 9, поздовжніх тяг 8 для з'єднання з навісним

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

пристроєм трактора, карданної передачі 5 з пружинною запобіжною муфтою 6 і захисним кожухом 4, редуктора 2 і змінних робочих органів – бурів різного діаметру. Змінні бури діаметром 30, 60, 80 і 100 см складаються з трубчастої основи з привареними до неї лопатями, в нижній частині яких закріплені лемеші 11 для підрізання ґрунту. Нижній кінець основи закінчується центруючим наконечником 10. Зі зворотного боку лопатей бура є регульовані опорні п'яти 12 для зміни швидкості (подачі) заглиблення бура.

Привод бура здійснюється від ВВП трактора через карданну передачу, обладнану запобіжною муфтою, яка запобігає від поломки бура при потраплянні на перешкоди. Вертикальність бура забезпечується зміною довжини регульовальної тяги 7 [7]».

Найбільша глибина лунок 60 см; кутова швидкість  $12\text{с}^{-1}$ ; маса 300 кг. Агрегатується з тракторами класу тяги 1,4 (МТЗ-80/82) [7].

#### Майданчикоформувачі

Майданчикоформувачі призначені для формування майданчиків на яружно-балкових і гірських схилах для садіння лісових культур. Їх поділяють на:

– безперервної дії – виконують підготовку ступінчастих майданчиків під час безперервного руху трактора;

– циклічної дії – працюють при зупиненому тракторі.

Робочими органами обертової дії можуть бути фрезерні барабани, обертові диски з розпушувальними ножами або бури.

Майданчикоформувач ПНД-1 (рис. 1.4) безперервної дії використовується для підготовки ступінчастих майданчиків на схилах крутизною до  $20^\circ$ . Він складається з рами з навісним пристроєм для агрегування з трактором, кулачкових коліс, редуктора, полиці, фрези та ножа-Лункоутворювача. Привод фрези здійснюється від ВВП трактора ДТ-75М через карданну передачу.

Фрезерний барабан складається з двох секцій із Г-подібними ножами та обладнаний фрикційними запобіжними муфтами. На рамі закріплено вал з кулачковими колесами 3, які мають ґрунтозацепи. Фрезерний барабан

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлено між кулачковими колесами, а позаду нього – полицю 5, що кріпиться на тягах, шарнірно з'єднаних з рамою.

На кулачкових колесах 3 з ексцентриситетом змонтовані пальці, на які одягають підпружені телескопічні важелі. Їхні кінці шарнірно з'єднані з поздовжніми тягами полиці 5. Ніж-Лункоутворювач 7 для формування посадкових лунок розташований під редуктором 4.

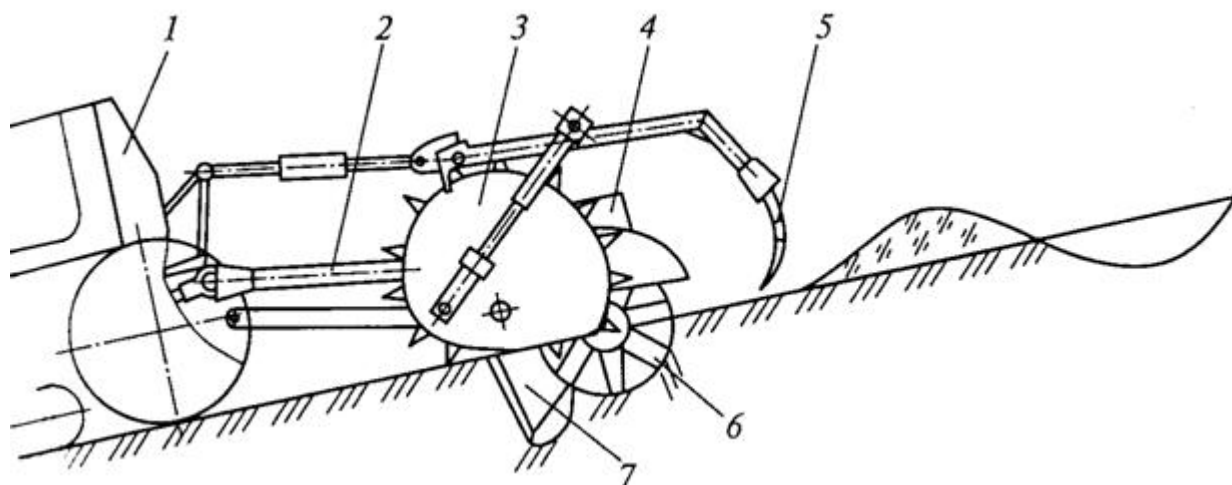


Рисунок 1.4 Майданчикоформував ПНД-1: 1 – трактор; 2 – карданна передача; 3 – кулачкове колесо; 4 – редуктор; 5 – полиця; 6 – фреза; 7 – ніж-Лункоутворювач.

Формування майданчиків починається з верхньої частини схилу. Під час руху трактора вниз із увімкненим ВВП кулачкові колеса перекочуються по поверхні ґрунту, забезпечуючи періодичне заглиблення й виглиблення фрезерного барабана та полиці. При заглибленні барабан розпушує ґрунт у в'язковій частині майданчика, а полиця переміщує розпушений ґрунт, формуючи полотно майданчика. Ніж-Лункоутворювач створює посадкову лунку, яку полиця заповнює розпушеним ґрунтом.

Ширина майданчика – 1 м, довжина – 1,2 м; маса майданчикоформувача – 370 кг [7].

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Майданчикоформував ОПГН-1 (рис. 1.5) використовується для формування східчастих майданчиків з одночасним утворенням посадкових лунок на схилах крутизною до 25°.

Майданчикоформував включає такі основні вузли: раму 1, механізм регулювання кута нахилу робочого органа 2, конічний редуктор 3, сам робочий орган 4 з ножами 5, Лункоутворювач 6, карданну передачу 7 та навісний пристрій 8.

Рама 1 виконана як зварна конструкція та призначена для агрегатування з трактором через навісний пристрій 8, а також для встановлення всіх функціональних вузлів машини. На рамі змонтовано механізм 2, що забезпечує фіксацію робочого органа у вертикальному положенні та дає змогу регулювати його кут нахилу.

Привід робочого органа реалізується за допомогою карданної передачі 7 із вбудованою запобіжною муфтою, яка передає обертовий момент від ВВП трактора до конічного редуктора 3. Вихідний вертикальний вал редуктора з'єднано з робочим органом 4.

Робочий орган 4 являє собою циліндричний корпус, на якому закріплені горизонтальні та вертикальні ножі 5. Ці ножі одночасно підрізають шар ґрунту та формують майданчик необхідних параметрів. На горизонтальних ножах додатково встановлені вертикальні розпушувальні елементи, що забезпечують якісне розпушування поверхні майданчика. Для мінімізації розкиду ґрунту під час роботи перед робочим органом передбачено кожух.

Лункоформував виконує функцію знімного робочого елемента і служить для одночасного або окремого від основного робочого органа формування посадкових лунок. Конструктивно він складається з труби-вала, вставки, шнекового елемента та подовжувача з лопаткою у нижній частині [7].

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

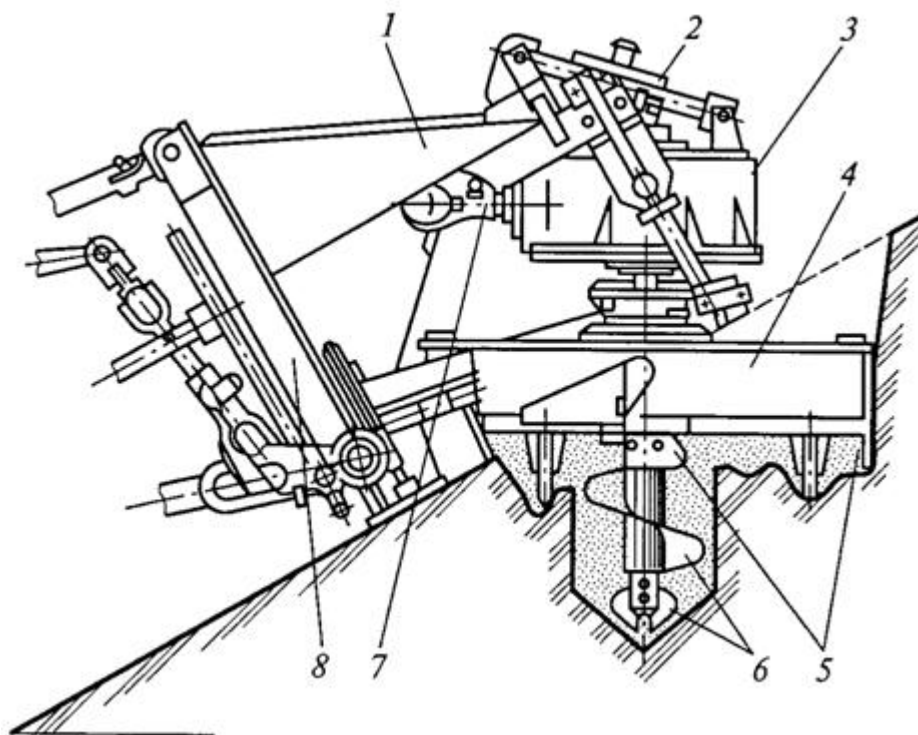


Рисунок 1.5 Майданчикоформувавч ОПГН-1: 1 – рама; 2 – регулятор нахилу робочого органу; 3 – конічний редуктор; 4 – робочий орган; 5 – ножі; 6 – Лункоутворювач; 7 – карданна передача; 8 – навісний пристрій

Під час підготовки майданчиків агрегат спускається схилом униз. На місці формування майданчика агрегат зупиняють, після чого тракторист опускає робочий орган і вмикає ВВП трактора. Ножі робочого органа зрізають шар ґрунту з верхньої (нагірної) частини, подрібнюють його і переміщують у нижню (підгірну) частину для формування насипу. Спеціальний кожух запобігає розкиданню ґрунту під час роботи.

Основні параметри обробки: діаметр майданчика становить 1 м, глибина розпушування досягає 20 см; діаметр посадкової лунки – 30 см, глибина лунки – до 50 см. Власна маса майданчикоформувавча складає 850 кг. Машина агрегатується з тракторами тягового класу 3.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 0030.00.00.000 ПЗ

Арк.

20

Навісний майданчикоформував ПН-1-0,8 (рис. 1.6) призначений для створення східчастих майданчиків із одночасним формуванням посадкових лунок на гірських та яружно-балкових схилах крутизною до 25° [13].

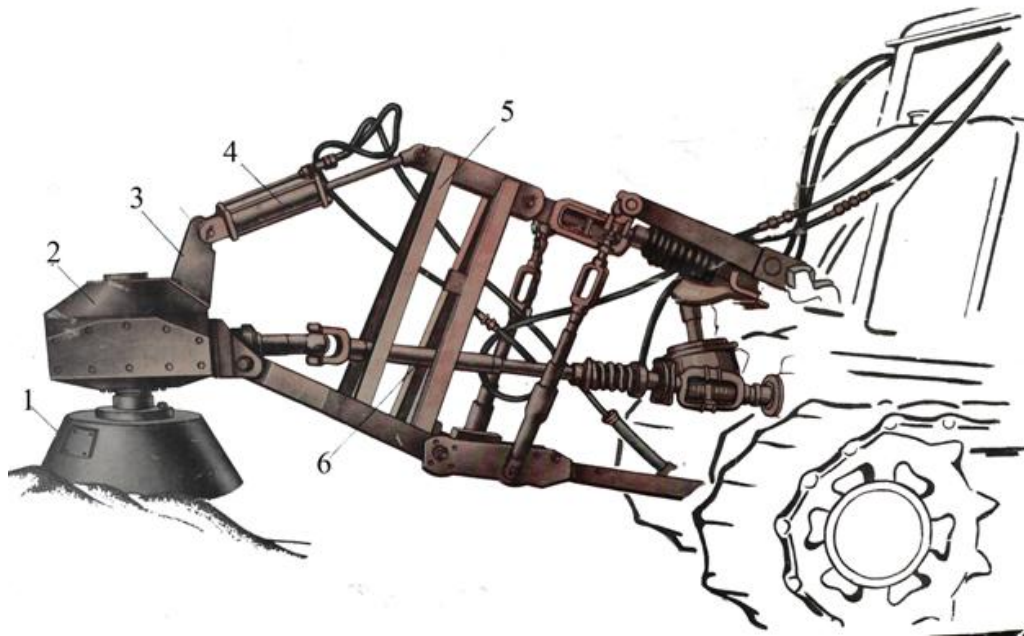


Рисунок 1.6 Майданчикоформував навісний ПН-1-0,8:

1 – робочий орган; 2 – кінцевий редуктор; 3 – кронштейн; 4 – гідроциліндр; 5 – рама; 6 – карданний вал

Майданчикоформував складається з таких основних елементів: зварної рами 5, гідроциліндра 4, робочого органу 1, кронштейна 3, кінцевого редуктора 2 та карданної передачі 6. Зварна рама призначена для приєднання обладнання до трактора за допомогою навісного механізму та слугує основою для встановлення всіх вузлів. Конструкція передбачає використання двох змінних робочих органів.

Під час виконання робіт агрегат переміщується вниз по схилу. У визначеному місці для формування майданчика агрегат зупиняють, тракторист опускає робочий орган і активує ВВП трактора. Ножі робочого органу зрізають ґрунт у верхній частині, подрібнюють його і переміщують до нижньої частини,

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворюючи насип. Спеціальний кожух запобігає розсипанню ґрунту під час роботи. Діаметр сформованого майданчика становить 0,8 або 1,0 м [13].

#### 1.4 Аналіз патентних розробок

Серед відомих технічних рішень найближчим за призначенням, виконуваними технологічними операціями та конструктивною суттю до запропонованої машини є пристрій для формування штучних водоскидів [11]. Конструктивно це знаряддя включає раму 1 з кронштейнами 2, 3 і 4 для приєднання до трактора, черв'ячно-циліндричний привідний редуктор 5, карданний телескопічний вал 6 зі шарнірами Гука 7 та 8 на обох кінцях, а також обертальний вертикальний стояк 9, на якому закріплені ножі 10 і 11 та наконечник 12 у нижній частині стояка.

