



Метадані

Назва організації
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

підрозділ
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Заголовок
Шнекороторний снігоочисник для автономної гусеничної роботизованої платформи

Автор
Сліпченко В.В. 301-пММ

Науковий керівник / Експерт
доктор Філософії Олексій Васильєв

Кількість слів
12043

Кількість символів
92111

Дата звіту
2026-06-14

Дата редагування

ІД документу
334317447

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

12043

Кількість слів



КЦ

92111

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	В	7
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	␣	0
Парафрази (SmartMarks)	a	0

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Копія тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Дослідження п'єзоелектричних елементів як джерела енергії для живлення «розумного одягу» 2/12/2026 Transcarpathian Small Academy of Sciences (Transcarpathian Small Academy of Sciences)	11 0 (0.09 %)

2	Hilbert-Kunz theory for binoids Bayarjargal Batsukh;	5 0 (0.04 %)
3	Hilbert-Kunz theory for binoids Bayarjargal Batsukh;	5 0 (0.04 %)
4	Hilbert-Kunz theory for binoids Bayarjargal Batsukh;	5 0 (0.04 %)

База даних RefBooks (0.12 %)



ЗАГОЛОВОК

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
(ФРАГМЕНТІВ)

джерело: <https://arxiv.org/>

1	Hilbert-Kunz theory for binoids Bayarjargal Batsukh;	15 (3) (0.12 %)
---	---	-----------------

Домашня база даних



ЗАГОЛОВОК

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

Програма обміну базами даних (0.09 %)



ЗАГОЛОВОК

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
(ФРАГМЕНТІВ)

2	Дослідження п'єзоелектричних елементів як джерела енергії для живлення «розумного одягу» 2/12/2026 Transcarpathian Small Academy of Sciences (Transcarpathian Small Academy of Sciences)	11 (1) (0.09 %)
---	--	-----------------

Інтернет



ДЖЕРЕЛО URL

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

☒ Список прийнятих фрагментів

ЗМІСТ

КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та механотроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Шнекороторний снігоочисник для автономної гусеничної роботизованої платформи

Виконав: студент III курсу, групи 301пММ
напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сліпченко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Васильєв А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Молчанов П.О.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ

**ШНЕКОРОТОРНИЙ СНІГООЧИСНИК ДЛЯ
АВТОНОМНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ
ПЛАТФОРМИ**

Кваліфікаційна робота бакалавра

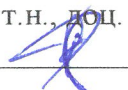
Лист затвердження

ГММ.301-пММ.024-00.00.000 КРБ - ЛУ

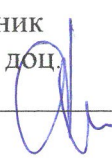
Розробив здобувач групи 301-пММ

 Віталій СЛІПЧЕНКО
«18» 06 2026 р.

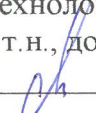
Консультант із технологічної частини
к.т.н., доц.

 Іван РОГОЗІН
«18» 06 2026 р.

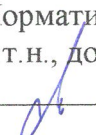
Керівник
к.т.н., доц.

 Анатолій ВАСИЛЬЄВ
«18» 06 2026 р.

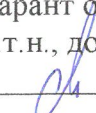
Технологічний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«18» 06 2026 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«18» 06 2026 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.

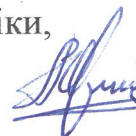
 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«18» 06 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
		<u>Документація загальна</u>		
		<i>Вперше розроблена</i>		
A4	ГММ.301пММ.024-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
A4	ГММ.301пММ.024-00.00.000А	Анотація	2	
A1	ГММ.301пММ.024-00.00.000ВЗ	Щнекороторний снігоочисник	2	
		Вигляд загальний		
A4	ГММ.301пММ.024-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
		<u>Документація по</u>		
		<u>складальних одиницях</u>		
		<i>Вперше розроблена</i>		
A1	ГММ.301пММ.024-13.00.000СК	Редуктор		
		Складальне креслення	1	
A4	ГММ.301пММ.024-13.00.000	Редуктор	1	
		<u>Документація по деталях</u>		
		<i>Вперше розроблена</i>		
A2	ГММ.301пММ.024-13.00.001	Вал редуктора		
A2	ГММ.301пММ.024-13.00.001	Вал редуктора	1	
A3	ГММ.301пММ.024-13.00.013	Кришка	1	
A2	ГММ.301пММ.024-13.00.016	Фланець	1	
A3	ГММ.301пММ.024-13.00.017	Колесо зубчасте	1	

					ГММ.301пММ.024-00.00.000ВБ				
т.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Шнекороторний снігоочисник для автономної гусеничної роботизованої платформи <u>Відомість бакалаврської роботи</u>	Лім.		Лист	Листів
зроб.	Сліпченко		18.06	Н			1	1	
рев.	Васильєв		18.06						
контр.	Васильєв		18.06						
тв.	Орисенко		19.06			Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» 2026			

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№екз.	Прим.
28						
29			<u>Документація технологічна</u>			
30			<i>Вперше розроблена</i>			
31						
32	A1	ГММ.301пММ.024-00.00.000ТП	Технологічний процес			
33			Виготовлення вала	1		
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
			ГММ.301пММ.024-00.00.000ВБ			Лист
						2

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Бакалавр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки, к.т.н.,
доцент

Олександр ОРИСЕНКО
«03» 03 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Сліпченка ВіталіяВадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Шнекороторний снігоочисник для автономної гусеничної роботизованої платформи»
керівник роботи (проекту) Васильєв А.В., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «03» 03 2026 року
№ 473-Ф.с.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «19» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: – Тип машини: автономний шнекороторний снігоочисник для очищення територій, тротуарів, під'їзних шляхів і виробничих майданчиків від снігу. – Базова платформа: автономна гусенична роботизована платформа TinS-25G; габаритні розміри – 2300×1250×750 мм; власна маса без акумуляторної батареї – 500 кг; корисне навантаження – до 300 кг. – Ходова частина: гусеничний рушій із шириною гусениці 150 мм; дорожній просвіт – 235 мм; максимальний кут підйому – до 30°; висота подолання перешкоди – до 300 мм. – Робочий орган: передній навісний шнекороторний снігоочисний модуль; орієнтовна ширина захвату – 1300–1400 мм; привід робочих органів – електричний; напрямок відкидання снігу – через регульований викидний патрубок.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Огляд конструкцій снігоочисних машин та автономних гусеничних платформ. 2. Розрахунок техніко-конструктивних параметрів шнекороторного снігоочисника для автономної гусеничної платформи tins-25g

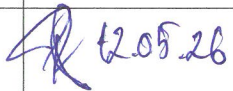
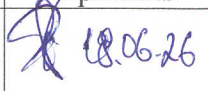
3. Технологічний процес виготовлення вала 4. Безпека життєдіяльності

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

1. Вигляд загальний (1 лист А1). 2. Складальне креслення (2 лист А1). 3.

Технологічний процес виготовлення вала(1 лист А1). 4. Деталювання (1 лист А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3. Технологічний процес виготовлення вала	Рогозін І.А. доцент	 12.05.26	 18.06.26

7. Дата видачі завдання « 05 » 03 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Огляд конструкцій	05.05.2026 р.	
2	Конструкторські проробки	12.05.2026 р.	
3	Розрахунки обладнання	19.05.2026 р.	
4	Виконання креслень складальних одиниць та деталей, специфікацій	26.05.2026 р.	
5	Техніка безпеки	02.06.2026 р.	
6	Компонування пояснювальної записки	09.06.2026 р.	
7	Здача готового проекту	14.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

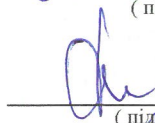


(підпис)

Віталій СЛІПЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

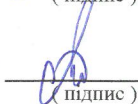


(підпис)

Анатолій ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми



(підпис)

Олексій ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Шнекороторний снігоочисник для автономної гусеничної роботизованої платформи».

Бакалаврська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку на 78 аркушах формату А4 та 5 аркушів графічної частини формату А1.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розроблення шнекороторного снігоочисника для встановлення на автономну гусеничну роботизовану платформу TinS-25G.

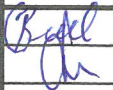
У першому розділі виконано аналіз конструкцій снігоочисних машин, автономних снігоочисників та гусеничних роботизованих платформ.

У другому розділі виконано розрахунок основних техніко-конструктивних параметрів шнекороторного снігоочисника.

У третьому розділі розроблено технологічний процес виготовлення вала шнекороторного робочого органу. Наведено вибір заготовки, маршрут механічної обробки, розподіл припусків, режими різання, контроль якості та застосування сучасної нормативної бази ДСТУ та ISO.

У четвертому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності під час експлуатації автономного шнекороторного снігоочисника.

Ключові слова: шнекороторний снігоочисник, автономна гусенична платформа, TinS-25G, снігоочисна машина, шнек, ротор, електропривід, зимове утримання територій, роботизована платформа, безпека експлуатації.

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Сліпченко			11.06	Анотація		
Перев.	Васильєв			11.06			
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв			18.06			
Затв.	Орисенко			19.06			
						Лім.	Лист
						Н	Листів
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	

Annotation

Thesis on the topic: «Auger-Rotor Snow Blower for an Autonomous Tracked Robotic Platform.»

Bachelor's thesis submitted for the Bachelor's degree in specialty 133 “Industrial Mechanical Engineering” – National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava, 2026.

The qualification thesis includes an explanatory calculation report of 78 A4 pages and 5 sheets of graphic material in A1 format.

The qualification thesis considers the development of an auger-rotor snow blower intended for installation on the autonomous tracked robotic platform TinS-25G.

The first chapter presents an analysis of the designs of snow removal machines, autonomous snow blowers, and tracked robotic platforms.

The second chapter contains calculations of the main technical and design parameters of the auger-rotor snow blower.

The third chapter develops the technological process for manufacturing the shaft of the auger-rotor working body. It presents the selection of the workpiece, the machining route, allowance distribution, cutting modes, quality control, and the application of the modern DSTU and ISO regulatory framework.

The fourth chapter considers occupational and life safety issues during the operation of the autonomous auger-rotor snow blower.

Keywords: auger-rotor snow blower, autonomous tracked platform, TinS-25G, snow removal machine, auger, rotor, electric drive, winter maintenance of territories, robotic platform, operational safety.

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ

**ШНЕКОРОТОРНИЙ СНІГООЧИСНИК ДЛЯ
АВТОНОМНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ
ПЛАТФОРМИ**

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
ГММ.301-пММ.024-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ	4
1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ СНІГООЧИСНИХ МАШИН ТА АВТОНОМНИХ ГУСЕНИЧНИХ ПЛАТФОРМ.....	8
1.1 Аналіз конструкцій автономних снігоочисників та гусеничних роботизованих платформ.....	8
1.2 Автономна гусенична роботизована платформа для шнекороторного снігоочисника.....	18
1.3 Висновок до розділу 1	27
2 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОРОТОРНОГО СНІГООЧИСНИКА ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ TinS-25G	29
2.1 Вихідні дані та узгодження снігоочисного обладнання з платформою TinS- 25G	29
2.2 Розрахунок параметрів шнекового живильника	32
2.2.1 Потужність, що витрачається на різання снігу	33
2.2.2 Потужність на надання снігу кінетичної енергії.....	35
2.2.3 Потужність на переміщення снігу до ротора	36
2.2.4 Потужність на перемішування, перемелювання та повна потужність живильника	37
2.3 Розрахунок зубчастої передачі приводу шнекороторного робочого органа	38
2.4 Перевірка тягової здатності та стійкості платформи TinS-25G.....	46

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст		
Розроб.	Сліпченко			18.06			
Перев.	Васильєв			18.06			
Н. контр.	Васильєв			18.06			
Затв.	Орисенко			19.06			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	1	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

2.5 Розрахунок механізму піднімання та регулювання положення снігоочисного модуля	47
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА	51
3.1 Вихідні дані та нормативна база	52
3.2 Вибір заготовки	53
3.3 Уточнення припусків на механічну обробку	53
3.4 Маршрут виготовлення вала	54
3.5 Розрахунок режимів різання для чорнового точіння	57
3.6 Розрахунок режимів інших операцій	58
3.6.1 Відрізання заготовки	58
3.6.2 Підрізання торців і центрування	59
3.6.3 Напівчистове і чистове точіння	59
3.6.4 Нарізання різьби	59
3.6.5 Фрезерування шліців	60
3.6.6 Фрезерування шпоночних пазів	60
3.6.7 Шліфування посадкових поверхонь	61
3.7 Розрахунок сумарного штучного часу	61
3.8 Контроль якості та технічні вимоги	63
3.9 Висновки до розділу	64
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	65
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації автономного шнекороторного снігоочисника	65

4.2 Вимоги безпеки до конструкції шнекороторного снігоочисника та платформи TinS-25G.....	67
4.3 Електробезпека та безпечна експлуатація акумуляторної системи	69
4.4 Заходи пожежної безпеки	71
4.5 Висновки до розділу	73
Висновки	74
Список літератури	76

Вступ

У сучасних умовах ефективно зимове утримання територій, доріг, тротуарів, виробничих майданчиків, логістичних зон та об'єктів критичної інфраструктури є важливою складовою забезпечення безпеки руху, безперервності транспортних процесів і стабільної роботи підприємств. Значні снігові опади, утворення снігових заметів, ущільнення снігу під дією транспорту та пішоходів ускладнюють експлуатацію дорожньо-транспортної інфраструктури, підвищують ризик аварійних ситуацій і потребують своєчасного застосування спеціалізованої снігоочисної техніки.

Традиційно для очищення територій від снігу застосовують навісні плужні, щіткові, фрезерні, роторні та шнекороторні снігоочисники, які агрегуються з тракторами, автомобілями, навантажувачами або іншими базовими машинами. Такі технічні засоби мають високу продуктивність, однак їх використання не завжди є доцільним на обмежених, складних або небезпечних ділянках. До таких ділянок можна віднести вузькі проїзди, пішохідні доріжки, території поблизу будівель, промислові майданчики, зони з обмеженим доступом оператора, а також об'єкти, де бажано мінімізувати участь людини в робочому процесі.

У зв'язку з цим актуальним напрямом розвитку снігоочисної техніки є створення малогабаритних автономних роботизованих платформ, оснащених спеціалізованими робочими органами для видалення снігу. Найбільш перспективним варіантом для таких машин є використання гусеничного рушія, який забезпечує підвищену прохідність, достатню тягову здатність, стійкість на слизьких і нерівних поверхнях, а також можливість роботи в умовах значної висоти снігового покриву. Поєднання автономної гусеничної платформи зі шнекороторним робочим органом дає змогу створити компактну машину,

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ	Літ.	Лист	Листів	
Розроб.	Сліпченко			18.06		Н			
Перев.	Васильєв			18.06			4		
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Н. контр.	Васильєв			18.06					
Затв.	Орисенко			19.06					

здатну самотійно виконувати захоплення, подрібнення, транспортування та відкидання снігової маси на задану відстань.

Шнекороторний снігоочисник має низку переваг порівняно з простими плужними або щітковими робочими органами. Шнек забезпечує зрізання та переміщення снігу до центральної частини робочого органу, а ротор створює інтенсивний потік, необхідний для відкидання снігу через викидний патрубок. Така конструкція є ефективною під час роботи зі свіжим, ущільненим або частково злежаним снігом. Для автономної роботизованої платформи особливого значення набувають правильний вибір геометричних параметрів шнека, діаметра ротора, частоти обертання робочих органів, ширини захвату, потужності приводу, а також узгодження параметрів снігоочисного обладнання з тяговими можливостями гусеничної бази.

Особливість проєктування шнекороторного снігоочисника для автономної гусеничної роботизованої платформи полягає в необхідності комплексного врахування конструктивних, енергетичних, кінематичних і експлуатаційних параметрів. Робочий орган повинен мати достатню продуктивність для очищення заданої смуги руху, але водночас не створювати надмірного навантаження на привід платформи, акумуляторну батарею або силову установку. Важливими також є компактність конструкції, зручність монтажу на платформу, надійність у роботі за низьких температур, захищеність елементів приводу від потрапляння снігу та вологи, а також можливість регулювання напрямку й дальності відкидання снігу.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена необхідністю розроблення малогабаритної, енергоефективної та функціональної снігоочисної машини, здатної працювати в автономному або дистанційно керованому режимі. Така машина може бути використана для очищення територій навчальних закладів, промислових підприємств, складських і логістичних

комплексів, приватних територій, паркових зон, пішохідних доріжок та інших об'єктів, де застосування великогабаритної техніки є ускладненим або економічно недоцільним.

Метою бакалаврської роботи є розроблення конструкції шнекороторного снігоочисника для автономної гусеничної роботизованої платформи з обґрунтуванням його основних конструктивних, кінематичних і силових параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих конструкцій снігоочисних машин і робочих органів для механізованого видалення снігу;
- розглянути особливості застосування автономних гусеничних роботизованих платформ як бази для малогабаритної снігоочисної техніки;
- обґрунтувати вибір шнекороторного робочого органу для встановлення на автономну гусеничну платформу;
- визначити основні конструктивні параметри снігоочисника: ширину захвату, діаметр шнека, діаметр ротора, геометричні параметри кожуха та викидного патрубку;
- виконати розрахунок продуктивності шнекороторного снігоочисника з урахуванням робочої швидкості платформи та параметрів снігового покриву;
- визначити необхідну потужність приводу робочих органів і провести узгодження її з можливостями автономної платформи;
- розробити конструктивну схему снігоочисного обладнання та визначити основні вимоги до його компонування на гусеничній базі;
- сформулювати рекомендації щодо експлуатації розробленого снігоочисника в умовах зимового утримання територій.

Об'єктом дослідження є процес механізованого очищення територій від снігу автономною гусеничною роботизованою платформою зі шнекороторним робочим органом.

Предметом дослідження є конструктивні, кінематичні та силові параметри шнекороторного снігоочисника, що визначають його продуктивність, енергоємність і ефективність роботи в складі автономної гусеничної платформи.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів під час розроблення малогабаритних роботизованих машин для зимового утримання територій. Запропоновані конструктивні рішення та розрахункові залежності можуть бути застосовані для вибору параметрів шнека, ротора, приводу та ходової частини автономного снігоочисного комплексу.

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ СНІГООЧИСНИХ МАШИН ТА АВТОНОМНИХ ГУСЕНИЧНИХ ПЛАТФОРМ

1.1 Аналіз конструкцій автономних снігоочисників та гусеничних роботизованих платформ

Зимове утримання територій, автомобільних доріг, тротуарів, під'їзних шляхів, виробничих і складських майданчиків потребує використання спеціалізованої снігоочисної техніки. Сніговий покрив ускладнює рух транспортних засобів і пішоходів, знижує безпеку експлуатації дорожньої інфраструктури, підвищує витрати часу на обслуговування територій та потребує регулярного видалення снігової маси. У традиційній практиці для цього застосовують плужні, щіткові, фрезерні, роторні та шнекороторні снігоочисники, які встановлюють на трактори, автомобілі, навантажувачі або спеціальні дорожньо-будівельні машини [1–4].

За способом взаємодії з робочим середовищем снігоочисні машини можна умовно поділити на машини пасивної, активної та комбінованої дії. До машин пасивної дії належать плужні снігоочисники, у яких сніг переміщується вбік за рахунок поступального руху базової машини та взаємодії снігової маси з відвалом. Такі робочі органи мають просту конструкцію, однак їх ефективність істотно залежить від швидкості руху машини, стану снігу та наявності вільного простору для бокового переміщення снігової маси. До машин активної дії належать роторні, фрезерні та шнекороторні снігоочисники, у яких сніг не лише зсувається, а й захоплюється, подрібнюється, транспортується та відкидається робочими органами [1, 3, 4].

Особливе місце серед снігоочисної техніки займають шнекороторні снігоочисники. Їх конструкція зазвичай поєднує шнековий робочий орган, який

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ					ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ СНІГООЧИСНИХ МАШИН ТА АВТОНОМНИХ ГУСЕНИЧНИХ ПЛАТФОРМ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Сліпченко	Васильєв	18.06		Літ.		
Перев.	Васильєв	18.06					
Керівник							
Н. контр.	Васильєв	18.06					
Затв.	Отисенко	19.06					
					Літ.	Лист	Листів
					Н	8	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

захоплює сніг по ширині очищуваної смуги та переміщує його до центральної зони, і ротор, що забезпечує інтенсивне відкидання снігової маси через викидний патрубок. Такий принцип роботи дозволяє ефективно очищати території від свіжого, ущільненого або частково злежаного снігу. Порівняно з плужними робочими органами шнекороторні снігоочисники забезпечують більш кероване видалення снігу, оскільки сніг не просто зсувається вбік, а викидається на певну відстань у заданому напрямку.

