Додаток В

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

_____ Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(підпис) (ПІБ)

"___" _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА) на тему РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА ДЛЯ ПРИБИРАННЯ СНІГУ

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми
д.т.н., професор _____ Володимир БУЛГАКОВ
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
Ph.D _____ Олександр СПОДОБА
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Віктор ГНЕВИК
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
д.т.н., професор _____Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“____” _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту (на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту)

Гневик Віктор Віталійович
(прізвище, ім’я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра) **Розробка конструкції робота для прибирання снігу**
затверджена наказом ректора НУБіП України від “15” квітня 2026 р. №1044 «С»
Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 2026 червня 01
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра)
Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій роботів для прибирання снігу
2. Розглянути перспективи створення нових конструкцій роботів для прибирання снігу
3. Провести розрахунки для розробки конструкції робота для прибирання снігу
4. Розглянути питання охорони праці
5. Виконати розрахунок економічної ефективності.

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вид
2. Складальне креслення
3. Деталі

Дата видачі завдання “16”квітня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
(Керівник дипломного проєкту бакалавра) _____ Олександр СПОДОБА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Віктор ГНЕВИК
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ…… 5

ВСТУП……. 6

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ПРИБИРАННЯ СНІГУ……... 8

1.1. Характеристика процесу прибирання снігу…….. 8

1.2. Огляд традиційної снігоприбиральної техніки……. 9

1.3. Аналіз роботизованих систем прибирання …….. 13

1.4. Переваги та недоліки існуючих рішень……. 15

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ СНІГОПРИБИРАЛЬНОГО РОБОТА…….. 18

2.1. Конструкція розроблювального снігоприбирального робота……. 18

2.2. Вибір приводних двигунів…….. 19

2.3. Кінематичний та енергетичний розрахунок бортової планетарної передачі…… 22

2.4. Визначення допустимих контактних напружень $[\sigma_H]$ для планетарної передачі 2К-Н типу А……... 25

2.5. Визначення допустимих к напружень згину $[\sigma_F]$ для планетарної передачі 2К-Н типу А……. 28

2.6. Проектний розрахунок планетарної передачі 2К-Н типу А…… 30

2.7. Підбір кількості зубів та уточнення передаточних чисел планетарної передачі 2К-Н типу А……... 31

2.8. Визначення геометричних параметрів зачеплення планетарної передачі 2К-Н типу А……. 33

2.9. Визначення ширини вінця центрального колеса b планетарної передачі 2К-Н типу А……. 36

2.10. Перевірочній розрахунок планетарної передачі 2К-Н типу А….. 36

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ…….. 41

3.1. Загальні положення…… 41
3.2. Аналіз небезпечних факторів…… 42
3.3. Заходи безпеки при експлуатації…… 43
3.4. Електробезпека…… 44
3.5. Екологічна безпека……... 46
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ……..... 47
4.1 Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення…… 47
4.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання…… 50
4.3 Розрахунок заробітної плати……... 51
4.4 Кошторис витрат на розробку робота…… 52
4.5 Розрахунок терміну окупності…… 52
ВИСНОВКИ…… 53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 54
ДОДАТКИ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра, тема якої: “РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА ДЛЯ ПРИБИРАННЯ СНІГУ” складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на п'ятдесяти семи (57) сторінках друкованого тексту, дванадцяти (12) рисунків, чотирьох (4) таблиць, висновків, двадцяти п’яти (25) літературних джерел і додатків до графічної частини.

У першому розділі проведено аналіз існуючих засобів прибирання снігу, розглянуто фізичні особливості процесу, наведено характеристику традиційної снігоприбиральної техніки та сучасних роботизованих систем, а також визначено їх основні переваги та недоліки.

Другий розділ присвячено розрахунку конструкції снігоприбирального робота. Обґрунтовано загальну компоновку снігоприбирального робота.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки, зокрема проведено аналіз небезпечних факторів, запропоновано заходи безпечної експлуатації, розглянуто питання електробезпеки та екологічні аспекти використання роботизованої техніки.

Шостий розділ містить економічне обґрунтування проєкту: визначено витрати на розробку та виготовлення, оцінено експлуатаційні витрати, проведено порівняння з традиційними методами прибирання снігу та розраховано економічну ефективність впровадження розробки.

Ключові слова: робот для прибирання снігу, мобільна платформа, шнек, відвал, автоматизація, система керування, автономна навігація.

ВСТУП

У XXI столітті питання ефективного функціонування міської інфраструктури та забезпечення безпеки пересування в зимовий період набуває особливої актуальності. Інтенсивні снігопади, ожеледь та низькі температури створюють значні труднощі для транспорту, пішоходів і комунальних служб. Несвоєчасне або неякісне прибирання снігу призводить до зростання аварійності, ускладнення логістики та підвищення витрат на утримання територій. У цих умовах роботизація процесів прибирання снігу стає важливим напрямом розвитку інженерних рішень.

Сучасні методи очищення територій від снігу здебільшого базуються на використанні традиційної техніки та ручної праці. Проте такі підходи мають низку недоліків, серед яких значні трудові витрати, залежність від людського фактора, обмежена ефективність у складних умовах та високі експлуатаційні витрати. Це зумовлює необхідність розробки роботизованих систем, здатних працювати автономно або під дистанційним керуванням, забезпечуючи безперервність і високу якість прибирання.

Об’єктом дослідження є процес механізованого прибирання снігу на відкритих територіях різного призначення.

Предметом дослідження виступає конструкція роботизованої системи для прибирання снігу та її робочого органу, що здійснює безпосередній вплив на сніговий покрив (шнек, відвал або щітка).

Метою роботи є розробка конструкції робота для прибирання снігу з оптимальними технічними характеристиками, що забезпечують ефективність, надійність, енергоефективність та економічну доцільність його використання.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

• Проаналізувати сучасні технології та технічні засоби прибирання снігу,

включаючи роботизовані системи.

• Провести огляд існуючих інженерних рішень та визначити їх переваги і недоліки.

• Розробити конструкцію мобільної платформи робота та обґрунтувати вибір типу ходової частини.

• Виконати вибір і розрахунок робочого органу для ефективного видалення снігу.

• Провести інженерні розрахунки основних вузлів і приводів.

• Розглянути питання безпеки та умов експлуатації роботизованої системи.

• Обґрунтувати економічну ефективність впровадження розробки.

Реалізація такого інженерного рішення має важливе практичне значення, оскільки дозволяє підвищити рівень безпеки та комфорту в зимовий період, зменшити навантаження на комунальні служби та оптимізувати витрати на утримання територій. Запропонований робот для прибирання снігу є кроком до впровадження сучасних автоматизованих технологій, спрямованих на покращення якості життя та розвитку розумної міської інфраструктури.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ПРИБИРАННЯ СНІГУ

1.1. Характеристика процесу прибирання снігу

На сьогоднішній день у зимовий період значна частина територій населених пунктів та транспортної інфраструктури піддається впливу інтенсивних снігопадів і низьких температур. Сніговий покрив може досягати значної товщини, що ускладнює рух транспорту та пішоходів, знижує пропускну здатність доріг і створює небезпечні умови пересування. Особливо гостро ця проблема проявляється у великих містах, де затримки в прибиранні снігу призводять до транспортного колапсу, підвищення аварійності та економічних втрат (рис. 1.1.).



Рис. 1.1. Зображення наслідків інтенсивного снігопаду

Важливою задачею є своєчасне та ефективне очищення територій від снігу,

					01.09 – КР. 1044 "С" 2026.04.15.030 ПЗ		
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розроб.		Гневик В.В,			Розділ 1. Аналіз існуючих засобів прибирання снігу	Літ.	Аркуш 8 / Аркушів 56
Перевір.		Сподоба О.О					
Н. контр.						НУБіП України	
Затверд.							

що передбачає виконання комплексу робіт: видалення снігового покриву, його переміщення або вивезення, а також боротьбу з ожеледицею.

Процес прибирання ускладнюється змінними погодними умовами, таки-ми як повторні опади, утворення льоду та злежування снігу, що збільшує навантаження на техніку та персонал.

На сьогодні активно застосовуються різні підходи до очищення територій — від ручного прибирання до використання спеціалізованої техніки. Проте ручна праця є малоефективною на великих площах і потребує значних трудових ресурсів.

Традиційна снігоприбиральна техніка, хоча й забезпечує вищу продуктивність, має обмеження у важкодоступних місцях і потребує значних витрат на експлуатацію.

У зв’язку з цим актуальним напрямом є впровадження роботизованих систем для прибирання снігу, які здатні працювати в автоматичному або дистанційному режимі, забезпечуючи безперервність процесу, підвищення ефективності та зниження впливу людського фактора [6].

1.2. Огляд традиційної снігоприбиральної техніки

Традиційна снігоприбиральна техніка є основою забезпечення проїзності доріг, функціонування міської інфраструктури та безпеки пересування у зимовий період. Вона охоплює широкий спектр машин і механізмів, які відрізняються за принципом дії, продуктивністю, габаритами та сферою застосування. Використання таких засобів дозволяє оперативно очищати великі площі від снігу, однак має свої особливості та обмеження.[5]

До основних видів традиційної снігоприбиральної техніки належать плужно-щіткові машини (рис. 1.2.), шнекороторні снігоочисники (рис. 1.3.), автогрейдери (рис. 1.4.), фронтальні навантажувачі та допоміжна техніка для вивезення снігу.



Рис. 1.2. Плужно-щіткові машини

Найбільш поширеними є плужні машини, які встановлюються на базі вантажних автомобілів або тракторів. Вони оснащені відвалами різної фор-ми (прямими, V-подібними або поворотними), що дозволяють ефективно зсувати сніг з дорожнього полотна. Такі машини відзначаються високою швидкістю роботи та простотою конструкції, що робить їх незамінними при очищенні магістралей та великих відкритих територій [8].