На стояку змонтовані повідці 13 і 14, розташовані діаметрально протилежно, з обмежувачами 15, які контактують із конічною поверхнею 16 (рис. 1.7, а) сформованої лунки водоскиду. Між ножами 10, 11 і наконечником 12 по стояку 9 розташовані витки шнекового бура 17. Кожен ніж 10 (11) обладнаний транспортуючим елементом 18 і ріжучим елементом 19. Транспортуючі елементи 18 прикріплені перпендикулярно до повідців 13 і 14, тоді як ріжучі елементи 19 встановлені під певним кутом до них. Нижні кромки транспортуючих 18 та ріжучих 19 елементів оснащені лезами 20 і 21 відповідно. Робочі кромки 22 і 23 цих лез орієнтовані вздовж твірної 24 конічної поверхні лунки водоскиду (рис. 1.7, б). Ножі 10 і 11 змонтовані на вертикальному стояку 9 з можливістю їх демонтажу. Фіксація стояка 9 у черв'ячно-циліндричному редукторі 5 здійснюється за допомогою фасонних гайок, що нагвинчуються на різьбову ділянку 25 [11].

Обертальний момент від черв'ячного колеса редуктора 5 передається на шліцеву частину 26, що розташована у верхній зоні вертикального стояка 9 (див. рис. 1.7, б). Польовий обріз 27, закріплений на кінцевій ділянці ріжучого елемента 19, обертається разом із віссю стояка 9 та розташований під кутом до

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його осі симетрії. Кут нахилу польового обрізу 27 виконано таким чином, щоб він дорівнював або був меншим за кут природного відкосу верхнього ґрунтового шару 28. Кожен обмежувач 15, виготовлений у формі салазки 4, встановлюється на кінці відповідного повідця 13 (14) та може регулюватися по висоті вздовж вертикального стояка 9.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

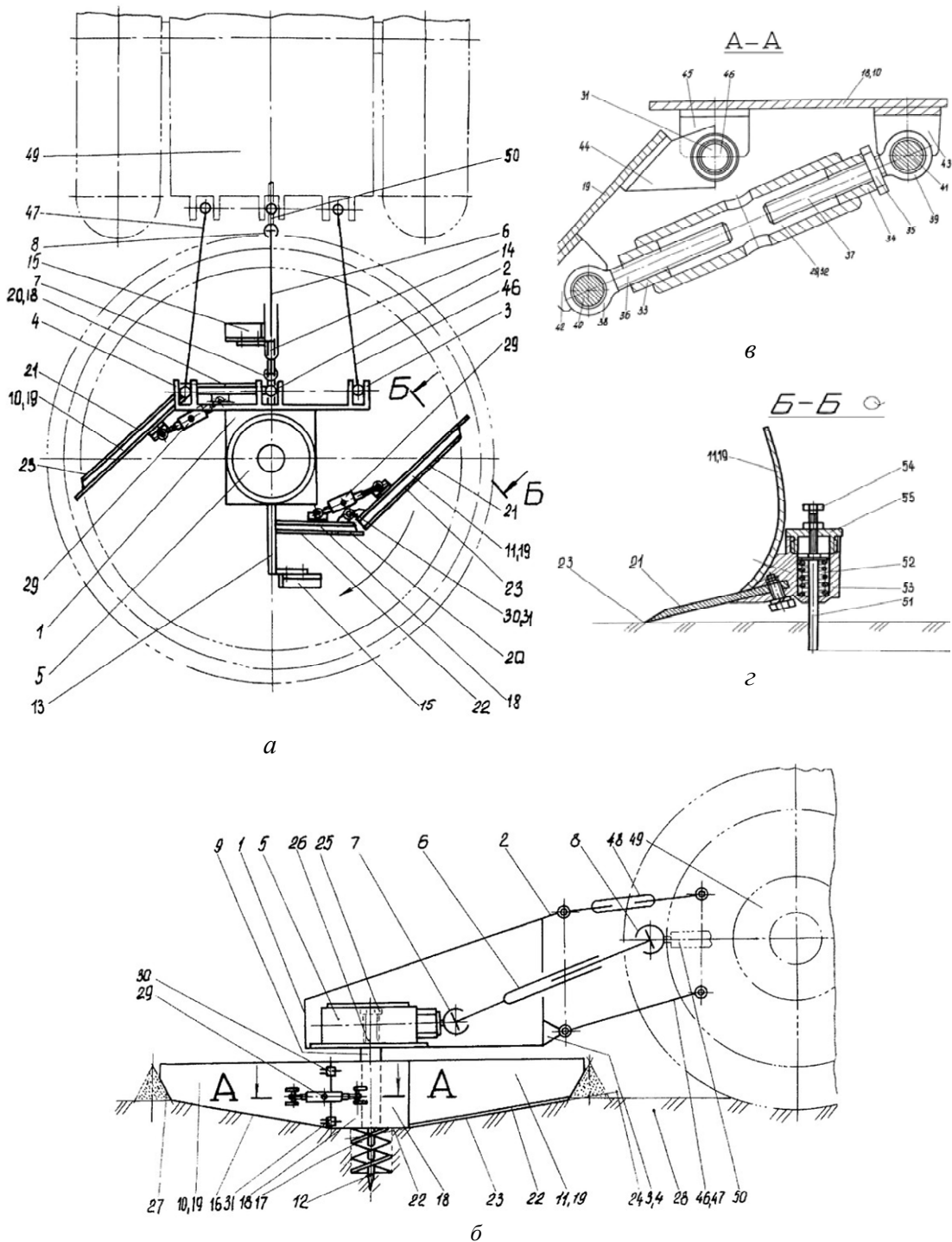


Рисунок 1.7 Знаряддя для утворення штучних водоскидів [11]

Транспортувальний елемент 18 ножа 10 (11) за допомогою талрепа 29 (рис. 1.7, а-в) вертикально і співвісно приєднаний до ріжучого елемента 19 через шарніри 30 та 31. Конструкція талрепа 29 включає стягну гайку 32 з різбовими втулками 33 і 34 з лівим та правим різьбленням, контргайку 35 та гвинти 36 і 37,

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

що мають вушка 38 і 39. Вушка 38 і 39 за допомогою осей 40 та 41 фіксуються на кронштейнах 42 та 43, розташованих на зворотних поверхнях транспортувального елемента 18 і ріжучого елемента 19 кожного ножа 10 (рис. 1.7, в). Шарніри 30 і 31, що мають співвісне та вертикальне розташування, через пару кронштейнів 44 і 45 та осі 46 утворюють рухоме з'єднання між транспортувальним та ріжучим елементами 18 і 19. Талреп 29 забезпечує плавне регулювання відстані польових обрізів 27 від осі обертання вертикального стояка у широкому діапазоні.

Перед початком роботи раму 1 агрегату фіксують пальцями та тягами 46, 47 і 48 до кронштейнів 2, 3 та 4, використовуючи гідравлічну навіску трактора 49. Карданний телескопічний вал 6 через шарнір Гука 8 приєднують до ВВП 50 трактора 49. За допомогою тяг 46–48 агрегат підіймають у транспортне положення гідронавіскою трактора 49. Упори 15, закріплені на протилежних кінцях поводків 13 і 14, налаштовують так, щоб забезпечити необхідну глибину формування лунки. Під час обертання вертикального стояка 9 упори 15 обмежують вертикальний хід ножів 10 і 11. Після цього перевіряють технічний стан наконечника 12, витків шнекового бура 17, робочих кромок 22 і 23 лез 20 і 21 транспортувальних елементів 18 та ріжучих елементів 19. Потім вмикають ВВП трактора і перевіряють функціонування вузлів приводу вертикального стояка 9 на малих обертах.

З зовнішньої сторони кожного ріжучого елемента 19, безпосередньо за лезом 21, встановлені сколювальні елементи 51, які мають можливість регулювання свого положення по висоті. Кожен сколювальний елемент 51 (рис. 1.7, г) змонтований у циліндричній порожнині 52, яка виконана у несучому брусі 53 ріжучого елемента 19, що дозволяє йому вільно переміщуватись у вертикальному напрямку. Шток сколювального елемента 19 у межах циліндричної порожнини утримується пружиною, що забезпечує його стабільну роботу. Хід штока сколювального елемента 19 обмежується регульованим упором 54, який нагвинчений у різьбову кришку 55, встановлену в тій самій

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

циліндричній порожнині 52. Відстань між сколювальними елементами 51, закріпленими на несучому брусі 53 ріжучого елемента 19, становить від 10 до 150 мм.

Наведений варіант знаряддя, хоча й має схожість за конструктивною ідеєю та функціональним призначенням із нашою спроектованою машиною, проте за функціональними можливостями виконує лише частину задач – приблизно 50%, а саме забезпечує формування площадок із мікропониженнями, що сприяють штучному накопиченню вологи для поливу саджанців. У нашому ж випадку конструкція повинна бути універсальною: вона має забезпечувати можливість створення також мікропідвищень у випадках надлишкового зволоження ґрунту. Варто також зазначити, що попри значні переваги конструкції, описаної вище, вона відрізняється високою конструктивною складністю та великою кількістю складових елементів, що ускладнює виготовлення й експлуатацію.

## 1.5 Висновки до розділу. Технічне завдання

### 1.5.1 Висновки до розділу

Проаналізувавши науково-дослідні роботи та патентні джерела за напрямком підготовки посадочних місць для лісовідновлення, встановлено, що найбільш доцільним є застосування позиційних машин для утворення дискретних посадкових місць. Це обумовлено тим, що позиційний метод роботи дозволяє оператору оцінювати рельєф і обирати оптимальні ділянки для садіння, а також дає змогу ефективно працювати на складних вирубках без необхідності корчування пнів чи розчищення порубних залишків, що суттєво знижує трудові й матеріальні витрати.

Водночас існуючі машини для формування посадкових лунок, попри їх достатню продуктивність і застосовність у різних регіонах України, мають низку суттєвих недоліків. Зокрема, більшість конструкцій відрізняється значною технічною складністю, громіздкістю, великою масою, низькою

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективністю та обмеженою маневреністю. Крім того, далеко не всі машини можуть одночасно адаптивно формувати майданчики з мікропідвищеннями та мікропониженнями в залежності від вологості й типу ґрунту, що є важливим для підвищення приживлюваності саджанців.

Таким чином, існує нагальна потреба у розробці більш універсальних, простих у конструкції та енергоефективних машин, здатних адаптувати технологічний процес під різні умови лісовідновлення.

#### 1.5.2 Технічне завдання на проектувану машину

Назва та сфера застосування. Позиційний лункоутворювач з комбінованим робочим органом для сільсько- та лісогосподарського машинобудування.

Мета та призначення. Механізація та підвищення ефективності лісопосадкових операцій із мобільним формуванням мікропідвищень на перезволожених і дренажних ґрунтах із одночасним утворенням посадкових лунок.

#### Технічні вимоги

Основні технічні вимоги до машини та її технологічного обладнання визначаються наступними параметрами:

Базовою машиною для агрегування служить трактор класу тяги 1,4. Привод основних робочих органів здійснюється від вала відбору потужності трактора, а допоміжні робочі органи працюють за рахунок гідросистеми трактора.

Ширина захвату машини може становити 1,0; 1,2 або 1,4 метра залежно від умов роботи. Робочий орган є комбінованим типом із кутовою швидкістю обертання  $0,5 \text{ с}^{-1}$ .

Сферичні диски мають діаметр 450 мм і радіус кривини 650 мм. Кут атаки дисків становить  $20^\circ$ , а кут їх сходження може регулюватися та бути рівним:  $-22,5^\circ$ ,  $0^\circ$  або  $22,5^\circ$ .

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Габаритні розміри робочого обладнання машини становлять: довжина – 1650 мм, ширина – 1650 мм, висота – 1350 мм. Маса робочого обладнання складає 145 кг.

Розрахункова продуктивність становить 120 лунок за годину роботи. Обслуговування машини здійснює один оператор.

Позиційний Лункоутворювач обслуговується одним кваліфікованим трактористом, який має знати конструкцію, правила експлуатації та налаштування машини.

Усі вузли і деталі мають бути технологічними у виготовленні, складанні, монтажі, обслуговуванні та ремонті. Контроль якості виготовлення і робочих параметрів виконується стандартними засобами контролю згідно з чинними стандартами України. Рівень стандартизації та уніфікації – не менше 60 %.

Конструкція повинна передбачати застосування гнутих профілів, прокату й штампованих деталей для зниження трудомісткості виготовлення, мінімізуючи кількість індивідуальних компонентів.

Експлуатаційна технологічність забезпечується простотою обслуговування та зручністю спостереження за роботою робочих органів. Усі деталі мають бути без корозії, нагару чи механічних дефектів. Робочі поверхні повинні бути чистими від деформацій, задирок і вм'ятин.

Важкі елементи масою понад 20 кг повинні мати пристрої для зачалування, а місця зачеплення слід маркувати стійкою фарбою, контрастною до основного кольору відповідно до ДСТУ.

#### Вимоги безпеки

Конструкція і розміщення вузлів Лункоутворювача повинні забезпечувати безпечний і зручний доступ під час експлуатації, ремонту та монтажу. Машина має відповідати чинним вимогам безпеки, гігієни праці та правилам пожежної безпеки для лісогосподарських машин.

#### Естетичні та ергономічні вимоги

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд і форма повинні відповідати сучасним стандартам, бути гармонійними й інформативними. Конструкція має забезпечувати комфортну роботу оператора згідно з вимогами безпеки й виробничої санітарії. Обладнання фарбується у зелений колір стійкими до морозу, тепла і корозії фарбами з необхідними маркуваннями. Вузли повинні транспортуватися в окремих контейнерах, з мінімізацією ударних навантажень.

#### Вимоги до матеріалів і комплектуючих

Усі матеріали і вузли повинні відповідати технічній документації, державним стандартам і забезпечувати надійну експлуатацію.

