

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова**

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

**Електричні транспортні засоби для осіб з
інвалідністю**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач Андрій БОНДАРЕНКО

гр. СТ2023-1У

Керівник Василь ДАЛЕКА

д.т.н., професор

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури
Кафедра електричного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕТ
_____ Микола ХВОРОСТ
_____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Бондаренку Андрію Володимировичу
Та нормативне

1. Тема роботи: *Електричні транспортні засоби для осіб з інвалідністю* та керівник кваліфікаційної роботи *Далека Василь Хомич д.т.н., професор* затвержені наказом університету від 22.05.2026 №440-03

2. Строк подання бакалаврської кваліфікаційної роботи 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи *Законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю. Технічні характеристики засобів для осіб з інвалідністю. Перспективи розвитку спеціальних транспортних засобів. Матеріали переддипломної практики. Тези конференцій за участі автора. Літературні джерела з конструкції, експлуатації, обслуговуванню та ремонту спеціального електротранспорту. Нормативні вимоги охорони праці.*

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

4.1. Стан питання (огляд, аналіз, оцінка) *Законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю.*

4.2. Технічна частина. *Технічні характеристики засобів для осіб з інвалідністю. Перспективи розвитку спеціальних транспортних засобів Розробка технічних вимог до конструкції.*

4.3. Розрахункова частина. *Розрахунки вузлів конструкції, елементів схем, алгоритми керування.*

4.4. Охорона праці.

Сайти, що відображають стан справ та перспективи розвитку транспортних засобів для осіб з інвалідністю

5. Графічна частина.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

| Розділ | Ім'я, прізвище та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------------|---------------------------------------|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Основна частина | Василь ДАЛЕКА, д.т.н., професор | | |
| Антиплагіат | Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інженер | | |
| Нормоконтроль | Вячеслав ШАВКУН, доцент | | |

7. Дата видачі завдання 11.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | <i>Стан питання</i> | 11.05 – 23.05.2026 | |
| 2 | <i>Розділи 1, 2</i> | 18.05 – 30.05.2026 | |
| 3 | <i>Розділи 3, 4</i> | 25.05 – 06.06.2026 | |
| 4 | <i>Охорона праці</i> | 01.06 – 13.06.2026 | |
| 5 | <i>Оформлення роботи</i> | 08.06 – 13.06.2026 | |
| 6 | <i>Підготовка доповіді та презентації</i> | 08.06 – 13.06.2026 | |

Здобувач

Bond
(підпис)

Андрій БОНДАРЕНКО

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Василь ДАЛЕКА

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бондаренко А. В. Електричні транспортні засоби для осіб з інвалідністю. Бакалаврська кваліфікаційна робота. Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, 2026.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання використання електричних транспортних засобів для забезпечення мобільності осіб з інвалідністю. Проаналізовано законодавче та нормативне забезпечення доступності міського середовища, вимоги до транспортної інфраструктури, сучасні види засобів мобільності та особливості їх конструкції.

У роботі виконано аналіз електричних інвалідних колясок, мобільних електроскутерів та спеціалізованих транспортних засобів. Визначено основні технічні вимоги до електричного транспортного засобу для індивідуального використання в міських умовах. Обґрунтовано вибір конструктивної схеми електричної інвалідної коляски з акумуляторним живленням, електронним керуванням і приводом на ведучі колеса.

У розрахунковій частині визначено силу опору коченню, тягове зусилля, необхідну потужність електроприводу, крутний момент на ведучих колесах, параметри акумуляторної батареї та орієнтовний запас ходу. За результатами розрахунків прийнято електропривод сумарною потужністю 500 Вт і акумуляторну батарею напругою 24 В ємністю 40 А·год, що забезпечує запас ходу близько 25 км.

Окремо розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки акумуляторної батареї, безпеки користувача під час руху та технічного обслуговування транспортного засобу.