Рис. 1.3. Шнекороторні снігоочисники

Шнекороторні снігоочисники застосовуються у випадках значного накопичення снігу або утворення заметів. Принцип їх роботи полягає у захопленні снігу шнеком з подальшим подрібненням та викиданням через роторний механізм на певну відстань. Це дозволяє не лише очищати поверхню, але й відкидати сніг за межі дороги, що є важливим у місцях з обмеженим простором. Такі машини характеризуються високою продуктивністю, але мають складнішу конструкцію та вищу вартість експлуатації [6].

Автогрейдери використовуються для розрівнювання снігового покриву, очищення узбіч та формування профілю дороги. Завдяки довгому відвалу вони можуть ефективно працювати на широких ділянках, забезпечуючи рів-номірне очищення поверхні. Однак їх застосування обмежене у вузьких або щільно забудованих зонах [6].



Рис. 1.4. Автогрейдери

Фронтальні навантажувачі та трактори з навісним обладнанням (ковшами або відвалами) (рис. 1.5.) широко застосовуються для прибирання та навантаження снігу з подальшим його вивезенням. Вони є універсальними машинами, здатними виконувати різні операції, проте поступаються спеціалізованій техніці за швидкістю очищення великих територій [6].



Рис. 1.5. Фронтальний навантажувач

Додатково застосовуються піскорозкидачі та солерозподільники (рис. 1.6.), які забезпечують боротьбу з ожеледицею шляхом обробки дорожнього покриття протиожеледними матеріалами. Це важливий елемент комплексного утримання доріг у зимовий період [6].



Рис. 1.6. Піскорозкидачі

Незважаючи на високу ефективність традиційної техніки, вона має низку недоліків. Серед них — значні витрати пального, високі експлуатаційні витрати, залежність від людського фактора, а також обмежена ефективність у важкодоступних місцях, таких як тротуари, вузькі вулиці чи дворові території. Крім того, велика габаритність техніки може створювати незручності для руху транспорту під час виконання робіт.

1.3. Аналіз роботизованих систем прибирання

Роботизовані системи прибирання снігу (рис. 1.7.) є сучасним напрямом розвитку комунальної техніки, який спрямований на підвищення ефективності, безпеки та автономності виконання робіт у зимових умовах. Впровадження таких систем обумовлене необхідністю зменшення впливу людського фактора, оптимізації витрат та забезпечення безперервності процесу очищення територій незалежно від складності погодних умов.



Рис. 1.7. Дистанційна сгіноприбиральна машина(SNOWBOT)

Роботизовані снігоприбиральні системи можна умовно поділити на кілька основних типів: дистанційно керовані, напівавтономні та повністю автономні.

Дистанційно керовані роботи передбачають управління оператором на відстані за допомогою пульта або комп’ютерної системи. Такі рішення дозволяють виконувати роботи у складних або небезпечних умовах без безпосередньої присутності людини. Водночас вони потребують постійного контролю з боку оператора.

Напівавтономні системи поєднують автоматичне виконання окремих функцій із можливістю втручання оператора. Наприклад, робот може самостійно рухатися за заданим маршрутом, уникаючи перешкод, але при цьому оператор контролює загальний процес роботи. Це дозволяє підвищити ефективність та знизити навантаження на персонал.

Повністю автономні роботи здатні самостійно виконувати весь цикл прибирання снігу без участі людини. Вони оснащуються системами навігації (GPS, лідари, камери), датчиками виявлення перешкод та алгоритмами обробки даних, що дозволяє їм орієнтуватися в просторі, планувати маршрут та адаптуватися до змінних умов середовища. Такі системи є найбільш перспективними, проте їх впровадження потребує складного програмного забезпечення та значних фінансових витрат.

За конструктивними особливостями роботизовані системи можуть бути колісними або гусеничними. Колісні платформи відзначаються більшою швидкістю руху та енергоефективністю, проте мають обмежену прохідність на слизьких або нерівних поверхнях. Гусеничні роботи (рис. 1.8.), навпаки, забезпечують кращу стійкість і прохідність, що особливо важливо при роботі у складних погодних умовах, але характеризуються більшою складністю конструкції та вищими енергозатратами [12].

Основними перевагами роботизованих систем прибирання снігу є: зменшення потреби у ручній праці, можливість роботи в автоматичному режимі, підвищення безпеки, а також ефективність у важкодоступних місцях. Але також є і недоліки, зокрема висока вартість розробки та впровадження, складність технічного обслуговування, залежність від джерел енергії та необхідність точного налаштування систем навігації.



Рис. 1.8. Гусенична сгіноприбиральна машина

1.4. Переваги та недоліки існуючих рішень

Існуючі рішення у сфері прибирання снігу, як традиційні, так і роботизовані, мають низку переваг і недоліків, як і в інших сферах вирішення проблем з погодними умовами, які визначають доцільність їх використання залежно від умов експлуатації, масштабів робіт та економічних можливостей.

Головні переваги традиційної снігоприбиральної техніки (рис. 1.9.) належить висока продуктивність при роботі на великих відкритих територіях, таких як автомобільні дороги, автомагістралі, аеродроми та промислові майданчики. Такі машини здатні швидко обробляти значні площі, забезпечуючи оперативне очищення після інтенсивних снігопадів. Крім того, вони відзначаються відносною простотою конструкції, надійністю та відпрацьованими технологіями експлуатації, що спрощує їх обслуговування та ремонт [9].



Рис. 1.9. Традиційна снігоприбиральна машина

Водночас традиційна техніка має ряд суттєвих недоліків. Вона потребує значних витрат пального та людських ресурсів, оскільки вимагає постійної присутності оператора. Великі габарити обмежують її використання у вузьких або важкодоступних місцях, таких як тротуари, двори чи пішохідні зони. Крім того, ефективність роботи значною мірою залежить від кваліфікації оператора, що підвищує ризик помилок і нерівномірного очищення.

Роботизовані системи прибирання снігу, у свою чергу, мають низку важливих переваг. Насамперед це можливість автоматизації процесу, що дозволяє зменшити залежність від людського фактора та забезпечити безперервну роботу, зокрема у нічний час або за складних погодних умов. Такі системи можуть ефективно працювати у важкодоступних місцях, мають компактні розміри та здатні виконувати точне очищення заданих ділянок. Додатковою перевагою є потенційна економія ресурсів у довгостроковій перспективі за рахунок оптимізації маршрутів та режимів роботи [10].

Проте роботизовані рішення також мають певні недоліки. Одним із головних є висока вартість розробки, впровадження та обслуговування. Складність конструкції та програмного забезпечення потребує кваліфікованого

персоналу для налаштування та ремонту. Крім того, ефективність роботи автономних систем може знижуватися в умовах складного рельєфу, сильних снігопадів або обмеженої видимості. Важливим фактором є також залежність від джерел енергії, що обмежує тривалість безперервної роботи без підзарядки або дозаправлення.

Окремо варто відзначити комбіновані рішення, які поєднують традиційну техніку з елементами автоматизації. Вони дозволяють частково усунути недоліки кожного з підходів, проте все ще не забезпечують повної автономності та універсальності [11].

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ СНІГОПРИБИРАЛЬНОГО РОБОТА

2.1. Конструкція розроблювального снігоприбирального робота

Розглядаючи різні снігоприбиральні машини, було визначено певний перелік нюансів які можуть впливати на доступність та результативність прибирання снігу на територіях. Аналіз снігозбиральних машин привів до ідеї створення покращеної конструкції яка допоможе вирішити недоліки інших машин та буде доступною на ринку.

Снігоприбиральний апарат сконструйований за окремими блоками. Його основу складає гусенична платформа, попереду якої закріплений активний двоступеневий механізм для збору снігу.

Сама рама та корпус машини мають звужену форму спереду і ззаду, для того щоб покращити прохідність робота, коли він заїжджає у глибокі замети, а також щоб зменшити опір під час руху. Посередині верхньої панелі корпусу розташована невелика турель. Вона потрібна для монтажу навігаційних приладів, датчиків або відеокамер і лідарів. Крім того, там закріплений звичайний фаркоп, який дозволяє використовувати робота як тягач, що значно розширює його можливості.

Повна вага всієї конструкції разом із встановленим акумулятором дорівнює 70 кг. Як рушій обрали гусениці, в яких використовуються міцні гумові стрічки з армуванням. За рух ходової частини відповідає безколекторний мотор постійного струму промислової серії 110ZWS132XE-1. Кожен такий тяговий двигун має потужність 400 ват, тому загальна корисна потужність всієї ходової системи становить 800 ват.

Щоб ефективно чистити дорожнє покриття, у передній частині машини

закріплений активний механізм

Перший етап — це руйнування та згрібання снігу. За це відповідає кручений шнек, який має гострі зубці на своїх краях. Ці зубці допомагають кришити навіть твердий лід та замерзлий наст. Під час обертання шнек зсуває весь подрібнений сніг від країв ковша ближче до середини.

Другий етап — це підхоплення та безпосередній викид маси. По центру ковша стоїть роторна крильчатка, яка крутиться на високій швидкості. Вона лопатками забирає сніг, що підійшов від шнека, і під дією великої відцентрової сили виштовхує його вгору через вертикальну трубу.

Ця випускна труба знизу має механічний привід (черв'ячну передачу або сервомотор). Завдяки цьому оператор може прямо з пульта або через програму змінювати напрямок польоту снігової маси. Сам великий ківш знизу стоїть на регульованих опорних лижах. Вони потрібні для того, щоб виставити правильний зазор між нижнім ножем ковша та землею, захищаючи робота від сильних ударів об каміння чи нерівний асфальт.