#### Умови експлуатації

Лункоутворювач призначений для роботи як на рівнинній місцевості, так і на схилах, на ґрунтах з різною несучою здатністю.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми позиційного комбінованого лункоформувача

Для забезпечення механізованої підготовки дискретних посадкових місць у вигляді мікропідвищень (на ділянках із тимчасовим перезволоженням ґрунтів) або мікропонижень (на добре дренованих територіях), а також одночасного формування лунок для висаджування сіянців чи саджанців лісових культур із закритою кореневою системою, запропоновано вдосконалену конструкцію ґрунтообробного агрегату. При розробленні цієї машини враховано положення захищеного патентом технічного рішення [12].

На рис. 2.1 наведено принципову схему роботи позиційного комбінованого лункоформувача у кількох варіантах налаштування. Зокрема:

- на рис. 2.1, а показано розташування сферичних дисків у конфігурації «всклад»;
- на рис. 2.1, б – варіант «врозгін»;
- на рис. 2.1, в – вигляд знизу агрегату при встановленні дисків «всклад».

Основним елементом запропонованого лункоформувача є рама 1, до якої жорстко приєднано редуктор 2 із вертикальним вихідним валом 3, що передає обертальний рух робочим органам.

Комплекс робочих органів включає: сферичні диски 4, які через повідці 5 приєднані до обойми 6. Конструкція обойми 6 передбачає можливість її перестановки та фіксації у потрібному положенні (наприклад, С або D) на вихідному валу 3; вертикальний шнековий бур 7, призначений для свердління лунок під висадку лісових культур.

Завдяки такій конструкційно-технологічній схемі передбачено швидке переналаштування машини для роботи за різних ґрунтово-кліматичних умов і рельєфів місцевості. Це підвищує адаптивність і універсальність використання лункоформувача під час проведення лісовідновлювальних робіт.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу робочого органу для планування ґрунтових майданчиків входить три сферичних диски 4, розташовані по дузі кола під кутом між вісями  $120^\circ$ . Диски вільно обертаються на власній осі 8 від реакції з ґрунтом, що виникає під час обертання вертикального вала 3. Вісі дисків кріпляться в повідках 5, які містять поздовжні пази. Пази дозволяють переміщувати диски в радіальному напрямку і фіксувати їх в певному сталому положенні – при утворенні мікропідвищень вісі дисків розміщуються на максимальній відстані від вала, а під час майданчиків нижче рівня ґрунту – на мінімальній.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

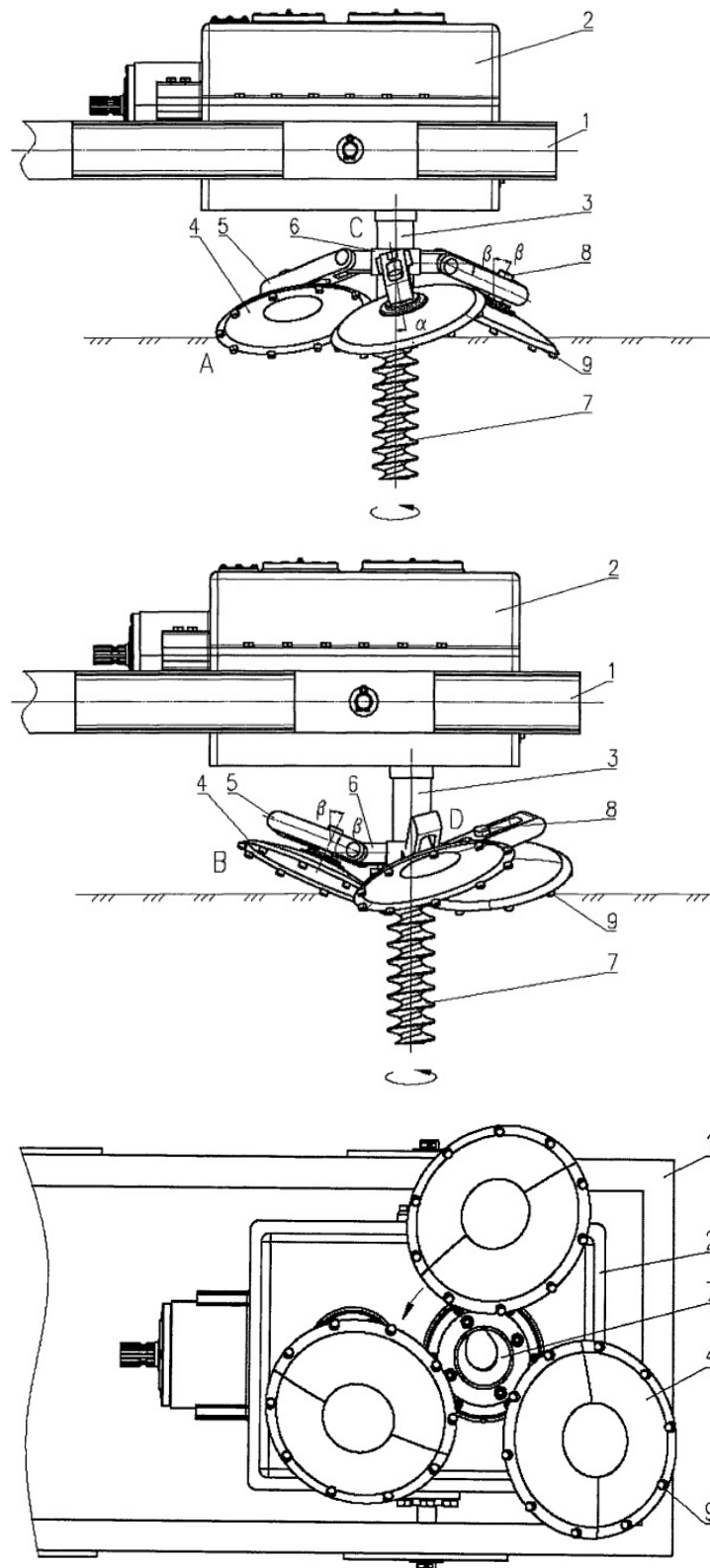


Рисунок 2.1 Схема позиційного комбінованого лункоформувача: *а* – режим «всклад»; *б* – режим «врозгін»; *в* – вид знизу; 1 – рама, 2 – редуктор, 3 – опорний вал, 4 – сферичні диски, 5 – повіки, 6 – обойма, 7 – гвинтовий бур, 8 – вісь диска, 9 – різці [12]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 0030.00.00.000 ПЗ

Арк.

32

Повідці 5 приєднані до обойми 6 і закріплюються у потрібному положенні відповідно до виконуваної операції: у верхньому положенні А – для створення мікропідвищень, або у положенні В – для формування мікропонижень. Обойма може фіксуватись у двох позиціях – С або D. При перестановці обойми з положення С у D або навпаки повідці повертаються на кут  $2\beta$ , де  $\beta$  – це кут відхилення осі обертання дисків від вертикальної лінії. У стані С сферичні диски працюють у конфігурації «всклад», тобто переміщують верхній шар ґрунту з країв до центру, формуючи підвищення (рис. 2.2, а). У положенні D диски функціонують за схемою «врозгін» – ґрунт відсувається від центру до периферії, утворюючи понижений круглий майданчик (рис. 2.2, б).

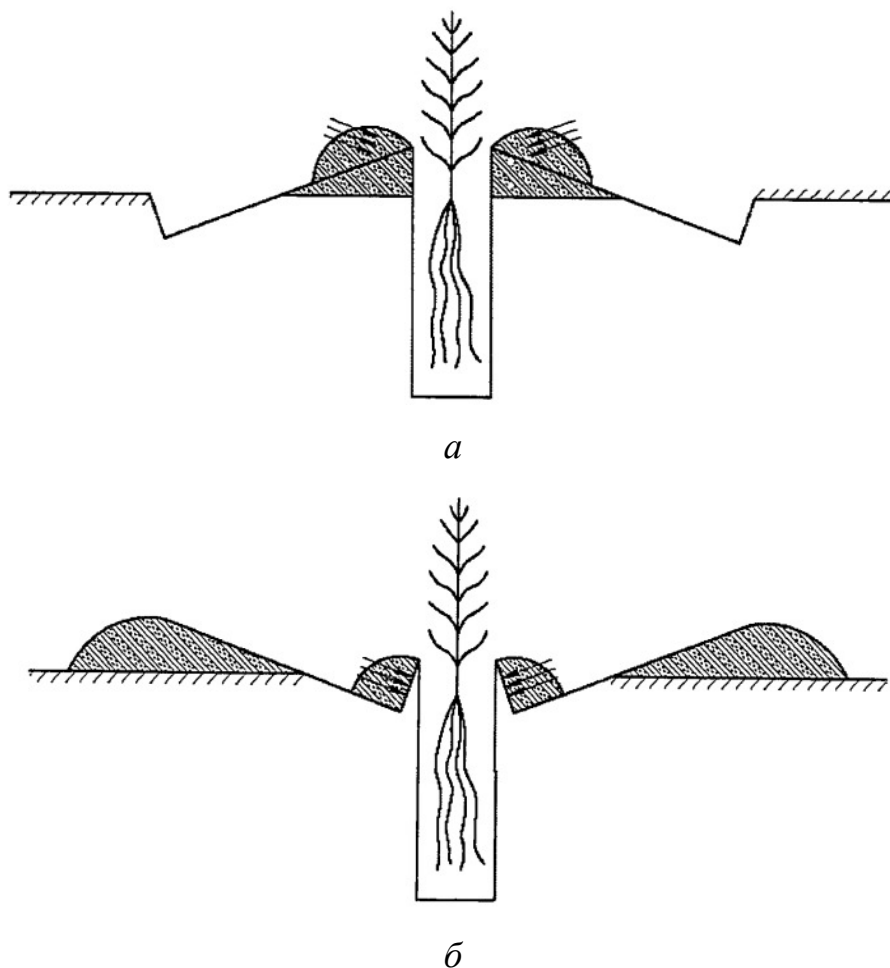


Рисунок 2.2 Схема роботи позиційного дискретного лункоформувача:  
 а – мікропідвищення (диски встановлені «всклад»); б – мікропониження (диски встановлені «врозгін») [12].

На валу також встановлено шнековий бур 7, який служить для формування лунки, призначеної для розміщення кореневої системи саджанця.

Робота агрегату виконується за такою схемою. Спочатку трактор під'їжджає до запланованого місця посадки й зупиняється. Знаряддя опускається до рівня ґрунту, після чого активується незалежний привід вала відбору потужності (ВВП) трактора. Сферичні диски заглиблюються у ґрунт, обертаючись навколо вертикальної осі агрегату й власної осі обертання. Залежно від кута їх встановлення формується мікропідвищення або невелике заглиблення у вигляді вирівняного посадкового майданчика. Для полегшення заглиблення шнекового робочого органа тракторист за потреби використовує примусове опускання навісного обладнання. Після досягнення заданої глибини обробки привід ВВП вимикається, знаряддя піднімається, а трактор пересувається до наступної точки посадки з урахуванням прийнятого кроку й міжряддя [12].

Для кращого розуміння конструкції на рисунку 2.3 наведено 3D-модель робочої частини спроектованого позиційного лункоформувача.

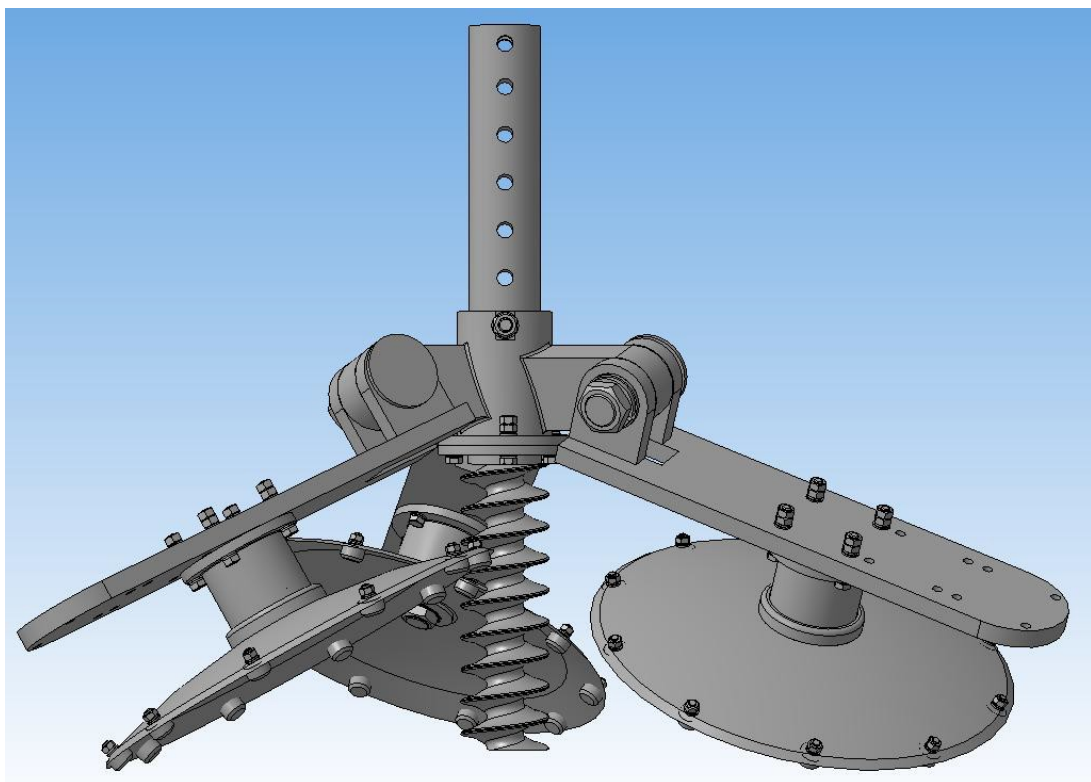


Рисунок 2.3 Загальний вигляд позиційного лункоформувач

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Моделювання взаємодії робочих органів агрегату з ґрунтом

Для побудови математичної моделі позиційного лункоформувача необхідно правильно відобразити як властивості лісового ґрунту, так і особливості його взаємодії з робочими органами [3]. При моделюванні ґрунту виникають певні труднощі, пов'язані з великою різноманітністю його типів та широким спектром фізико-механічних характеристик, таких як вологість, рихлість і зернистість. Важливим фактором також є рельєф поверхні [3].