У загальному вигляді шнекороторний снігоочисник складається з корпусу, шнека або системи шнеків, ротора, викидного патрубка, приводу робочих органів, захисних елементів і системи регулювання напрямку викидання снігу. У малогабаритних машинах шнек і ротор можуть приводитися в дію від одного електричного або гідравлічного приводу. У більш потужних конструкціях застосовують окремі приводи або механічні передачі, що забезпечують необхідні частоти обертання робочих органів [12–14].

На рис. 1.1 наведено приклад сучасного автономного снігоочисника, побудованого на гусеничній платформі та оснащеного переднім шнекороторним робочим модулем. Така схема компоновки є доцільною для роботизованої машини, оскільки робочий орган розташовується попереду платформи і безпосередньо взаємодіє зі сніговим покривом під час руху.

Сучасні автономні снігоочисники є відносно новим напрямом розвитку малогабаритної комунальної техніки. Їх головна відмінність від традиційних ручних або дистанційно керованих машин полягає в можливості самостійного руху за заданим маршрутом, визначення робочої зони, уникнення перешкод і повернення до зарядної станції після завершення роботи. У таких машинах використовують камери, радары, датчики положення, супутникову навігацію, електронні контролери, мобільні додатки та системи автоматичного керування [5, 16, 17].

Принцип роботи автономного снігоочисника полягає в тому, що після первинного налаштування користувач задає межі робочої зони, траєкторію

руху, частоту очищення, швидкість руху, режим роботи шнека або ротора та інші параметри. Машина самостійно виїжджає із зарядної станції, виконує очищення території за встановленим планом, контролює заряд акумуляторної батареї та повертається до базової станції для підзаряджання [5]. У деяких конструкціях застосовують систему високоточного позиціювання RTK, що дає змогу точніше визначати положення машини порівняно зі звичайною GPS-навігацією [5].

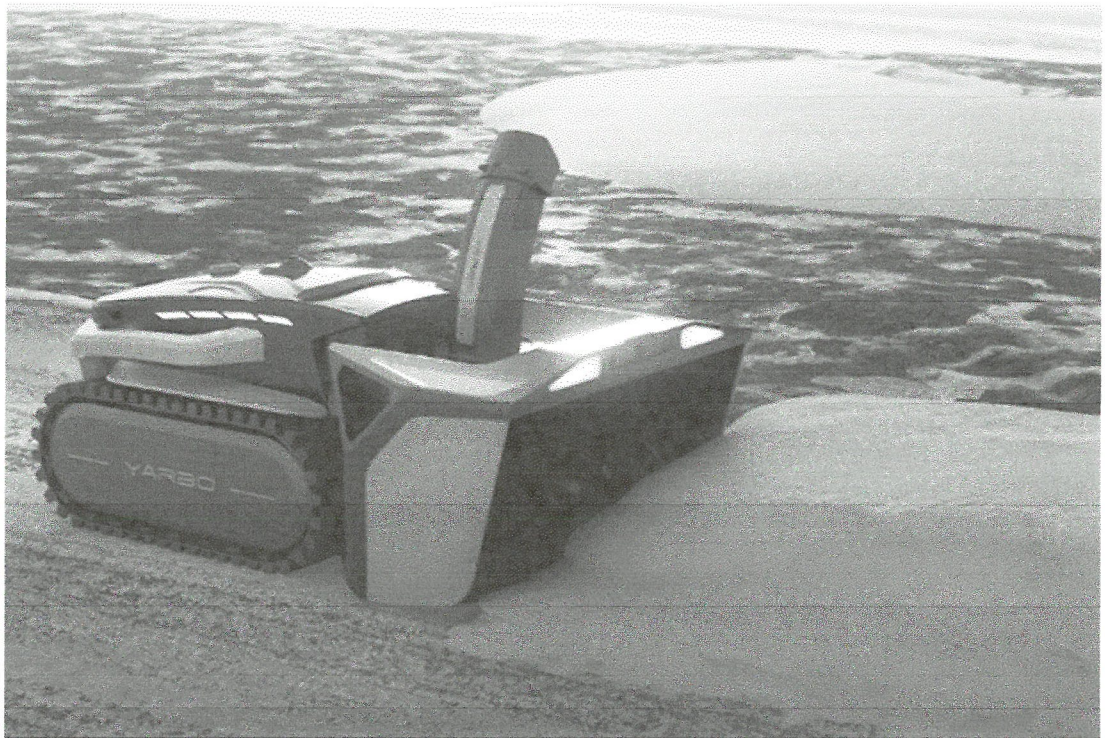


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд автономного гусеничного снігоочисника зі шнекороторним робочим органом

На рис. 1.2 показано приклад модульної конструкції автономного снігоочисного комплексу. До його складу входить гусенична платформа, снігоочисний модуль, зарядна станція, елементи живлення, змінні гусеничні рушії, антена або модуль навігації, пульт керування та допоміжні інструменти. Модульний принцип побудови є важливою перевагою таких систем, оскільки дає змогу використовувати одну базову платформу з різними робочими органами залежно від сезону або виду робіт.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

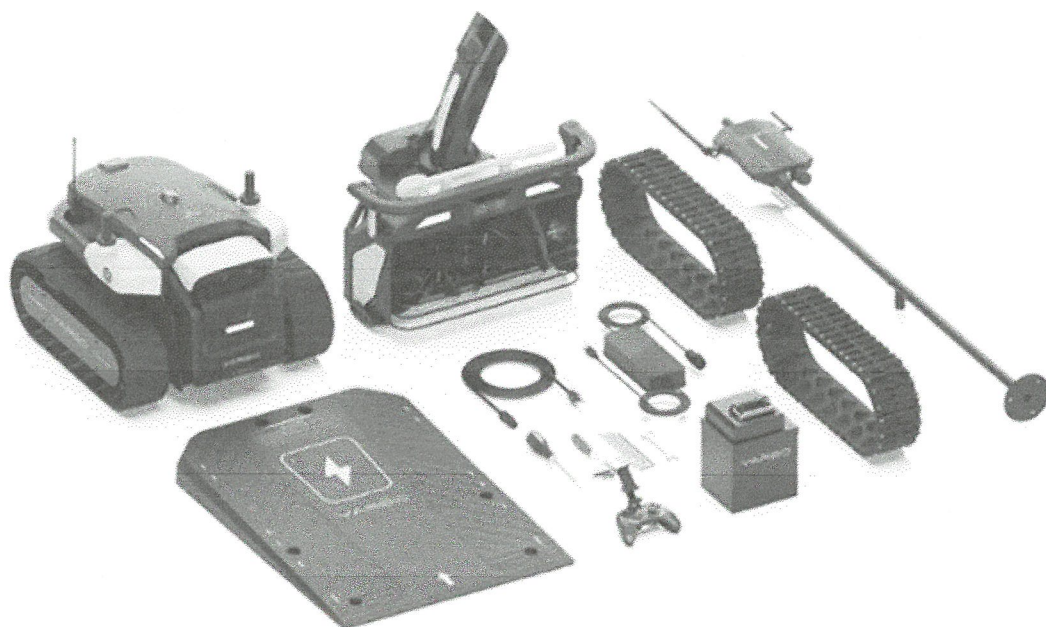


Рисунок 1.2 – Комплект модульного автономного снігоочисного комплексу на базі гусеничної платформи

Важливою перевагою автономних снігоочисників є зменшення участі людини у процесі очищення території. Порівняно зі звичайними ручними снігоочисниками, оператор не повинен постійно супроводжувати машину та фізично керувати її рухом. Контроль може здійснюватися через мобільний додаток, у якому відображається стан машини, рівень заряду акумулятора, підключення до мережі, зона очищення, пройдена площа, поточний режим роботи та інші параметри [5]. Приклад такого керування наведено на рис. 1.3.

Наявність мобільного керування та електронної системи контролю дозволяє оперативно змінювати режим роботи машини, зупиняти її, коригувати маршрут, регулювати швидкість руху та інтенсивність роботи робочого органу. Крім того, для автономних машин важливою є можливість створення заборонених зон, тобто ділянок, на які машина не повинна заїжджати. Це особливо актуально для територій, де є відкриті комунікації, бордюри, декоративні елементи, сходи, кабелі, труби або інші перешкоди [5, 16, 17].



Рисунок 1.3 – Керування автономним снігоочисником за допомогою мобільного додатка

Разом із тим автономні снігоочисники мають певні обмеження. Їх ефективність залежить від висоти снігового покриву, щільності снігу, стану очищуваної поверхні, температури навколишнього середовища та ємності акумуляторної батареї. За даними огляду сучасних автономних снігоочисників, такі машини найкраще працюють за умов регулярного очищення відносно невеликого шару снігу, а не під час ліквідації великих снігових заметів [5]. Тому для автономної роботизованої платформи важливо правильно підібрати параметри робочого органу та не перевищувати допустиме навантаження на привід.

Особливої уваги потребує конструкція шнекового робочого органу. На рис. 1.4 показано приклад шнекороторного механізму, у якому сніг захоплюється гвинтовими лопатями шнека та подається до зони ротора. Шнек має виконувати одночасно декілька функцій: руйнувати сніговий шар, переміщувати сніг до центральної частини корпусу та забезпечувати рівномірне завантаження ротора. Від геометрії шнека, його діаметра, кроку, ширини

лопатеї, частоти обертання та форми ріжучої крайки залежить продуктивність машини, рівномірність подачі снігу та енергомісткість процесу [12, 13].

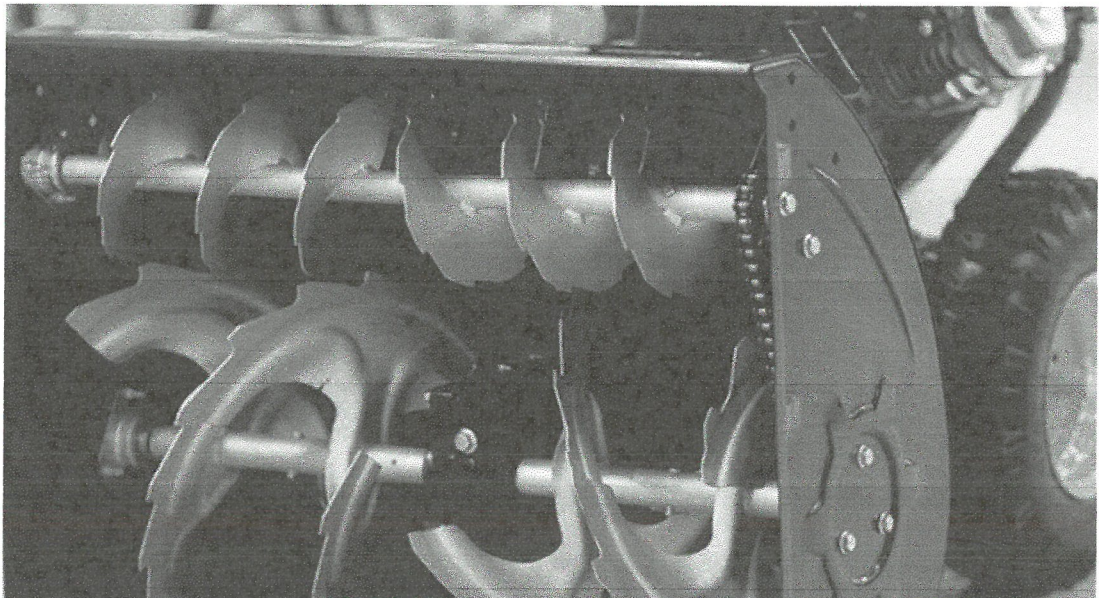


Рисунок 1.4 – Конструкція шнекового робочого органу снігоочисника

У конструкціях шнекороторних снігоочисників важливу роль відіграє форма кожуха. Він повинен забезпечувати спрямоване переміщення снігу до ротора, запобігати втратам снігової маси та захищати робочі органи від зовнішніх впливів. Ротор, у свою чергу, створює повітряно-сніговий потік і надає снігу кінетичної енергії, необхідної для його викидання через патрубок. Дальність відкидання снігу залежить від частоти обертання ротора, його діаметра, форми лопатей, площі прохідного перерізу патрубка та властивостей снігової маси [12–14].

Для автономної роботизованої платформи конструкція снігоочисного модуля повинна бути компактною, легкою і водночас достатньо міцною. Надмірна маса робочого обладнання може погіршити стійкість машини, збільшити навантаження на гусеничний рушій, зменшити запас ходу та підвищити енергоспоживання. Тому під час проєктування необхідно забезпечити раціональне співвідношення між шириною захвату, масою робочого органу, продуктивністю, потужністю приводу та тяговими можливостями базової платформи.

На рис. 1.5 наведено приклад компонування снігоочисного модуля та гусеничної платформи як окремих функціональних блоків. Така схема дає змогу розглядати снігоочисник як змінне навісне обладнання, що встановлюється на автономну базу. Це є перспективним рішенням, оскільки базова платформа може використовуватися не лише взимку, а й в інші сезони з іншими робочими органами.

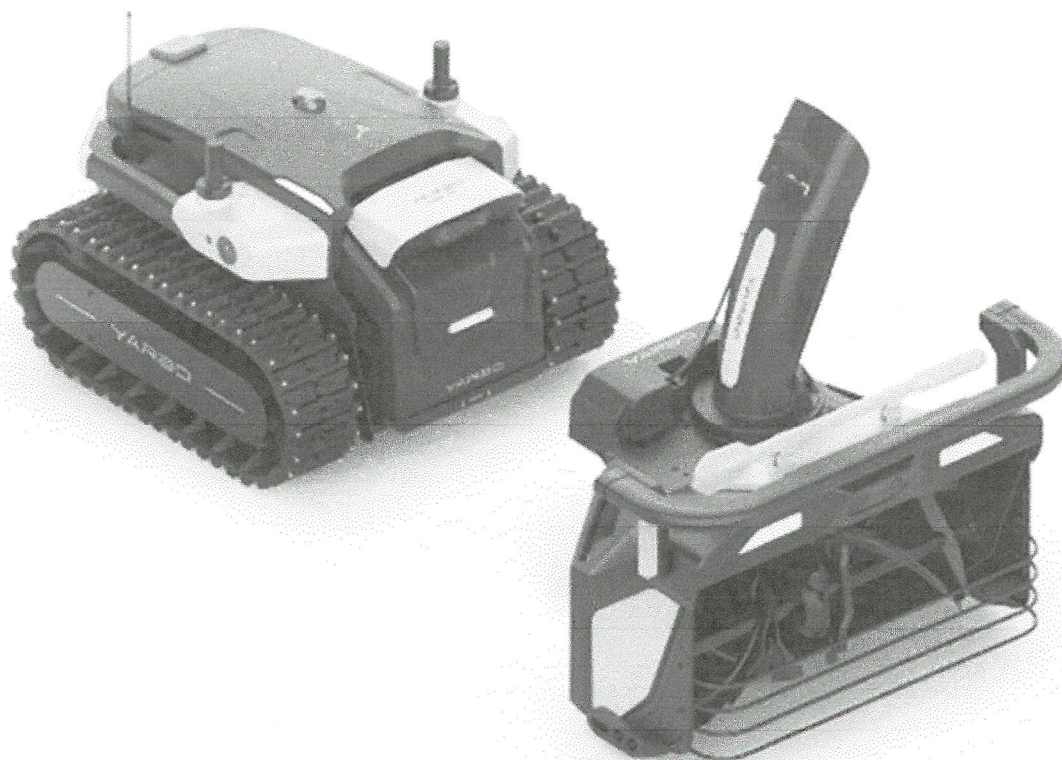


Рисунок 1.5 – Компонування гусеничної платформи та снігоочисного модуля

Вибір гусеничного рушія для автономного снігоочисника є технічно обґрунтованим. Гусеничні платформи мають більшу площу контакту з опорною поверхнею порівняно з колісними машинами, що зменшує питомий тиск на ґрунт або сніг і підвищує прохідність. Крім того, гусеничний рушій забезпечує кращу стійкість на слизьких, пухких і нерівних поверхнях, дозволяє долати невеликі перешкоди та працювати за умов обмеженого зчеплення [6–8].

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

14

У сучасних роботизованих системах гусеничні платформи застосовують як універсальні базові машини для перевезення вантажів, встановлення маніпуляторів, інспекційного обладнання, датчиків, модулів дистанційного керування та спеціальних робочих органів. Приклади таких платформ наведено на рис. 1.6 і рис. 1.7. Їх конструкція зазвичай містить несучу раму, електричні приводи правої та лівої гусениць, акумуляторну батарею, контролер керування, елементи захисту, опорні котки, ведучі та напрямні колеса [6–8, 19, 20].

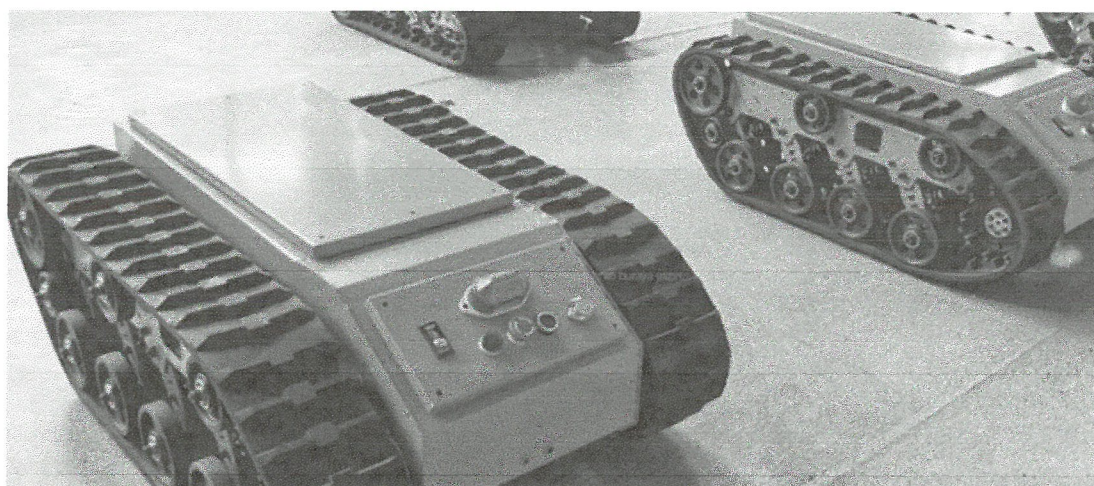


Рисунок 1.6 – Приклад малогабаритної гусеничної роботизованої платформи



Рисунок 1.7 – Гусенична роботизована платформа для транспортування вантажів

Перевагою гусеничних платформ є можливість реалізації роздільного керування лівою та правою гусеницями. Це дозволяє машині розвертатися на місці або з мінімальним радіусом повороту, що особливо важливо під час роботи на вузьких ділянках, біля будівель, на подвір'ях, тротуарах і промислових майданчиках. Для снігоочисної машини така маневреність є важливою перевагою, оскільки очищення території часто потребує багаторазових поворотів, руху вздовж перешкод і точного дотримання маршруту.

Водночас застосування гусеничної платформи для снігоочисника створює низку додаткових вимог. Платформа повинна мати достатню тягову силу для подолання опору руху в снігу, стійкість до низьких температур, захист електроніки від вологи, достатню ємність акумуляторної батареї, а також міцну раму для встановлення снігоочисного обладнання. Крім того, необхідно забезпечити балансування машини, оскільки переднє розташування шнекороторного модуля зміщує центр мас і може впливати на стійкість платформи під час роботи.

У роботизованих снігоочисниках важливим є узгодження роботи ходової частини та робочого органу. Якщо швидкість руху платформи буде надто великою, шнек і ротор можуть не встигати захоплювати й відкидати сніг, що призведе до перевантаження приводу або забивання корпусу. Якщо швидкість руху буде занадто малою, продуктивність машини зменшиться, а енергоспоживання на одиницю очищеної площі зросте. Тому робоча швидкість, ширина захвату, висота снігового шару, частота обертання шнека і ротора повинні розглядатися як взаємопов'язані параметри [12–14].