Напруга в бортовій мережі машини становить 24 В . Увесь комплекс живиться від літій-залізо-фосфатної батареї, ємність якої складає 40 А/год.. Керування роботом та обмін даними відбуваються через мікроконтролер .

Заводські характеристики цих двигунів показують, що їхній вал без навантаження обертається зі швидкістю близько 3000об/хв.

2.2. Вибір приводних двигунів

Визначимо сили опору:

$$Fc=f.g \cdot m \quad (1)$$

$$Fc=0.1 \cdot 9.81 \cdot 70=68.67 \text{ Н}$$

де: $m_в$ - маса робота, кг; f - коефіцієнт супротиву.

Визначення загального ККД:

$$\eta 3 = g0 \cdot gr \quad (2)$$

$$\eta 3 = 0{,}9 \cdot 0{,}97 = 0.88$$

Визначимо необхідну потужність двигунів:

$$P' = \frac{(Ft + Fc)Vn}{3600 * \eta 3 * k3} \quad (3)$$

$$P' = \frac{(400 + 68.67)2.78}{3600 * 0.88 * 1.3} = 0.567 \text{кВт}$$

Визначення частоти обертання зірочки:

$$nh = \frac{50 * Vn}{3 * Dз * \pi} \quad (4)$$

$$nh = \frac{50 * 2.78}{3 * 0.09 * 3.14} = 163{,}95 \text{ об/хв}$$

З розрахунків які ми зробили вище обираємо двигун снігоприбирального робота марки 110ZWS132XE-1. Технічні характеристики двигуна наведено в Таблиці 1.1. Габаритні та приєднувальні розміри двигуна 110ZWS132XE-1 наведено на Рис. 2.1. Динамічна характеристика наведена на Рис. 2.2.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики двигуна 110ZWS132XE-1

Параметри	**Одиниці вимірювання**	**Значення**
Номер моделі двигуна	—	110ZWS132XE-1
Кількість пар полюсів	—	5
Фазовий опір	Ом	1.04
Фазова індуктивність	мГн (mH)	3.658
Спосіб з'єднання обмоток	—	Зірка
Клас ізоляції	—	B
Режим роботи	—	S1

Продовження таблиці 1.1.

Параметри	**Одиниці вимірювання**	**Значення**
Кут комутації	—	120°
Міцність ізоляції	—	1000VAC / 1kHz / 1mA / 1s
Опір ізоляції	—	100 МОм при 20°C
Вага	кг (kg)	3.0
Номінальна напруга	В (V)	120
Номінальна потужність	Вт (W)	710.0
Номінальний крутний момент	Н·м (N·m)	4.6
Номінальна швидкість	об/хв	1500
Номінальний струм	А	9.6
Швидкість холостого ходу	об/хв	1850
Струм холостого ходу	А	0.65
ККД двигуна	%	90
Рівень шуму	дБ	< 50
Тепловий опір корпусу до довкілля	К/Вт	0.36
Температура довкілля	°C	20
Максимальна температура обмотки	°C	88
Коефіцієнт крутного моменту	Н·м/А	0.479
Коефіцієнт зворотної ЕРС	В/тис. об/хв	67.83
Піковий крутний момент	Н·м	13.8
Піковий струм	А	28.8

Габаритні та приєднувальні розміри двигуна 110ZWS132XE-1 наведено на Рис. 2.1. Динамічна характеристика наведена на Рис. 2.2.

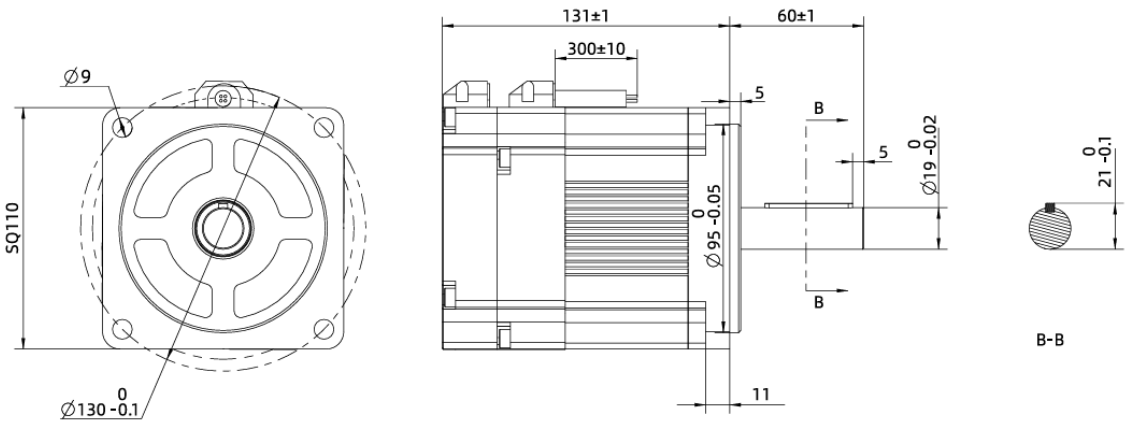


Рис.2.1. Габаритні розміри двигуна 110ZWS132XE-1

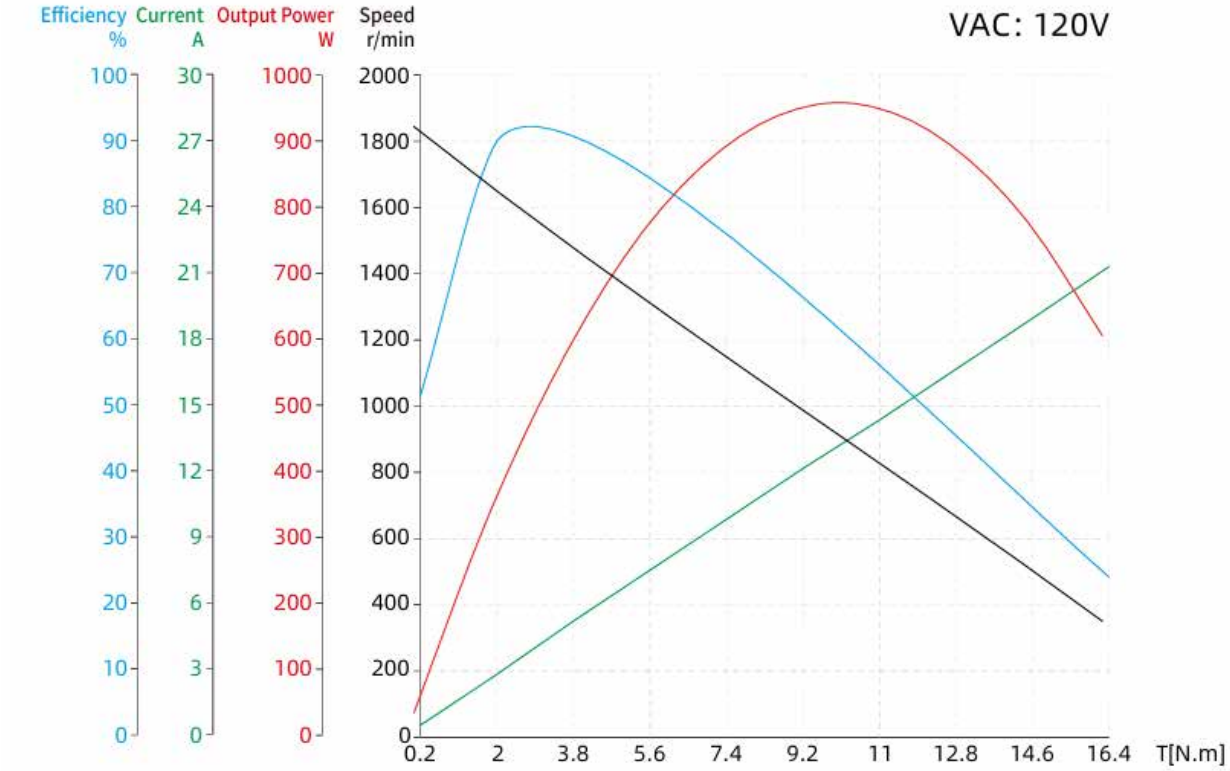


Рис.2.2. Динамічна характеристика двигуна

2.3. Кінематичний та енергетичний розрахунок бортової планетарної передачі

Вихідні дані для розрахунку:

Час напрацювання передачі t_h=20000 год;

Оберти вхідного валу n_a=1500 об/хв;

Оберти вихідного валу n_h=163 об/хв;

Крутний момент на вхідному валу T_a=1.5*10^3 Н*мм;

Ступінь точності СТ = 6.

Режим навантаження: Т1=1; Т2=0,87; Т3=0,83; n1= 1; n2=1,15; n3=1,2; t1= 0,55; t2=0,25; t3=0,2.

Кінематична схема бортового редуктора наведена на рис. 2.3.