У даній роботі ґрунт у моделі представлено у вигляді сукупності близько 7000 дрібних сферичних елементів, що дозволяє детально відтворити його структурну будову та механічну поведінку при роботі лункоформувача.

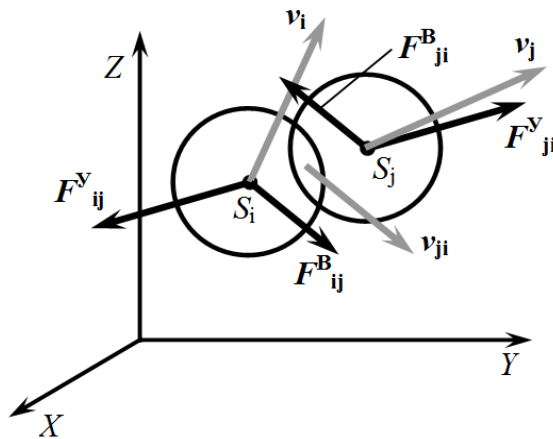


Рисунок 2.4 Пружні та в'язкі сили, що виникають при контакті кулястих елементів (а), та залежність пружної складової сили  $F_{yij}$  від відстані  $r_{ij}$  між двома елементами ґрунту, які взаємодіють між собою

Для обчислення сил взаємодії між елементами ґрунту необхідно знати їхні просторові координати  $S_i (x_i, y_i, z_i)$ ,  $S_j (x_j, y_j, z_j)$  і розрахувати відстань між ними  $r_{ij}$ .

Зв'язування кулястих елементів моделює фрагменти ґрунту. На початковому етапі комп'ютерного експерименту вважається, що елементи, які контактують, з'єднані між собою. Якщо під час руху вони віддаляються один від одного більше ніж на величину  $dK$ , зв'язок вважається розірваним.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Динаміка системи таких елементів описується системою диференціальних рівнянь, яка відображає зміну структури ґрунту під час його обробки робочим органом. Під дією робочих поверхонь агрегату змінюється просторове положення кулястих елементів, що призводить до формування конусоподібного заглиблення під знаряддям. Знаючи сумарну силу, що виникає від одночасної дії великої кількості елементів на робочі органи, можна визначити величину споживаної агрегатом потужності.

При розробленні математичної моделі обертання окремих кулястих елементів ґрунту навколо власних центрів не враховувалося. Це не призводить до значної похибки, оскільки елементи об'єднуються у більші структури – грудки або пласти ґрунту – і під час їхнього руху взаємне перекочування та обертання природно враховується за рахунок переміщення елементів відносно одне одного.

У ході комп'ютерного експерименту елементи ґрунту могли вільно переміщатися у межах кубічної області моделювання розміром  $L \times L \times L$ . На початку моделювання частинки випадково розміщувалися у кілька шарів у нижній частині куба. Для формування щільної упаковки використовувався алгоритм «струсу», що дозволяє досягти максимальної щільності розташування елементів.

Робочий орган агрегату переміщується у вертикальному напрямку, взаємодіючи дисками та шнековим буром з кулястими елементами ґрунту, поступово утворюючи заглиблення необхідної форми.

Щоб запобігти виходу елементів за межі моделювальної області під час комп'ютерного експерименту, після кожного кроку інтегрування виконується перевірка виконання відповідних граничних умов  $x_i$ .

Оскільки робочі поверхні позиційного майданчико-лункоформувача мають складну геометрію, для їхнього відтворення в моделі застосовується скінченно-елементний метод. Поверхня кожного робочого органа подається у вигляді

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

набору взаємозв'язаних елементарних трикутників. Такий підхід дає змогу точно описати кривизну і форму складних поверхонь агрегату.

Приклад дискретизації сферичної поверхні на трикутні елементи із зазначенням індексів базових точок і номерів елементарних трикутників показано на рис. 2.5.

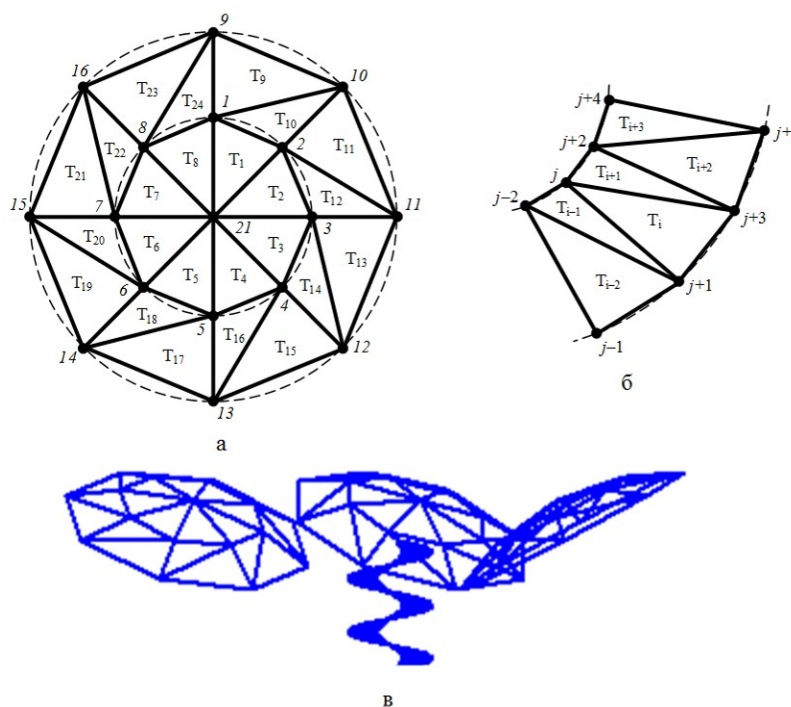


Рисунок 2.5 Моделювання робочих поверхонь робочих органів: а – сферичної поверхні дискового робочого органу, б – гвинтової поверхні бура, – всіх робочих поверхонь в цілому

У тривимірному просторі моделі окремих трикутників робочої поверхні визначається за допомогою трьох координат його вершин  $P_{i1}(x_{i1}, y_{i1}, z_{i1})$ ,  $P_{i2}(x_{i2}, y_{i2}, z_{i2})$ ,  $P_{i3}(x_{i3}, y_{i3}, z_{i3})$ , де  $P$  – вершина трикутника,  $i$  – порядковий номер трикутника, індекс 1, 2 або 3 – номер вершини  $i$ -го трикутника. Для побудови складних робочих поверхонь зняряддя – зокрема сферичної та гвинтової – окремі трикутні елементи поєднуються між собою. Сусідні трикутники мають спільні дві вершини та одне ребро, що забезпечує безперервність поверхні.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки сферична та гвинтові поверхні не є замкнутими, після їхнього формування деякі трикутники мають вільні ребра. Ці вільні ребра інтерпретуються як різучі країки робочих поверхонь агрегату.

### Комп'ютерне моделювання робочого процесу

На рис. 2.6 представлено блок-схему алгоритму моделювання роботи робочих органів машини. У процесі моделювання виконується двоцикловий прохід: внутрішній цикл (змінна  $t$ ) описує динаміку зміни системи з часом, тоді як зовнішній цикл (змінна  $NE$ ) визначає кількість комп'ютерних експериментів у серії для подальшого аналізу та побудови графічних залежностей.

Для спрощення дослідження математичної моделі була створена комп'ютерна програма мовою Object Pascal в інтегрованому середовищі Borland Delphi 7.0 [11]. Інтерфейс програми дозволяє користувачеві задавати основні регульовані параметри машини, властивості ґрунту та параметри технологічної операції (рис. 2.6). Геометричні параметри знаряддя, які мають другорядне значення, редагуванню не підлягають і жорстко задані у кодї програми.

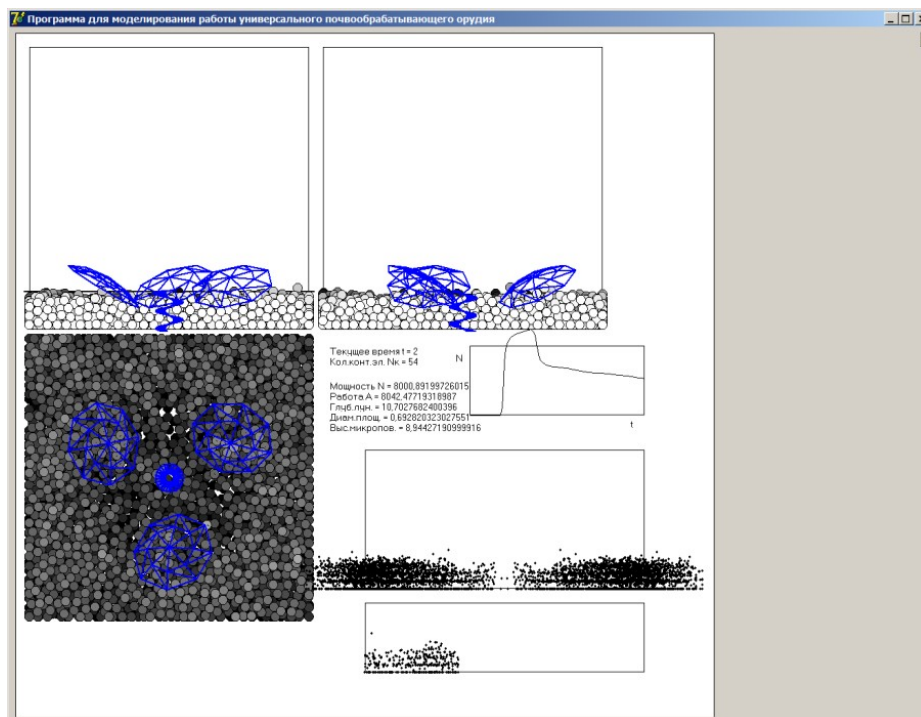


Рисунок 2.6 Графічна інтерпретація результатів моделювання

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Пробні комп'ютерні експерименти для сферичних дисків у режимах формування як мікропідвищень, так і мікропонижень підтвердили правильність роботи лункоутворювача. Просторове формування посадкових місць відповідало очікуваному результату, що свідчить про адекватність запропонованої конструкції машини (рис. 2.7).

Якість отриманого посадкового місця можна оцінювати за його поперечним профілем (рис. 2.8). У моделі поперечний профіль подано у вигляді сукупності окремих точок, які відповідають центрам кулястих елементів ґрунту (рис. 2.9, верхня частина). Для кращого візуального сприйняття цей профіль може бути представлений у вигляді суцільної заштрихованої області (рис. 2.9, нижня частина).

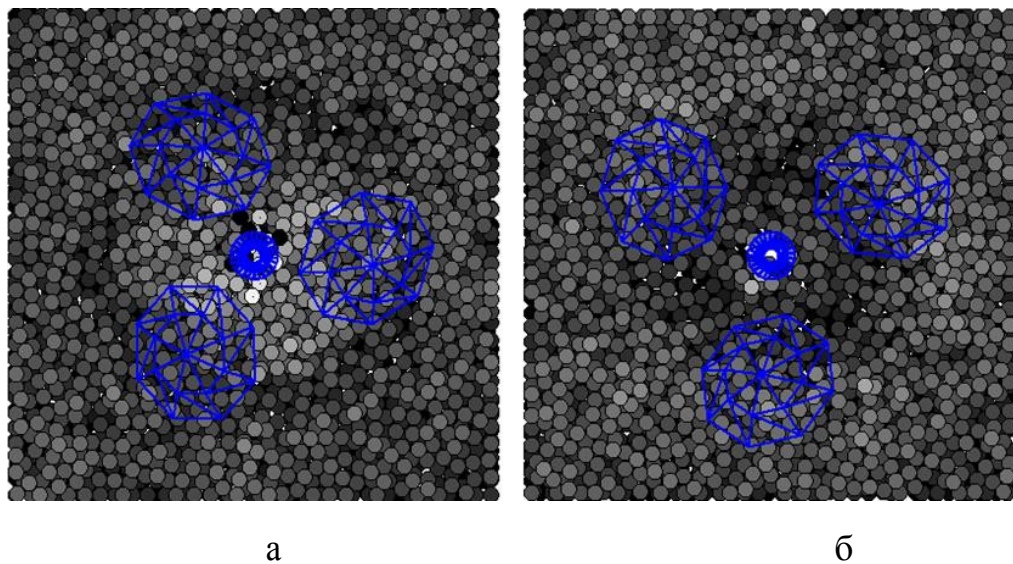


Рисунок 2.7 Схематичне зображення результатів роботи агрегату:  
а – утворення мікропідвищення, б – утворення мікропониження