З огляду на особливості автономних машин, значну роль відіграє також енергетична ефективність. На відміну від традиційних снігоочисників із двигунами внутрішнього згоряння, автономні роботизовані платформи здебільшого використовують електричний привід. Це зменшує шум, спрощує керування, полегшує інтеграцію з електронними системами та дозволяє

застосовувати акумуляторне живлення. Проте електрична система має обмежений запас енергії, тому потужність приводу робочого органу повинна бути обґрунтована з урахуванням реальних умов роботи [14].

Для забезпечення автономності снігоочисника необхідно передбачити не лише механічну частину, а й систему керування. До її складу можуть входити контролер руху, датчики положення, датчики струму приводів, камери, радары, модуль супутникової навігації, система зв'язку з мобільним додатком і алгоритми побудови маршруту. У науковій і технічній літературі з мобільної робототехніки зазначається, що ефективність автономної машини значною мірою залежить від здатності визначати власне положення, будувати карту робочої зони, уникати перешкод і коригувати траєкторію руху в реальному часі [16, 17].

Таким чином, аналіз існуючих конструкцій показує, що автономний шнекороторний снігоочисник на гусеничній платформі є перспективним технічним рішенням для механізованого очищення невеликих і середніх територій від снігу. Найбільш раціональною є модульна схема, за якої гусенична платформа виконує функцію автономної мобільної бази, а шнекороторний снігоочисник встановлюється як передній змінний робочий модуль. Така конструкція поєднує високу прохідність гусеничного рушія, ефективність шнекороторного робочого органу та переваги автоматизованого керування.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати основні вимоги до шнекороторного снігоочисника для автономної гусеничної роботизованої платформи:

- робочий орган повинен забезпечувати захоплення, подрібнення, транспортування та відкидання снігу за один прохід машини;
- ширина захвату має відповідати габаритам гусеничної платформи та забезпечувати очищення колії руху;

- маса снігоочисного модуля не повинна перевищувати допустиме навантаження на передню частину платформи;
- привід шнека і ротора має бути енергоефективним і сумісним з електричною системою автономної бази;
- конструкція повинна забезпечувати захист робочих органів і приводів від вологи, снігу, льоду та потрапляння сторонніх предметів;
- машина повинна мати достатню маневреність, стійкість і тягову здатність для роботи на засніжених поверхнях;
- система керування має забезпечувати автономний або дистанційний режим роботи, контроль стану машини та можливість аварійної зупинки.

1.2 Автономна гусенична роботизована платформа для шнекороторного снігоочисника

Для створення шнекороторного снігоочисника автономного типу важливим етапом є вибір базової мобільної платформи. Від параметрів ходової частини залежать прохідність машини, її тягові можливості, стійкість під час роботи, допустима маса навісного обладнання, енергоефективність і можливість роботи на засніжених поверхнях. Оскільки снігоочисний модуль створює додаткове навантаження на передню частину машини, платформа повинна мати міцну несучу раму, достатню вантажопідйомність, стійкий гусеничний рушій і можливість встановлення додаткових робочих органів.

У межах бакалаврської роботи як базову машину для встановлення шнекороторного снігоочисника доцільно розглядати автономну гусеничну роботизовану платформу типу TinS-25G High Speed Crawler Robot Chassis. Вона належить до високошвидкісних важких роботизованих шасі та призначена для використання як універсальна мобільна база. Такі платформи можуть застосовуватися для моніторингу територій, перевезення вантажів,

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

18

встановлення маніпуляторів, підйомних модулів, засобів спостереження, а також спеціалізованого технологічного обладнання [7, 8, 22].

Загальний вигляд платформи TinS-25G наведено на рис. 1.8. Конструкція має видовжену гусеничну базу, закритий корпус, передню і задню частини з елементами захисту, верхню монтажну площину та місця для встановлення додаткового обладнання. Така компоновка є придатною для встановлення спереду шнекороторного снігоочисного модуля, оскільки передня частина платформи має достатню ширину і може бути використана для кріплення рами робочого органу.

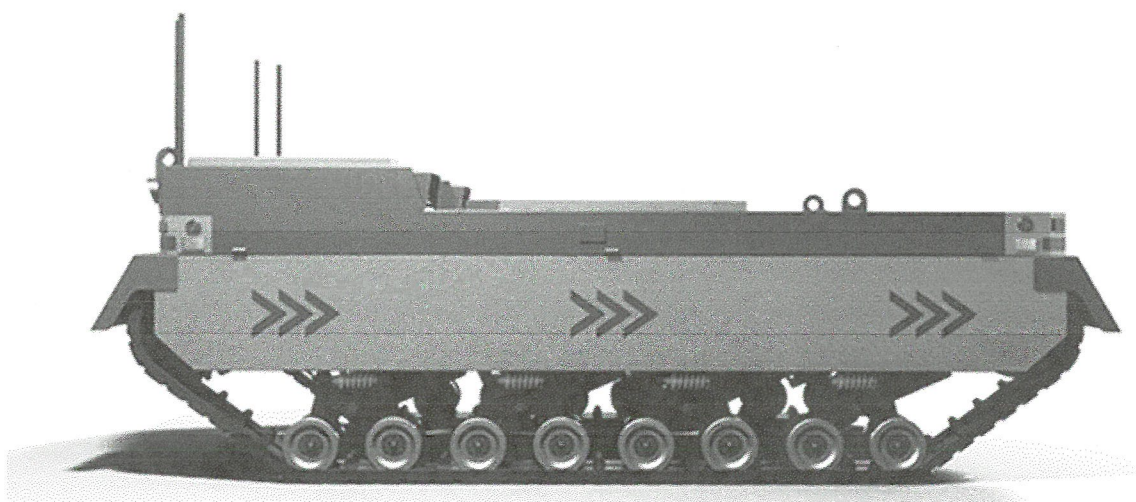


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд автономної гусеничної роботизованої платформи TinS-25G

Платформа має гусеничний рушій із великою довжиною опорної поверхні, що забезпечує зниження питомого тиску на основу, підвищення тягового зусилля та покращення прохідності на слабких, слизьких і нерівних поверхнях. Для снігоочисної машини це має важливе значення, оскільки під час руху по снігу виникає додатковий опір коченню, можливе пробуксовування, а також зміна умов зчеплення залежно від щільності та вологості снігового покриву. На відміну від колісної платформи, гусенична база забезпечує краще зчеплення з поверхнею та стійкіший рух під час роботи робочого органу [16, 17].

На рис. 1.9 показано платформу TinS-25G у перспективному вигляді. Видно, що корпус має плоску верхню частину, яка може бути використана для розміщення акумуляторних батарей, блока керування, елементів навігаційної системи, силової електроніки та додаткових модулів. Передня частина платформи може бути використана для встановлення кронштейнів, рами навісного обладнання або механізму регулювання висоти шнекороторного снігоочисника.

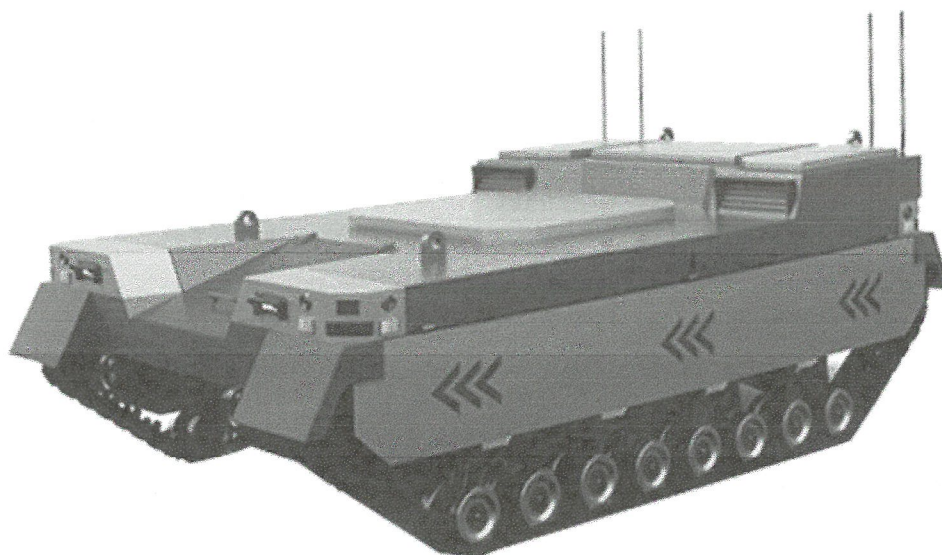


Рисунок 1.9 – Перспективний вигляд гусеничної платформи TinS-25G

Однією з основних переваг платформи TinS-25G є наявність розвиненої підвіски та системи амортизації. Її гусеничний рушій має опорні котки, напрямні та ведучі колеса, елементи натягу гусениці й амортизаційні вузли. Така конструкція дозволяє зменшити ударні навантаження на корпус під час руху по нерівній поверхні, покращити контакт гусениць з опорною поверхнею і підвищити стабільність руху. Фрагмент ходової частини з елементами підвіски наведено на рис. 1.10.

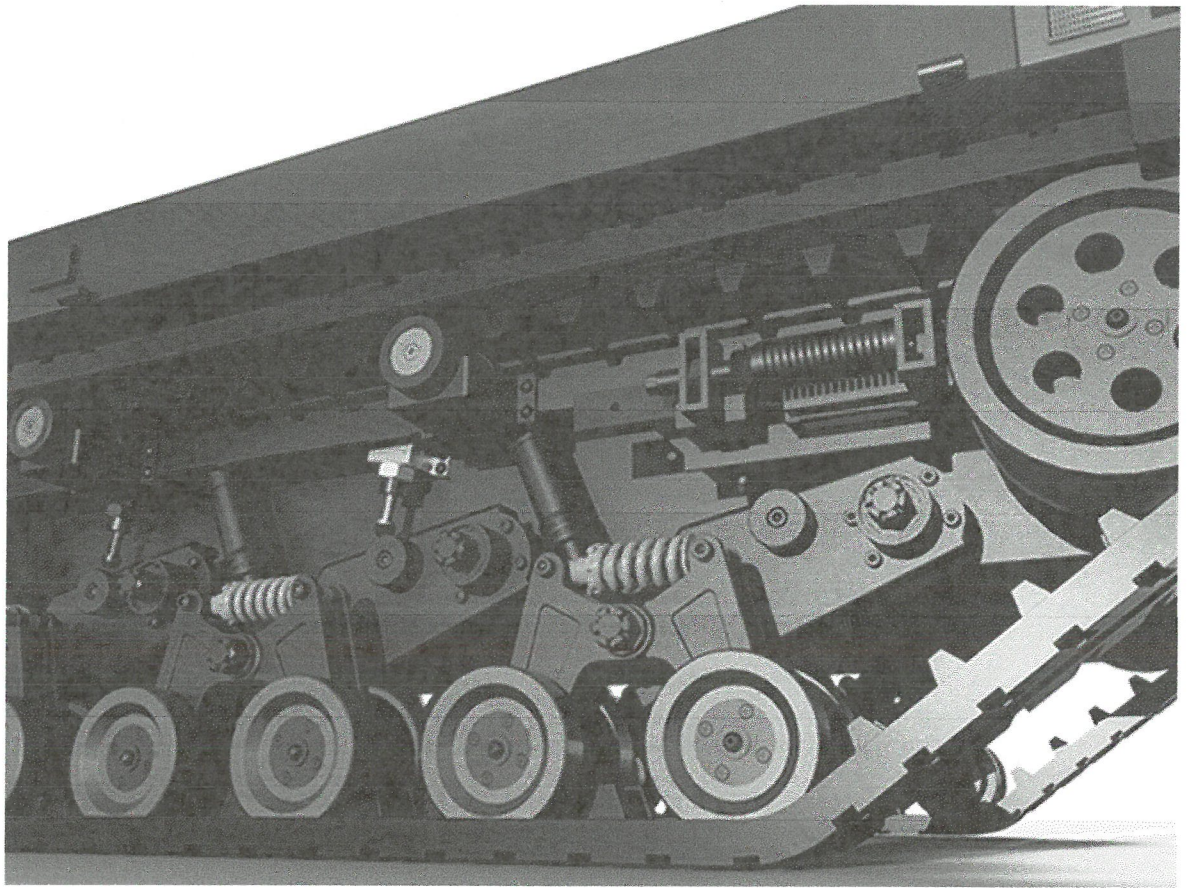


Рисунок 1.10 – Конструкція ходової частини та елементів підвіски гусеничної платформи

Для шнекороторного снігоочисника амортизація ходової частини має важливе значення. Під час роботи машина рухається по поверхні, яка може мати нерівності, залишки ущільненого снігу, льоду, бордюри або інші локальні перешкоди. Наявність амортизованої підвіски зменшує динамічні навантаження на раму, привід робочого органу, електронні компоненти та систему керування. Крім того, стабільніший контакт гусениць з опорною поверхнею сприяє рівномірному руху снігоочисника та зменшенню коливань робочого органу.

За технічними характеристиками платформа TinS-25G має габаритні розміри 2300×1250×750 мм, власну масу близько 500 кг без акумуляторної батареї та розрахункове корисне навантаження 300 кг. Швидкість руху становить 20 або 40 км/год залежно від виконання. Ширина гусениці складає 150 мм, дорожній просвіт — 235 мм, діаметр ведучого колеса — 260 мм. Платформа здатна долати перешкоди висотою до 300 мм, максимальний проліт

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

21

до 600 мм і підйом до 30°. Внутрішній простір для встановлення батареї має розміри 700×600×300 мм. Конструкція має ступінь захисту IP65, що є важливим для роботи в умовах снігу, вологи та низьких температур [22].

Основні технічні характеристики платформи TinS-25G наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики платформи TinS-25G

Параметр	Значення
Габаритні розміри, мм	2300×1250×750
Власна маса без акумулятора, кг	500
Розрахункове корисне навантаження, кг	300
Швидкість руху, км/год	20 / 40
Ширина гусениці, мм	150
Діаметр ведучого колеса, мм	260
Дорожній просвіт, мм	235
Внутрішній простір для батареї, мм	700×600×300
Напруга електродвигуна	DC 560 В
Потужність електродвигунів	8 кВт×2 або 16 кВт×2
Номінальна частота обертання двигуна, об/хв	150–6000
Передаточне відношення редуктора	1:7,5–1:20
Максимальний кут підйому	до 30°
Висота подолання перешкоди, мм	300
Максимальний проліт, мм	600
Ступінь захисту	IP65
Протоколи зв'язку	RS-485, CAN

Габаритні розміри платформи наведено на рис. 1.11. З креслення видно, що довжина платформи становить 2180–2300 мм залежно від виконання, ширина — близько 1250 мм, а висота — 750 мм. Такі розміри дозволяють

розмістити перед платформою снігоочисний модуль шириною, близькою до ширини машини. Для забезпечення повного очищення колії руху ширина захвату шнекороторного снігоочисника повинна бути не меншою за зовнішню ширину гусеничної платформи або дещо перевищувати її.

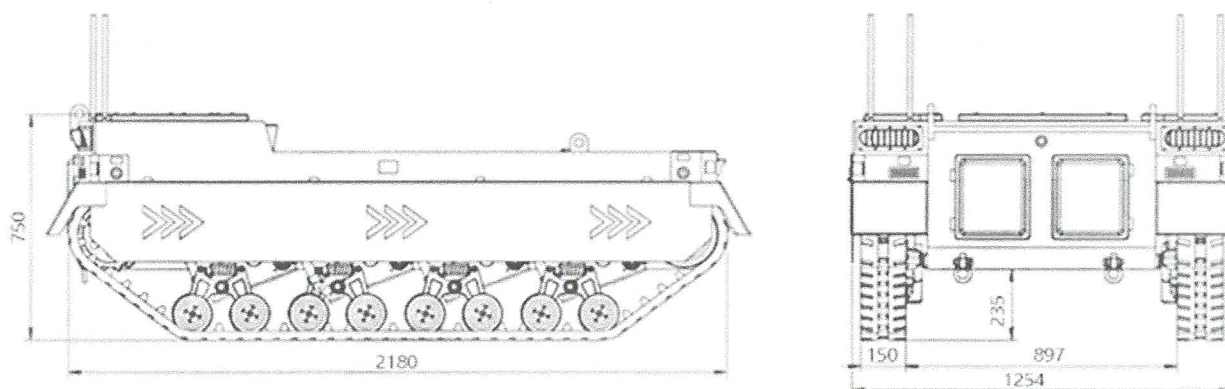
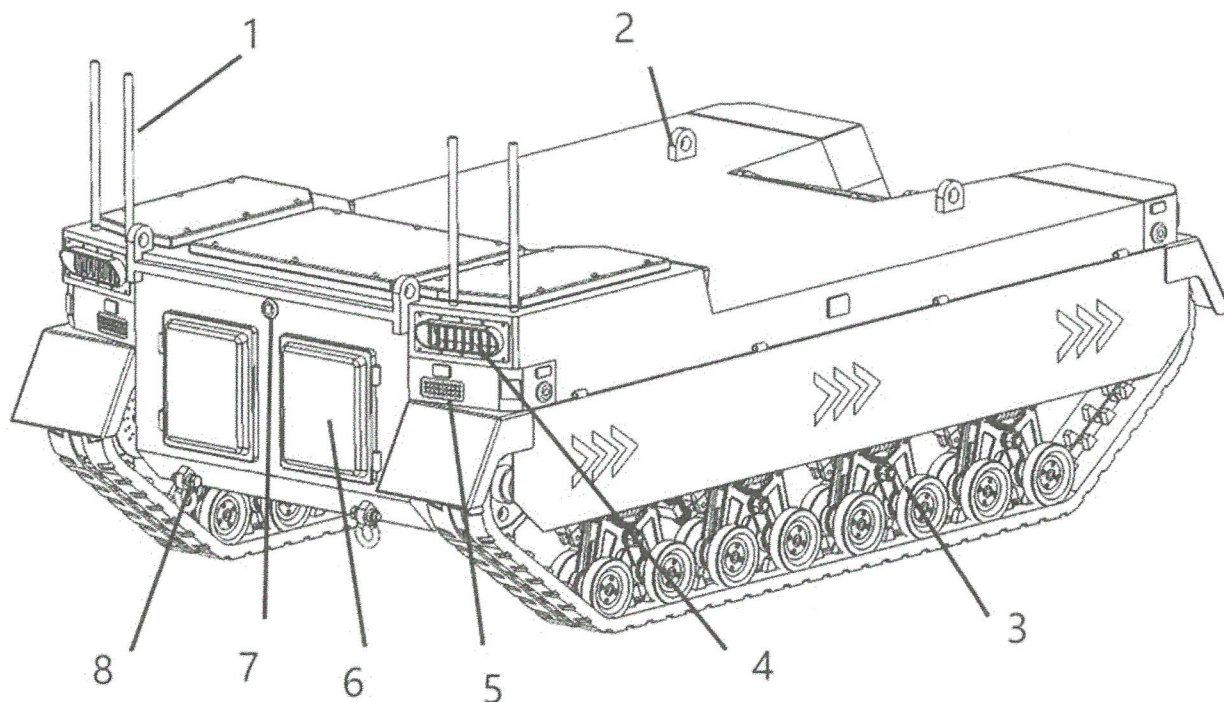


Рисунок 1.11 – Основні габаритні розміри автономної гусеничної платформи TinS-25G

Враховуючи ширину платформи близько 1250 мм, раціональна ширина захвату шнекороторного снігоочисника може бути прийнята в межах 1300–1400 мм. Це дозволить очищувати смугу, ширшу за габарит машини, і запобігати наїзду гусениць на неочищений сніг. При цьому надмірне збільшення ширини захвату є небажаним, оскільки воно призведе до зростання маси робочого органу, збільшення опору різанню та транспортуванню снігу, підвищення потрібної потужності приводу і навантаження на передню частину платформи.

Конструктивна схема платформи TinS-25G містить низку функціональних елементів, необхідних для руху, керування, навігації та взаємодії з навісним обладнанням. На рис. 1.12 показано основні елементи платформи: антени, підйомні вушка, амортизаційні елементи, отвори повітрообміну, задні ліхтарі, задню кришку, камери, буксирні гаки, бокові кришки, повітрозабірники, передню кришку, передній буксирний гак і фари.