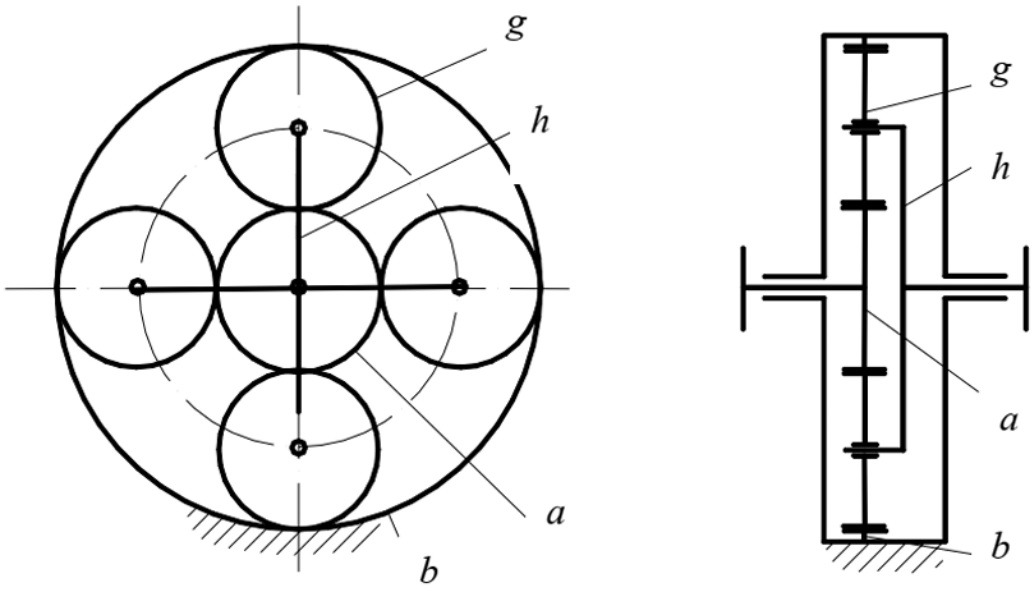


Рис. 2.3. Кінематична схема планетарної передачі 2К-Н

a – центральне колесо (вхідний вал); g – сателіт; b – центральне колесо; h – водило (вихідний вал)

Визначення загального передаточного числа планетарної передачі:

$$U_{(I)\text{пл}}=\frac{n_a}{n_h}, \quad (5)$$

$$U_{(I)\text{пл}}=\frac{1500}{163}=9.2$$

Визначимо передаточне відношення ступені a-g:

$$U_{(Ih)ag}=\frac{U_{(I)\text{пл}}}{2}\text{-}1, \quad (6)$$

$$U_{(Ih)ag}=\frac{9.2}{2}\text{-}1=3.6$$

Визначимо передаточне відношення ступені g-b:

$$U_{(Ih)gb}=\frac{U_{(I)\text{пл}}\text{-}1}{U_{(Ih)ag}}, \tag{7}$$

$$U_{(Ih)gb}=\frac{9.2\text{-}1}{3.6}=2.27.$$

Визначимо частоту обертання колеса a:

$$n_{(h)a}=n_a\text{-}n_{h,} \tag{8}$$

$$n_{(h)a}=1500\text{-}163=1337\ \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Визначимо частоту обертання колеса g:

$$n_{(h)g}=\frac{n_{(h)a}}{U_{(Ih)ag}}, \tag{9}$$

$$n_{(h)g}=\frac{1337}{2.27}=371\ \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Визначимо частоту обертання колеса b:

$$n_{(h)b}=n_{h,} \tag{10}$$

$$n_{(h)b}=163\ \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Визначимо кількість сателітів із умови сусідства:

$$a_{(I)c}=\frac{0.9*\pi}{arcsin[\frac{U_{(I)\text{пл}}\text{-}2}{U_{(I)\text{пл}}}]}, \tag{11}$$

$$a_{(I)c}=\frac{0.9*\pi}{arcsin[\frac{9.2\text{-}2}{9.2}]}=3.14.$$

Приймаємо кількість сателітів a_c=4.

Визначимо ККД передачі. $\eta_{\text{цил}}$=0.99;

$$\eta_{\text{пл}}=1-\left(1-\frac{1}{U_{(I)\text{пл}}}\right)*\left(1-\eta_{\text{цил}}^2\right), \quad (12)$$

$$\eta_{\text{пл}}=1-\left(1-\frac{1}{9.2}\right)*(1-0.99^2)=0.98.$$

Коефіцієнт нерівномірності $k_{\text{нер}}$=1.15 без використання плаваючих коліс для кількості сателітів a_c=4.

Визначимо крутні моменти.

Крутний момент для ступені a-g:

$$T_{ag}=\frac{T_a*k_{\text{нер}}}{a_c}, \quad (13)$$

$$T_{ag}=\frac{1.5*10\text{^}3*1.15}{4}=431.25 \text{ Н*мм}.$$

Крутний момент для ступені g-b:

$$T_{gb}=\frac{T_a*U_{(Ih)ag}*k_{\text{нер}}}{a_c}, \quad (14)$$

$$T_{gb}=\frac{1.5*10\text{^}3.6*2*1.15}{4}=1553.03 \text{ Н*мм}.$$

2.4. Визначення допустимих контактних напружень [σ_H] для планетарної передачі 2К-Н типу А.

Для центрального колеса a, та сателітів g виберемо сталь 40Х.

Вид термообробки: поліпшення.

Твердість HB_a=HB_g=245.

Для центрального колеса b виберемо сталь 45.

Вид термообробки: нормалізація.

Твердість HB_b=194.

Відповідно базові контактні напруження будуть дорівнювати:

- для центрального колеса a:

$$\sigma_{(H\,lim\,ba)}=2*HB_a+70, \quad (15)$$

$$\sigma_{(H\,lim\,ba)}=2*245+70=560 \text{ МПа}.$$

- для сателіту g:

$$\sigma_{(H\,lim\,bg)}=2*HB_a+70, \quad (16)$$

$$\sigma_{(H\,lim\,bg)}=2*245+70=560 \text{ МПа}.$$

- для центрального колеса b:

$$\sigma_{\left(H\,lim\,bb\right)}=2*HB_b+70, \quad (17)$$

$$\sigma_{(H\,lim\,bb)}=2*194+70=458 \text{ МПа}.$$

Визначимо базове число циклів переміни контактних напружень:

- для центрального колеса a:

$$N_{HOa}=30*HB_a^{2.4}, \quad (18)$$

$$N_{HOa}=30*245^{2.4}=1.63\times10^7.$$

- для сателіту g:

$$N_{HOg}=30*HB_g^{2.4}, \quad (19)$$

$$N_{HOg}=30*245^{2.4}=1.63\times10^7.$$

- для центрального колеса b:

$$N_{HOb}=30*HB_b^{2.4}, \quad (20)$$

$$N_{HOb}=30*HB_b^{2.4}=9.29*10^6.$$

Коефіцієнт еквівалентності за контактними напруженнями при перемінному режимі навантаження:

$$K_{HE}=T_1^3*n_1*t_1+T_2^3*n_2*t_2+T_3^3*n_3*t_3, \quad (21)$$

$$K_{HE}=1^3*1*0.55+0.9^3*1.15*0.25+0.83^3*1.2*0.2=0.87.$$

Число контактів за один оберт $c_a=c_b=a_c=3$ для колеса a і b. $c_g=1$ для сателіту.

Еквівалентні числа циклів переміни контактних напружень:

- для центрального колеса a:

$$N_{HEa}=60*n_{(h)a}*c_a*t_h*K_{HE}, \quad (22)$$

$$N_{HEa}=60*1500*3*20000*0.92=5.62\times10^9.$$

- для сателіту g:

$$N_{HEg}=60*n_{(h)g}*c_g*t_h*K_{HE}, \quad (23)$$

$$N_{HEg}=60*1337*1*20000*0.92=3.90\times10^8.$$

- для центрального колеса b:

$$N_{HEb}=60*n_{(h)b}*c_b*t_h*K_{HE}, \quad (24)$$

$$N_{HEb}=60*163*3*20000*0.92=6.85\times10^8.$$

Коефіцієнти довговічності за контактними напруженнями

$$N_{HEa}>N_{HOa},\ K_{HLa}=1;$$

$$N_{HEg}>N_{HOg},\ K_{HLg}=1; \quad (25)$$

$$N_{HEb}>N_{HOb},\ K_{HLb}=1.$$

Приймаючи запас міцності за контактними напруженнями $S_H=1.2$ визначимо допустимі контактні напруження.

- для центрального колеса a:

$$\sigma_{(H)a}=\frac{\sigma_{(H\,lim\,ba)}}{S_H}*K_{HLa}, \quad (26)$$

$$\sigma_{(H)a}=\frac{560}{1.2}*1=466.67\text{МПа}.$$

- для сателіту g:

$$\sigma_{(H)g}=\frac{\sigma_{\left(H\,lim\,bg\right)}}{S_H}*K_{HLg}, \tag{27}$$

$$\sigma_{(H)g}=\frac{560}{1.2}*1=466.67\text{ МПа}.$$

- для центрального колеса b:

$$\sigma_{(H)b}=\frac{\sigma_{\left(H\,lim\,bb\right)}}{S_H}*K_{HLb}, \tag{28}$$

$$\sigma_{(H)b}=\frac{458}{1.2}*1=381.67\text{ МПа}.$$

Розрахункове допустиме напруження:

- для ступені a-g $\sigma_{(H)ag}=\sigma_{(H)a}=446.67\text{МПа}$.

- для ступені g-b $\sigma_{(H)gb}=\sigma_{(H)b}=381.67$ МПа.

2.5. Визначення допустимих к напружень згину [σ_F] для планетарної передачі 2К-Н типу А.

Базові напруження згину будуть дорівнювати:

- для центрального колеса a:

$$\sigma_{(F\,lim\,ba)}=1.8*HB_a \tag{29}$$

$$\sigma_{(F\,lim\,ba)}=1.8*245=441\text{ МПа}.$$

- для сателіту g:

$$\sigma_{(F\,lim\,bg)}=1.8*HB_g, \tag{30}$$

$$\sigma_{(F\,lim\,bg)}=1.8*245=441 \text{ МПа}.$$

- для центрального колеса b:

$$\sigma_{(F\,lim\,bg)}=1.8*HB_b, \tag{31}$$

$$\sigma_{(F\,lim\,bb)}=1.8*194=349.2 \text{ МПа}.$$

Базове число циклів переміни напружень згину N_{FO}=4*10^6.