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему «Електричні транспортні засоби для осіб з інвалідністю» містить пояснювальну записку обсягом 55 сторінок, 5 таблиць, список використаних джерел із 30 найменувань та додатки з графічними матеріалами в кількості 12 слайдів.

Ключові слова: електричний транспортний засіб, особи з інвалідністю, електрична інвалідна коляска, електропривод, система керування, охорона праці.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП | 8 |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ..... | 10 |
| 1.1 Законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю..... | 10 |
| 1.2 Вимоги до доступності транспортної інфраструктури | 11 |
| 1.3 Класифікація технічних засобів для осіб з інвалідністю | 12 |
| 1.4 Аналіз конструкцій сучасних електричних інвалідних колясок | 13 |
| 1.5 Аналіз електроскутерів та спеціалізованих транспортних засобів для осіб з інвалідністю | 15 |
| 1.6 Порівняльний аналіз технічних характеристик засобів мобільності | 16 |
| 1.7 Перспективи розвитку електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю | 19 |
| 2 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА | 21 |
| 2.1 Загальна характеристика електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю..... | 21 |
| 2.2 Формування технічних вимог до електричного транспортного засобу | 22 |
| 2.3 Вибір типу електричного транспортного засобу | 23 |
| 2.4 Вибір конструктивної схеми транспортного засобу | 24 |
| 2.5 Вибір електроприводу | 26 |
| 2.6 Вибір акумуляторної батареї | 27 |
| 2.7 Розробка структурної схеми системи | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8 Принципова електрична схема | 29 |
| 2.9 Алгоритм роботи системи керування | 30 |
| 2.10 Перспективи вдосконалення технічних рішень | 31 |
| 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА | 34 |
| 3.1 Вихідні дані для розрахунку | 34 |
| 3.2 Розрахунок сили опору коченню | 35 |
| 3.3 Розрахунок сили опору під час руху на підйомі | 36 |
| 3.4 Розрахунок сили, необхідної для розгону | 36 |
| 3.5 Розрахунок потужності електроприводу | 37 |
| 3.6 Розрахунок крутного моменту на ведучих колесах | 38 |
| 3.7 Визначення частоти обертання ведучих коліс | 39 |
| 3.8 Вибір передаточного числа редуктора | 40 |
| 3.9 Перевірка вибраного електродвигуна за моментом | 40 |
| 3.10 Розрахунок параметрів акумуляторної батареї | 41 |
| 3.11 Розрахунок струму споживання електроприводу | 42 |
| 3.12 Розрахунок орієнтовного запасу ходу | 43 |
| 3.13 Розрахунок часу заряджання акумуляторної батареї | 44 |
| 3.14 Перевірка працездатності транспортного засобу на підйомі | 44 |
| 3.15 Оцінка енергоефективності транспортного засобу | 45 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ | 48 |
| 4.1 Загальні положення з охорони праці | 48 |
| 4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів | 49 |
| 4.3 Вимоги електробезпеки | 50 |
| 4.4 Пожежна безпека акумуляторної батареї та електрообладнання | 51 |
| 4.5 Безпека користувача під час руху | 52 |
| 4.6 Безпека під час технічного обслуговування | 52 |

| | |
|---|-------|
| 4.7 Заходи щодо підвищення безпеки експлуатації | 53 |
| ВИСНОВКИ | 55 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 58 |
| ДОДАТКИ | 60 |
| Додаток А. Графічні матеріали, слайди | 60-62 |

ВСТУП

Забезпечення мобільності осіб з інвалідністю є одним із важливих напрямів розвитку сучасного міського середовища. Можливість самостійного пересування без постійної сторонньої допомоги безпосередньо впливає на якість життя людини, її соціальну активність, доступ до освіти, роботи, медичних послуг та громадського простору. Для людей з порушеннями опорно-рухового апарату транспортна доступність має не лише побутове, а й соціальне значення, оскільки саме вона визначає рівень незалежності людини в повсякденному житті.