1 – антена; 2 – підйомне вушко; 3 – амортизаційний елемент; 4 – отвір виходу повітря; 5 – задній ліхтар; 6 – задня кришка; 7 – камера; 8 – задній буксирний гак; 9 – бокова кришка; 10 – повітрязабірник; 11 – передня кришка; 12 – передній буксирний гак; 13 – камера; 14 – фара

Рисунок 1.12 – Основні конструктивні елементи платформи TinS-25G:

Наявність антен і камер створює передумови для використання платформи в автономному або дистанційно керованому режимі. Камери можуть застосовуватися для візуального контролю робочої зони, виявлення перешкод, орієнтації машини під час руху та контролю положення снігоочисного модуля. Антени забезпечують зв'язок із пультом керування, мобільним пристроєм або зовнішньою системою навігації. Для автономного снігоочисника це особливо важливо, оскільки машина повинна працювати без постійного втручання оператора, дотримуватися заданого маршруту та своєчасно реагувати на зміну умов руху [5, 16, 17].

Підйомні вушка необхідні для транспортування та монтажу платформи. Вони можуть використовуватися під час встановлення або демонтажу

снігоочисного обладнання, технічного обслуговування, завантаження машини на транспортний засіб або переміщення її в майстерні. Передній і задній буксирні гаки забезпечують можливість аварійного витягування платформи, буксирування або фіксації під час транспортування. Для снігоочисника це має практичне значення, оскільки машина може працювати в умовах снігу, льоду та обмеженого зчеплення.

Повітрязабірники та отвори виходу повітря забезпечують охолодження електроніки, електродвигунів, контролерів і акумуляторних модулів. Під час проектування снігоочисного обладнання необхідно враховувати розташування цих елементів, щоб не перекривати потоки повітря та не спричиняти перегрів силових компонентів. Крім того, робочий орган не повинен направляти сніговий потік або вологу безпосередньо на повітрязабірники, камери, фари та електричні роз'єми.

Порівняно з малогабаритними платформами типу TinS-17E, платформа TinS-25G має більші габарити, більшу власну масу та вищу швидкість руху [7, 8, 22]. Це робить її придатнішою для встановлення важчого шнекороторного модуля, оскільки вона має достатній запас вантажопідйомності та міцності. Разом із тим значна власна маса платформи вимагає уважного розрахунку енергоспоживання та тягового балансу, оскільки під час руху по снігу опір переміщенню збільшується.

Для застосування платформи TinS-25G як бази снігоочисника необхідно враховувати декілька основних вимог. По-перше, снігоочисний модуль повинен встановлюватися на передній частині рами так, щоб забезпечити надійне кріплення та передачу навантажень від шнека і ротора на несучу конструкцію. По-друге, необхідно передбачити можливість регулювання висоти робочого органу відносно опорної поверхні. Це дозволить адаптувати снігоочисник до різної товщини снігового шару, нерівностей покриття та умов експлуатації. По-третє, необхідно забезпечити захист нижньої частини корпусу та гусениць від потрапляння снігу, льоду й сторонніх предметів.

Важливим питанням є розподіл маси машини після встановлення шнекороторного робочого органу. Переднє розміщення снігоочисника зміщує центр мас уперед, що може збільшити навантаження на передню частину гусеничного рушія. З одного боку, це покращує притискання передньої частини до поверхні та може підвищити стійкість робочого органу під час взаємодії зі снігом. З іншого боку, надмірне зміщення центру мас може погіршити керованість, збільшити навантаження на передні вузли підвіски та підвищити опір повороту. Тому масу снігоочисного модуля необхідно обмежити відповідно до допустимого корисного навантаження платформи.

Для автономної гусеничної снігоочисної машини доцільно передбачити електричний привід шнекороторного робочого органу. Це узгоджується з електричною природою роботизованої платформи, спрощує керування, дозволяє змінювати частоту обертання шнека і ротора, а також забезпечує можливість автоматичного захисту від перевантаження. При потраплянні в робочий орган льоду, каміння або іншого стороннього предмета система керування може зменшити частоту обертання, зупинити привід або подати сигнал оператору. Таке рішення підвищує безпеку та надійність машини.

З огляду на параметри платформи TinS-25G, шнекороторний снігоочисник для неї доцільно розглядати як передній навісний модуль із власним приводом робочих органів, захисним кожухом, викидним патрубком і механізмом регулювання напрямку відкидання снігу. Орієнтовна ширина захвату такого модуля повинна становити 1,3–1,4 м, що дозволить забезпечити очищення смуги руху платформи. Висота захоплення снігу має відповідати умовам роботи автономної машини та бути обмеженою так, щоб не перевантажувати привід і акумуляторну систему.

Під час руху снігоочисника робочий процес відбувається таким чином. Гусенична платформа переміщується із заданою швидкістю по засніженій поверхні. Передній шнекороторний модуль зрізає сніговий шар по ширині захвату, шнек переміщує сніг до центральної частини корпусу, ротор захоплює

снігову масу і викидає її через патрубок убік або вперед-убік. Система керування підтримує задану швидкість руху, контролює навантаження на приводи та забезпечує можливість коригування траєкторії. У разі виявлення перешкоди машина може зупинитися або змінити маршрут.

Таким чином, платформа TinS-25G High Speed Crawler Robot Chassis за своїми конструктивними та технічними параметрами може бути використана як базова автономна гусенична платформа для шнекороторного снігоочисника. Її перевагами є значна вантажопідйомність, міцна гусенична ходова частина, високий дорожній просвіт, здатність долати перешкоди, захищене виконання корпусу, можливість встановлення датчиків і підтримка сучасних протоколів керування. Для подальшого проєктування необхідно узгодити параметри снігоочисного робочого органу з габаритами, вантажопідйомністю, тяговими можливостями та енергетичними обмеженнями цієї платформи.

1.3 Висновок до розділу 1

У першому розділі виконано аналіз сучасних конструкцій снігоочисних машин, автономних снігоочисників та гусеничних роботизованих платформ. Встановлено, що для механізованого очищення територій від снігу застосовують плужні, щіткові, фрезерні, роторні та шнекороторні робочі органи. Найбільш доцільним для автономної малогабаритної машини є шнекороторний робочий орган, оскільки він забезпечує не лише захоплення снігу, а й його транспортування до центральної частини кожуха та подальше відкидання через викидний патрубок у заданому напрямку.

Розглянуто особливості автономних снігоочисників, які працюють із використанням електричного приводу, датчиків, камер, навігаційних систем, мобільного керування та зарядної станції. Показано, що такі машини дають змогу зменшити участь людини в процесі зимового утримання територій, однак потребують правильного вибору параметрів робочого органу, узгодження

продуктивності з енергетичними можливостями платформи та забезпечення безпечної роботи в автономному режимі.

Як базову машину для розроблюваного шнекороторного снігоочисника обґрунтовано використання автономної гусеничної роботизованої платформи TinS-25G. Її перевагами є гусеничний рушій, достатня вантажопідйомність, високий дорожній просвіт, можливість роботи на складних поверхнях, наявність місць для встановлення додаткового обладнання, датчиків і системи керування. Встановлено, що для такої платформи доцільно застосовувати передній навісний шнекороторний модуль із шириною захвату, яка забезпечує очищення смуги руху машини та не перевантажує ходову частину.

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		28

2 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОРОТОРНОГО СНІГООЧИСНИКА ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ TinS-25G

2.1 Вихідні дані та узгодження снігоочисного обладнання з платформою TinS-25G

Розрахунок шнекороторного снігоочисника виконуємо з урахуванням того, що робочий орган встановлюється на автономну гусеничну роботизовану платформу TinS-25G High Speed Crawler Robot Chassis (рис 2.1). Така платформа має значну масу, гусеничний рушій, розвинену підвіску та достатню вантажопідйомність для встановлення переднього робочого модуля [7, 8, 22].

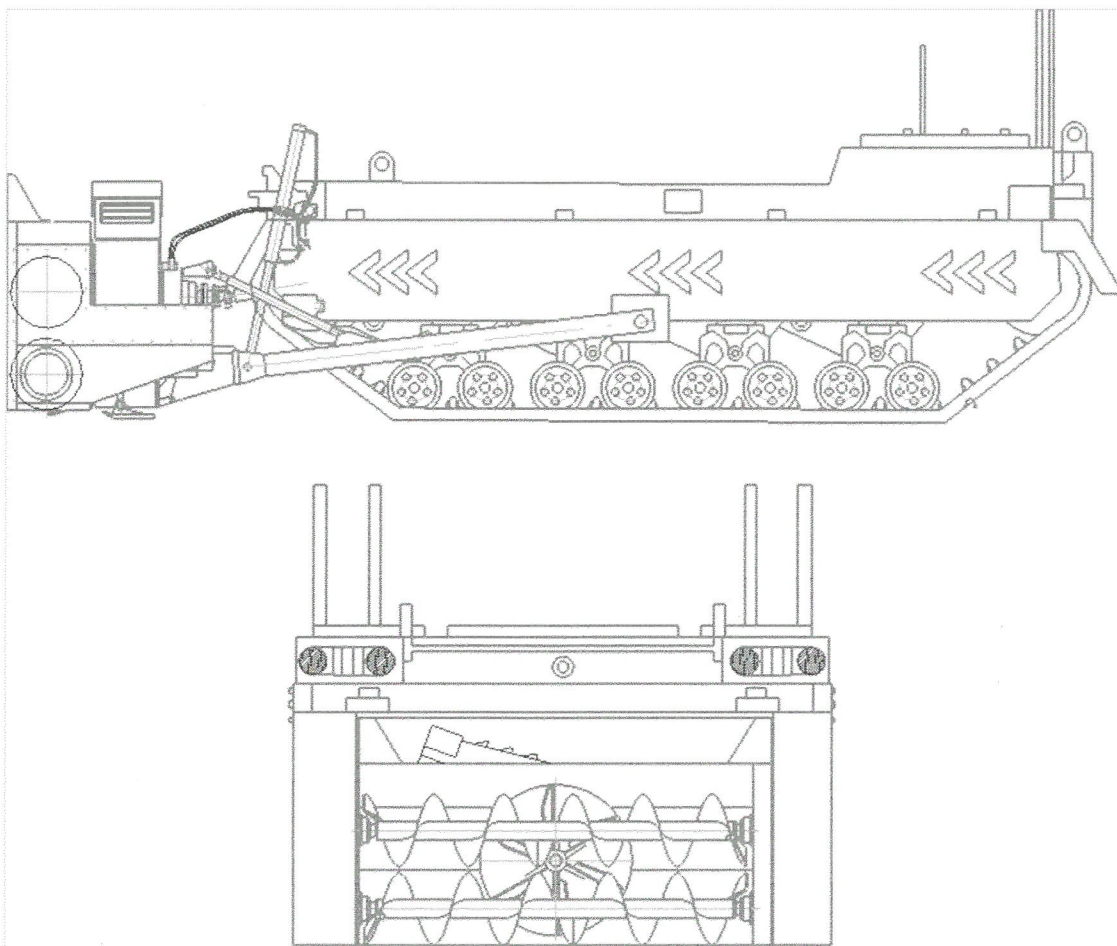


Рисунок 2.1 – Шнекороторний снігоочисник на базі автономної гусеничної платформи tins-25g

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат				
Розроб.	Сліпченко			18.06				
Перев.	Васильєв			18.06				
Керівник								
Н. контр.	Васильєв			18.06				
Затв.	Орисенко			19.06				
РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО- КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОРОТОРНОГО СНІГООЧИСНИКА ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ TinS-25G					Лім.	Лист	Листів	
					Н		29	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			

На відміну від традиційного тракторного снігоочисника, у даному випадку конструкція повинна бути компактною, енергоефективною та сумісною з електричною системою роботизованого шасі.

Технічні параметри платформи TinS-25G приймаємо за даними виробника: габаритні розміри 2300×1250×750 мм, розрахункове корисне навантаження 300 кг, швидкість руху 20/40 км/год, власна маса без акумуляторної батареї 500 кг, кліренс 235 мм, ширина гусениці 150 мм, можливість подолання перешкод до 300 мм, ступінь захисту IP65, силові двигуни DC 560 В потужністю 8 кВт×2 або 16 кВт×2 [22]. Технічні параметри шнекороторного снігоочисника на базі автономної гусеничної платформи tins-25g наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри шнекороторного снігоочисника на базі автономної гусеничної платформи tins-25g

Параметр	Позначення	Прийняте значення
Габарити платформи	L×B×H	2300×1250×750 мм
Корисне навантаження	G_кор	300 кг
Власна маса без АКБ	m_пл	500 кг
Ширина гусениці	b_г	150 мм
Кліренс	h_кл	235 мм
Робоча швидкість під час очищення	v_x	0,5 м/с
Розрахункова ширина захвату снігоочисника	B	1,35 м
Розрахункова висота шару снігу	H	0,15 м
Розрахункова густина снігу		0,25 т/м ³
Дальність відкидання снігу	L	8 м

Оскільки зовнішня ширина платформи становить близько 1250 мм, ширину захвату шнекороторного снігоочисника приймаємо 1,35 м. Це дозволяє очищувати смугу, ширшу за габарит платформи, і запобігає руху гусениць по

неочищеному снігу. Висоту розроблюваного шару снігу приймаємо 0,15 м, що відповідає умовам регулярного автономного очищення територій. Такий режим є більш доцільним для роботизованої електричної машини, ніж разове видалення великих снігових заметів [5, 10, 11].

Масову продуктивність шнекороторного снігоочисника визначаємо за геометричними параметрами захоплення снігового шару та робочою швидкістю платформи:

$$Q = 3600 \cdot B \cdot H \cdot v_x \cdot \rho = 3600 \cdot 1.35 \cdot 0.15 \cdot 0.5 \cdot 0.25 = 91.1 \text{ т/год} \quad (2.1)$$

Отримане значення значно менше за продуктивність важких тракторних снігоочисників, однак воно відповідає класу автономної малогабаритної машини на гусеничній платформі. Для подальших розрахунків приймаємо $Q = 90$ т/год.

Попередню потужність на роботу шнекороторного робочого органа визначаємо за залежністю, використаною у вихідній розрахунковій записці:

$$N_{p.o} = \frac{Q \cdot K_1 \cdot L \cdot K_2}{100} \quad (2.2)$$

де Q - продуктивність снігоочисника, т/год; L - дальність відкидання снігу, м; K_1 - коефіцієнт, що враховує зменшення витрат потужності за рахунок застосування покриттів робочих поверхонь, які знижують тертя та налипання снігу; K_2 - коефіцієнт, що враховує покращення формування снігового потоку у викидному каналі.

Для автономної платформи приймаємо $K_1 = 0.9$, $K_2 = 0.9$, $L = 8$ м:

$$N_{p.o} = \frac{90 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 0.9}{100} = 5.83 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

З урахуванням запасу на зміну щільності снігу та втрати в приводі приймаємо встановлену потужність приводу шнека і ротора $N_{вст} = 8...10$ кВт. Така потужність є сумісною з енергетичними можливостями платформи TinS-

25G, силові приводи якої мають сумарну потужність 16 або 32 кВт залежно від виконання [22].

2.2 Розрахунок параметрів шнекового живильника

Подача снігової маси до ротора у шнекороторному снігоочиснику здійснюється шнековим живильником. Для автономної гусеничної платформи шнековий живильник є більш раціональним, ніж фрезерний, оскільки має меншу масу, простішу конструкцію та краще компонується у передньому навісному модулі. Водночас шнек повинен забезпечувати достатню пропускну здатність, щоб сніг не ущільнювався перед ротором [1-4, 12, 13].

Для розрахунку приймаємо: діаметр шнека $d_{\text{шн}} = 0.45$ м; діаметр вала $d_{\text{в}} = 0.114$ м; крок шнека $t_{\text{шн}} = 0.45$ м; коефіцієнт заповнення $\psi_{\text{шн}} = 0.65$; частота обертання $n_{\text{шн}} = 355$ об/хв. Кількість снігу, що припадає на одну половину шнека, становить $q = Q_1 / 2$, де

$$Q_1 = Q \cdot K_1 = 90 \cdot 0.9 = 81 \text{ т/год} \quad (2.5)$$

Умова забезпечення пропускну здатності шнека має вигляд:

$$q \leq \frac{\pi}{4} (d_{\text{шн}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot 60 \cdot n_{\text{шн}} \cdot t_{\text{шн}} \cdot \psi_{\text{шн}} \cdot \rho \quad (2.6)$$

Звідси мінімальна частота обертання шнека:

$$n_{\text{шн}} \geq \frac{q}{\frac{\pi}{4} (d_{\text{шн}}^2 - d_{\text{в}}^2) \cdot 60 \cdot t_{\text{шн}} \cdot \psi_{\text{шн}} \cdot \rho} \quad (2.7)$$

Підставляючи прийняті значення, отримаємо $n_{\text{шн.min}} \approx 63$ об/хв. Прийнята частота $n_{\text{шн}} = 355$ об/хв забезпечує достатню пропускну здатність живильника і запобігає ущільненню снігу в корпусі.

Колову швидкість шнека визначаємо за формулою:

$$v_n = \frac{\pi d_{\text{шн}} n_{\text{шн}}}{60} = \frac{3.14 \cdot 0.45 \cdot 355}{60} = 8.36 \text{ м/с.} \quad (2.8)$$

Це відповідає рекомендованому діапазону 8-10 м/с для шнекових живильників.