Коефіцієнт еквівалентності за напруженнями згину при перемінному режимі навантаження. Так, як HB<=350, тоді mf=6.

$$K_{FE}=T_1^{mf}*n_1*t_1+T_2^{mf}*n_2*t_2+T_3^{mf}*n_3*t_3, \tag{32}$$

$$K_{FE}=1^6*1*0.65+0.9^6*1.12*0.2+0.83^6*1.2*0.15=0.75.$$

Еквівалентні числа циклів переміни контактних напружень:

- для центрального колеса a:

$$N_{FEa}=60*n_{(h)a}*c_a*t_h*K_{FE,} \tag{33}$$

$$N_{FEa}=60*1500*3*20000*0.83=4.83\times10^8.$$

- для сателіту g:

$$N_{FEg}=60*n_{(h)g}*c_g*t_h*K_{FE}, \tag{34}$$

$$N_{FEg}=60*1337*1*20000*0.83=3.35\times10^8.$$

- для центрального колеса b:

$$N_{FEb}=60*n_{(h)b}*c_b*t_h*K_{FE}, \tag{35}$$

$$N_{FEb}=60*163*3*20000*0.83=5.89\times10^8.$$

Коефіцієнти довговічності за напруженнями згину:

$$N_{FEa}>N_{FO},\ K_{FLa}=1,$$
$$N_{FEg}>N_{FO},\ K_{FLg}=1, \tag{36}$$

N_{FEb}>N_{FO}, K_{FLb}=1.

Запас міцності за напруженнями згину приймаємо S_F=2.

Коефіцієнти, які враховують вплив реверсивного навантаження передачі K_{FCa}=1, K_{FCb}=1 для центарльного колеса a і b, K_{FCg}=0.8 для сателіту.

Визначимо допустимі напруження згину:

- для центрального колеса a:

$$\sigma_{(F)a}=\frac{\sigma_{(F\,lim\,ba)}}{S_F}*K_{FLa}*K_{FCa}, \tag{37}$$

$$\sigma_{(F)a}=\frac{441}{2}*1*1=220.5 \text{ МПа}.$$

- для сателіту g:

$$\sigma_{(F)g}=\frac{\sigma_{(F\,lim\,bg)}}{S_F}*K_{FLg}*K_{FCg}, \tag{38}$$

$$\sigma_{(F)g}=\frac{441}{2}*1*0.8=176.4 \text{ МПа}.$$

- для центрального колеса b:

$$\sigma_{(F)b}=\frac{\sigma_{(F\,lim\,bb)}}{S_F}*K_{FLb}*K_{FCb}, \tag{39}$$

$$\sigma_{(F)b}=\frac{349.2}{2}*1*1=174.6 \text{ МПа}.$$

2.6. Проектний розрахунок планетарної передачі 2К-Н типу А.

Проектний розрахунок почнемо із ступені a-g.

Коефіцієнт навантаження приймаємо K_H=1.3.

Коефіцієнт ширини зуба $\psi_{(I)bd}$=0.6.

Діаметр центрального колеса із умови контактної міцності:

$$d_{(I)a}=77\sqrt[3]{\frac{T_{ag}*K_H*\left(U_{(Ih)ag}+1\right)}{\sigma^2_{(H)ag}*\psi_{(I)bd}*U_{(Ih)ag}}}, \quad (40)$$

$$d_{(I)a}=77\sqrt[3]{\frac{486.83*1.3*(2+1)}{466.67\text{^}2*0.6*2}}=15.54 \text{ мм.}$$

Ширина зуба центрального колеса a та сателіту g:

$$b_{(I)w1}=\psi_{(I)bd}*d_{(I)a}, \quad (41)$$

$$b_{(I)w1}=0.6*15.54=6.21 \text{ мм.}$$

Приймаємо b_{w1}=6.3 мм.

Коефіцієнт навантаження приймаємо K_F=1.2.

Коефіцієнт форми зуба Y_F=4.1.

Модуль передачі із умови згинальної міцності:

$$m_{(I)}=\frac{2*T_{ag}*K_F*Y_F}{d_{(I)a}*b_{w1}*\sigma_{(F)g}}, \quad (42)$$

$$m_{(I)}=\frac{2*486.83*1.2*4.1}{13.46*8*176.4}=0.149.$$

Згідно ДСТУ ISO 54-2001 m=1.

2.7. Підбір кількості зубів та уточнення передаточних чисел планетарної передачі 2К-Н типу А.

Знайдемо кількість зубів центрального колеса a:

$$z_a=\frac{d_{(I)a}}{m}, \quad (43)$$

$$z_a=\frac{15.54}{1}=15.54.$$

Приймаємо z_a=15.

Допоміжний коефіцієнт кількості зубів колеса b:

$$\lambda_{(I)}=\frac{U_{(I)\text{пл}}}{a_c}*z_a, \tag{44}$$

$$\lambda_{(I)}=\frac{6.25}{2.25}*15=34.5$$

Приймаємо λ=34.

Знайдемо кількість зубів центрального колеса b:

$$z_b=\lambda*a_c\text{-}z_a, \tag{45}$$

$$z_b=34*2.25\text{-}165=121$$

Знайдемо кількість зубів сателіта g:

$$z_g=\frac{z_b\text{-}z_a}{2}, \tag{46}$$

$$z_g=\frac{121\text{-}13}{2}=53.$$

Проведемо уточнення передаточних чисел:

$$U_{(h)ag}=\frac{z_g}{z_a}, \tag{47}$$

$$U_{(h)ag}=\frac{53}{13}=3.53$$

$$U_{(h)gb}=1.*\frac{z_b}{z_g}, \tag{48}$$

$$U_{(h)gb}=1.*\frac{121}{53}=2.28.$$

$$U_{\text{пл}}=\frac{z_b}{z_a}+1, \tag{49}$$

$$U_{\text{пл}}=\frac{212}{15}+1=9.06$$

Визначимо розбіжність між заданим та отриманим передаточним числом

$$\Delta=\left(\frac{U_{\text{пл}}-U_{(I)\text{пл}}}{U_{(I)\text{пл}}}\right), \quad (50)$$

$$\Delta=\left(\frac{9.06-9.02}{9.02}\right)=0.$$

2.8. Визначення геометричних параметрів зачеплення планетарної передачі 2К-Н типу А.

Знайдемо міжосьову відстань між центральним колесом a та сателітом g:

$$a_w=m*\frac{z_a+z_g}{2}, \quad (51)$$

$$a_w=1*\frac{15+53}{2}=34 \text{ мм}.$$

Знайдемо ділильні діаметри зубчастих коліс.

$$d_a=m*z_a, \quad (52)$$

$$d_a=1*15=15 \text{ мм}$$

$$d_g=m*z_g, \quad (53)$$

$$d_g=1*53=53 \text{ мм}$$

$$d_b=m*z_b, \quad (54)$$

$$d_b=1*121=121 \text{ мм}$$

Знайдемо діаметри вершин зубчастих коліс.

$$d_{aa}=d_a+2*m, \quad (55)$$

$$d_{aa}=15+2*1=17 \text{ мм}$$

$$d_{ag}=d_g+2*m, \quad (56)$$

$$d_{ag}=53+2*1=55 \text{ мм}$$

$$d_{ab}=d_b-2*m, \quad (57)$$

$$d_{ab}=121-2*1=119 \text{ мм}$$

Знайдемо діаметри впадин зубчастих коліс.

$$d_{f(g)}=d_g-2*m, \quad (58)$$

$$d_{f(g)}=53-2*1=51 \text{ мм}$$

$$d_{f(b)}=d_b+2*m, \quad (59)$$

$$d_{f(b)}=121+2*1=123 \text{ мм}$$

Знайдемо початкові діаметри:

$$d_{w(a)}=\frac{2*a_w}{U_{(h)ag}+1}, \quad (60)$$

$$d_{w(a)}=\frac{2*25.5}{2+1}=15 \text{ мм}$$

$$d_{w(g)}=d_{w(a)}*U_{(h)ag}, \quad (61)$$

$$d_{w(g)}=15*8.7=53.5 \text{ мм}$$

$$d_{w(b)}=d_{w(g)}*U_{(h)gb}, \quad (62)$$

$$d_{w(b)}=53*2.15=121 \text{ мм}$$

Знайдемо діаметри основних кіл зубчастих коліс. Кут зачеплення α=20.

Знайдемо кути при вершині зубів.

$$d_{ba}=d_a*cos[\alpha], \quad (63)$$

$$d_{ba}=15*cos[20]=14.09,$$

$$d_{bg}=d_g*cos[\alpha], \quad (64)$$

$$d_{bg}=53*cos[20]=49.08$$

$$d_{bb}=d_b*cos[\alpha], \quad (65)$$

$$d_{bb}=121*cos[20]=113.7$$

Знайдемо коефіцієнти торцевого перекриття:

$$\alpha_{aa}=arccos\left[\frac{d_{ba}}{d_{aa}}\right], \quad (66)$$

$$\alpha_{aa}=arccos\left[\frac{14.09}{15}\right]=33.98$$

$$\alpha_{ag}=arccos\left[\frac{d_{bg}}{d_{ag}}\right], \quad (67)$$

$$\alpha_{ag}=arccos\left[\frac{49.08}{53}\right]=25.01$$

$$\alpha_{ab}=arccos\left[\frac{d_{bb}}{d_{ab}}\right], \quad (68)$$

$$\alpha_{ab}=arccos\left[\frac{113.7}{121}\right]=17.15$$

Знайдемо коефіцієнти торцевого перекриття:

$$\epsilon_{\alpha 1}=\frac{1}{2*\pi}\left(z_a*tan[\alpha_{aa}]+z_g*tan\left[\alpha_{ag}\right]-\left(z_g+z_a\right)*tan[\alpha]\right), \quad (69)$$

$$\epsilon_{\alpha 1}=\frac{1}{2*\pi}(15*tan[14.09]+53*tan[49.08]-(53+15)*tan[20])=1.62$$

$$\epsilon_{\alpha 2}=\frac{1}{2*3.14}\left(z_g*tan\left[\alpha_{ag}\right]+z_b*tan[\alpha_{ab}]-\left(z_b-z_g\right)*tan[\alpha]\right), \quad (70)$$

$$\epsilon_{\alpha 2}=\frac{1}{2*3.14}(53*tan[49.08]+121*tan[113.7]-(121-53)*tan[20])=1.94$$

2.9. Визначення ширини вінця центрального колеса b планетарної передачі 2К-Н типу А.