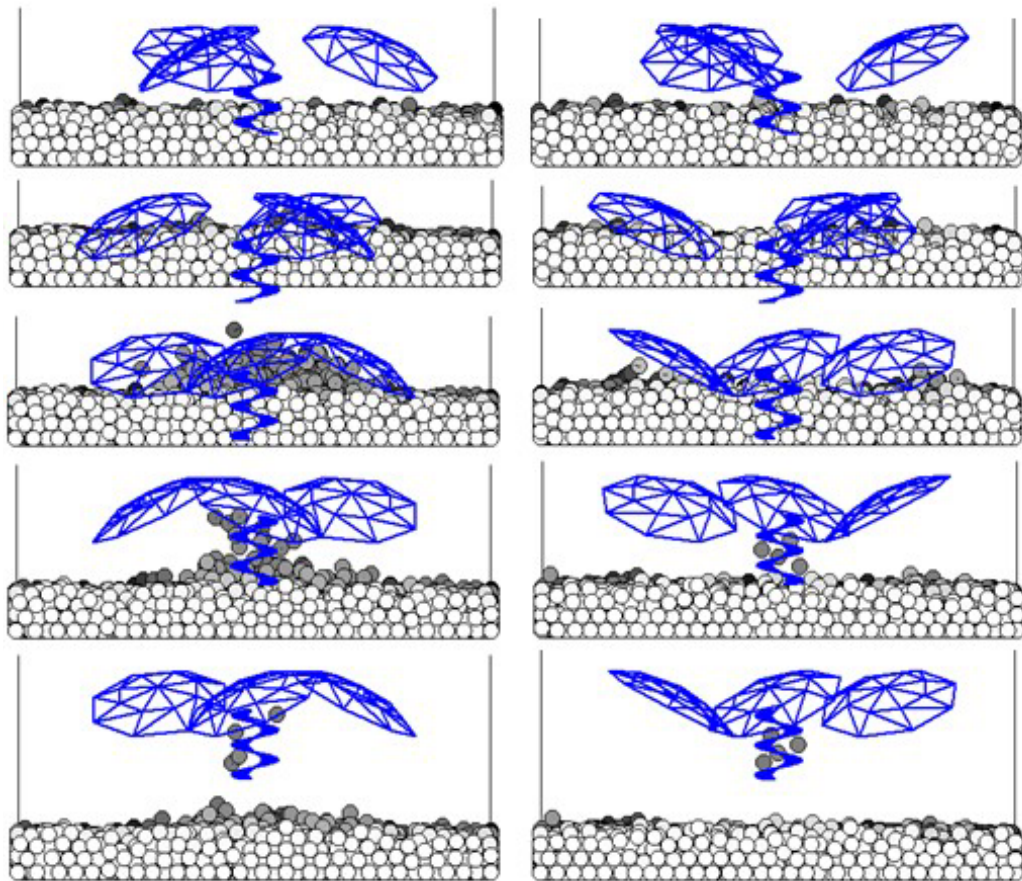


Рисунок 2.8 Етапи роботи агрегату

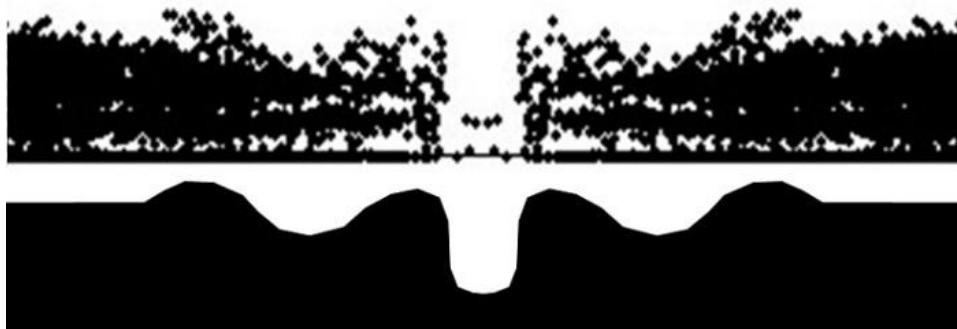


Рисунок 2.9 Поперечне січення утвореного мікропониження

Основним критерієм оцінки якості формування посадкового місця є  $h_K$  – висота (глибина) конуса посадкового місця. Методика вимірювання величини параметра  $h_K$  для обох режимів роботи знаряддя показана на рис. 2.10.

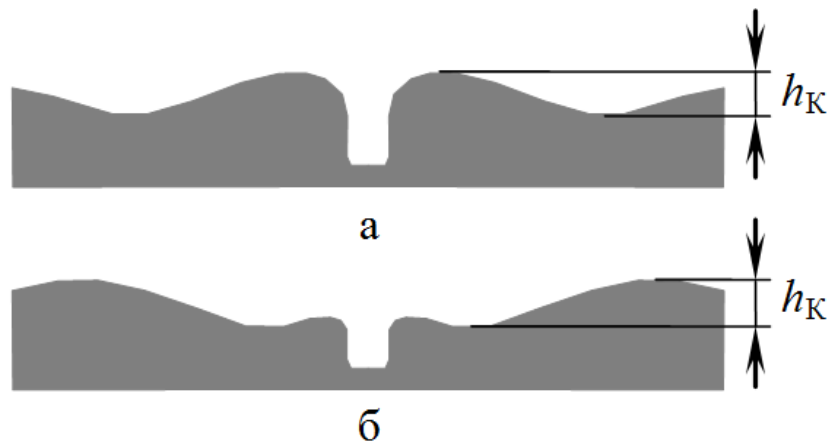


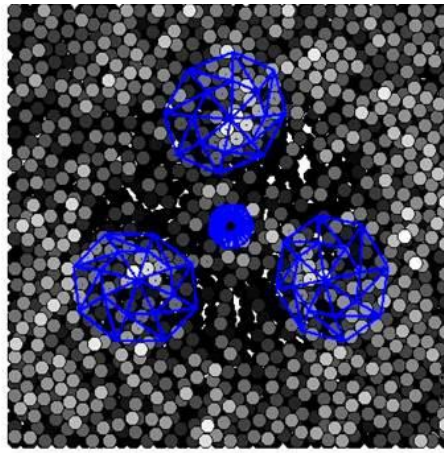
Рисунок 2.10 Конфігурація і параметри посадочного місця:

а – висоти конуса мікропідвищення, б – глибини конуса мікропониження

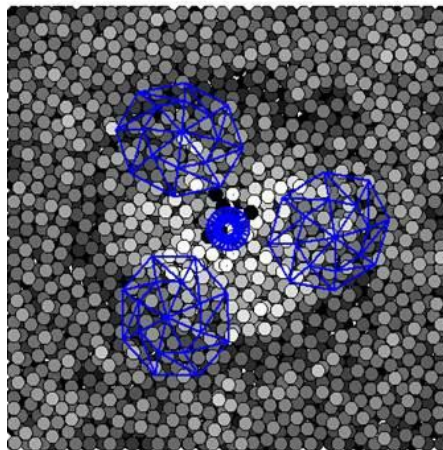
Під час проведення попередніх комп'ютерних експериментів було виявлено неоднорідність профілю заглиблення в коловому напрямку. Зокрема, якщо після формування заглиблення зупинити обертання ротора перед підйомом робочих органів, під дисками залишаються гірки ґрунту значного об'єму, порівняного з висотою  $h_K$  (рис. 2.11, а).

Однак, якщо обертання ротора зберігається під час підйому робочих органів, ці гірки рівномірно розподіляються дисками вздовж кругової борозни, завдяки чому колова нерівномірність практично зникає (рис. 2.11, б, в).

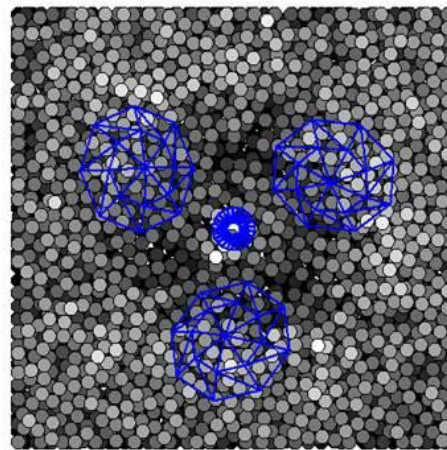
З огляду на це, надалі під час моделювання контролювалися колові профілі  $h(\varphi)$  (рис. 2.12), а для кількісної оцінки однорідності роботи лункоутворювача було введено додатковий показник –  $\Delta h_n$ , що характеризує ступінь колової нерівномірності. Метод визначення цього показника наведено на рис. 2.12.



а



б



в

Рисунок 2.11 Варіанти утворення форм мікропідвищення: а – при зупинці обертання робочих органів і подальшому його підйомі, б, в – при підйомі робочих органів без зупинки обертання

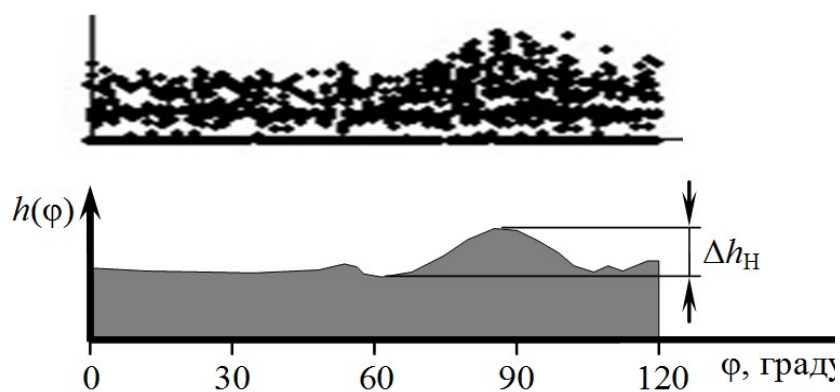


Рисунок 2.12 Коловий профіль утвореного місця для садіння і метод визначення показника колової нерівномірності

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.3 Обґрунтування до побудови схем агрегату

### 2.3.1 Обґрунтування функціональної схеми роботи позиційного лункоформувача

Функціональна схема позиційного лункоформувача розробляється з метою чіткого відображення взаємного розташування робочих органів машини, визначення їх геометричних параметрів, а також встановлення оптимальних режимів обробки матеріалу. На функціональній схемі фіксуються основні технологічні та допоміжні операції, що виконуються кожним робочим органом у складі машини, а також послідовність їх взаємодії.

Побудова функціональної схеми передбачає попереднє складання структурної схеми роботи лункоформувача, яка є важливою підготовчою стадією. Структурна схема слугує для деталізованого пояснення послідовності технологічних процесів, що відбуваються під час функціонування агрегату. Вона є необхідним інструментом як для глибокого вивчення принципу роботи машини, так і для проведення налагодження, обслуговування та ремонту обладнання у процесі його експлуатації.

Основною функцією позиційного лункоформувача є формування лунок заданих параметрів у ґрунті або іншому матеріалі відповідно до технологічного завдання. Робочі органи машини взаємодіють між собою у чіткій послідовності, забезпечуючи механізоване виконання операцій із високою точністю та продуктивністю.

Структурна схема роботи лункоформувача наведена на рисунку 2.13 і відображає головні етапи циклу роботи машини: підготовку робочих органів до контакту з матеріалом, власне процес формування лунки, видалення надлишків матеріалу та повернення робочих органів у вихідне положення. Така схема дає змогу наочно оцінити функціональний взаємозв'язок усіх складових частин агрегату та обґрунтувати вимоги до їх конструктивних параметрів і режимів роботи.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, розробка функціональної схеми є невід’ємним етапом проектування позиційного лункоформувача та відіграє ключову роль у забезпеченні надійності й ефективності його роботи.

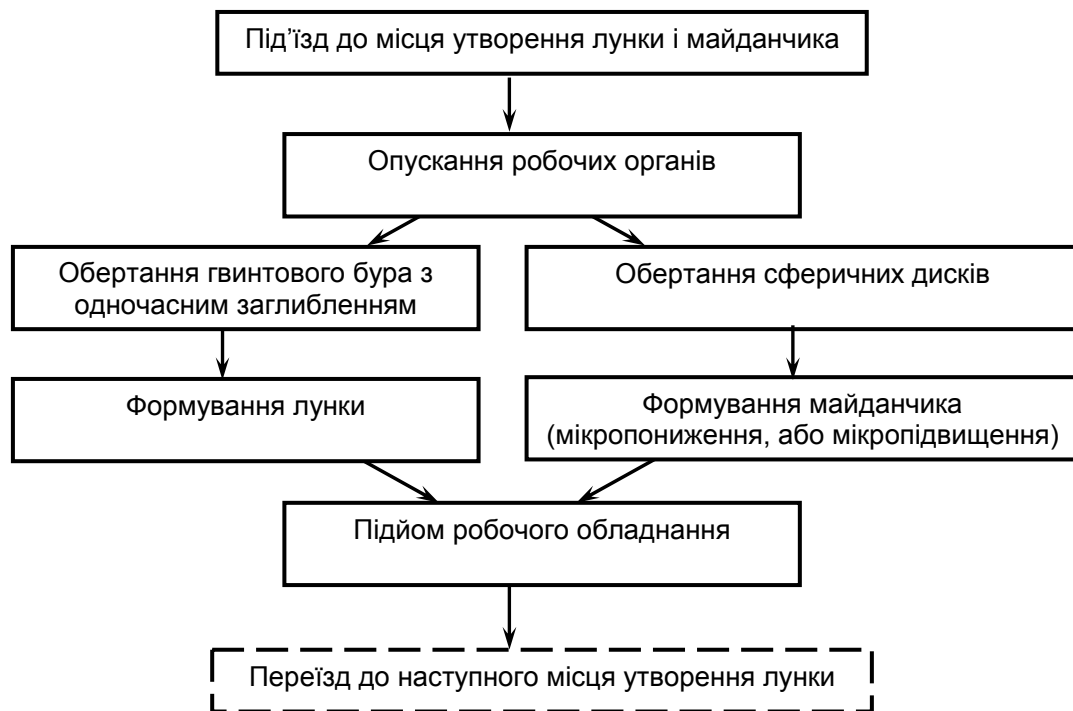


Рисунок. 2.13 Структурна схема роботи позиційного лункоформувача

Під час функціонування агрегату робоче обладнання насамперед опускається до поверхні робочого майданчика й фіксується на спеціально передбачених опорних ніжках. Це забезпечує стабільність і вирівнювання конструкції, що є критично важливим для гарантованої горизонтальності площини, де здійснюється технологічний процес розколювання.

Після того як агрегат надійно зафіксовано в робочому положенні, відбувається увімкнення приводу конічних робочих органів, що починають обертальний рух із розрахованою швидкістю. У цей момент оператор або автоматизована система подає не розколоті деревні заготовки до зони обробки, розміщуючи їх так, щоб їхня поздовжня вісь була паралельною горизонтальній площині. Така орієнтація забезпечує правильний вхід конічного інструмента в матеріал та мінімізує ризик виникнення відхилень лінії розколювання.

Під дією обертального моменту конічні робочі органи поступово врізаються у деревину, здійснюючи гвинтоподібне загвинчування. У результаті прикладених сил та конструктивної форми конуса у заготовці генерується напруження розтягу вздовж волокон, що призводить до її рівномірного розколювання на дві частини.

Отримані розколоті частини деревини акуратно укладаються у спеціально відведену зону поряд із машиною для подальшого використання або транспортування. У випадку, коли первинні заготовки мають великий діаметр або товстостінну структуру, за необхідності виконується повторна операція розколювання кожної половини. Це дозволяє отримати поліна меншого розміру, придатні для використання у побутових або промислових цілях як паливний матеріал.