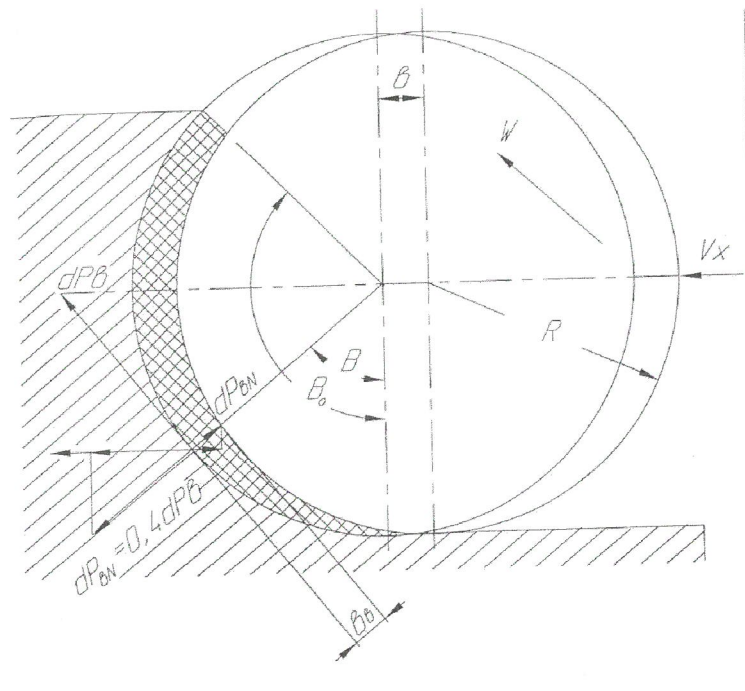


Рисунок 2.2 - Схематичне зображення процесу різання снігу живильником

2.2.1 Потужність, що витрачається на різання снігу

Елементарне зусилля різання на кромці леза визначається залежністю:

$$dP_{\theta} = K_{\text{різ}} \cdot b_{\theta} \cdot d\theta \quad (2.9)$$

Якщо прийняти, що коефіцієнт опору різанню не залежить від товщини стружки, отримаємо:

$$dP_{\theta} = K_{\text{різ}} \cdot \frac{100v_x}{60n_z} \cdot \sin\theta d\theta \quad (2.10)$$

Елементарна робота сили різання за один оберт живильника:

$$dT = z \cdot dP_{\theta} \cdot dl \quad (2.11)$$

Проекції швидкості кромки леза при роботі живильника визначаються рівняннями:

$$\frac{dx}{dt} = v_n \cos \theta - v_x \quad (2.12)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_n \sin \theta \quad (2.13)$$

Елементарний шлях кромки леза:

$$dl = \frac{R}{v_n} \sqrt{v_n^2 + v_x^2 - 2v_n v_x \cos \theta} d\theta \quad (2.14)$$

Оскільки поступальна швидкість снігоочисника значно менша за колову швидкість шнека, для практичних розрахунків приймаємо:

$$dt \approx R d\theta \quad (2.15)$$

Робота сили різання за один оберт по всій ширині живильника:

$$T = \frac{100}{60} \cdot \frac{K_{\text{різ}}}{v_x} \cdot \frac{R \cdot B}{n_n} (1 - \cos \theta_0) \quad (2.16)$$

Висота розроблюваного забою:

$$H = R(1 - \cos \theta_0) \quad (2.17)$$

Вагова продуктивність снігоочисника:

$$Q = 0.01 \cdot H \cdot B \cdot v_x \cdot \rho \quad (2.18)$$

Потужність, що витрачається на різання:

$$N_{n1} = \frac{T \cdot n_n}{75 \cdot 60} = \frac{K_{\text{різ}} \cdot Q}{27 \rho} \quad (2.19)$$

Для ущільненого снігу коефіцієнт опору різанню можна оцінити:

$$K_{\text{різ}} \approx 0.5 \rho^2 \sqrt{1 + [t]} \quad (2.20)$$

Тоді потужність різання:

$$N_{n1} = \frac{Q}{54} \cdot \rho \cdot \sqrt{1 + [t]} \quad (2.21)$$

Більш уточнена залежність з урахуванням впливу товщини стружки має вигляд:

$$K_{pi3} = \frac{A}{b_{\theta}^{0.7}} \quad (2.22)$$

$$dT = z \cdot A \cdot R \left(\frac{100\nu_x}{60n_n z} \right)^{0.3} \sin^{0.3} \theta d\theta \quad (2.23)$$

$$T = A \cdot R \cdot B \cdot z^{0.7} \left(\frac{100\nu_x}{60n_n} \right)^{0.3} \int \sin^{0.3} \theta d\theta \quad (2.24)$$

$$\int \sin^{0.3} \theta d\theta \approx (1 - \cos \theta_0) [1.31 + 0.31 \cos \theta_0 (1 - \cos \theta_0)] \quad (2.25)$$

У підсумку потужність на різання снігу шнековим живильником:

$$N_{n1} = 0.026 \cdot \frac{AQ_1}{\rho} \left(\frac{zn_n}{\nu_x} \right)^{0.7} \left[1.31 + 0.31 \left(1 - \frac{H}{R} \right) \left(2 - \frac{H}{R} \right) \right] \quad (2.26)$$

Для прийнятих параметрів $A = 8$, $R = 0.225$ м, $H = 0.15$ м, $z = 1$, $n_n = 21300$ об/год, $\nu_x = 1800$ м/год отримаємо орієнтовно:

$$N_{n1} = 0.026 \cdot \frac{8 \cdot 81}{25} \left(\frac{1 \cdot 21300}{1800} \right)^{0.7} \left[1.31 + 0.31 \left(1 - \frac{0.15}{0.225} \right) \left(2 - \frac{0.15}{0.225} \right) \right] \approx 5.5 \text{ кВт} \quad (2.27)$$

2.2.2 Потужність на надання снігу кінетичної енергії

Потужність на надання снігу кінетичної енергії визначаємо за формулою:

$$N_{2n} = \frac{Q_1}{540g} \cdot \nu_n^2 \cdot K_{від} \quad (2.28)$$

де $K_{від} = 0.75$ - коефіцієнт відкидання. Для нашого випадку:

$$Q_1 = 90 \cdot 0.9 = 81 \text{ т/год} \quad (2.29)$$

$$N_{2n} = \frac{81}{540 \cdot 9.81} \cdot 8.36^2 \cdot 0.75 = 0.80 \text{ кВт} \quad (2.30)$$

2.2.3 Потужність на переміщення снігу до ротора

Віднесена до одиниці часу робота на переміщення снігу вздовж осі живильника:

$$W_{сек} = \frac{Q_1 \cdot B}{2 \cdot 3.6} \cdot f_2 \quad (2.31)$$

$$W_{сек} = \frac{81 \cdot 1.35}{2 \cdot 3.6} \cdot 0.03 = 0.46. \quad (2.32)$$

Швидкість переміщення снігової маси вздовж осі шнека:

$$v = \frac{n_n t_n}{60} = \frac{355 \cdot 0.45}{60} = 2.66 \text{ м/с}. \quad (2.33)$$

Опір руху снігу, що передається на живильник паралельно осі:

$$P = \frac{W}{v} = \frac{Q \cdot B \cdot f_2}{2 \cdot 3.6} \cdot \frac{60}{n_n t_n}. \quad (2.34)$$

$$P = \frac{81 \cdot 1.35 \cdot 0.03}{2 \cdot 3.6} \cdot \frac{60}{355 \cdot 0.45} = 0.17 \text{ кН} \quad (2.35)$$

$$Q_1 = 90 \cdot 0.9 = 81 \text{ т/год} \quad (2.36)$$

Момент відносно осі шнека:

$$M = P \cdot \frac{d_l}{2} \cdot \tan(\alpha_1 + \varphi_1) \quad (2.37)$$

$$M = 0.17 \cdot \frac{0.225}{2} \cdot \tan(32^\circ + 19^\circ) = 0.024 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.38)$$

Кут підйому гвинтової лінії:

$$\alpha_1 = \arctan \frac{t_n}{\pi d_l} \quad (2.39)$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{0.45}{3.14 \cdot 0.225} = 32^\circ \quad (2.40)$$

Потужність на валу живильника, що витрачається на переміщення снігу:

$$N_{3n} = \frac{M\omega}{75} = \frac{Q_1 \cdot B \cdot f_2}{2 \cdot 270} \cdot \frac{\tan(\alpha_1 + \varphi_1)}{\tan \alpha_1} \quad (2.41)$$

$$Q_1 = 90 \cdot 0.9 = 81 \text{т/год} \quad (2.42)$$

2.2.4 Потужність на перемішування, перемелювання та повна потужність живильника

Складову потужності на перемішування, перемелювання та можливе ущільнення снігу приймаємо як 10 % від суми попередніх складових:

$$N_{4n} = 0.1(N_{1n} + N_{2n} + N_{3n}) \quad (2.43)$$

$$N_{4n} = 0.1(5.5 + 0.8 + 0.2) = 0.65 \text{кВт} \quad (2.44)$$

Повна потужність живильника:

$$N_n = \frac{1}{\eta_n}(N_{1n} + N_{2n} + N_{3n} + N_{4n}) \quad (2.45)$$

$$N_n = \frac{1}{0.85}(5.5 + 0.8 + 0.2 + 0.65) = 8.41 \text{кВт} \quad (2.46)$$

Для практичного порівняння використаємо емпіричну формулу:

$$N_n = 0.0055 \cdot \frac{Q_1 \cdot v_n}{\eta_n} \quad (2.47)$$

$$Q_1 = 90 \cdot 0.9 = 81 \text{т/год} \quad (2.48)$$

$$N_n = 0.0055 \cdot \frac{81 \cdot 8.36}{0.85} = 4.38 \text{кВт}. \quad (2.49)$$

З урахуванням розбіжності між уточненим та емпіричним розрахунками для приводу шнека приймаємо потужність 5.5 кВт. Для ротора приймаємо 4.0 кВт. Загальна встановлена потужність робочого органа становить близько 9.5-10 кВт, що не перевищує енергетичних можливостей платформи TinS-25G [22].

2.3 Розрахунок зубчастої передачі приводу шнекороторного робочого органа

Передача між електродвигуном та валом шнека повинна забезпечувати необхідну частоту обертання, передавати крутний момент і працювати в умовах змінного навантаження. У вихідній записці застосовано розрахунок конічної зубчастої передачі. У даній роботі його адаптовано до електричного приводу автономного шнекороторного снігоочисника.

Вихідні дані: потужність, що передається передачею $N_1 = 6.5$ кВт; частота обертання шестерні $n_1 = 355$ об/хв; передаточне число $U = 1$; навантаження змінне, з можливими короткочасними перевантаженнями при потраплянні ущільненого снігу або льоду.

Умова вибору твердості шестерні та колеса:

$$HB_u = HB_k + (20 \dots 50) \quad (2.50)$$

Для шестерні приймаємо сталь 40ХН, $HB_1 = 240$; для колеса - сталь 40ХНЛ, $HB_2 = 221$. Допустиме напруження згину для шестерні:

$$[\sigma_{F1}] = \frac{\sigma_{Flim1}}{S_F} \cdot Y_S \cdot Y_R \quad (2.51)$$

$$\sigma_{Flim1} = \sigma_{Flimb1}^0 \cdot K_{FG} \cdot K_{FL} \quad (2.52)$$

$$\sigma_{Flimb1}^0 = 1.8 HB_1 \quad (2.53)$$

$$\sigma_{Flimb1}^0 = 1.8 \cdot 240 = 432 \text{ МПа.} \quad (2.54)$$

Коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL1} = \sqrt[m]{\frac{N_{FO}}{N_{FE1}}} \quad (2.55)$$

Еквівалентна кількість циклів навантаження:

$$N_{FE1} = N_{\Sigma 1} = 60 n_1 t \quad (2.56)$$

$$N_{FE1} = 60 \cdot 355 \cdot 10000 = 2.13 \cdot 10^8 \quad (2.57)$$

Оскільки $N_{FE1} > N_{FO}$, приймаємо $K_{FL1} = 1.0$. Тоді:

$$\sigma_{Flim1} = 432 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 432 \text{ МПа.} \quad (2.58)$$

Коефіцієнт безпеки:

$$S_F = S_F' \cdot S_F'' \quad (2.59)$$

$$S_F = 1.55 \cdot 1.0 = 1.55. \quad (2.60)$$

$$[\sigma_{F1}] = \frac{432}{1.55} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 279 \text{ МПа} \quad (2.61)$$

Для зубців колеса:

$$[\sigma_{F2}] = \frac{\sigma_{Flim2}}{S_F} \cdot Y_S \cdot Y_R \quad (2.62)$$

$$\sigma_{Flim2} = \sigma_{Flimb2}^0 \cdot K_{FG} \cdot K_{FL2} \quad (2.63)$$

$$\sigma_{Flimb2}^0 = 1.8 HB_2 \quad (2.64)$$

$$\sigma_{Flimb2}^0 = 1.8 \cdot 221 = 398 \text{ МПа} \quad (2.65)$$

$$K_{FL2} = \sqrt[m]{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}} \quad (2.66)$$

$$N_{FE2} = N_{\Sigma 2} = 60 n_2 t \quad (2.67)$$

$$N_{FE2} = 60 \cdot 355 \cdot 10000 = 2.13 \cdot 10^8 \quad (2.68)$$

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{2.13 \cdot 10^8}} < 1, \text{ тому приймаємо } K_{FL2} = 1.0 \quad (2.69)$$

$$\sigma_{Flim2} = 398 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 398 \text{ МПа} \quad (2.70)$$

$$S_F = S_F' \cdot S_F'' \quad (2.71)$$

$$S_F = 1.55 \cdot 1.0 = 1.55 \quad (2.72)$$

$$[\sigma_{F2}] = \frac{398}{1.55} = 257 \text{ МПа} \quad (2.73)$$

Допустиме напруження при дії максимального навантаження для шестерні:

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{\sigma_{FlimM1}}{S_{FM1}} \cdot Y_S \quad (2.74)$$

$$\sigma_{FlimM1} = 4.8 HB_1 \quad (2.75)$$

$$\sigma_{FlimM1} = 4.8 \cdot 240 = 1152 \text{ МПа} \quad (2.76)$$

$$S_{FM1} = S_{FM1}^* \cdot S_{FM}'' \quad (2.77)$$

$$S_{FM1} = 1.75 \cdot 1.0 = 1.75. \quad (2.78)$$

$$[\sigma_{FM1}] = \frac{1152}{1.75} \cdot 1.0 = 658 \text{ МПа} \quad (2.79)$$

Для колеса:

$$[\sigma_{FM2}] = \frac{\sigma_{FlimM2}}{S_{FM2}} \cdot Y_S \quad (2.80)$$

$$\sigma_{FlimM2} = 4.8 HB_2 = 4.8 \cdot 221 = 1061 \text{ МПа} \quad (2.81)$$

$$S_{FM2} = S_{FM2}^* \cdot S_{FM}'' = 1.75 \cdot 1.0 = 1.75 \quad (2.82)$$

$$[\sigma_{FM2}] = \frac{1061}{1.75} \cdot 1.0 = 606 \text{ МПа} \quad (2.83)$$

Контактне напруження для шестерні:

$$[\sigma_{H1}] = \frac{\sigma_{Hlim1}}{S_{H1}} \cdot Z_R \cdot Z_v \quad (2.84)$$

$$\sigma_{Hlim1} = \sigma_{Hlimb1} \cdot K_{HL1} \quad (2.85)$$

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 HB_1 + 70 \quad (2.86)$$

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \cdot 240 + 70 = 550 \text{ МПа} \quad (2.87)$$

$$K_{HL1} = \sqrt[m]{\frac{N_{HO}}{N_{HE1}}} \quad (2.88)$$

$$N_{HE1} = N_{\Sigma1} = 60n_1t = 60 \cdot 355 \cdot 10000 = 2.13 \cdot 10^8 \quad (2.89)$$

$$K_{HL1} = \sqrt[24]{\frac{1.8 \cdot 10^7}{2.13 \cdot 10^8}} = 0.90 \quad (2.90)$$

$$\sigma_{Hlim1} = 550 \cdot 0.90 = 495 \text{ МПа} \quad (2.91)$$

$$[\sigma_{H1}] = \frac{495}{1.1} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 450 \text{ МПа} \quad (2.92)$$

Для колеса:

$$[\sigma_{H2}] = \frac{\sigma_{Hlim2}}{S_{H2}} \cdot Z_R \cdot Z_V \quad (2.93)$$

$$\sigma_{Hlim2} = \sigma_{Hlimb2} \cdot K_{HL2} \quad (2.94)$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 2HB_2 + 70 \quad (2.95)$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 2 \cdot 221 + 70 = 512 \text{ МПа} \quad (2.96)$$

$$K_{HL2} = \sqrt[m]{\frac{N_{HO}}{N_{HE2}}} \quad (2.97)$$

$$N_{HE2} = N_{\Sigma2} = 60n_2t = 60 \cdot 355 \cdot 10000 = 2.13 \cdot 10^8 \quad (2.98)$$

$$K_{HL2} = \sqrt[24]{\frac{1.8 \cdot 10^7}{2.13 \cdot 10^8}} = 0.90 \quad (2.99)$$

$$\sigma_{Hlim2} = 512 \cdot 0.90 = 461 \text{ МПа} \quad (2.100)$$

$$[\sigma_{H2}] = \frac{461}{1.1} = 419 \text{ МПа} \quad (2.101)$$

Допустиме контактне напруження передачі:

$$[\sigma_H] = 0.45([\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}]) \quad (2.102)$$

$$[\sigma_H] = 0.45(450 + 419) = 391 \text{ МПа} \quad (2.103)$$

Перевіряємо умову:

$$[\sigma_H] = 391 \text{ МПа} \leq 1.23 [\sigma_{H\min}] \quad (2.104)$$

$$391 \leq 1.23 \cdot 419 = 515 \text{ МПа} \quad (2.105)$$

Допустиме контактне напруження при дії максимального навантаження:

$$[\sigma_{HM1}] = 2.8 \sigma_T \quad (2.106)$$

$$[\sigma_{HM1}] = 2.8 \cdot 580 = 1624 \text{ МПа} \quad (2.107)$$

$$[\sigma_{HM2}] = 2.8 \cdot 500 = 1400 \text{ МПа} \quad (2.108)$$

Розрахунок початкового діаметра шестерні виконуємо за формулою:

$$d_{\omega 1} = \sqrt[3]{\frac{4.5 T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} (Z_H Z_M Z_\varepsilon)^2}{(1 - \psi_k) \psi_k U [\sigma_H]^2}} \quad (2.109)$$

Нормальний крутний момент:

$$T_{H1} = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{6500}{2\pi \cdot 355 / 60} = 174.8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.110)$$

Орієнтовна колова швидкість зубчастих коліс:

$$\omega = 0.0125 \sqrt{N_1 n_1^2} \quad (2.111)$$

$$\omega = 0.0125 \sqrt{6.5 \cdot 355^2} = 11.3. \quad (2.112)$$

Коефіцієнт ширини вінця:

$$\psi_k = \frac{b_\omega}{R_e} = 0.2 \dots 0.3 \quad (2.113)$$

$$\frac{\psi_k U}{2 - \psi_k} = \frac{0.25 \cdot 1}{2 - 0.25} = 0.143 \quad (2.114)$$

Коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.25}{3}} = 0.916 \quad (2.115)$$

$$d_{\omega 1} = \sqrt[3]{\frac{4.5 \cdot 174846 \cdot 1 \cdot 1.02 \cdot 1.138 (1.76 \cdot 275 \cdot 0.916)^2}{(1 - 0.25) \cdot 0.25 \cdot 1 \cdot 391^2}} = 184.3 \text{ мм} \quad (2.116)$$

Зовнішній коловий модуль:

$$m_{te} = \frac{d_{\omega 1}}{Z_1} \quad (2.117)$$

$$m_{te} = \frac{184.3}{21} = 8.78 \text{ мм.} \quad (2.118)$$

Приймаємо стандартний модуль $m_{te} = 9$ мм. Тоді:

$$d_{\omega 1} = m_{te} Z_1 = 9 \cdot 21 = 189 \text{ мм} \quad (2.119)$$

$$Z_c = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} \quad (2.120)$$

$$Z_2 = Z_1 U = 21 \cdot 1 = 21 \quad (2.121)$$

$$Z_c = \sqrt{21^2 + 21^2} = 29.7 \quad (2.122)$$

$$R_e = 0.5 m_{te} Z_c \quad (2.123)$$

$$R_e = 0.5 \cdot 9 \cdot 29.7 = 133.6 \text{ мм} \quad (2.124)$$

$$\psi_k = \frac{b_{\omega}}{R_e} \Rightarrow b_{\omega} = \psi_k R_e = 0.25 \cdot 133.6 = 33.4 \text{ мм} \quad (2.125)$$

$$33.4 \leq 10 \cdot 9 = 90 \text{ мм} \quad (2.126)$$

Середній нормальний модуль зчеплення:

$$m_n = m_{te} \left(1 - 0.5 \frac{b_{\omega}}{R_e} \right) \cos \beta_m \quad (2.127)$$

$$m_n = 9 \left(1 - 0.5 \cdot \frac{33.4}{133.6} \right) \cdot 1 = 7.87 \text{ мм.} \quad (2.128)$$

Середній початковий діаметр шестерні:

$$d_{\omega m1} = \frac{m_n Z_1}{\cos \beta_m} \quad (2.129)$$

$$d_{\omega m1} = \frac{7.87 \cdot 21}{1} = 165.3 \text{ мм} \quad (2.130)$$

Колову швидкість визначаємо за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi d_{\omega m1} n_1}{60000} \quad (2.131)$$

$$V_1 = \frac{3.14 \cdot 165.3 \cdot 355}{60000} = 3.07 \text{ м/с} \quad (2.132)$$

Уточнений початковий діаметр:

$$d'_{\omega 1} = d_{\omega 1} \sqrt{\frac{K_{Hv} Z_v^2}{K_{Hv} Z_v^2}} \quad (2.133)$$

$$d'_{\omega 1} = 165.3 \sqrt{\frac{1.21 \cdot 1.01^2}{1.136 \cdot 1^2}} = 172.5 \text{ мм} \quad (2.134)$$

$$m_{te} = \frac{d'_{\omega 1}}{Z_1} = \frac{172.5}{21} = 8.21 \text{ мм} \quad (2.135)$$

$$d_{\omega 1} = m_{te} Z_1 = 9 \cdot 21 = 189 \text{ мм} \quad (2.136)$$

Перевірочне контактне напруження:

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_E \sqrt{\frac{4.5 T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv}}{(1 - \psi_k) \psi_k d_{\omega 1}^3 u}} \quad (2.137)$$

$$\psi_k = \frac{b_{\omega}}{R_e} = 0.2 \dots 0.3 \quad (2.138)$$

$$\frac{\psi_k U}{2 - \psi_k} = \frac{0.25 \cdot 1}{2 - 0.25} = 0.143 \quad (2.139)$$

$$\sigma_H = 1.76 \cdot 275 \cdot 0.916 \sqrt{\frac{4.5 \cdot 174846 \cdot 1 \cdot 1.02 \cdot 1.138}{(1 - 0.25) \cdot 0.25 \cdot 189^3 \cdot 1}} = 168 \text{ МПа} \quad (2.140)$$

$$\sigma_{HM} = \sigma_H \sqrt{\frac{T_M}{T_1}} \quad (2.141)$$

$$\sigma_{HM} = 168\sqrt{2} = 238 \text{ МПа} < [\sigma_{HM}] = 1400 \text{ МПа}. \quad (2.142)$$

Перевірка зубців на згин:

$$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} Y_{\beta} W_{Ft}}{0.85 m_n} \leq [\sigma_{F1}] \quad (2.143)$$

$$W_{Ft} = \frac{2T_{F1}}{d_{\omega 1} b_{\omega}} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} \quad (2.144)$$

$$\frac{\psi_k U}{2 - \psi_k} = 0.143 \quad (2.145)$$

$$W_{Ft} = \frac{2 \cdot 174846}{164.85 \cdot 33.4} \cdot 1 \cdot 1.03 \cdot 1.138 = 74.4 \text{ Н/мм} \quad (2.146)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{4.63 \cdot 1.0 \cdot 74.4}{0.85 \cdot 7.87} = 51.5 \text{ МПа} \quad (2.147)$$

$$\sigma_{F1} = 51.5 \leq [\sigma_{F1}] = 279 \text{ МПа} \quad (2.148)$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 51.5 \cdot \frac{4.3}{4.63} = 47.8 \text{ МПа} \quad (2.149)$$

$$\sigma_{F2} = 47.8 \leq [\sigma_{F2}] = 257 \text{ МПа} \quad (2.150)$$

Перевірка при максимальному навантаженні:

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \sqrt{\frac{T_M}{T_1}} \leq [\sigma_{FM}] \quad (2.151)$$

$$\sigma_{FM1} = 51.5\sqrt{2} = 72.8 \leq [\sigma_{FM1}] = 658 \text{ МПа} \quad (2.152)$$

$$\sigma_{FM2} = 47.8\sqrt{2} = 67.6 \leq [\sigma_{FM2}] = 606 \text{ МПа} \quad (2.153)$$

Отже, прийнята зубчаста передача має значний запас міцності для умов роботи автономного снігоочисника. Це є доцільним, оскільки під час роботи

можливі короткочасні ударні навантаження при потраплянні у шнек льоду або ущільненого снігу.