У сучасних умовах розвиток інклюзивного середовища неможливий без використання спеціальних технічних засобів пересування. До таких засобів належать механічні інвалідні коляски, електричні коляски, мобільні електроскутери, підйомні платформи та інші пристрої, що забезпечують пересування осіб з інвалідністю у приміщеннях і на відкритих територіях. Серед них особливе місце займають електричні транспортні засоби, оскільки вони дозволяють значно зменшити фізичне навантаження на користувача, збільшити дальність пересування та підвищити рівень комфорту під час експлуатації.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення доступності міської інфраструктури та вдосконалення технічних засобів мобільності для осіб з інвалідністю. У багатьох населених пунктах України досі існують проблеми, пов'язані з нерівним дорожнім покриттям, наявністю бордюрів, недостатньою кількістю пандусів, складністю доступу до громадського транспорту та окремих об'єктів соціальної інфраструктури. За таких умов електричний транспортний засіб повинен мати достатню потужність, стійкість, запас ходу, надійну систему керування та відповідати вимогам безпеки.

Розвиток електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю тісно пов'язаний із досягненнями в галузі електромеханіки, силової електроніки та акумуляторних технологій. Сучасні електроприводи дають можливість забезпечити плавне регулювання швидкості, ефективне гальмування, надійну роботу на підйомах і достатню маневреність у міських умовах. Водночас використання сучасних акумуляторних батарей дозволяє збільшити автономність транспортного засобу та зменшити його масу.

Під час проектування електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю необхідно враховувати не лише технічні характеристики окремих вузлів, а й умови реальної експлуатації. До таких умов належать маса користувача, якість дорожнього покриття, необхідний запас ходу,

допустима швидкість руху, можливість подолання підйомів, безпечність посадки та висадки, простота керування і зручність обслуговування. Саме тому дослідження конструкції, електроприводу, системи живлення та засобів керування є важливим інженерним завданням.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є аналіз сучасних електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю, визначення їх основних технічних характеристик та обґрунтування параметрів електроприводу і системи живлення з урахуванням умов експлуатації.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю;
- проаналізувати сучасні електричні транспортні засоби, що застосовуються для пересування осіб з інвалідністю;
- визначити основні конструктивні елементи електричних колясок і мобільних електроскутерів;
- порівняти технічні характеристики спеціальних транспортних засобів;
- сформулювати технічні вимоги до електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю;
- обґрунтувати вибір електродвигуна, акумуляторної батареї та системи керування;
- виконати розрахунок основних параметрів електроприводу;
- визначити орієнтовний запас ходу транспортного засобу;
- розглянути вимоги охорони праці та безпечної експлуатації електричного транспортного засобу.

Об'єктом дослідження є електричні транспортні засоби, призначені для забезпечення мобільності осіб з інвалідністю.

Предметом дослідження є конструктивні особливості, електропривод, система живлення, система керування та експлуатаційні характеристики електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю.

У процесі виконання роботи застосовуються методи аналізу технічної літератури, порівняння конструктивних рішень, узагальнення нормативних вимог, а також інженерні методи розрахунку параметрів електроприводу, акумуляторної батареї та запасу ходу транспортного засобу.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання її результатів під час вибору, модернізації або проектування електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю. Запропоновані технічні рішення та розрахунки можуть бути використані для підвищення ефективності, безпеки та зручності експлуатації спеціалізованого електротранспорту в міських умовах.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ

1.1 Законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю

Проблема забезпечення мобільності осіб з інвалідністю має не лише технічний, а й соціальний характер. Можливість самостійно пересуватися, користуватися транспортом, відвідувати навчальні, медичні, адміністративні та громадські об'єкти є однією з умов повноцінної участі людини у суспільному житті. Тому створення доступного середовища розглядається як важливий напрям державної політики, що поєднує правові, організаційні та інженерні рішення.