Таким чином, описана послідовність дій забезпечує безперервність робочого циклу та високу ефективність експлуатації позиційного лункоформувача при розколюванні деревини різних габаритів і фізико-механічних властивостей.

### 2.3.2 Обґрунтування кінематичної схеми позиційного лункоформувача

Робочі органи комбінованого позиційного лункоформувача – конічні гвинти, які приводяться у рух від валу відбору потужності базового трактора, з яким агрегатується обладнання – МТЗ-80/82 (рис. 2.14).

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						45
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

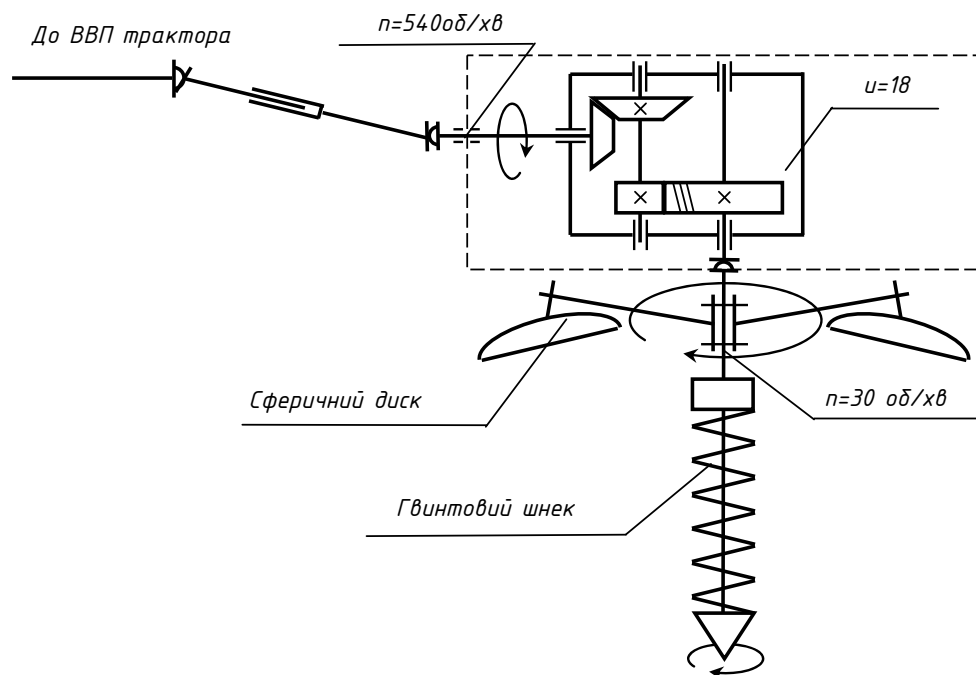


Рисунок 2.14 Кінематична схема комбінованого позиційного лункоформувача для лісових культур

Обертальний момент від валу відбору потужності (ВВП) трактора, що функціонує з частотою обертання 540 об/хв, передається до агрегату через карданну передачу на двоступінчастий конічно-циліндричний редуктор із передатним числом  $i = 18$ . До вихідного вала редуктора, вісь якого орієнтована вертикально, жорстко приєднаний вертикальний вал приводу. На цьому валу змонтовані повідці, до яких кріпляться сферичні дискові робочі органи. Конструкція передбачає можливість регулювання висоти їх розташування та налаштування режимів обробки ґрунту для формування майданчиків із мікропідвищеннями чи мікропониженнями відповідно до технологічних вимог.

На нижньому кінці вертикального вала розташовано ще один робочий орган – гвинтовий шнек, що безпосередньо виконує формування лунок для висадки саджанців лісових культур. Частота обертання як гвинтового бура, так і сферичних дисків навколо осі вертикального вала становить 30 об/хв.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Розрахунок приводного редуктора

2.4.1 Визначення загального передатного числа приводу та розподіл його між ступенями

Варіант режиму I, частота обертання ВВП трактора 540 об/хв. (відповідно до технічних характеристик трактора МТЗ-82)

Відповідно до вихідних даних проектування, а також беручи до уваги експлуатаційне навантаження та умови роботи дискового майданчикоформувача й гвинтового бура, для передавання крутного моменту обрано двоступінчастий редуктор конічно-циліндричного типу. Для зубчастого зачеплення використовується поєднання прямозубих і косозубих передач, що дозволяє забезпечити необхідне передатне число та плавність роботи приводу.

Загальне передатне відношення приводного редуктора:

$$u_{\text{заг}} = u_{\text{ред}} = n_{\text{д}}/n_{\text{в}} = 540/30 = 18,$$

що лежить у рекомендованих межах  $u_{\text{ред}} = 12,5 \dots 20$  [4].

Передатні відношення ступенів двоступінчастого редуктора [4]:

– тихохідного

$$u_{\text{т}} = 1,1\sqrt{u_{\text{ред}}} = 1,1\sqrt{18} = 1,1 \cdot 4,24 = 4,67;$$

– швидкохідного

$$u_{\text{шв}} = u_{\text{ред}}/u_{\text{т}} = 18/4,16 = 4,32..$$

Призначаємо найближче номінальне передаточне число швидкохідного ступеня редуктора  $u'_{\text{шв}} = 3,55$  ГОСТ 2185-66 [4], що лежить у рекомендованих межах  $u_{\text{шв}} = 1 \dots 4$  [4].

Уточняємо передатне число тихохідного ступеня редуктора:

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u_T = \frac{u_{ред}}{u'_{шв}} = \frac{18}{3,55} = 5,07.$$

Призначаємо найближче номінальне передатне відношення тихохідного ступеня редуктора:  $u'_T = 5,0$  [5], що знаходиться в рекомендованих межах  $u_T = 2,5...5$  [5].

Перевірка.

Номінальне передатне число редуктора

$$u'_{ред} = u'_{шв} \cdot u'_T = 3,55 \cdot 5,0 = 17,8,$$

що лежить у рекомендованих межах  $u_{ред} = 12,5...20$  [5].

Номінальна частота обертання тихохідного вала редуктора

$$n'_T = \frac{n_D}{u'_{ред}} = \frac{540}{17,8} = 30,4 \text{ об/хв.}$$

Порівняємо знайдене номінальне значення частоти обертання тихохідного вала редуктора  $n'_T$  з обчисленою вище частотою  $n_B$ :

$$E = \left| \frac{n'_T - n_B}{n_B} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{30,42 - 30}{30} \right| \cdot 100\% = 1,4\% < [E] = 2\%,$$

де  $[E]$  – допустиме відхилення частоти обертання на виході приводу від необхідної [5]:  $[E] = 2\%$ .

2.4.1.2 Варіант режиму II частоти обертання ВВП трактора 1000 об/хв.

(відповідно до технічних характеристик трактора МТЗ-82)

Загальне передатне відношення приводу:

$$u_{заг} = u_{ред} = \frac{n_D}{n_B} = \frac{1000}{30} = 33,3,$$

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дане значення знаходиться поза рекомендованими межами  $u_{ред} = 12,5...20$  і вкладається у граничні межі  $[u_{ред}] = 8...40$  [5].

Передатні відношення ступенів редуктора [4]:

– тихохідного

$$u_T = 1,1 \cdot \sqrt{u_{ред}} = 1,1 \cdot \sqrt{33,3} = 6,4;$$

– швидкохідного

$$u_{шв} = \frac{u_{ред}}{u_{тих}} = \frac{33,3}{6,4} = 5,2.$$

Призначаємо найближче номінальне передатне відношення швидкохідного ступеня редуктора:  $u'_{шв} = 5,2$  ГОСТ 2185-66 [6], що не лежить у рекомендованих межах  $u_{шв} = 1...4$  [5].

Уточнюємо передатне відношення тихохідного ступеня редуктора:

$$u_T = \frac{u_{ред}}{u'_{шв}} = \frac{33,3}{5,2} = 6,4.$$

Приймаємо найближче номінальне передатне відношення тихохідного ступеня редуктора:  $u'_T = 6,4$  ГОСТ 2185-66 [5], що також не лежить у рекомендованих межах  $u_T = 2,5...5$  [5].

Виконуємо перевірку.

Номінальне передатне відношення редуктора

$$u'_{ред} = u'_{шв} \cdot u'_T = 6,4 \cdot 5,2 = 33,28,$$

що лежить поза рекомендованими межами  $u_{ред} = 12,5К 20$ , однак, вкладається в граничні межі  $[u_{ред}] = 8...40$  [5].

Номінальна частота обертання тихохідного вала редуктора

$$n'_T = \frac{n_d}{u'_{ред}} = \frac{1000}{33,28} = 30,05 \text{ об/хв.}$$

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зіставимо знайдене номінальне значення частоти обертання тихохідного вала редуктора  $n'_T$  з обчисленою вище частотою  $n_B$ :

$$E = \left| \frac{n'_T - n_B}{n_B} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{30,05 - 30}{30} \right| \cdot 100\% = 5,0\% > [E] = 2\%,$$

Отже, для забезпечення раціонального режиму роботи приводного механізму обираємо режим I валу відбору потужності трактора, за якого частота обертання становить 540 об/хв. Цей режим сприяє зниженню витрат потужності трактора та водночас забезпечує необхідну частоту обертання вертикального вала приводу робочих органів – сферичних дисків і гвинтового бура – позиційного лункоформувача.

При цьому для конструкції двоступінчастого конічно-циліндричного редуктора передбачається використання стандартних значень передатних чисел обох ступенів, які вибираються з рекомендованих інтервалів. Такий підхід дозволяє спростити конструкторське виконання редуктора та забезпечити оптимальну ефективність приводу в заданих умовах експлуатації.

#### 2.4.2 Кінематичний розрахунок приводу

Основними кінематичними параметрами приводу є циклічні частоти обертання та кутові швидкості валів.

Номінальні циклічні частоти обертання валів редуктора:

– швидкохідного

$$n_{шв} = n_d = 540 \text{ об/хв};$$

– проміжного

$$n_{пр} = n_{шв} / u'_{шв} = 540 / 3,55 = 152,1 \text{ об/хв};$$

– тихохідного

$$n_T = n_{пр} / u'_T = 152,1 / 5 = 30,4 \text{ об/хв}.$$

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальні кутові швидкості валів редуктора:

– швидкохідного

$$\omega_{шв} = \pi n_{шв} / 30 = 3,14 \cdot 540 / 30 = 56,52 \text{ об/с};$$

– проміжного

$$\omega'_{пр} = \pi n'_{пр} / 30 = 3,14 \cdot 152,1 / 30 = 15,91 \text{ об/с};$$

– тихохідного

$$\omega'_T = \pi n'_T / 30 = 3,14 \cdot 30,4 / 30 = 3,18 \text{ об/с}.$$

### 2.4.3 Крутні моменти на валах

Номінальний крутний момент на валу приводному (номінальний крутний момент на виході приводу)

$$T'_B = T'_{вих} = \frac{9550 P_k}{n'_T} = \frac{9550 \cdot 10,2}{204,23} = 477 \text{ об/с}.$$

Номінальні обертові моменти на валах редуктора:

– на тихохідному валі

$$T'_T = \frac{T'_B}{\eta_B \eta_{м2}} = \frac{477}{0,99 \cdot 0,98} = 491,65 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– на проміжному валу

$$T'_{пр} = \frac{T'_T}{\eta_{цил} u'} = \frac{491,65}{(0,96 \dots 0,98) \cdot 5} = (100,3 \dots 102,4) \text{ Н} \cdot \text{м};$$

приймаємо для розрахунку  $T'_{пр} = T'_{пр \max} = 102,43 \text{ Н} \cdot \text{м};$

– на швидкохідному валу

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T'_{\text{шв}} = T'_{\text{пр}} / (\eta_{\text{кон}} u'_{\text{шв}}) = \frac{102,43}{(0,95 \dots 0,97) \cdot 3,55} = (29,8 \dots 30,4) \text{ Н}\cdot\text{м},$$

беремо для розрахунку  $T'_{\text{шв}} = T'_{\text{шв max}} = 30,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

## 2.5 Визначення параметрів шнекового бура лункоформувача

### 2.5.1. Основні параметри шнека

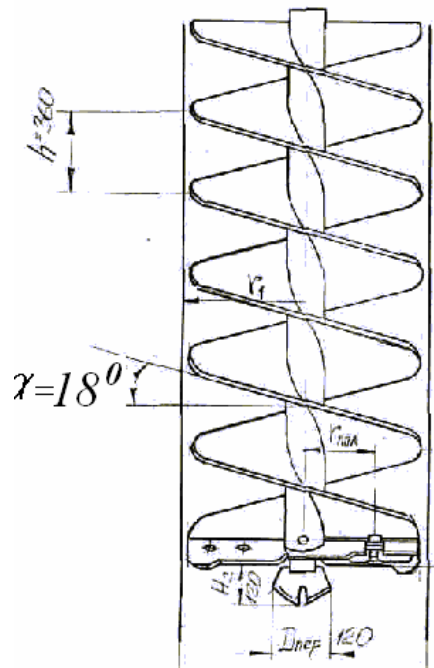


Рисунок 2.15 Розрахункова схема шнека лункоформувача

Основні параметри шнека:

- діаметр зовнішній  $D = 350 \text{ мм}$ ;
- діаметр труби  $d = 105 \text{ мм}$ ;
- ширина спіралі  $B = 120 \text{ мм}$ ;
- крок спіралі  $S = 145 \text{ мм}$ ;
- відношення  $S/D = 0,45$ ;
- кут підйому спіралі  $\alpha = 18^\circ$ ;
- повна маса шнека  $M = 30 \text{ кг}$ .

### 2.5.2 Розрахунок частоти обертання шнекового бура

Частота обертання шнекового бура визначається з урахуванням умов

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективної роботи лункоформувача. Основною вимогою є забезпечення такої швидкості обертання шнека, за якої гарантується безперервне піднімання ґрунту на поверхню та виведення його із зони формування лунки.

Першою необхідною умовою є досягнення мінімальної частоти обертання шнекового робочого органа, що забезпечує стійке транспортування ґрунту вгору вздовж витків шнека без зворотного осипання або закупорювання каналу спірального транспортувальника. При цьому частота обертання повинна узгоджуватися з фізико-механічними властивостями ґрунту та геометричними параметрами шнека (діаметром, кроком витка та кутом підйому).