2.4 Перевірка тягової здатності та стійкості платформи TinS-25G

Для автономної платформи важливо перевірити, чи достатньо її тягових можливостей для переміщення машини зі встановленим шнекороторним робочим органом. Сумарний опір руху визначаємо з урахуванням опору переміщенню по снігу, сил зчеплення, маси платформи та динамічної взаємодії з робочим органом [16, 17, 21].

У вихідній записці для розрахунку навантажень застосовано залежність:

$$S_p = R_x l_1 + R_y l_2 + \frac{C_p l_3}{n l_4} \quad (2.154)$$

Поздовжня складова навантаження:

$$R_x = T_{cy} + W_1 + \nu \sqrt{Cm} \quad (2.155)$$

Сила зчеплення гусеничного рушія з опорною поверхнею:

$$T_{cy} = G_c \varphi \quad (2.156)$$

Для платформи з робочим органом приймаємо масу $m_c = 650$ кг, вагу $G_c = 6.38$ кН, коефіцієнт зчеплення з ущільненим снігом $\varphi = 0.45$:

$$T_{cy} = 6.38 \cdot 0.45 = 2.87 \text{ кН.} \quad (2.157)$$

Опір руху:

$$W_1 = G_c f \quad (2.158)$$

Для коефіцієнта опору руху по снігу $f = 0.08$:

$$W_1 = 6.38 \cdot 0.08 = 0.51 \text{ кН.} \quad (2.159)$$

Розрахункова швидкість з урахуванням пробуксовування:

$$\nu = \nu_c (1 - \delta) \quad (2.160)$$

$$\nu = 0.5 (1 - 0.15) = 0.425 \text{ м/с.} \quad (2.161)$$

Приведена жорсткість системи взаємодії платформи з робочим органом:

$$C = \frac{C_M C_{\Pi}}{C_M + C_{\Pi}}. \quad (2.162)$$

$$C = \frac{108 \cdot 2500}{108 + 2500} = 103.5 \text{ кН/м.} \quad (2.163)$$

Тоді поздовжня складова нааження:

$$R_x = 2.87 + 0.51 + 0.425 \sqrt{103.5 \cdot 0.65} = 6.86 \text{ кН.} \quad (2.164)$$

Поперечна або вертикальна складова від зміщення центру мас робочого органа:

$$R_y = \frac{G_b b - G_o a}{l} \quad (2.165)$$

Для маси платформи з обладнанням 650 кг, маси переднього модуля 120 кг і бази опорної поверхні 1.55 м приймаємо:

$$R_y = \frac{6.38 \cdot 0.62 - 1.18 \cdot 0.85}{1.55} = 1.91 \text{ кН.} \quad (2.166)$$

Перевірка моменту стійкості виконується за умовою:

$$M_{\text{ст}} = G_c \cdot \frac{l}{2} \geq M_{\text{перекид}} = G_o \cdot a \quad (2.167)$$

$$M_{\text{ст}} = 6.38 \cdot 0.775 = 4.94 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{\text{перекид}} = 1.18 \cdot 0.85 = 1.00 \text{ кН} \cdot \text{м.} \quad (2.168)$$

Отже, встановлення шнекороторного снігоочисника масою до 120-150 кг на передню частину платформи не порушує стійкість TinS-25G. Корисне навантаження платформи становить 300 кг, тому прийнята маса робочого органа знаходиться в допустимих межах.

2.5 Розрахунок механізму піднімання та регулювання положення снігоочисного модуля

Для автономного снігоочисника необхідно передбачити можливість регулювання висоти робочого органа. Це потрібно для транспортування, обслуговування, роботи на різних типах покриття та захисту шнека від

контакту з перешкодами. Механізм піднімання може бути гідравлічним або електромеханічним. Оскільки TinS-25G є електричною платформою, більш раціональним є електромеханічний лінійний привод, однак у розрахунку залишаємо формули д гідроциліндра з вихідної записки, оскільки вони можуть бути використані для вибору аналога за зусиллям.

Діаметр циліндра при заданому зусиллі:

$$D_{\text{ц}} = 2 \sqrt{\frac{F_{\text{ц}} \varphi}{\pi \Delta P^2 \eta (\varphi - 1)}} \quad (2.169)$$

Для коефіцієнта запасу та співвідношення площ приймаємо:

$$\eta (\varphi - 1) = 0.95 (1.25 - 1) = 0.2375 \quad (2.170)$$

Діаметр штока:

$$d = D_{\text{ц}} \sqrt{\frac{\varphi - 1}{\varphi}}. \quad (2.171)$$

Для переднього снігоочисного модуля масою 120 кг необхідне зусилля піднімання з урахуванням запасу приймаємо $F_{\text{ц}} = 4.0$ кН. Тоді:

$$D_{\text{ц}} = 2 \sqrt{\frac{3846 \cdot 10^6}{3.14 \cdot 12.5 \cdot 10^6 \cdot 0.95}} \approx 20 \text{ мм} \quad (2.172)$$

$$d = D_{\text{ц}} \sqrt{\frac{\varphi - 1}{\varphi}} = 40 \sqrt{\frac{1.25 - 1}{1.25}} = 18 \text{ мм}. \quad (2.173)$$

Подача робочої рідини або еквівалентна продуктивність приводу для двостороннього переміщення визначається за формулою:

$$Q_{2\text{ц}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{ц}}^2 v_{\text{ц}} \frac{\varphi + 1}{\varphi \eta} \quad (2.174)$$

$$Q_{2\text{ц}} = \frac{\pi}{4} \cdot 60^2 \cdot 0.1 \frac{1.25 + 1}{1.25 \cdot 0.95} = 535. \quad (2.175)$$

Для двох виконавчих елементів:

$$Q_{2ц} = 535 \cdot 2 = 1070 \quad (2.176)$$

Для меншого діаметра циліндра:

$$Q_{2ц} = \frac{\pi}{4} D_{ц}^2 v_{ц} \frac{\varphi + 1}{\varphi \eta} \quad (2.177)$$

$$Q_{2ц} = \frac{\pi}{4} \cdot 40^2 \cdot 0.1 \frac{1.25 + 1}{1.25 \cdot 0.95} = 238 \quad (2.178)$$

Робочий об'єм насоса або еквалентна подача електромеханічного приводу:

$$V_1 = \frac{Q_{2\max}}{n_1 \eta_{v1}} \quad (2.179)$$

Частота обертання приводу:

$$n_1 = \frac{n_{\text{дв}}}{U_p} \quad (2.180)$$

$$V_1 = \frac{1308}{30 \cdot 0.98} = 46.9 \quad (2.181)$$

Діаметр трубопроводу або каналу подачі:

$$D_y = \sqrt{\frac{4Q_{\text{жс}}}{\pi v_{\text{жс}}}} \quad (2.182)$$

Для різних швидкостей руху робочої рідини:

$$D_{yв} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1380}{3.14 \cdot 0.8}} = 46 \text{ мм} \quad (2.183)$$

$$D_{yв} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1380}{3.14 \cdot 1.4}} = 35 \text{ мм} \quad (2.184)$$

$$D_{yв} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1380}{3.14 \cdot 3.5}} = 13 \text{ мм} \quad (2.185)$$

Максимальна подача насоса або еквівалентна витрата приводу:

$$Q_{1\max} = V_{1\max} n_1 \eta_{v1} \quad (2.186)$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

49

$$Q_{1\max} = 46.9 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 0.98 = 1378 \cdot 10^{-6} \quad (2.187)$$

Швидкість переміщення штока:

$$V_2 = \frac{4Q_{1\max}\eta_{v1}}{\pi D_y^2} \quad (2.188)$$

Для перевірки швидкості:

$$V_2 = \frac{4Q_{1\max}\eta_{v1}}{\pi D_y^2} \quad (2.189)$$

$$V_2 = \frac{4 \cdot 1378 \cdot 10^{-6} \cdot 0.95}{3.14 \cdot 60^2} = 0.098 \text{ м/с} \quad (2.190)$$

У розділі виконано перерахунок техніко-конструктивних параметрів шнекороторного снігоочисника для автономної гусеничної роботизованої платформи TinS-25G. На відміну від тракторного снігоочисника великої продуктивності, для роботизованої машини прийнято компактний робочий орган шириною захвату 1.35 м, розрахункову висоту снігового шару 0.15 м та робочу швидкість 0.5 м/с. Масова продуктивність становить близько 90 т/год.

Виконано перевірку пропускної здатності шнека діаметром 0.45 м і доведено, що при частоті обертання 355 об/хв шнек забезпечує транспортування снігової маси без ущільнення. Орієнтовна встановлена потужність робочого органа прийнята на рівні 9.5-10 кВт, що є сумісним із силовими можливостями платформи TinS-25G. Розраховано зубчасту передачу приводу, перевірено її контактну міцність і міцність на згин. Також виконано перевірку стійкості платформи з переднім снігоочисним модулем та розглянуто механізм піднімання робочого органа.

Отримані результати підтверджують можливість використання TinS-25G як бази для автономного шнекороторного снігоочисника за умови застосування переднього навісного модуля масою до 120-150 кг, електричного приводу робочих органів потужністю близько 10 кВт та системи регулювання висоти робочого органа.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА

Технологічний процес виготовлення вала передбачає повний виробничий маршрут: вхідний контроль металопрокату, різання заготовки, торцювання і центрування, чорнове точіння, термічне поліпшення, правка, напівчистове точіння, фрезерування пазів і шліців, нарізання різьби, чистове шліфування посадкових поверхонь, проміжний і остаточний контроль. Такий підхід зменшує ризик деформації після термообробки, забезпечує стабільність посадкових діаметрів і підвищує точність взаємного розташування поверхонь. Розрахунки виконано для вала зі сталі 40Х із максимальним оброблюваним діаметром 85 мм, заготовкою із круглого гарячекатаного прокату $\varnothing 100$ мм та довжиною 610 мм. Матеріал заготовки приймається як конструкційна легована сталь 40Х, що застосовується для деталей, які працюють при підвищених навантаженнях і потребують поєднання міцності, зносостійкості та втомної довговічності.

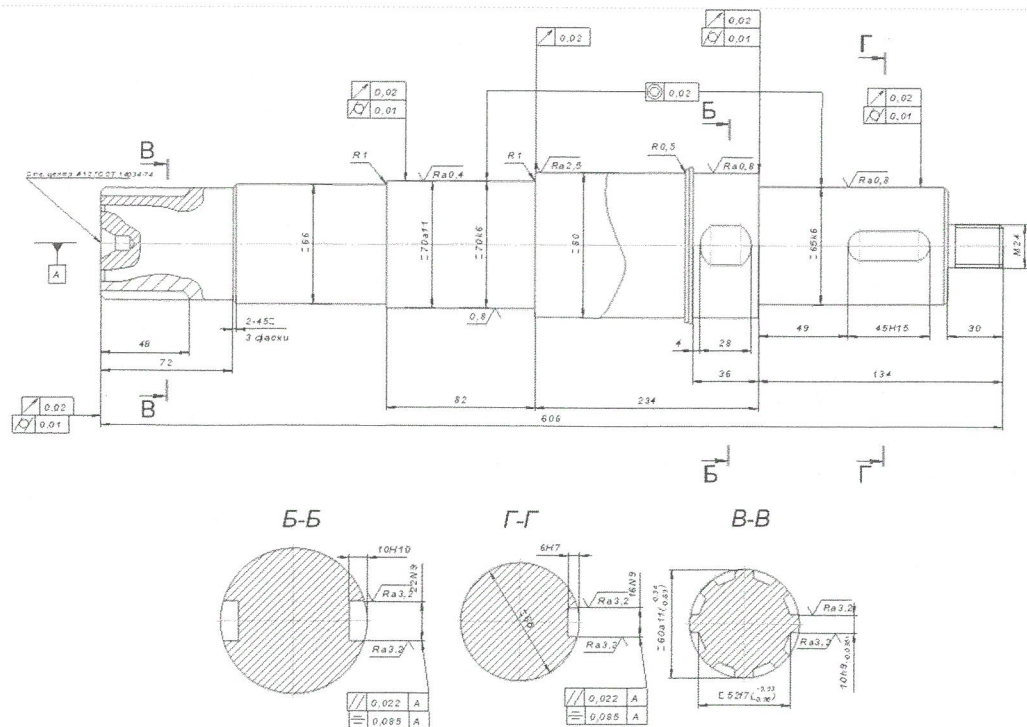


Рисунок 3.1 – Вал

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ					ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Сліпченко	Васильєв	11.06	18.06	Н	51	
Перев.	Рогозін	Васильєв	18.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник	Васильєв	18.06					
Н. контр.	Васильєв	18.06					
Затв.	Оршак	18.06					

3.1 Вихідні дані та нормативна база

Вихідні дані для розроблення технологічного процесу наведено у табл. 3.1. Остаточні значення діаметрів, довжин, канавок, різьбових та шліцьових ділянок мають уточнюватися за робочим кресленням деталі. У розрахунку прийнято, що найбільш відповідальними є посадкові шийки під підшипники та поверхні, які працюють у з'єднаннях із натягом або за перехідними посадками.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для виготовлення вала

Параметр	Прийняте значення	Нормативна основа
Матеріал деталі	Сталь 40X; за європейською системою близький аналог – 41Cr4	ДСТУ 7806:2015; ДСТУ EN 10083-3
Тип заготовки	Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий Ø100 мм	ДСТУ 4738:2007
Довжина заготовки	610 мм з урахуванням припуску на підрізання торців	Розрахунок припусків
Максимальний діаметр деталі після обробки	85 мм	Робоче креслення; ДСТУ ISO 286-1, ДСТУ ISO 286-2
Посадкові поверхні під підшипники	Остаточна обробка шліфуванням до заданого квалітету і шорсткості	ДСТУ ISO 286-1, ДСТУ EN ISO 1302
Метричні різьби	Виконуються за профілем ISO, клас допуску задається кресленням	ДСТУ ISO 261; ДСТУ ISO 965-1; ДСТУ ISO 965-2
Невказані лінійні та кутові допуски	За класом точності, прийнятим у технічних вимогах креслення	ДСТУ ISO 2768-1; ДСТУ ISO 2768-2

3.2 Вибір заготовки

Для виготовлення вала доцільно прийняти круглий гарячекатаний прокат Ø100 мм зі сталі 40Х. Така заготовка забезпечує необхідний припуск для чорнового точіння, компенсацію можливого викривлення після різання і термічної обробки, а також формування центрових отворів без зменшення корисної довжини деталі.

У порівнянні з початковим варіантом технології заготовку слід не лише відрізати від прутка, а й виконати вхідний контроль: перевірити сертифікат якості металу, марку сталі, діаметр прокату, зовнішні дефекти, кривизну прутка, стан поверхні та відповідність партії вимогам технічного завдання. Для відповідальних валів додатково доцільно передбачити контроль твердості після термообробки та вибірковий ультразвуковий або капілярний контроль за вимогами підприємства.

$$L_z = L_d + 2\Delta t + \Delta p \quad (3.1)$$

де L_z – довжина заготовки; L_d – довжина деталі за кресленням; Δt – припуск на підрізання одного торця; Δp – додатковий припуск на різання та центрування. Для заданого вала приймаємо $L_z = 610$ мм.

3.3 Уточнення припусків на механічну обробку

Припуски приймаються з урахуванням виду заготовки, точності прокату, жорсткості технологічної системи, необхідності термообробки та вимог до кінцевої шорсткості. Для поверхні Ø85 мм загальний діаметральний припуск при заготовці Ø100 мм становить 15 мм, тобто 7,5 мм на сторону. Розподіл припусків між чорною, напівчистою, чистою та шліфувальною обробкою наведено в табл. 3.2.

$$Z_{\Sigma} = D_z - D_{\partial} \quad (3.2)$$

$$Z_{cm} = (D_z - D_{\partial}) / 2 \quad (3.3)$$

де $Z\Sigma$ – загальний діаметральний припуск; $Z_{ст}$ – припуск на сторону; $D_з$ – діаметр заготовки; $D_д$ – кінцевий діаметр деталі.

$$Z\Sigma = 100 - 85 = 15 \text{ мм}; \quad Z_{ст} = 7,5 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2 – Розподіл припусків для поверхні $\varnothing 85$ мм

Етап обробки		Розмір після етапу, мм	Діаметральний припуск, мм	Припуск на сторону, мм	Призначення етапу
Заготовка		100,0	–	–	Гарячекатаний прокат
Після чорнового точіння		88,5	11,5	5,75	Зняття основного шару металу, вирівнювання поверхні
Після напівчистового точіння		85,8	2,7	1,35	Підготовка до чистової обробки та шліфування
Після чистового точіння		85,3	0,5	0,25	Формування базових і перехідних поверхонь
Після шліфування		85,0	0,3	0,15	Остаточна точність і шорсткість посадкової поверхні

3.4 Маршрут виготовлення вала

Маршрут обробки (таблиця 3.3) побудовано так, щоб спочатку сформувати надійні технологічні бази, потім зняти основний припуск, провести термообробку, після цього виконати напівчистову і чистову обробку відповідальних поверхонь. Фрезерування пазів і шліців доцільно виконувати після напівчистового точіння, коли базові діаметри вже достатньо точні, але до остаточного шліфування, щоб не пошкодити готові посадкові шийки.