Визначимо ширину зубчастого вінця центрального колеса b із розрахунку на контактну міцність:

$$b_{w2(H)}=77^3*\frac{T_{gb}*K_H*\left(U_{(h)gb}-1\right)}{\sigma^2_{(H)gb}*d_g^2*U_{(h)gb}}, \quad (71)$$

$$b_{w2(H)}=77^3*\frac{973.67*1.3*(2.5-1)}{381.67^2*27^2*2.5}=1.26 \text{ мм.}$$

Визначимо ширину зубчастого вінця колеса b із розрахунку на згинальну міцність. Коефіцієнт форми зуба $Y_{F(b)}$=3.6.

$$b_{w2(F)}=\frac{2*T_{gb}*K_F*Y_{F(b)}}{d_b*m*\sigma_{(F)b}}, \quad (72)$$

$$b_{w2(F)}=\frac{2*973.67*1.2*3.6}{67*1*174.6}=0.635 \text{ мм.}$$

Із конструктивних особливостей приймаємо b_{w2}=7.1 мм.

2.10. Перевірочній розрахунок планетарної передачі 2К-Н типу А.

Міцність ступені a-g. Для прямозубих передач коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубами при багато парному зачеплені $K_{H\alpha}$=1.

Коефіцієнт $K_{F\alpha}$ розраховується за формулою:

$$K_{F\alpha}=\frac{9\text{-СТ}}{11\sqrt{\epsilon_{\alpha 1}}}+\frac{\text{СТ-3}}{6}, \quad (73)$$

$$K_{F\alpha}=\frac{9\text{-}6}{11\sqrt{1.6}}+\frac{\text{С6-3}}{6}=0.71$$

Відносна ширина колеса:

$$\psi_{bd1}=\frac{b_{w1}}{d_{w(a)}}, \quad (74)$$

$$\psi_{bd1}=\frac{8}{13}=0.42$$

При ψ_{bd1}=0.4 K_β=1.05

Значення колової швидкості розраховується за наступною формулою:

$$V=\frac{3.14*d_{w(a)}*n_{(h)a}}{6*10^4}, \quad (75)$$

$$V=\frac{3.14*13*2520}{6*10^4}=1.04\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коефіцієнт динамічності K_V=1.05.

Тоді коефіцієнти навантаження будуть дорівнювати:

$$K_H=K_{H\alpha}*K_\beta*K_V, \quad (76)$$

$$K_H=1*1.1*1.05=1.10.$$

$$K_F=K_{F\alpha}*K_\beta*K_V, \quad (77)$$

$$K_F=0.72*1.1*1.04=0.78.$$

Коефіцієнт, який враховує перекриття:

$$Z_{\epsilon 1}=\sqrt{\frac{4\text{-}\epsilon_{\alpha 1}}{3}}, \quad (78)$$

$$Z_{\epsilon 1}=\sqrt{\frac{4\text{-}1.53}{3}}=0.89.$$

Контактні напруження будуть дорівнювати:

$$\sigma_{Hag}=\frac{688*Z_{\epsilon 1}}{d_{w(a)}}*\sqrt{\frac{T_{ag}*K_H*\left(U_{(h)ag}+1\right)}{b_{w1}*U_{(h)ag}}}, \quad (79)$$

$$\sigma_{Hag}=\frac{688*0.89}{13}*\sqrt{\frac{486.83*1.14*(2+1)}{9*2}}=401.74 \text{ МПа}.$$

Контактна міцність забезпечена оскільки $\sigma_{Hag}<=\left[\sigma_{Hag}\right]$.

Визначимо недовантаження за контактними напруженнями.

$$\Delta H_{ag}=\frac{\sigma_{(H)ag}\text{-}\sigma_{Hag}}{\sigma_{(H)ag}}, \quad (80)$$

$$\Delta H_{ag}=\frac{466.67\text{-}414.11}{466.67}=0.14$$

Перевіримо міцність при згині. Коефіцієнт форми зуба $Y_{F(a)}$=4.26; $Y_{F(g)}$=3.76.

Напруження згину будуть дорівнювати:

$$\sigma_{Fa}=\frac{2*T_{ag}*K_F*Y_{F(a)}}{d_{w(a)}*b_{w1}*m}, \quad (81)$$

$$\sigma_{Fa}=\frac{2*486.83*0.82*4.26}{13*8*1}=30.06 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{Fg}=\sigma_{Fa}*\frac{Y_{F(g)}}{Y_{F(a)}}, \quad (82)$$

$$\sigma_{Fg}=23.7*\frac{3.76}{4.26}=26.22 \text{ МПа}.$$

Визначимо недовантаження за напруженнями згину.

$$\Delta F_a = \frac{\sigma_{(F)a} - \sigma_{Fa}}{\sigma_{(F)a}}, \quad (83)$$

$$\Delta F_a = \frac{220.5 - 23.7}{220.5} = 0.86$$

$$\Delta F_g = \frac{\sigma_{(F)g} - \sigma_{Fg}}{\sigma_{(F)g}}, \quad (84)$$

$$\Delta F_g = \frac{176.4 - 20.34}{176.4} = 0.85 \text{ МПа}.$$

Міцність ступені g-b. Для прямозубих передач коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубами при багато парному зачеплені $K_{H\alpha}=1$. Коефіцієнт $K_{F\alpha}$ розраховується за формулою:

$$K_{F\alpha} = \frac{9 - \text{СТ}}{11\sqrt{\epsilon_{\alpha 2}}} + \frac{\text{СТ} - 3}{6}, \quad (85)$$

$$K_{F\alpha} = \frac{9 - 6.25}{11\sqrt{3.68}} + \frac{6.25 - 3}{6} = 0.69.$$

Відносна ширина колеса:

$$\psi_{bd} = \frac{b_{w2}}{d_{w(g)}}, \quad (86)$$

$$\psi_{bd} = \frac{8}{27} = 0.13.$$

Приймаємо при даному значенні ψ_{bd} $K_\beta=1$.

Коефіцієнти навантаження будуть дорівнювати:

$$K_H = K_{H\alpha} * K_\beta * K_V, \quad (87)$$

$$K_H = 1*1*1.04 = 1.05$$

$$K_F = K_{F\alpha} * K_\beta * K_V, \quad (88)$$

$$K_F = 0.64*1*1.04 = 0.73$$

Коефіцієнт, який враховує перекриття:

$$Z_{\epsilon 2}=\sqrt{\left|\frac{4\text{-}\epsilon_{\alpha 2}}{3}\right|}, \tag{89}$$

$$Z_{\epsilon 2}=\sqrt{\left|\frac{4\text{-}3.68}{3}\right|}=0.82$$

Контактні напруження будуть дорівнювати:

$$\sigma_{Hgb}=\frac{688*Z_{\epsilon 2}}{d_{w(g)}}*\sqrt{\frac{T_{gb}*K_H*\left(U_{(h)gb}\text{-}1\right)}{b_{w2}*U_{(h)gb}}}, \tag{90}$$

$$\sigma_{Hgb}=\frac{688*3.68}{27}*\sqrt{\frac{973.67*1.06*(2.5\text{-}1)}{8*2.5}}=122.02\ \text{МПа}.$$

Контактна міцність забезпечена оскільки $\sigma_{Hgb}<=[\sigma_{Hgb}]$.

Визначимо недовантаження за контактними напруженнями.

$$\Delta H_{gb}=\frac{\sigma_{(H)gb}\text{-}\sigma_{Hgb}}{\sigma_{(H)gb}}, \tag{91}$$

$$\Delta H_{gb}=\frac{381.67\text{-}54.91}{381.67}=0.68.$$

Перевіримо міцність при згині. Коефіцієнт форми зуба $Y_{F(b)}$=3.6.

Напруження згину будуть дорівнювати:

$$\sigma_{Fb}=\frac{2*T_{gb}*K_F*Y_{F(b)}}{d_{w(g)}*b_{w2}*m}, \tag{92}$$

$$\sigma_{Fb}=\frac{2*973.67*0.68*3.6}{27*8*1}=21.70\ \text{МПа}.$$

Визначимо недовантаження за напруженнями згину.

$$\Delta F_b=\frac{\sigma_{(F)b}\text{-}\sigma_{Fb}}{\sigma_{(F)b}}, \tag{93}$$

$$\Delta F_b=\frac{174.6\text{-}20.28}{174.6}=0.87.$$

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення

У процесі розробки та експлуатації робота для прибирання снігу першочерговим завданням є забезпечення безпечних умов праці персоналу, який здійснює його виготовлення, налаштування, технічне обслуговування, транспортування та безпосередню експлуатацію. Враховуючи складні погодні умови, у яких функціонує снігоприбиральна техніка (низькі температури, ожеледь, обмежена видимість), питання охорони праці має важливе значення як на етапі проектування, так і під час практичного використання розробки [16].

На етапі створення робота особлива увага приділяється умовам праці фахівців, які займаються складанням, діагностикою та обслуговуванням обладнання. Для запобігання травматизму при роботі з механізмами передбачаються захисні кожухи рухомих частин, блокувальні пристрої, аварійні вимикачі, а також системи сигналізації про несправності. Важливим аспектом є ергономічність органів керування, зручність доступу до вузлів обслуговування та наявність інформаційних систем, що забезпечують оперативний контроль за станом робота [13].