Формула для розрахунків має вигляд:

$$n_{min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin\alpha + f_w \cos\alpha)}{R f_c K_1 K_2 (\cos\alpha - f_w \sin\alpha)}} \quad (2.1)$$

де  $f_w = 0,2$  – коефіцієнт тертя шнека об ґрунту;

$f_c = 0,5$  – коефіцієнт тертя ґрунту по стінках лунки, [7] ;

$\alpha = 18^\circ$  – кут підйому спіралі гвинта;

$R = 172,5$  мм – радіус шнека;

$K_1 = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує форму розташування ґрунту на витку шнека, [7];

$K_2 = 0,9$  – коефіцієнт, який враховує зміну сили тертя залежно від відстані до вісі обертання, [7].

Мінімальна частота обертання за якої буде порода транспортуватиметься вгору:

$$n_{min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin 18 + 0,2 \cos 18)}{0,173 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot (\cos 18 - 0,2 \sin 18)}} = 84,7 \text{ хв}^{-1}$$

Другою важливою умовою ефективної роботи шнекового бура є забезпечення такої мінімальної частоти обертання, за якої ґрунт, що

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщується по гвинтовій поверхні шнека, під дією відцентрових сил буде спрямовуватися до його зовнішнього краю. Це сприяє стабільному відведенню вибраного матеріалу на поверхню і запобігає повторному потраплянню частинок у зону різання.

У результаті виконання цієї умови на поверхню виводиться переважно та частина ґрунту, яка накопичується на периферійній ділянці спіралі шнека. Це дозволяє знизити енерговитрати на транспортування матеріалу та забезпечити рівномірність очищення лунки від відпрацьованого ґрунту.

Математично дана умова запишеться:

$$n_{\min} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot f_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha_r}{r}}; \quad (2.2)$$

де  $f_{\text{ш}} = 0,2$  – коефіцієнт тертя шнека по ґрунту;

$r = 0,0525$  – радіус бурової труби шнека ;

$\alpha_r$  – кут підйому гвинтової лінії на буровій трубі радіусом  $r$ .

$\alpha_r = \arctg S/2\pi r$

$$\alpha_r = \arctg \frac{S}{2\pi r} \quad (2.3)$$

де  $S = 0,145$  м – крок спіралі.

$$\alpha_r = \arctg \frac{0,145}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0525} = 23,7^\circ;$$

Отже, мінімальна частота обертання шнекового бура, при якій ґрунт переміщатиметься відцентровими силами до крайньої частини шнекової гвинтової спіралі  $n_{\min}$  рівна:

$$n_{\min} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot 0,2 \cos 23,7}{0,0525}} = 55,9 \text{ хв}^{-1}$$

Встановлено за допомогою експериментальних досліджень, що нижня

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

межа кількості обертів шнека повинна забезпечувати колову швидкість 0,8...1 м/с.

Кількість обертів, яка має при цьому відповідати зовнішній коловій швидкості обертання визначається з рівності [7].

$$n_{min} = \frac{30V}{\pi R} \quad (2.4)$$

де  $V = 0,8...1,0$  м/с – колова швидкість;  $R=0,173$  м – радіус шнека.

Частота обертання шнека буде рівна:

$$n_{min} = \frac{30 \cdot 1}{\pi 0,173} = 55,23 \text{ хв}^{-1}$$

Верхня межа частоти обертання шнекового бура повинна гарантувати ефективне транспортування не лише сипких, а й м'яких та в'язких ґрунтів, а також частинок з підвищеним коефіцієнтом тертя по гвинтовій поверхні шнека.

З теоретичної точки зору, максимальна швидкість обертання може досягати критичних значень, проте на практиці це обмежується різким зростанням потужності, необхідної для подолання сил опору, а також підвищеним навантаженням на привід і опорні вузли.

Результати емпіричних досліджень свідчать, що при збільшенні швидкості обертання понад 200 об/хв у шнековій колоні виникають небажані вібрації. Поява коливань істотно знижує ефективність переміщення ґрунту або навіть повністю порушує процес транспортування.

З урахуванням викладених умов і проведених розрахунків доцільно прийняти робочу частоту обертання шнекового бура на рівні  $n=85$  об/хв. Разом з тим слід передбачити можливість регулювання швидкості обертання шнекової колони для адаптації до різних типів ґрунтів і технологічних ситуацій, а також реверсивний режим обертання, що значно полегшує видалення ґрунту у випадку його закупорювання або ущільнення.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виконанні бурових робіт у м'яких ґрунтах, таких як піски, глини, супіски та суглинки, необхідно забезпечити, щоб продуктивність руйнівного елемента – долота – залишалася меншою за продуктивність шнека, що транспортує вибурений ґрунт на поверхню. Для досягнення цієї умови осьове навантаження зазвичай підтримується на рівні не вище 4–5 кН. Це дозволяє уникнути перевантаження шнекового транспортувальника та забезпечує безперервність роботи без ризику закупорювання спіралі шнека.

У разі буріння більш твердих ґрунтів режими роботи значною мірою визначаються механічними та фізичними характеристиками порід. Для буріння ґрунтів, що належать до V–VI категорій буримості, оптимальною величиною осьового навантаження приймається  $R_{\text{осн}}=220$  кН. Такий рівень зусилля забезпечує достатнє заглиблення долота у ґрунт і стабільну руйнацію породи при збереженні допустимого навантаження на шнекову колону та привідний механізм.

### 2.5.3 Визначення витрати потужності на буріння

Розрахунок витрати потужності будемо проводити для максимальної глибини лунки, на яку розрахована дана машина,  $L = 0,5$  м.

Значення витрати потужності на буріння складається із наступних складових:

$$N = N_6 + N_B + N_T + N_M \quad (2.5)$$

де  $N_6$  – потужність, яка затрачається на процеси пробивання отвору буром, кВт;

$N_B$  – потужність, затрачена на обертання шнека, кВт;

$N_T$  – потужність, затрачена на транспортування ґрунту, кВт;

$N_M$  – потужність, затрачена на втрати у приводі й механізмах агрегату, кВт.

Втрата потужності  $N_6$ , яка витрачається на руйнування ґрунту  $N_1$  і потужності на тертя долота по ґрунту  $N_2$ :

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_6 = N_1 + N_2 \quad (2.6)$$

Потужність на руйнування ґрунту долотом визначається за формулою:

$$N_1 = \sqrt[4]{n \cdot V_a^3} \cdot \frac{\sigma_{ст} \cdot F}{197000} \quad (2.7)$$

де  $n=85$  об/хв. – частота обертання шнеків;

$V_a=0,2\dots2,0$  м/хв. – швидкість буріння;

$\sigma_{ст}=8\dots10$  МПа – тимчасовий опір ґрунту при одновісному стиску [7].

$F$  – площа лунки.

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,345^2}{4} = 0,093 \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

Потужність на руйнування ґрунту долотом:

$$N_1 = \sqrt[4]{85 \cdot 0,2^3} \cdot \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 0,093}{197000} = 4,29 \text{ кВт.}$$

Потужність яка затрачається на тертя долота по ґрунту розраховується за наступною формулою:

$$N_2 = \frac{f \cdot P_{oc} \cdot n \cdot D}{270000}; \quad (2.9)$$

де  $P_{oc}$  – повне осьове навантаження на долото,  $P_{oc}=100$  кН ( $P_{oc}=10000$  кг);

$f=0,8$  – коефіцієнт тертя долота по ґрунту.

Потужність на тертя долота по породі:

$$N_2 = \frac{0,8 \cdot 10000 \cdot 85 \cdot 0,345}{270000} = 0,87 \text{ кВт.}$$

Загальна витрата потужності на розбурювання ґрунту  $N_6$  рівна:

$$N_6 = N_1 + N_2 = 4,29 + 0,87 = 5,16 \text{ кВт.} \quad (2.10)$$

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність, затрачена на транспортування ґрунту визначається за формулою:

$$N_T = \frac{\pi^2 \cdot \sum G \cdot f_c \cdot n^3 \cdot R^2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \sin^3 \alpha \cdot \cos^3 \gamma}{8775 \cdot 10^4 \cdot g \cdot \sin^2(\alpha + \gamma)} \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

де  $K_3=1,25\dots 2$  – коефіцієнт, що враховує дійсні умови роботи агрегату для облаштування свердловин, перемішування і подрібнення ґрунту, який транспортується;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує зменшення сили тертя за рахунок того, що не весь об'єм ґрунту на ребордах контактує зі стінками свердловини, за [7],  $K_1 = 0,9$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, який враховує зменшення відцентрової сили відносно осі шнеку, за [8],  $K_2 = 0,9$ ;

$\sum G$  – повна маса ґрунту, яка розміщена на витках гвинтової поверхні шнека;

Повна маса ґрунту [19]:

$$\sum G = l \cdot \pi \cdot \rho_{\text{гр}}^{\text{розб}} \cdot K_4 (R^2 - R_0^2) \quad (2.12)$$

де  $\rho_{\text{гр}}^{\text{розб}}$  – щільність ґрунту на шнеках після буріння,  $\text{кг/м}^3$ ;  $2000 \text{ кг/м}^3$

$l$  – довжина бурового устаткування, м,  $3 \text{ м}$

$K_4$  – коефіцієнт заповнення простору між витками,  $K_4 = 0,3$  [19].

З урахуванням наведених значень одержуємо

$$\sum G = 255,97 \text{ кг}$$

Потужність, затратуф на транспортування ґрунтової маси:

$$N_T = \frac{\pi^2 \cdot \sum G \cdot f_c \cdot n^3 \cdot R^2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \sin^3 \alpha \cdot \cos^3 \gamma}{8775 \cdot 10^4 \cdot g \cdot \sin^2(\alpha + \gamma)} \text{ кВт.}$$

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_T = \frac{\pi^2 \cdot 255,97 \cdot 0,5 \cdot 85^3 \cdot 17,2^2 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot \sin^3 18 \cdot \cos^3 12}{8775 \cdot 10^4 \cdot 9,81 \cdot \sin^2(18 + 12)} = 36,9 \text{ кВт.}$$

Потужність, яка затрачається на втрати у механічному приводі знайдемо із залежності:

$$N_M = \frac{N_6}{K_M} - N_6 = \frac{5,16}{0,45} - 5,16 = 5,5 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

де  $K_M$  – коефіцієнт передачі потужності. При забурованості свердловини за емпіричними даними коефіцієнтами  $K_M = 0,2..0,26$  [19].

Потужність, затрачена на обертання бура розраховується за аналогічною формулою:

$$N_B = \frac{N_6}{K_i} - N_6 - N_T = \frac{5,16}{0,075} - 5,16 - 36,9 = 1,24 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де  $K_i=0,075$  коефіцієнт передачі потужності при кінцевих глибинах буріння.

Загальна потужність, яка витрачається на буріння становить:

$$N = N_6 + N_B + N_M + N_T = 5,16 + 36,9 + 5,5 + 1,24 = 48,8 \text{ кВт}$$

Визначимо коефіцієнт корисної дії шнекового бура.

ККД шнекового бура можна визначити за формулою:

$$\eta_{б.у.} = \frac{A_1}{A_2 + A_2 + A_3 + A_4} \quad (2.13)$$

де  $A_1$  – робота, яка затрачається на забійні процеси;

$A_2$  – робота тертя в приводі і механізмах бурового пристрою;

$A_3$  – робота, яка затрачається на обертання шнекового бура в свердловині;

$A_4$  – робота, яка затрачається на транспортування ґрунтової маси.

Замінивши величини роботи у формулі на потужність, яка затрачається, одержимо:

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{\text{б.у.}} = \frac{\sum G \cdot R \cdot n}{97500(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\gamma) \cdot N} = \frac{255,97 \cdot 17,3 \cdot 85}{97500 \cdot (\text{ctg}18 + \text{ctg}12) \cdot 48,8} \cdot 100\% = 0,65\%$$

### 2.5.5 Розрахунок вала бура на міцність

На вал буру діють приводний момент  $M$  і осьова сила  $R_{\text{Зпол.}}$  (див. рис. 2.15).

Під час розрахунку вала шнекового бура на міцність необхідно враховувати можливість зростання осьового зусилля, що може виникнути внаслідок неоднорідності ґрунтового шару, різниці у твердості окремих включень або через нерівномірну ступінь заточення ріжучих кромek лемешів. Такі фактори можуть призводити до локального збільшення опору при заглибленні бура, що, у свою чергу, впливає на напружений стан вала.

Момент опору вала бура при його пасивному зануренні до ґрунту визначається за виразом:

$$W = \sqrt{\left(\frac{R_{\text{Змо}}}{2}\right)^2 + 0,75 \cdot M^2 / G_{\text{зг}}} \quad (2.14)$$

При виготовленні вала із трубки (зовнішній діаметр  $d$ , внутрішній  $d_0$ ):

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \left(1 - \frac{d_0^4}{d^4}\right) \approx 0,1 \frac{d^4 - d_0^4}{d} \quad (2.15)$$

$$W = 0,1 \frac{0,100^4 - 0,08^4}{0,1} = 3,99 \text{ м}^3$$

$$3,99 \geq \sqrt{\left(\frac{6500 \cdot 0,2}{2}\right)^2 \cdot 0,75 \cdot 9419,3^2 / 150} = 3,5 \text{ (отже, умова виконується).}$$

У цьому розділі виконано обґрунтування конструкції та принципу роботи позиційного лункоформувача, визначено вимоги до основних робочих органів – сферичних дисків і шнекового бура.

На основі аналізу умов експлуатації обрано раціональний варіант двоступінчастого конічно-циліндричного редуктора з відповідним розподілом передатного числа між ступеннями.

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховано оптимальну частоту обертання шнекового бура, що забезпечує ефективне транспортування ґрунту для різних типів порід.

Визначено необхідне осьове навантаження при бурінні ґрунтів різної буримості та наведено рекомендації щодо вибору режимів роботи для забезпечення стабільного процесу формування лунок.