Таблиця 3.3 – Маршрут виготовлення вала

№ операції	Назва операції	Обладнання	Базування	Основний зміст	Контроль
005	Вхідний контроль заготовки	Стіл контролю, штангенінструмент	За зовнішньою поверхню прутка	Перевірка сертифіката, марки сталі, Ø100 мм, кривизни, дефектів поверхні	Протокол вхідного контролю
010	Відрізання заготовки	Стрічкопильний або дисково-відрізний верстат	У призмі або лещатах	Відрізання $L_3 = 610$ мм з припуском на торці	Довжина, перпендикулярність різь
015	Торцювання і центрування	Токарний верстат / центrorізний верстат	У патроні з підтримкою заднім центром	Підрізання торців, свердління центрових отворів	L, стан центрів
020	Чорнове точіння	Токарний верстат з ЧПК або універсальний токарний	У центрах із повідковим патроном	Проточування зовнішніх поверхонь до Ø88,5 мм, зняття окалини	Діаметри, биття, припуск
025	Термічне поліпшення	Термічна піч, ванна охолодження	Партійне завантаження	Гартування і високий відпуск за режимом для сталі 40Х	Твердість, викривлення
030	Правка після термообробки	Прес або правочний пристрій	У призмах	Усунення кривизни, підготовка до чистової обробки	Радіальне биття

Продовження таблиці 3.3 – Маршрут виготовлення вала

03 5	Напівчистове точіння	Токарний верстат	У центрах	Доведення шийок до Ø85,8 мм, формування уступів і канавок	Розміри, співвідношення
04 0	Фрезерування шпоночних пазів	Вертикально- фрезерний або шпоноково- фрезерний верстат	За центровим и отворами або у призмах	Обробка пазів за кресленням	Ширина, глибина, розташування
04 5	Фрезерування шліців	Шліцефрезерний / горизонтально- фрезерний верстат	У центрах, ділильна головка	Нарізання 8 шліців довжиною 48 мм	Крок, профіль, биття
05 0	Нарізання різьби	Токарний верстат або різьбонарізна головка	У центрах або патроні	Нарізання метричної різьби за ISO- профілем	Калібр- кільце, профіль
05 5	Чистове точіння	Токарний верстат	У центрах	Доведення не шліфованих поверхонь, зняття фасок	Розміри, шорсткість
06 0	Шліфування посадкових шийок	Круглошліфувальний верстат	У центрах	Остаточне доведення посадкових поверхонь до креслення	Мікрометр, індикатор, Ra
06 5	Остаточний контроль і консервація	ВТК, контрольна плита	На призмах і в центрах	Контроль розмірів, биття, шорсткості , різьби, шліців; маркування і змащення	Карта контролю

3.5 Розрахунок режимів різання для чорнового точіння

Чорнове точіння виконується твердосплавним різцем із механічним кріпленням пластини. Для сталі 40X після прокату доцільно приймати помірні режими різання, які забезпечують стабільне зняття припуску без перевантаження верстата. Початковий розрахунок уточнено з урахуванням того, що глибина різання задається на сторону.

$$t = (D_3 - D_1) / 2 \quad (3.5)$$

$$t = (100 - 88,5) / 2 = 5,75 \text{ мм} \quad (3.6)$$

За умовами жорсткості системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» припуск доцільно знімати за два проходи: перший прохід $t_1 = 3,0$ мм, другий прохід $t_2 = 2,75$ мм. Подача для чорнового точіння приймається $S = 0,6 \dots 0,8$ мм/об; для розрахунку прийнято $S = 0,70$ мм/об. Швидкість різання для твердосплавного інструмента при обробці сталі 40X прийнято $V = 60$ м/хв.

$$n = 1000V / (\pi D) \quad (3.7)$$

$$n = (1000 \cdot 60) / (3,14 \cdot 100) = 191 \text{ об / хв} \quad (3.8)$$

За паспортом верстата приймається найближче нижче або рівне значення $n = 190$ об/хв. Дійсна швидкість різання при цьому становитиме:

$$V_o = \pi Dn / 1000 \quad (3.9)$$

$$V_o = (3,14 \cdot 100 \cdot 190) / 1000 = 59,7 \text{ м / хв} \quad (3.10)$$

Основний час чорнового точіння визначається за довжиною робочого ходу з урахуванням врізання і перебігу інструмента. Для заготовки $L = 610$ мм приймаємо довжину обробки з підходами $L_p = 618$ мм. Кількість проходів $i = 2$.

$$T_{0ч} = (L_p \cdot i) / (n \cdot S) \quad (3.11)$$

$$T_{0ч} = (618 \cdot 2) / (190 \cdot 0,70) = 9,29 \text{ хв} \quad (3.12)$$

Допоміжний час для встановлення, зміни проходу, вимірювання та зняття деталі приймається 20 % від основного часу, оскільки процес містить переустановлення і проміжний контроль.

$$T_{\text{итч}} = T_{0ч} + T_{\text{дон}} = T_{0ч} \cdot 1,20 \quad (3.13)$$

$$T_{\text{итч}} = 9,29 \cdot 1,20 = 11,15 \text{ хв} \quad (3.14)$$

3.6 Розрахунок режимів інших операцій

Для операцій, які виконуються після чорнового точіння, основний час визначається за загальними машинобудівними залежностями. Розрахункові значення мають уточнюватися під конкретне обладнання, інструмент, систему охолодження та вимоги креслення. Нижче наведено уточнений варіант, придатний для маршрутної технології.

3.6.1 Відрізання заготовки

Відрізання доцільно виконувати стрічкопильним верстатом, оскільки він забезпечує меншу ширину пропилу, нижчі втрати металу і стабільнішу перпендикулярність торця порівняно з дисковою пилою для одиничного та дрібносерійного виробництва.

$$T_{0с} = D / S_{хв} \quad (3.15)$$

$$T_{0с} = 100 / 18 = 5,56 \text{ хв} \quad (3.16)$$

де $D = 100$ мм – діаметр прокату; $S_{хв} = 18$ мм/хв – прийнята хвилинна подача пилки для легованої сталі. З урахуванням допоміжного часу 40 %:

$$T_{\text{итс}} = 5,56 \cdot 1,40 = 7,78 \text{ хв} \quad (3.17)$$

3.6.2 Підрізання торців і центрування

Підрізання торців виконується перед обробкою в центрах. Центрові отвори є основною технологічною базою для забезпечення співвісності всіх наступних операцій.

$$T_{0m} = \pi D^2 / (4000VS) \quad (3.18)$$

$$T_{0m} = (3,14 \cdot 100^2) / (4000 \cdot 70 \cdot 0,41) = 0,27 \text{ хв на один торець} \quad (3.19)$$

Для двох торців з урахуванням центрування приймаємо $T_{0T} = 0,80$ хв, а штучний час $T_{штT} = 1,20$ хв.

3.6.3 Напівчистове і чистове точіння

Напівчистове точіння виконується після правки заготовки після термічної обробки. На цій операції залишають припуск $0,25 \dots 0,40$ мм на діаметр під шліфування відповідальних шийок. Для поверхонь, які не шліфуються, чистове точіння виконується до розміру за кресленням із контролем шорсткості за ДСТУ EN ISO 1302:2018.

$$T_{0нч} = (L_p \cdot i) / (n \cdot S) \quad (3.20)$$

$$T_{0нч} = (618 \cdot 1) / (315 \cdot 0,35) = 5,61 \text{ хв} \quad (3.21)$$

$$T_{штнч} = 5,61 \cdot 1,20 = 6,73 \text{ хв} \quad (3.22)$$

3.6.4 Нарізання різьби

Метричну різьбу слід задавати за ДСТУ ISO 261 і системою допусків ДСТУ ISO 965-1, ДСТУ ISO 965-2. У технологічній карті потрібно вказувати не лише номінальний діаметр і крок, але й клас допуску, наприклад $M24 \times 2 - 6g$ для зовнішньої різьби, якщо це відповідає кресленню.

$$T_{0p} = (L_p \cdot i) / (n \cdot P) \quad (3.23)$$

$$T_{0p} = (34 \cdot 8) / (90 \cdot 2) = 1,51 \text{ хв} \quad (3.24)$$

де $L_p = 34$ мм – довжина робочого ходу з підходом; $i = 8$ – кількість проходів різця; $P = 2$ мм – крок різьби. З урахуванням допоміжного часу $T_{штр} = 2,11$ хв.

3.6.5 Фрезерування шліців

Шліци доцільно фрезерувати після напівчистового точіння. Для забезпечення рівномірності кроку застосовується ділильна головка або шліцефрезерний верстат. Після фрезерування обов'язковий контроль профілю, ширини западини, биття відносно базових центрів і задирок.

$$T_{0шл} = (L_p \cdot z) / S_{хв} \quad (3.25)$$

$$T_{0шл} = (58 \cdot 8) / 160 = 2,90 \text{ хв} \quad (3.26)$$

де $L_p = 58$ мм – довжина ходу фрези з підходом; $z = 8$ – кількість шліців; $S_{хв} = 160$ мм/хв – хвилинна подача. Штучний час з допоміжним часом 50 % становить $T_{штшл} = 4,35$ хв.

3.6.6 Фрезерування шпоночних пазів

Шпоночні пази виконуються шпонковою фрезою за один або декілька проходів залежно від ширини паза. Для уникнення зміщення осі паза вал базується у призмах або в центрах із додатковою фіксацією кутового положення.

$$T_{0шп} = \sum (L_i / S_{хв}) \quad (3.27)$$

$$T_{0шп} = (42 + 26 + 26) / 170 = 0,55 \text{ хв} \quad (3.28)$$

З урахуванням допоміжного часу 50 %: $T_{штшп} = 0,83$ хв.

3.6.7 Шліфування посадкових поверхонь

Шліфування є завершальною операцією для шийок під підшипники та інших високоточних посадкових поверхонь. Воно виконується після фрезерування пазів і шліців, щоб запобігти пошкодженню остаточно оброблених діаметрів під час попередніх операцій.

$$T_{0ш} = \sum (L_i \cdot a \cdot i / S_{хв}) \quad (3.29)$$

$$T_{0ш} = ((170 + 57 + 82) \cdot 1,5 \cdot 3) / 1070 = 1,30 \text{ хв} \quad (3.30)$$

де L_i – довжини шліфованих ділянок; $a = 1,5$ – коефіцієнт на врізання та вихід; $i = 3$ – число робочих проходів; $S_{хв} = 1070$ мм/хв – поздовжня подача. Штучний час з урахуванням допоміжного часу 50 % становить $T_{штш} = 1,95$ хв.

3.7 Розрахунок сумарного штучного часу

Сумарний штучний час визначається як сума часу на основні технологічні операції. Контрольні, транспортні та підготовчо-завершальні роботи можуть враховуватись окремими нормативами підприємства. Для порівняння з початковим варіантом у табл. 3.4 наведено структуру часу.

$$T_{шт} = \sum T_{штi} \quad (3.31)$$

$$T_{шт} = 7,78 + 1,20 + 11,15 + 4,00 + 6,73 + 2,11 + 4,35 + 0,83 + 1,95 + 3,00 = 43,10 \text{ хв} \quad (3.32)$$

Отримане значення відповідає прийнятому технологічному процесу, оскільки враховує термічне поліпшення, правку, остаточний контроль, центрування та необхідність збереження баз при чистовій обробці. Для серійного виробництва час може бути зменшений за рахунок застосування верстатів з ЧПК, групових наладок, комбінованих інструментів, попереднього різання заготовок партіями та механізованого контролю.

Таблиця 3.4 – Орієнтовний штучний час виготовлення вала за прийнятим маршрутом

Операція	Основний час, хв	Коефіцієнт допоміжного часу	Штучний час, хв
Відрізання заготовки	5,56	1,40	7,78
Підрізання торців і центрування	0,80	1,50	1,20
Чорнове точіння	9,29	1,20	11,15
Термічне поліпшення та правка	—	партійна операція	4,00
Напівчистове і чистове точіння	5,61	1,20	6,73
Нарізання різьби	1,51	1,40	2,11
Фрезерування шліців	2,90	1,50	4,35
Фрезерування шпоночних пазів	0,55	1,50	0,83
Шліфування посадкових поверхонь	1,30	1,50	1,95
Остаточний контроль, зняття задинок, консервація	—	нормативно	3,00

3.8 Контроль якості та технічні вимоги

Контроль якості слід виконувати поетапно (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Контроль якості під час виготовлення вала

Контрольован ий параметр	Метод контролю	Засіб контролю	Періодичніс ть	Норматив на основа
Діаметр заготовки Ø100 мм	Вимірювання у двох взаємно перпендикуляр них напрямках	Штангенциркуль , мікрометр	Кожна заготовка	ДСТУ 4738:2007
Марка сталі 40Х	Перевірка сертифіката, за потреби спектральний аналіз	Сертифікат якості, аналізатор	Кожна партія	ДСТУ 7806:2015
Посадкові діаметри	Вимірювання у кількох перерізах	Мікрометр, калібр-скоба	Кожна деталь	ДСТУ ISO 286-1, ДСТУ ISO 286-2
Шорсткість поверхні	Порівняння з еталоном або вимірювання профілометром	Профілометр	Відповідаль ні поверхні	ДСТУ EN ISO 1302:2018
Радіальне биття	Прокатування в центрах або призмах	Індикатор годинникового типу	Кожна деталь	ISO 1101 / ДСТУ ISO за наявності
Метрична різьба	Контроль профілю і проходження	Калібр-кільце, різьбомір	Кожна деталь	ДСТУ ISO 261; ДСТУ ISO 965-1; ДСТУ ISO 965-2
Шпоночні пази і шліци	Контроль ширини, глибини, кутового розташування	Штангенінструм ент, шаблон, індикатор	Кожна деталь	Вимоги креслення, ISO/DIN для профілю за потреби

Після відрізання перевіряється довжина заготовки і відсутність значних дефектів торця. Після чорнового точіння контролюється рівномірність припуску. Після термообробки обов'язково перевіряються твердість і кривизна. Після напівчистового точіння контролюється співвісність шийок, а після шліфування – остаточні посадкові діаметри, шорсткість, радіальне биття та довжини уступів.

3.9 Висновки до розділу

Технологічний процес виготовлення вала передбачає раціональну послідовність операцій із формуванням центрових баз, розподілом припусків між чорною, напівчистою, чистою та шліфувальною обробкою, а також включенням термічного поліпшення і правки. Це дає змогу забезпечити стабільність посадкових поверхонь, зменшити ризик відхилень співвісності та підвищити якість деталі.

Орієнтовний штучний час виготовлення одного вала за прийнятим маршрутом становить 43,10 хв. Це значення може бути скориговане після вибору конкретного обладнання, інструменту, способу закріплення, розміру партії та фактичних режимів різання.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації автономного шнекороторного снігоочисника

Автономний шнекороторний снігоочисник на базі гусеничної роботизованої платформи TinS-25G належить до мобільних машин підвищеної небезпеки, оскільки поєднує в собі самохідну ходову частину, електричну систему живлення, акумуляторну батарею, систему дистанційного або автономного керування, а також активний шнекороторний робочий орган. Під час роботи така машина взаємодіє зі сніговим покривом, рухається по слизькій або нерівній поверхні та може працювати в умовах низьких температур, обмеженої видимості й наявності перешкод.

Основними небезпечними факторами під час експлуатації автономного шнекороторного снігоочисника є:

- обертання шнека і ротора з високою частотою, що створює небезпеку травмування у разі потрапляння рук, одягу, інструменту або сторонніх предметів у робочу зону;
- викидання снігу, льоду, дрібного каміння або інших твердих частинок через викидний патрубок;
- можливість наїзду гусеничної платформи на людину, тварину, елементи благоустрою або інші перешкоди;
- пробуксовування або неконтрольоване зміщення машини на слизьких поверхнях;
- перекидання або втрата стійкості під час руху по ухилах, бордюрах, нерівностях чи під час різкої зміни напрямку руху;
- ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, проникнення вологи до електричних з'єднань або неправильного обслуговування акумуляторної системи;

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Сліпченко	Васильєв	18.06	
Перев.	Васильєв	Васильєв	18.06	
Керівник				
Н. контр.	Васильєв	Васильєв	18.06	
Затв.	Отисенко	Отисенко	19.06	

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

БЕЗПЕКА
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Лім.	Лист	Листів
Н	65	
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

- перегрів електродвигунів, контролерів, силових кабелів або акумуляторної батареї;
- виникнення пожежі внаслідок короткого замикання, пошкодження акумулятора, неправильного заряджання або потрапляння вологи до електронних блоків;
- зниження працездатності датчиків, камер і системи керування в умовах снігопаду, обмерзання, забруднення або низької освітленості.

До шкідливих факторів можна віднести шум від роботи шнекороторного механізму, вібрації, вплив низької температури на обслуговуючий персонал, контакт із вологою, льодом і реагентами, а також підвищене фізичне навантаження під час монтажу, очищення або технічного обслуговування машини. Незважаючи на автономний характер роботи, повністю виключити участь людини неможливо, оскільки оператор виконує налаштування маршруту, контроль технічного стану, заряджання, очищення робочих органів, огляд і ремонт.

Особливу небезпеку становить зона перед робочим органом, де відбувається захоплення снігу шнеком. У цій зоні не повинні перебувати люди, тварини, кабелі, інструменти, гнучкі предмети або тверді включення. У разі потрапляння стороннього предмета можливе заклинювання шнека, руйнування зрізних елементів, пошкодження приводу або неконтрольоване викидання частинок через патрубок.

Під час автономного руху важливе значення має надійність системи виявлення перешкод. Камери, датчики та система керування повинні забезпечувати своєчасне розпізнавання людей, транспортних засобів, бордюрів, сходів, дерев, огорож, відкритих люків та інших небезпечних об'єктів. У разі втрати зв'язку, зниження заряду батареї, перевантаження приводу або відмови датчиків машина повинна переходити в безпечний режим із зупинкою руху і робочого органу.

Таким чином, безпечна експлуатація автономного шнекороторного снігоочисника потребує комплексного врахування механічних, електричних, пожежних, кліматичних та організаційних факторів. Основним принципом забезпечення безпеки є недопущення контакту людини з рухомими частинами, контроль робочої зони, справність системи аварійної зупинки та регулярне технічне обслуговування.

4.2 Вимоги безпеки до конструкції шнекороторного снігоочисника та платформи TinS-25G

Конструкція автономного шнекороторного снігоочисника повинна забезпечувати безпечну роботу як у дистанційному, так і в автономному режимі. Оскільки базою машини є гусенична платформа TinS-25G, до неї висуваються вимоги щодо стійкості, керованості, захисту електроніки, надійності ходової частини та безпечного встановлення навісного снігоочисного обладнання.

Шнекороторний робочий орган повинен мати міцний захисний кожух, який закриває зону обертання шнека і ротора та запобігає випадковому контакту оператора з рухомими елементами. Відкритими можуть залишатися лише ті частини, які безпосередньо контактують зі сніговим покривом. Бокові частини кожуха мають бути виконані з достатньою жорсткістю, оскільки вони сприймають навантаження від снігу, можливих ударів об нерівності та випадкового потрапляння твердих включень.

Викидний патрубок повинен мати можливість регулювання напрямку викидання снігу. Його положення необхідно встановлювати так, щоб сніг, лід або сторонні частинки не спрямовувалися в бік людей, вікон, автомобілів, електрообладнання, повітрозабірників платформи або елементів керування. Конструкція патрубку повинна виключати самовільну зміну напрямку під дією вібрацій або реактивного зусилля снігового потоку.

Для запобігання пошкодженню приводу у конструкції снігоочисника доцільно передбачити запобіжні елементи: зрізні пальці, муфти перевантаження

або електронний захист двигуна за струмом. У разі заклинювання шнека або ротора привід повинен автоматично вимикатися. Повторний запуск дозволяється лише після повної зупинки робочого органу, вимкнення живлення та видалення причини заклинювання.

Кріплення снігоочисного модуля до платформи TinS-25G повинно бути розраховане на дію робочих і динамічних навантажень. Під час роботи шнекороторний модуль сприймає опір снігу, ударні навантаження від нерівностей, вагу власної конструкції та реактивні сили від викидання снігу. Тому кронштейни, рама і болтові з'єднання повинні мати достатній запас міцності. Ослаблення кріплень під час експлуатації недопустиме, оскільки це може призвести до перекосу робочого органу, підвищених вібрацій або руйнування вузлів.

Переднє розташування снігоочисника змінює розподіл маси машини. Тому під час компонування необхідно забезпечити стійкість платформи, недопущення надмірного навантаження на передню частину гусеничного рушія та збереження керованості. Центр мас машини з навісним обладнанням повинен залишатися в межах опорного контуру гусениць. Для роботи на ухилах необхідно обмежувати швидкість руху та уникати різких поворотів.