Під час проектування конструкції значна увага приділяється підвищенню безпеки експлуатації. Застосування дистанційного або напівавтономного керування дозволяє мінімізувати безпосередню присутність оператора в зоні виконання робіт, знижуючи ризик травмування, особливо в умовах інтенсивного руху транспорту або складних погодних явищ. Крім того, конструкція робота повинна забезпечувати стійкість на слизьких поверхнях, мати ефективну систему гальмування та засоби уникнення перешкод [14].

Важливим є дотримання вимог чинного законодавства України у сфері

охорони праці, зокрема Закону України «Про охорону праці». Працівники, які обслуговують снігоприбиральну техніку, повинні проходити відповідне навчання, інструктажі з техніки безпеки та бути ознайомленими з правилами роботи в зимових умовах. Особливу увагу слід приділяти використанню засобів індивідуального захисту, таких як теплий спецодяг, взуття з протиковзкими властивостями, захисні рукавички та засоби захисту слуху [17].

Окремим аспектом є психофізіологічний стан працівників. Робота в умовах низьких температур, підвищеної вологості та обмеженої видимості може призводити до швидкої втоми, зниження концентрації уваги та підвищення ризику помилок. Тому необхідно забезпечити раціональний режим праці та відпочинку, а також створити комфортні умови для відновлення працездатності персоналу [15].

Не менш важливими є екологічні аспекти. Робот для прибирання снігу повинен відповідати сучасним екологічним вимогам, зокрема щодо зниження рівня шуму, викидів шкідливих речовин та витоків технічних рідин. Використання електричних або гібридних приводів, герметичних систем та екологічно безпечних матеріалів сприяє мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [19].

3.2. Аналіз небезпечних факторів

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації снігоприбиральної техніки та роботизованих систем прибирання снігу ґрунтується на врахуванні таких основних груп ризиків:

- **Механічні фактори** – рухомі частини машин (відвали, шнеки, щітки, трансмісійні елементи), які можуть спричинити травмування внаслідок контакту, затягування або удару;
- **Кліматичні фактори** – низькі температури, сильний вітер, снігопади та ожеледь, що призводять до переохолодження, зниження працездатності та підвищення ризику нещасних випадків;

- **Транспортні ризики** – ймовірність наїзду або зіткнення з іншими транспортними засобами під час роботи на дорогах загального користування, особливо в умовах обмеженої видимості;
- **Фізичні фактори впливу** – підвищений рівень шуму та вібрації, які негативно впливають на органи слуху та опорно-руховий апарат працівників;
- **Хімічні фактори** – вплив протиожеледних реагентів, пилу та аерозолів, що можуть викликати подразнення шкіри та органів дихання;
- **Електричні фактори** – ризик ураження електричним струмом при експлуатації електрифікованих або акумуляторних систем;
- **Психофізіологічні фактори** – втома, стрес, монотонність роботи, виконання завдань у нічний час, що можуть призвести до зниження уваги та помилок оператора;
- **Експлуатаційні фактори** – несправність обладнання, недостатнє технічне обслуговування, помилки при керуванні або налаштуванні систем [22].

Комплексний облік зазначених факторів дозволяє оцінити рівень небезпеки під час виконання робіт і є основою для розробки ефективних заходів з охорони праці, спрямованих на мінімізацію ризиків і забезпечення безпечних умов експлуатації снігоприбиральної техніки.

3.3. Заходи безпеки при експлуатації

Для безпечної експлуатації роботизованої снігоприбиральної техніки необхідно дотримуватись таких вимог:

- оператори здійснюють керування з безпечних пунктів або через дистанційні системи контролю, особливо при роботі в зонах з інтенсивним рухом транспорту;

- перед початком роботи проводиться обов’язковий технічний огляд машини, перевірка справності всіх систем, зокрема гальм, датчиків, систем керування та електроживлення;
- робот оснащується датчиками нахилу, перешкод, температури та іншими сенсорами, які автоматично зупиняють роботу у разі відхилення параметрів від допустимих значень;
- зона роботи техніки повинна бути позначена або обмежена, а доступ сторонніх осіб — заборонений під час виконання робіт;
- обслуговуючий персонал допускається до роботи лише після проходження відповідного інструктажу та з використанням засобів індивідуального захисту;
- взаємодія між оператором та іншими працівниками здійснюється за допомогою засобів зв’язку для координації дій та запобігання аварійним ситуаціям;
- у разі виникнення несправностей або небезпечних ситуацій робота негайно припиняється із застосуванням систем аварійної зупинки [14].

3.4. Електробезпека

Електробезпека при розробці та експлуатації робота для прибирання снігу є одним із ключових аспектів охорони праці, оскільки використання електричних приводів, акумуляторних батарей та систем керування пов’язане з ризиком ураження електричним струмом, коротких замикань та пожеж. Особливу небезпеку становлять умови підвищеної вологості, наявність снігу, льоду та реагентів, які можуть погіршувати ізоляційні властивості матеріалів.

На етапі проектування конструкції передбачаються такі заходи електробезпеки:

- застосування електрообладнання з відповідним ступенем захисту (не нижче IP54–IP67) для роботи в умовах вологи та пилу;

- надійна ізоляція струмопровідних частин та використання подвійної ізоляції в критичних вузлах;
- заземлення металевих частин конструкції для запобігання накопиченню електричного потенціалу;
- встановлення автоматичних вимикачів та запобіжників для захисту від перевантаження та короткого замикання;
- використання герметичних роз’ємів і кабелів, стійких до механічних пошкоджень та низьких температур;
- впровадження систем контролю стану акумуляторних батарей (температура, напруга, рівень заряду);
- електроблокування системи живлення під час технічного обслуговування [21].

Під час експлуатації необхідно дотримуватись наступних вимог електробезпеки:

- перед початком роботи проводити перевірку цілісності кабелів, роз’ємів та ізоляції;
- не допускати експлуатації обладнання при наявності пошкоджень електричних елементів або ознак короткого замикання;
- забезпечувати правильне підключення до джерел живлення та контроль параметрів електромережі;
- виконувати технічне обслуговування лише при повністю відключеному живленні;
- уникати контакту електрообладнання з водою у відкритому вигляді, особливо під час ремонтних робіт;
- використовувати засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими ручками) при роботі з електричними вузлами;
- забезпечити наявність систем аварійного відключення живлення у разі виникнення небезпечної ситуації [21].

3.5. Екологічна безпека

Проєктування робота для прибирання снігу враховує екологічні стандарти:

- застосування електричних або енергоефективних приводів, що забезпечують низький рівень шуму та відсутність шкідливих викидів у навколишнє середовище;
- використання матеріалів, які є екологічно безпечними, не містять токсичних речовин та придатні до вторинної переробки;
- забезпечення герметичності всіх систем (гідравлічних, мастильних), що запобігає витокам технічних рідин і забрудненню довкілля;
- застосування екологічно безпечних мастил і технічних рідин, які не завдають шкоди ґрунтам і водним ресурсам;
- зниження рівня шуму та вібрації за рахунок оптимізації конструкції та використання сучасних технічних рішень;
- раціональна конструкція з мінімізацією маси та матеріаломісткості, що зменшує ресурсні витрати при виготовленні;
- модульний принцип побудови, який дозволяє замінювати окремі вузли без утилізації всієї конструкції, що знижує кількість відходів [15].

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Мета техніко-економічного розрахунку полягає у визначенні витрат на розробку та виготовлення роботизованої снігоприбиральної машини. Це визначається шляхом складання кошторису витрат, який містить такі позиції:

- вартість програмного забезпечення (ліцензії CAD/IDE);
- вартість основного виробничого обладнання;
- вартість комплектуючих та матеріалів для побудови прототипу;
- амортизація використовуваного обладнання;
- заробітна плата спеціаліста-розробника;
- витрати на електроенергію під час роботи.

Далі представлений детальний розрахунок всіх складових елементів кошторису витрат на розроблення та виготовлення самохідного снігоприбирального робота [25].

4.1 Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення

Таблиця 4.1.

Для організації робочого місця, моделювання, зварювання, 3D-друку та збирання машини враховано вартість базового обладнання

Найменування	**Одиниці виміру**	**Кількість**	**Вартість, грн.**	**Загальна вартість, грн.**
Устаткування				
Комп’ютерне обладнання	шт.	1	38 000	38 000

Продовження таблиці 4.1.

Найменування	**Одиниці виміру**	**Кількість**	**Вартість, грн.**	**Загальна вартість, грн.**
Зварювальний інвертор та захисна маска	шт.	1	6 500	6 500
Загальна вартість обладнання				60 000
Транспортні витрати (2%)				3000
Монтаж обладнання (25%)				37500
Комплектуючі				
Пластик для 3D друку				
Пластик для 3D-принтера (високоміцний PETG / CoPET)	кот.	3	700	2100
Мотори та приводи				
Трифазний безколекторний двигун 110ZWS132XE-1	шт.	2	4800	9600
Акумуляторна батарея LiFePO4 (24V, 40Ah)	шт.	1	14 000	14 000
Двоканальний драйвер двигунів (наприклад, SmartDrive)	шт.	1	4 500	4 500
Мікроконтролер керування (Arduino / ESP32 + шилд)	шт.	1	2500	2500
Комплект радіокерування (пульт + багатоканальний приймач)	шт.	1	4000	4000
Елементи ходової частини (гусениці, ведучі зірочки/вала)	комп.	1	6800	6800
Метизи, опорні підшипники, приводні ланцюги	шт.	1	2390	2390

Продовження таблиці 4.1

Найменування	**Одиниці виміру**	**Кількість**	**Вартість, грн.**	**Загальна вартість, грн.**
Вали				
Виготовлення комплекту валів для поворотних осей робота	шт.	1	4 200	4 200
Кріпильні вироби				
Комплект болтів	шт.	1	2150	2150
Комплект гайок	шт.	1	2100	2100
Програмовані контролери				
Arduino Mega 2560	шт.	1	2 990	2 990
Датчики				
Оптичні кінцеві датчики	шт.	10	80	800
Джерела живлення				
БП 400 Вт 12 В	шт.	1	3 500	3 500
Загальна вартість				56450

Таблиця 4.2

Витрати на програмне забезпечення

Найменування	Од. Змін.	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Програмне забезпечення				
Microsoft Windows 11 Pro	шт.	1	7900	7900
SolidWorks 2026 (1 рік)	шт.	1	45000	45000
Програма для розрахунку міцності Ansys Discovery	шт.	1	18500	18500
Загальна вартість програмного забезпечення				71400

Загальна вартість витрат на придбання обладнання та програмного забезпечення дорівнює:

$$C_{\text{затр}}=C_{\text{обл}}+C_{\text{ПЗ}}+C_{\text{компл}} \quad (94)$$

де: $C_{\text{обл}}$ - вартість обладнання; $C_{\text{ПЗ}}$ - вартість програмного забезпечення; $C_{\text{компл}}$ - вартість комплектуючих.

$$C_{\text{затр}}=109700+71\ 400+49\ 700=230800 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Розрахунок амортизації для комп’ютерного обладнання.