Запропоновано методику перевірки міцності вала бура з урахуванням можливого збільшення осьових навантажень і пасивного опору зануренню в ґрунтове середовище.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОЇ МАШИНИ

### 3.1 Підготовка позиційного лункоформувача до роботи

Перед введенням позиційного лункоформувача в експлуатацію необхідно виконати комплекс підготовчих заходів, що забезпечують його надійну та безпечну роботу. Першим кроком є обкатка агрегату, під час якої перевіряється справність усіх вузлів і механізмів.

У процесі підготовки здійснюється перевірка цілісності та правильності кріплення конструктивних елементів. Усі різьбові з'єднання мають бути підтягнуті, а рухомі частини – ретельно змащені відповідно до регламенту технічного обслуговування. Особливу увагу слід приділити стану ріжучих кромek шнекового бура та сферичних дисків, що формують майданчики, – за потреби ріжучі елементи підточують або замінюють.

Контролюється рівень мастила у трансмісії редуктора та приводних вузлів; у разі недостатнього рівня мастила необхідно долити до рекомендованої позначки. Всі тертьові вузли слід додатково змастити перед першим запуском.

За допомогою трактора робоче обладнання встановлюється у робоче положення та фіксується на опорних стійках для перевірки й регулювання горизонтального положення рами агрегату.

Перед початком роботи агрегат слід випробувати у холостому режимі протягом 10–15 хвилин у всіх доступних режимах, щоб переконатися у коректності роботи усіх систем та взаємодії робочих органів. Після випробування проводиться контроль температури корпусних елементів, шарнірів, редуктора та підшипникових вузлів методом дотику або з використанням відповідних приладів.

Додатково перевіряється технічний стан трактора: проводиться зовнішній огляд, очищення та контроль справності навісного обладнання і вузлів кріплення. Безпосередньо перед запуском агрегату необхідно подати звуковий сигнал і переконатися у відсутності сторонніх предметів та людей у зоні роботи машини.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

### 3.2 Правила експлуатації позиційного лункоформувача та основні регулювання

Під час роботи позиційного лункоформувача необхідно суворо дотримуватися правил технічної експлуатації для забезпечення безпечної та ефективної роботи агрегату.

У процесі експлуатації слід постійно контролювати стан шарнірних і телескопічних з'єднань, зокрема перевіряти легкість обертання хрестовин у вилках карданного валу та плавність переміщення шліцьових частин.

Необхідно періодично оглядати й перевіряти кріплення всіх вузлів та деталей, своєчасно підтягуючи їх у разі виявлення послаблень. Ріжучі елементи шнекового бура повинні підтримуватись у належному стані: затуплене долото слід своєчасно заточувати або замінювати, щоб уникнути перевантажень та зниження продуктивності.

У разі виникнення надмірного нагрівання або підвищеного шуму під час роботи редуктора необхідно перевірити величину зазорів у підшипникових вузлах та зубчастому зачепленні. Для цього передусім з редуктора зливають мастило та знімають кришку корпусу. Для промивання внутрішніх поверхонь у редуктор заливають дизельне паливо, після чого обертанням шестерень вручну забезпечують очищення від залишків старого мастила. По завершенні промивки паливо повністю зливають.

Перевірка осьового зазору у підшипниках конічного редуктора виконується за допомогою магнітної стійки з індикатором. Стійка встановлюється так, щоб ніжка упиралася у торець веденої шестерні. Шестерня переміщується у крайні положення, а індикатор фіксує зміщення. Покази індикатора обов'язково знімають кілька разів (3–4 вимірювання), найбільше значення приймають як фактичний зазор.

Допустимий осьовий люфт у зачепленні шестерень не повинен перевищувати 2,5 мм за умови забезпечення правильного контакту зубців. У випадку перевищення граничного значення зазору регулювання здійснюється

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

шляхом зміни кількості регулювальних прокладок у місці кріплення підшипникових вузлів.

Для визначення бокового зазору у підшипниках конічних шестерень редуктора застосовують свинцеві пластинки товщиною 0,6–0,8 мм і шириною близько 10–12 мм. Такі пластинки встановлюють у міжзубний простір у трьох точках по колу зачеплення, після чого шестерні плавно прокручують вручну.

Після вилучення пластинок вимірюють їхню залишкову товщину. Якщо заміряна товщина перевищує 0,5 мм, необхідно виконати регулювання зазору. Для цього прокладки переставляють з-під фланця однієї кришки редуктора під фланець протилежної кришки, зберігаючи загальну кількість прокладок сталою.

Для регулювання осьового зазору у підшипниках спочатку послаблюють болти кріплення кришок і виймають з-під кожної кришки однакову кількість прокладок однакової товщини. Загальна товщина вилучених прокладок має бути на 0,2–0,3 мм меншою за виміряний зазор. Після встановлення кришок на місце болти затягують, і перевірка зазору повторюється.

Якість контактного зачеплення шестерень контролюють за допомогою фарбового відбитка. Для цього на зуби однієї з шестерень наноситься тонкий рівномірний шар фарби, після чого вали прокручуються кілька разів. Довжина плями контакту повинна складати щонайменше 50% довжини зуба й розташовуватися симетрично відносно поздовжньої осі зубця.

При спусканні з крутих схилів необхідно використовувати I або II передачу для запобігання перевантаженню гальмівної системи трактора. Забороняється експлуатувати агрегат поперек крутих схилів для уникнення перекидання. Переїзд залізничних колій слід здійснювати тільки у спеціально відведених місцях і виключно на I передачі для забезпечення безпеки руху.

### 3.3 Технічне обслуговування агрегату

Технічне обслуговування позиційного лункоформувача, оснащеного робочими органами для формування лунок і нарізання штучних майданчиків, передбачає регулярний контроль технічного стану механізмів, вузлів та деталей,

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

своєчасне виконання ремонтних і регулювальних робіт, змащування рухомих частин, підтягування різьбових з'єднань, а також підтримання агрегату у належному санітарному стані.

Для забезпечення безперервної та безпечної роботи машини передбачено проведення планових технічних обслуговувань у наступній послідовності:

ТО-1 – виконується після кожних 60 годин роботи;

ТО-2 – проводиться після кожних 120 годин роботи;

ТО-3 – здійснюється після кожних 480 годин експлуатації.

Безперервна готовність позиційного лункоформувача до роботи досягається дотриманням затвердженої системи технічного обслуговування, що відповідає вимогам і нормам, встановленим правилами експлуатації машинно-тракторного парку у лісовому господарстві.

Технічне обслуговування має планово-запобіжний характер і передбачає виконання комплексу технологічно послідовних операцій, спрямованих на підтримання та відновлення працездатності агрегату. Машинно-тракторні агрегати, що не пройшли своєчасне обслуговування, до подальшої експлуатації не допускаються.

### 3.4 Організаційно-технічні заходи з охорони праці під час роботи

Для забезпечення безпечної роботи машинно-тракторного агрегату з позиційним лункоформувачем необхідно своєчасно підготувати ґрунтові ділянки, де виконуватимуться технологічні операції. До початку робіт слід виконати такі заходи:

- очистити територію від каміння, великих рослинних залишків, засипати ями та ліквідувати інші потенційні перешкоди для руху агрегату;
- встановити помітні віхи біля великих нерухомих перешкод, розмитих ділянок або інших небезпечних місць;
- розділити поля на окремі загінки, забезпечити обкошення та підготувати прокоси для безпечного проходу агрегату;

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

– виконати контрольну оранку та розмітити поворотні смуги. При роботі на схилах або поблизу ярів ширина поворотної смуги повинна бути не меншою за подвоєний мінімальний радіус розвороту агрегату;

– визначити та чітко позначити спеціально відведені місця для відпочинку працівників.

Робота машинно-тракторних агрегатів на непідготовлених ділянках суворо забороняється.

Місця для короткочасного відпочинку та прийому їжі повинні бути позначені відповідними піктограмами висотою 2,5–3,0 м і обладнані освітленням для використання у темну пору доби. Такі місця необхідно облаштувати навісами, наметами або спеціальними побутовими вагончиками, які мають бути захищені від блискавки відповідними засобами блискавкозахисту. Категорично заборонено облаштовувати місця відпочинку в охоронних зонах ліній електропередач.

Ділянки, що підлягають зрошенню або характеризуються підвищеною небезпекою, мають бути ретельно оглянуті та вирівняні. На особливо небезпечних зонах обов'язково встановлюються попереджувальні знаки заввишки 2,5–3,0 м.

Підготовчі роботи та обслуговування полів для роботи сільськогосподарської та лісогощарської техніки дозволяється виконувати лише у світлу пору доби.

### 3.5 Короткий інструктаж з охорони праці для працівників

#### 1. Загальні вимоги

До роботи допускаються лише працівники, які пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань з охорони праці.

Під час роботи необхідно використовувати спецодяг, спецвзуття та засоби індивідуального захисту відповідно до встановлених норм.

#### 2. Підготовка до роботи

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						66
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перед запуском агрегату перевірити справність трактора, навісного обладнання та всіх вузлів лункоформувача.

Переконатися у відсутності сторонніх осіб і предметів у робочій зоні.

Перевірити наявність необхідного інструменту, аптечки та засобів пожежогасіння.

### 3. Вимоги під час роботи

Дотримуватись безпечної відстані від рухомих робочих органів машини.

Стежити за рівною роботою редуктора, станом шарнірних з'єднань і ріжучих кромек.

Забороняється виконувати регулювання, ремонт або очищення робочих органів під час їх руху.

Під час спуску на схилах використовувати лише понижені передачі (I або II).

Категорично заборонено рух агрегату поперек крутих схилів.

### 4. Дії після завершення роботи

Заглушити двигун, вимкнути всі приводи, опустити робочі органи у транспортне положення.

Очистити машину від налиплого ґрунту та рослинних залишків.

Провести огляд вузлів та механізмів, виявлені несправності усунути або повідомити керівництву.

### 5. Додаткові вимоги

Місця відпочинку використовувати лише у спеціально відведених зонах поза межами охоронних зон ЛЕП.

Дотримуватись дисципліни та правил особистої безпеки протягом усієї зміни.

Отже, у даному розділі наведено рекомендації щодо підготовки, безпечної експлуатації та технічного обслуговування позиційного лункоформувача. Організаційно-технічні заходи та інструктаж для працівників спрямовані на забезпечення безперервної роботи агрегату та запобігання аварійним ситуаціям.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено агрегат позиційного формування лунки і майданчиків для посадки лісових культур, який дозволяє не лише ефективно підготувати посадкове місце, а й здійснити додатковий обробіток ґрунту навколо сформованої лунки. Впровадження запропонованої конструкції забезпечує підвищення приживлюваності садивного матеріалу із закритою кореневою системою, що є особливо важливим для підвищення ефективності лісівничих заходів та зменшення трудовитрат у подальшому агротехнічному догляді.

Проведений аналіз сучасних конструкцій дискретних посадкових машин виявив їхню недостатність у формуванні оптимального посадкового місця, що враховує тип ґрунту та особливості його вологості. У зв'язку з цим було розроблено нову конструкцію позиційного адаптивного лунко- і майданчикоформувача із комбінованим робочим органом, що здатен формувати мікропідвищення на ділянках із тимчасово перезволоженим ґрунтом або мікропониження – на ділянках із дренажними ґрунтами, паралельно виконуючи формування посадкової лунки.

В межах другого розділу було проведено технічний аналіз і розрахунки основних вузлів агрегату, визначено параметри режимів роботи, а також обґрунтовано вибір типу приводу – двоступінчастого конічно-циліндричного редуктора з прямозубо-косозубим зачепленням. Розроблені робочі креслення позиційного лункоутворювача, редуктора приводу та основних деталей підтверджують відповідність агрегату технічним, ергономічним, екологічним і економічним вимогам. Здійснено оцінку його експлуатаційних властивостей, що засвідчує готовність агрегату до впровадження у виробництво.

Третій розділ присвячений організаційно-технічним заходам з охорони праці, безпеці експлуатації і технічному обслуговуванню позиційного лункоформувача. Запропоновано систему підготовки робочих ділянок, що виключає ризики пошкодження агрегату та створює безпечні умови для працівників. Визначено правила експлуатації, порядок регулювання робочих

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

органів і контролю за станом вузлів під час роботи. Розроблено графік планового технічного обслуговування та методика перевірки зазорів у редукторі, що забезпечує довготривалу безперебійну роботу агрегату. Також складено короткий інструктаж для операторів, спрямований на мінімізацію виробничого травматизму та дотримання вимог безпеки.

Загалом, виконані дослідження і розробки підтверджують технічну ефективність, надійність і безпеку спроектованого позиційного лункоформувача, що дає підстави рекомендувати його для застосування в сучасних лісогосподарських комплексах з метою механізації процесів формування посадкових місць і підвищення продуктивності лісовідновлення.

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Випускна робота бакалавра: Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалавра для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / уклад. В.С. Пуць, М.М. Толстушко. – Луцьк: Луцький НТУ, 2024. – 48 с.
2. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання/ уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Зима І. М. Механізація лісгосподарських робіт: підруч. / І. М. Зима, Т.Т. Малюгін. – К. : ІНКОС, 2006. – 488 с.
4. Розрахунок і конструкція валів редукторів, навчально-методичний посібник / В. А. Кралін, Д. М. Коновалюк – Луцьк: ЛШ, 1991 – 96 с.
5. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підруч. – 2-е вид. перероб. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
6. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування: Навчальний посібник.-Львів:”Новий світ-2000”,2004.-232с.
7. Білик Б.В. Проектування самохідних лісових машин: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1998. – 140с.
8. Охорона праці у лісовому господарстві. Навчальний посібник/ О.В. Войналович., Є.І. Марчишина, Т.О. Зубок, В. М. Степанишин., 2018. 570 с.
9. Правила охорони праці для працівників лісового господарства та лісової промисловості. – Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 22 вересня 2005 р. N 1084/11364.
10. <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B0>
11. [http://ftfsite/wp-content/files/Library\\_Standart.pdf](http://ftfsite/wp-content/files/Library_Standart.pdf).
12. <http://www.library.onaft.edu.ua/DSTU/2.105-95.pdf>.
13. [http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/dsty\\_3008\\_2015.PDF](http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/dsty_3008_2015.PDF).

					<i>КРБ 0030.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					КРБ 0030.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		