Платформа TinS-25G повинна бути обладнана системою аварійної зупинки. Кнопка аварійного вимкнення має бути помітною, легкодоступною і розташованою так, щоб оператор міг швидко зупинити машину у небезпечній ситуації. У разі натискання аварійної кнопки повинні одночасно зупинятися рух платформи, привід шнека, ротор і система викидання снігу.

Для роботи в автономному режимі необхідно передбачити програмні обмеження робочої зони. Перед початком експлуатації оператор повинен задати межі території, дозволені маршрути руху та заборонені зони. До заборонених зон належать ділянки біля сходів, відкритих люків, водойм, кабельних ліній, скляних фасадів, припаркованих автомобілів, місць перебування людей та інших небезпечних об'єктів.

Система керування повинна забезпечувати плавний пуск і зупинку ходової частини та робочого органу. Різкий пуск шнека або ротора може спричинити ударні навантаження в передачах, пробуксовування гусениць або викидання снігу в небажаному напрямку. Плавне регулювання швидкості руху дає змогу узгодити продуктивність снігоочисника з висотою і щільністю снігового шару.

Для підвищення безпеки на корпусі машини необхідно передбачити попереджувальні написи та піктограми: «Небезпека обертання шнека», «Не наближатися до робочого органу», «Вимкнути живлення перед обслуговуванням», «Небезпека ураження електричним струмом», «Не спрямовувати патрубок у бік людей». У темний час доби повинні використовуватися фари, сигнальні ліхтарі або пробліскові маячки.

Перед кожним запуском необхідно виконувати зовнішній огляд машини: перевірити стан гусениць, кріплення робочого органу, відсутність сторонніх предметів у шнеку і патрубку, цілісність кабелів, рівень заряду батареї, справність камер, датчиків і кнопки аварійної зупинки. Після завершення роботи машину слід очистити від снігу та льоду, висушити доступні електричні з'єднання, перевірити відсутність механічних пошкоджень і поставити на заряджання у безпечному місці.

4.3 Електробезпека та безпечна експлуатація акумуляторної системи

Автономна гусенична платформа TinS-25G використовує електричний привід, тому питання електробезпеки є одним із ключових під час її експлуатації. Електрична система машини включає акумуляторну батарею, силові кабелі, контролери електродвигунів, електроприводи гусениць, привід шнекороторного робочого органу, зарядний пристрій, датчики, камери та систему керування.

Основними небезпеками електричної системи є ураження електричним струмом, коротке замикання, перегрів кабелів, пошкодження ізоляції, іскроутворення, займання акумуляторної батареї та відмова електроніки

внаслідок потрапляння вологи. Робота в умовах снігу і низьких температур підвищує вимоги до герметичності електричних з'єднань, якості ізоляції та захисту електронних блоків.

Усі силові кабелі повинні мати надійну ізоляцію, відповідний переріз і захист від механічного пошкодження. Кабелі не повинні торкатися рухомих частин, гострих кромek, гарячих поверхонь або зон, де можливе накопичення льоду. Місця проходу кабелів через корпус повинні мати захисні втулки або герметичні вводи.

Акумуляторна батарея повинна бути надійно закріплена у відсіку платформи. Її переміщення під час руху, ударів або різких поворотів недопустиме. Кріплення батареї повинно витримувати динамічні навантаження, які виникають під час руху по нерівній засніженій поверхні. Відсік батареї має бути захищений від потрапляння снігу, води, бруду та реагентів.

Заряджання акумуляторної батареї необхідно виконувати лише штатним зарядним пристроєм або зарядною станцією, рекомендованою для відповідної платформи. Забороняється заряджати батарею при пошкодженому корпусі, наявності запаху гару, слідів перегріву, деформації, здуття, потрапляння води або механічних пошкоджень. Під час заряджання машина повинна перебувати у сухому провітрюваному приміщенні або на спеціально обладнаному місці.

Не допускається самовільне розбирання акумуляторного блока, замикання його контактів, підключення нештатних споживачів або використання пошкоджених кабелів. Технічне обслуговування електричної системи необхідно виконувати лише після повного вимкнення живлення, зупинки робочого органу та від'єднання акумуляторної батареї, якщо це передбачено конструкцією.

Для захисту електричної системи доцільно передбачити запобіжники, автоматичні вимикачі, систему контролю струму, датчики температури акумулятора і контролерів, а також програмне обмеження потужності приводу. У разі перевантаження, перегріву або короткого замикання система повинна

автоматично вимикати відповідний ланцюг і не допускати повторного запуску до усунення несправності.

Під час роботи за низьких температур слід враховувати зменшення ємності акумуляторної батареї та можливе зниження ефективності її заряджання. Перед початком роботи необхідно перевіряти рівень заряду і не допускати повного глибокого розряду. Якщо конструкцією передбачено підігрів акумулятора, він повинен працювати в автоматичному режимі та мати захист від перегріву.

Оператор повинен контролювати стан електричної системи за показниками дисплея, мобільного додатка або пульта керування. При появі повідомлень про перегрів, перевантаження, низький заряд, помилку зв'язку або несправність датчиків роботу необхідно припинити. Продовження експлуатації машини з електричною несправністю може призвести до пошкодження обладнання або створити небезпечну ситуацію.

4.4 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека автономного шнекороторного снігоочисника пов'язана насамперед з акумуляторною батареєю, силовою електронікою, електродвигунами, зарядним пристроєм і можливістю короткого замикання. Додатковими факторами є потрапляння вологи до електричних з'єднань, механічне пошкодження кабелів, перегрів приводів під час заклинювання шнека або ротора, а також неправильне зберігання і заряджання батареї.

Для зниження пожежної небезпеки необхідно регулярно перевіряти стан силових кабелів, роз'ємів, корпусу акумулятора, електродвигунів і контролерів. Не допускається експлуатація машини з пошкодженою ізоляцією, оплавленими контактами, слідами перегріву, запахом гару або нестабільною роботою електроприводу. У разі виявлення таких ознак машину необхідно негайно зупинити, вимкнути живлення і провести технічний огляд.

Особливу увагу слід приділяти процесу заряджання. Заряджання акумуляторної батареї повинно здійснюватися на негорючій поверхні, на

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

71

відстані від легкозаймистих матеріалів, пального, мастил, деревини, паперу та текстильних матеріалів. Місце заряджання має бути обладнане засобами пожежогасіння, а також забезпечувати можливість швидкого відключення живлення.

Після роботи снігоочисник необхідно очистити від снігу, льоду і забруднень. Накопичення снігу біля електричних роз'ємів, вентиляційних отворів, повітрозабірників і корпусу акумулятора може призвести до потрапляння вологи всередину електронних блоків після танення. Тому перед постановкою на заряджання машину слід оглянути і за потреби просушити.

Забороняється залишати машину на заряджанні без контролю у приміщеннях, де відсутні засоби пожежогасіння або є легкозаймисті матеріали. Також не допускається використання саморобних зарядних пристроїв, подовжувачів із пошкодженою ізоляцією, нештатних перехідників або заряджання від електромережі з ознаками несправності.

Для пожежної безпеки доцільно передбачити такі технічні рішення:

- автоматичний захист від короткого замикання і перевантаження;
- температурний контроль акумуляторної батареї, електродвигунів і контролерів;
- захист електричних блоків від вологи і снігу;
- використання негорючих або важкогорючих матеріалів у зонах розташування силової електроніки;
- наявність вентиляційних каналів для відведення тепла;
- можливість швидкого аварійного вимкнення живлення;
- візуальну індикацію несправностей і перегріву.

У місці експлуатації або зберігання машини необхідно мати первинні засоби пожежогасіння. Для електрообладнання доцільно застосовувати вогнегасники, придатні для гасіння електроустановок. Обслуговуючий персонал повинен знати порядок дій у разі займання: зупинити машину,

відключити живлення, за можливості від'єднати зарядний пристрій, евакуювати людей із небезпечної зони і застосувати відповідний засіб пожежогасіння.

Під час виникнення задимлення, іскріння, характерного запаху електроізоляції або нагрівання акумуляторного відсіку роботу необхідно негайно припинити. Повторне використання машини допускається лише після виявлення та усунення причини несправності.

4.5 Висновки до розділу

У розділі розглянуто основні питання безпеки життєдіяльності під час експлуатації автономного шнекороторного снігоочисника на базі гусеничної роботизованої платформи TinS-25G. Встановлено, що найбільш небезпечними факторами є обертання шнекороторного робочого органу, можливість викидання твердих частинок разом зі снігом, рух гусеничної платформи, електрична система живлення, акумуляторна батарея та ризик пожежі внаслідок короткого замикання або перегріву.

Для зниження ризиків запропоновано передбачити захисний кожух шнека і ротора, регульований викидний патрубок, систему аварійної зупинки, захист приводу від перевантаження, надійне кріплення снігоочисного модуля до платформи, програмне обмеження робочої зони, сигнальні елементи та попереджувальні написи. Особливу увагу приділено електробезпеці, справності акумуляторної системи, захисту кабелів, контролю температури та правильному заряджанню батареї.

Висновки

У бакалаврській роботі виконано аналіз сучасних конструкцій снігоочисних машин, шнекороторних робочих органів та автономних гусеничних роботизованих платформ. Обґрунтовано доцільність застосування гусеничної платформи TinS-25G як базової машини для створення автономного шнекороторного снігоочисника. Встановлено, що гусеничний рушій забезпечує підвищену прохідність, стійкість і тягову здатність на засніжених та слизьких поверхнях, а шнекороторний робочий орган є ефективним для захоплення, транспортування і відкидання снігової маси.

Розраховано основні техніко-конструктивні параметри шнекороторного снігоочисника з урахуванням габаритів, вантажопідйомності та енергетичних можливостей автономної платформи TinS-25G. Визначено параметри робочого органу, продуктивність, швидкість руху, умови роботи шнека, потужність приводу живильника та ротора, а також виконано узгодження снігоочисного обладнання з можливостями базової гусеничної платформи. Запропоноване технічне рішення дозволяє забезпечити очищення смуги руху машини та створює передумови для автономного або дистанційного виконання робочого процесу.

Розроблено технологічний процес виготовлення вала шнекороторного робочого органу із застосуванням сучасної нормативної бази ДСТУ та ISO, визначено маршрут механічної обробки, припуски, режими різання, контроль якості та орієнтовний штучний час виготовлення. Також розглянуто питання безпеки життєдіяльності під час експлуатації автономного снігоочисника, зокрема небезпечні фактори, вимоги до конструкції, електробезпеку, безпечну експлуатацію акумуляторної системи та заходи пожежної безпеки.

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Висновки	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Сліпченко			18.06		Н		
Перев.	Васильєв			18.06				
Керівн.								
Н. контр.	Васильєв			18.06				
Затв.	Орисенко			19.06			Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	

Запропоновані рішення підвищують надійність, безпечність і практичну придатність автономного шнекороторного снігоочисника для зимового утримання територій.

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Список літератури

1. Сукач М. К. Будівельні машини і обладнання : підручник. Київ : Ліра-К, 2020. 390 с.
2. Сукач М. К., Горбатюк Є. В., Марченко О. А. Синтез землерийної і дорожньої техніки : підручник. Київ : Ліра-К, 2017. 376 с.
3. Онищенко О. Г., Онищенко В. О., Литвиненко С. Л., Коробко Б. О. Будівельна техніка : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Кондор-Видавництво, 2017. 424 с.
4. Кузенко Л. М., Кузенко Д. В., Вантух З. З., Панюра Я. Й. Дорожньо-будівельні машини : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2021. 236 с.
5. How An Autonomous Snow Blower Works & What To Know Before You Buy [Електронний ресурс]. SlashGear. 2025. URL: <https://www.slashgear.com/1785060/autonomous-snow-blower-robotic-tool-how-work-what-know-before-buy/>.
6. RC MI-100 Robot tank chassis [Електронний ресурс]. FighterTracks. URL: <https://www.fightertracks.com/rc-mi-100-robot-tank-chassis-.html>.
7. TinS-17E Robot platform [Електронний ресурс]. RobAvatar. URL: <https://www.robavatar.com/products/basic/crawler/TinS-17E-Robot-platform.html>.
8. Crawler Robot Chassis [Електронний ресурс]. RobAvatar. URL: <https://www.robavatar.com/products/basic/crawler/> (дата звернення: 12.06.2026).
9. Snow Blower Module (Y Series) [Електронний ресурс]. Yarbo. URL: <https://www.yarbo.com/products/snow-blower-module> (дата звернення: 12.06.2026).
10. Habermann J. A., Fay L., Morian D. A., Venner M. Guide for Snow and Ice Control Operations. Washington : National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 2022. URL:

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ					Список літератури		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Сліпченко	Васильєв	18.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Перев.	Васильєв	18.06					
Керівник							
Н. контр.	Васильєв	18.06					
Затв.	Орисенко	19.06					

https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP_06-18_Final_Report.pdf

11. Fay L., Shi X., Huang J. Snow and Ice Control: Handbook for Snowplow Operators. Minnesota Local Technical Assistance Program, 2022. URL: https://mnltap.umn.edu/sites/cts.umn.edu/files/2023-11/snow_ice_handbook_2022.pdf.

12. Mu C., Wang Y., Zhang X. Power Parameter Design and Relevant Research of Snow Plough. Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 556–562. P. 3474–3477. URL: <https://www.atlantis-pess.com/article/15124.pdf>.

13. The research of resistance to snow cutting and moving with an auger of a small-sized rotary-auger snowplow. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 786. Article 012043. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012043. URL:

https://www.researchgate.net/publication/340314016_The_research_of_resistance_to_snow_cutting_and_moving_with_an_auger_of_a_small-sized_rotary-auger_snowplow.

14. Vu N.-L., Messier P., Nguyen B.-H., Vo-Duy T., Trovão J. P. F., Desrochers A., Rodrigues A. Energy-optimization design and management strategy for hybrid electric non-road mobile machinery: A case study of snowblower. Energy. 2023. Vol. 284. Article 129249. DOI: 10.1016/j.energy.2023.129249. URL:

https://www.researchgate.net/publication/374683779_Energy-optimization_design_and_management_strategy_for_hybrid_electric_non-road_mobile_machinery_A_case_study_of_snowblower.

15. Arkin E. M., Bender M. A., Mitchell J. S. B., Polishchuk V. The Snowblower Problem. arXiv. 2006. URL: <https://arxiv.org/abs/cs/0603026>.

16. Siegwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. Cambridge : MIT Press, 2011. 472 p. URL: <https://mitpress.mit.edu/9780262015356/introduction-to-autonomous-mobile-robots/>

17. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. Cambridge : MIT Press, 2005. 672 p. URL: <https://mitpress.mit.edu/9780262201629/probabilistic-robotics/> (дата звернення: 12.06.2026).

18. □ Corke P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB.

						ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

2nd ed. Cham : Springer, 2017. 693 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54413-7. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-54413-7>.

19. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. 11th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2020. URL: <https://www.mheducation.com/highered/product/shigleys-mechanical-engineering-design-nisbett.html>.

20. Collins J. A., Busby H. R., Staab G. H. Mechanical Design of Machine Elements and Machines: A Failure Prevention Perspective. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2009. 912 p. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Mechanical%2BDesign%2Bof%2BMachine%2BElements%2Band%2BMachines%3A%2BA%2BFailure%2BPrevention%2BPerspective%2C%2B2nd%2BEdition-p-9780470413036>.

21. Uicker J. J., Pennock G. R., Shigley J. E. Theory of Machines and Mechanisms. 5th ed. New York : Oxford University Press, 2016. 976 p. URL: <https://global.oup.com/ukhe/product/theory-of-machines-and-mechanisms-9780190264505>.

22. TinS-25G High Speed Crawler Robot Chassis [Електронний ресурс]. RobAvatar. URL: <https://www.robavatar.com/products/basic/crawler/TinS-25G-High-Speed-Chassis.html>

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
			Документація		
	AI	ГММ.301пММ.024-13.00.000СК	Складальне креслення	2	
			Деталі		
1	AI	ГММ.301пММ.024-13.00.001	Вал редукторний	1	
2	AI	ГММ.301пММ.024-13.00.002	Вал редукторний	1	
3		ГММ.301пММ.024-13.00.003	Стакан	1	
4		ГММ.301пММ.024-13.00.004	Шайба	3	
5		ГММ.301пММ.024-13.00.005		3	
6		ГММ.301пММ.024-13.00.006	Корпус		
7		ГММ.301пММ.024-13.00.007	Корпус		
8		ГММ.301пММ.024-13.00.008			
9		ГММ.301пММ.024-13.00.009	Кільце		
10		ГММ.301пММ.024-13.00.010	Кришка		
11	A3	ГММ.301пММ.024-13.00.011	Кришка		
12		ГММ.301пММ.024-13.00.012	Кришка		
13		ГММ.301пММ.024-13.00.013	Кришка		
14					
15		ГММ.301пММ.024-13.00.015	Фланець		
16	42	ГММ.301пММ.024-13.00.016	Фланець		
17	43	ГММ.301пММ.024-13.00.017	Колесо зубчасте		
			Стандартні вироби		
18			Гайка М24	2	
19			Болт М12х50	16	
20			Болт М14х50	8	
21			Підшипник 27714	2	

ГММ301пММ.024-13.00.000							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Редуктор		
Розроб.	Сліпченко			18.06			
Перев.	Васильєв			18.06			
Н.контр.	Васильєв			18.06			
Затв.	Орисенко			19.06			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	1	2
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» 2026		

[illegible]

Вал																		
Розробив	Сліпченко	В.С.			18.06	85 ДСТУ 4738:2007												
Перевірів	Рогозін	С.А.			18.06	Круг 40х ДСТУ 7806:2015												
Т.контр.	Васильєв	А.А.			18.06													
Н.контр.	Васильєв	С.А.			18.06													
М61																		
М62		КО	ЕВ	МД	ЕН	Н расх	Код заготовки	Профіль та розміри		КД	МЗ							
Позначення документа																		
А	Уч	РМ	Опер.		Код операції			СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОНД	ЕН	ОД	Кшт	Ршт	Тшт
Б		Код. найменування обладнання																
А01	005 Відрізна																	
Б02	Фрезерно-відрізний верстат 8Б66																	
003	Відрізати заготовку по довжині з припуском 1мм																	
Т04	Патрон 3-х кулачковий, пила дискова Ø810мм, лінійк																	
А05	010 Фрезерна																	
Б06	Вертикально-фрезерний верстат 6Р10																	
007	Підрізати торці з перестановкою																	
Т08	Лещата, фреза циліндрична Т15К6, лінійка																	
А09	015 Сверлильна																	
Б10	Вертикально-сверлильний верстат 2Н18																	
011	Зацентрувати торці																	
Т12	Затискач спеціальний, сверло центровочне Ø4мм, капібр																	
А13	020 Токарна																	
МК																		

M61																
M62	КО	ЕВ	МД	ЕН	Н расх	Код заготовки	Профіль та розміри		КД	МЗ						
A	Уч	РМ	Опер.		Код операції			Позначення документа								
B	Код. Наіменування обладнання					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОНД	ЄН	ОД	Кшт	Ршт	Тшт
B14	Токарно-гвинторізний верстат 16K20															
O15	Точить пов-ні 1, 2, 3 начерно з припуском					5мм на сторону										
T16	Патрон 3-х кулачковий, центр, різець прохідний,					штангенциркул										
A17	025 Токарна															
B18	Токарно-гвинторізний верстат 16K20															
O19	Точить пов-ні 1, 2, 3, 4, 5 начерно з припуском					5мм на сторону										
T20	Патрон 3-х кулачковий, центр, різець прохідний,					штангенциркуль										
A21	030 Токарна															
B22	Токарно-гвинторізний верстат 16K20															
O23	Точити пов-ні 1, 2, 3 з припуском 0,6мм, фаски на					пов-ні 4,5										
T24	Патрон 3-х кулачковий, центр, різець прохідний,					штангенциркуль										
A25	035 Різбонарізна															
B26	Токарно-гвинторізний верстат 16K20															
O27	Нарізати різьбу на поверхню 3															
T28	Патрон 3-х кулачковий, центр, різбонарізний різець,					штангенциркуль										
A29	040 Токарна															
B30	Токарно-гвинторізний верстат 16K20															
O31	Точити пов-ні 1, 2, 3, 4 з припуском 0,6мм, фаски 5,6															
МК																

[illegible]