Рис 1. Допомога для людей з інвалідністю

На міжнародному рівні основні підходи до забезпечення прав осіб з інвалідністю визначені Конвенцією про права осіб з інвалідністю. У цьому документі закріплено принцип рівності, недискримінації, доступності та незалежного способу життя. Для теми цієї роботи особливе значення мають положення, пов'язані з доступом до транспортних послуг, об'єктів інфраструктури та засобів індивідуальної мобільності.

В Україні питання соціального захисту осіб з інвалідністю регулюється низкою законодавчих актів. До основних належить Закон України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні», який визначає загальні гарантії реалізації прав цієї категорії громадян. Окремі питання забезпечення технічними та іншими засобами реабілітації розглядаються у Законі України «Про реабілітацію осіб з інвалідністю в Україні».

Важливим напрямом нормативного забезпечення є формування безбар'єрного архітектурного середовища. Для цього застосовуються державні будівельні норми, зокрема ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення». Ці норми встановлюють вимоги до доступності будівель, споруд, входів, проходів, пандусів, санітарних приміщень, місць обслуговування та інших елементів інфраструктури [4].

Для електричних транспортних засобів, призначених для осіб з інвалідністю, нормативне забезпечення має практичне значення, оскільки конструкція таких засобів повинна відповідати реальним умовам експлуатації. Якщо міське середовище має значні перепади висот, вузькі проходи, високі бордюри або нерівне покриття, транспортний засіб повинен мати достатню стійкість, потужність приводу, запас ходу та безпечну систему гальмування.

Отже, законодавча та нормативна база створює основу для розвитку спеціалізованих електричних транспортних засобів. Водночас сама наявність нормативних документів не вирішує проблему мобільності повністю. Необхідним є практичне впровадження технічних рішень, які дозволяють особам з інвалідністю безпечно й самостійно пересуватися в умовах сучасного міста.

1.2 Вимоги до доступності транспортної інфраструктури

Ефективність використання електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю значною мірою залежить від стану транспортної та пішохідної інфраструктури. Навіть якісна електрична коляска або мобільний скутер не можуть повною мірою виконувати свої функції, якщо навколишнє середовище не пристосоване до потреб маломобільних груп населення.

Доступна транспортна інфраструктура повинна забезпечувати безпечний і безперервний маршрут пересування. Це означає, що користувач електричного транспортного засобу має мати можливість самостійно дістатися від місця проживання до зупинки громадського транспорту, медичного закладу, навчального корпусу, адміністративної будівлі або іншого об'єкта без необхідності долати небезпечні перешкоди.

До основних елементів доступної інфраструктури належать пандуси, понижені бордюри, достатня ширина тротуарів, рівне покриття, підйомні платформи, низькопідлоговий громадський транспорт, місця для розміщення колясок у салоні, а також інформаційні засоби орієнтування. Важливо, щоб усі ці елементи були не формальними, а придатними для реального використання.

Особливу роль відіграє якість дорожнього покриття. Для електричної коляски або скутера нерівності, ями, бордюри та слизькі поверхні можуть створювати небезпеку перекидання або втрати керованості. Тому під час оцінювання умов експлуатації необхідно враховувати не лише технічні характеристики самого засобу пересування, а й стан середовища, у якому він буде використовуватися.











Значення має також організація посадки та висадки з громадського транспорту. Для користувача електричної коляски важливо, щоб різниця висот між посадковим майданчиком і підлогою транспортного засобу була мінімальною, а вхід мав достатню ширину. У разі відсутності таких умов навіть сучасний засіб індивідуальної мобільності не забезпечить повної транспортної доступності.


Таким чином, електричний транспортний засіб для осіб з інвалідністю слід розглядати не ізольовано, а як частину загальної системи мобільності. Його параметри повинні відповідати умовам міського середовища, а інфраструктура має забезпечувати можливість безпечного використання такого засобу.