Вихідні дані:

1. Початкова вартість комп’ютерного обладнання: 60 000 грн.
2. Термін служби устаткування: 3 років.
3. Період роботи: 4 місяців.

Визначимо витрати на амортизацію персонального комп'ютера:

$$\text{А}_{\text{КО}}=\frac{C_{\text{КО}} \cdot t_{\text{р}}}{t_{\text{в}} \cdot 12} \quad (95)$$

де: $C_{\text{КО}}$ - вартість комп’ютерного обладнання; $t_{\text{р}}$ - час роботи; $t_{\text{в}}$ - термін служби устаткування.

$$\text{А}_{\text{КО}}=\frac{60\ 000 \cdot 4}{3 \cdot 12}=7\ 000 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизації для 3d принтера

Вихідні дані:

1. Початкова вартість 3d принтера: 50 000 грн.
2. Термін служби устаткування: 3 роки.
3. Період роботи: 4 місяців.

Визначимо витрати на амортизацію.

$$\text{А}_{\text{3Д}}=\frac{C_{\text{3Д}} \cdot t_{\text{р}}}{t_{\text{в}} \cdot 12} \quad (96)$$

де: $C_{\text{3Д}}$ - 3d принтера.

$$А_{ЗД}=\frac{50000\cdot4}{36}=5555,56 \text{ грн.}$$

Сумарна амортизація:

$$А_{ЗД}=А_{КО}+А_{ПР} \quad (97)$$

$$А_{ЗД}=А_{КО}+А_{ПР}\text{грн.}$$

Розрахунок витрат за електроенергію.

Вихідні дані:

1. Потужність, яку споживає персональний комп'ютер: 400 Вт.

2. Потужність, яку споживає 3d принтер: 300 Вт.

3. Потужність, яка споживається системою освітлення: 70 Вт.

4. Вартість кВт8*г на 2025 рік 4.62.

5. Тривалість робочої зміни 8 годин.

Визначимо витрати на електроенергію за одну зміну:

$$В_{ЗМ}=\frac{(P_{КОМ}+P_{ПР}\cdot P_{ОСВ})\cdot T_{ЗМ}\cdot Ц_{кВт}}{1000} \quad (98)$$

$$В_{ЗМ}=\frac{770\cdot 8 \quad \cdot 4,62}{1000}=28,46$$

де: $Р_{КОМ}$- потужність, яку споживає персональний комп'ютер; $Р_{ПР}$- потужність, яку споживає 3d принтер; $Р_{ОСВ}$ - потужність, яка споживається системою освітлення; $Ц_{кВт}$- Вартість кВт*г; $Т_{ЗМ}$- тривалість робочої зміни.

За 1 місяць розробки та виготовлення снігоприбиральної машини плата за електроенергію становитиме 585,42 грн.[25]

4.3 Розрахунок заробітної плати

У період розробки та виготовлення прототипу роботизованої снігоприбиральної машини оклад провідного фахівця становив 25 000 грн. на місяць.

Основна заробітна плата провідного спеціаліста без районного та північного коефіцієнта за 12 місяців склала:

$$С_{ЗП}=С_{ЗП.місячна} \cdot n \quad (99)$$

де: $С_{ЗП.місячна}$ - місячна заробітна плата; n - кількість місяців роботи.

$$С_{ЗП}=25\ 000 \cdot 4=100\ 000грн$$

4.4 Кошторис витрат на розробку робота

Таблиця 4.3

Витрати на розробку та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора.

Найменування витрат	Сума витрат, грн.
Витрати обладнання	60 000
Транспортні витрати	3000
Монтажні витрати	45000
Витрати програмне забезпечення	71 400
Витрати на комплектуючі	49 7000
Електроенергія	2 500
Амортизація	7 000
Заробітна плата	100 000
Разом	338 600

4.5 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності визначається за формулою:

$$Ток = \frac{К_в}{Е_е - Е_в} \quad (10)$$

$$Ток = \frac{338600}{135000 - 70000} \approx 16місяців$$

де: $К_в$ - капітальні витрати на розробку; E_e - річний екорномічний ефект; $E_в$ - експлуатаційні витрати;

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Розробка конструкції робота для прибирання снігу» досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання, пов’язані з проєктуванням сучасної роботизованої системи для автоматизації процесу очищення територій від снігового покриву.

Технічні підсумки:

Проведено аналіз існуючих способів та засобів прибирання снігу, розглянуто традиційну снігоприбиральну техніку та сучасні роботизовані системи. Виконане дослідження дозволило визначити основні переваги та недоліки наявних рішень і сформувати технічні вимоги до проєктованого робота.

У процесі роботи розроблено конструкцію роботизованої платформи для прибирання снігу, обґрунтовано вибір типу шасі, механізму очищення та системи приводів. Виконано необхідні інженерні розрахунки продуктивності, тягового зусилля, енергоспоживання та автономності роботи. Отримані результати підтверджують можливість ефективного використання розробленої конструкції для очищення тротуарів, пішохідних зон, парковок та інших територій від снігу.

Інженерні переваги:

Запропонована конструкція робота характеризується компактністю, маневреністю та модульністю. Передбачено можливість дистанційного керування та подальшого впровадження елементів автономної навігації. Використання сучасних датчиків і систем керування підвищує безпеку експлуатації та точність виконання робіт. Конструкція забезпечує ефективне очищення території при мінімальному втручанні оператора та може бути

адаптована до різних умов експлуатації.

Економічна доцільність:

У роботі виконано економічне обґрунтування проєкту, визначено витрати на виготовлення та експлуатацію робота, а також проведено порівняння з традиційними методами прибирання снігу. Отримані результати свідчать про доцільність впровадження роботизованої техніки завдяки зниженню потреби у ручній праці, скороченню експлуатаційних витрат та підвищенню продуктивності виконання робіт.

Соціальна та практична значущість:

Розроблений робот для прибирання снігу може сприяти підвищенню безпеки дорожнього руху та комфортності пересування населення у зимовий період. Використання роботизованих систем дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників комунальних служб, підвищити оперативність очищення територій та забезпечити стабільну роботу міської інфраструктури за складних погодних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зниження ризику. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ : МОЗ України, 1999.
3. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин. – Харків : НТМТ, 2017. – 448 с.
4. Міщук Д. О. Проектування і конструювання робототехнічних систем : навчальний посібник. – Київ, 2020. – 185 с.
5. Науки майбутнього. Мехатроніка і мобільна робототехніка: що це? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://robocode.ua/naukimajbutnogo-mehatronkamoblna-robototehnka-shho-ce-ua
6. Михайлов Є. П., Лінгур В. М. Маніпулятори та промислові роботи : навчальний посібник. – Одеса, 2019. – 233 с.
7. Снігоприбиральна техніка компанії Honda [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://powerequipment.honda.com/snowblowers 8. Снігоприбиральна техніка компанії John Deere [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.deere.com
8. Снігоприбиральна техніка компанії Bobcat [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.bobcat.com
9. Снігоприбиральна техніка компанії Toro [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.toro.com
10. Автономний робот для прибирання снігу Yarbo [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.yarbo.com
11. Роботизована система прибирання снігу SnowBot [Електронний

ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.snowbotix.com

12. Охорона праці та промислова безпека. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://nov-rada.gov.ua/2021/05/18/okhorona-pratsi-ta-promyslova-bezpeka/

13. Урок: вимоги безпеки до технологічних процесів і обладнання. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://vseosvita.ua/lesson/vymohy-bezpeky-do-tekhnolohichnykh-protsesiv-i-obladnannia-376598.html

14. Войналович О.В., Марчишина Є.І., Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К.: Центр учбової літератури. 2017. 691 с.

15. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Українська академія друкарства, 2006. 335 с.

16. Хмельовський В.С., Марчишина Є.І., Білько Т.О., Мотрич М.М., Скібчик В.І. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури. 2021, 603 с.

17. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12

18. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/z0231-05

19. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/1105-14

20. Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15

21. Рекомендації щодо побудови, впровадження та удосконалення системи управління охороною праці [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/n0001641-08

22. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці [Електронний ресурс] - https://zakon.rada.gov.ua/go/z1494-18

23. Всеукраїнський портал з питань охорони праці [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] –- http://dnop.com.ua/

24. Міжнародна організація праці (МОП). [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] – https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm

25. Економіка праці й соціально-трудові відносини: навчальний посібник / Ткачук В.А., Ланченко Є.О., Балан О.Д., Гаврилюк І.П. К.: НУБіП України, 2022. 616 с.