1.3 Класифікація технічних засобів для осіб з інвалідністю

Технічні засоби мобільності для осіб з інвалідністю відрізняються за конструкцією, призначенням, способом керування, типом приводу та умовами експлуатації. Така різноманітність пояснюється тим, що потреби користувачів можуть суттєво відрізнятися залежно від стану здоров'я, фізичних можливостей, місця проживання та характеру щоденних поїздок.

Рисунок 1.1 – Порівняльна характеристика засобів мобільності

| Критерій | Механічна інвалідна коляска | Електрична інвалідна коляска | Мобільний електроскутер |
|--|--|--|--|
| |  |  |  |
|  Тип приводу | Ручний привід | Електропривод 24 В | Електропривод 24–36 В |
|  Швидкість | 0–6 км/год | 6–10 км/год | 8–15 км/год |
|  Запас ходу | Не обмежений батареєю (залежить від користувача) | 20–30 км | 30–50 км |
|  Маневреність | Дуже висока (особливо в приміщенні) | Висока | Середня |
|  Умови використання | Переважно в приміщенні, також на рівних поверхнях на вулиці | У приміщенні та на вулиці (рівні поверхні, помірні ухили) | Переважно на вулиці (рівні поверхні, дороги, тротуари, парки) |
|  Основні переваги | <ul style="list-style-type: none"> • Легка та проста конструкція • Не потребує заряджання • Доступна ціна • Висока маневреність у приміщенні | <ul style="list-style-type: none"> • Електропривод зменшує фізичне навантаження • Висока маневреність • Компактні розміри • Підходить для щоденного використання | <ul style="list-style-type: none"> • Вищі швидкість і запас ходу • Комфортна їзда на вулиці • Добра прохідність • Зручність для тривалих поїздок |
|  Основні недоліки | <ul style="list-style-type: none"> • Потребує фізичних зусиль • Низька швидкість • Обмежена прохідність на нерівних поверхнях | <ul style="list-style-type: none"> • Потребує заряджання • Більша вага і габарити, ніж у ручної коляски • Чутливість до нерівностей і перешкод | <ul style="list-style-type: none"> • Великі габарити, менша маневреність у приміщенні • Вища ціна • Потребує заряджання |

 Примітка: Характеристики можуть відрізнятися залежно від моделі та виробника.

Найпростішим видом засобів пересування є механічні інвалідні коляски. Вони мають порівняно просту конструкцію, невелику масу та не потребують джерела електричної енергії. Однак їх використання вимагає фізичних зусиль користувача або допомоги іншої особи. Для людей зі зниженою силою рук, порушенням координації або необхідністю долати значні відстані механічна коляска може бути недостатньо ефективною.

Електричні інвалідні коляски є більш складними технічними засобами. Вони обладнані електродвигунами, акумуляторною батареєю, контролером і системою керування. Основною перевагою таких колясок є можливість самостійного пересування без значного фізичного навантаження. Керування найчастіше здійснюється за допомогою джойстика, але в окремих моделях можуть використовуватися інші способи керування, наприклад кнопкові панелі, сенсорні пристрої або адаптивні системи для користувачів із важкими порушеннями рухових функцій.

Окрему групу становлять мобільні електроскутери. Вони, як правило, мають більші габарити, рульове керування, комфортне сидіння та збільшений запас ходу. Такі засоби більше підходять для пересування на відкритій місцевості, у межах міста або на територіях з достатньо рівним покриттям.

Водночас через більші розміри електроскутери менш зручні для використання у вузьких приміщеннях.

Також існують спеціалізовані транспортні платформи, підйомні пристрої та комбіновані системи мобільності. Вони застосовуються у громадських будівлях, транспортних вузлах, медичних закладах та інших об'єктах, де необхідно забезпечити переміщення людини між різними рівнями або через складні ділянки маршруту.

За умовами використання засоби мобільності можна поділити на три основні групи: для приміщень, для зовнішнього використання та універсальні. Засоби для приміщень зазвичай мають менші габарити й високу маневреність. Засоби для вулиці потребують більшої потужності, кращої підвіски, надійного гальмування та збільшеного запасу ходу. Універсальні конструкції поєднують вимоги обох груп, але часто мають компромісні характеристики.

У межах цієї роботи основна увага приділяється електричним транспортним засобам індивідуального використання, які забезпечують самостійне пересування осіб з інвалідністю в міських умовах. Саме такі засоби найбільш тісно пов'язані з питаннями електроприводу, акумуляторного живлення, керування та безпеки експлуатації.

1.4 Аналіз конструкцій сучасних електричних інвалідних колясок

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд та основні вузли електричної інвалідної коляски



Сучасна електрична інвалідна коляска є електромеханічним транспортним засобом індивідуального користування. Її конструкція повинна одночасно забезпечувати міцність, стійкість, маневреність, зручність посадки, достатній запас ходу та простоту керування. На відміну від механічної коляски, електрична модель має складнішу будову, оскільки містить систему живлення, електропривод і електронний блок керування.

Основним несучим елементом є рама. Вона сприймає навантаження від маси користувача, акумуляторів, сидіння, коліс і приводних механізмів. Рама повинна мати достатню жорсткість, але водночас не повинна надмірно збільшувати масу транспортного засобу. Для виготовлення рам застосовують сталь, алюмінієві сплави та, в окремих випадках, композитні матеріали. Сталеві конструкції мають високу міцність, але більшу масу. Алюмінієві сплави дозволяють зменшити вагу, що позитивно впливає на енергоефективність і запас ходу.

Сидіння виконує не лише функцію розміщення користувача, а й впливає на безпеку та комфорт експлуатації. Воно повинно забезпечувати правильне положення тіла, мати достатню підтримку спини, можливість регулювання та, за потреби, елементи фіксації. Для людей, які тривалий час перебувають у колясці, комфорт сидіння має особливо велике значення.

Електропривод електричної коляски найчастіше складається з одного або двох електродвигунів, редукторів і ведучих коліс. Використання двох двигунів дає змогу реалізувати незалежне керування лівим і правим колесом, що підвищує маневреність. Така схема дозволяє колясці розвертатися майже на місці, що є важливим для використання у приміщеннях і на обмежених ділянках простору.

Електродвигуни повинні забезпечувати достатнє тягове зусилля для руху по рівній поверхні, подолання невеликих підйомів і початку руху з місця. Для електричних колясок застосовуються двигуни постійного струму або безщіткові двигуни. Безщіткові двигуни мають вищу ефективність і менші витрати на обслуговування, проте потребують складнішої системи керування.

Акумуляторна батарея є джерелом енергії для електроприводу та допоміжних систем. Від її ємності, напруги, маси й типу залежить автономність транспортного засобу. У старіших або бюджетних моделях можуть застосовуватися свинцево-кислотні батареї, тоді як у більш сучасних конструкціях перевага надається літій-іонним або літій-залізо-фосфатним

акумуляторам. Вибір батареї повинен враховувати не лише запас ходу, а й безпеку, ресурс, час заряджання та умови експлуатації.

Система керування забезпечує зміну швидкості, напрямку руху, гальмування та захист основних вузлів. Найпоширенішим органом керування є джойстик, який дозволяє задавати напрямок і швидкість руху однією рукою. Сигнали з джойстика надходять до контролера, який регулює напругу або струм електродвигунів. Контролер також може виконувати функції обмеження швидкості, захисту від перевантаження, контролю заряду акумулятора та аварійного вимкнення.

Безпека конструкції визначається не лише наявністю гальм, а й стійкістю, розташуванням центра мас, якістю коліс, роботою електроніки та наявністю захисних пристроїв. Для запобігання небезпечним ситуаціям електрична коляска повинна мати надійну систему гальмування, захист від короткого замикання, індикатор заряду батареї, можливість ручного переміщення при вимкненому живленні та аварійну зупинку.



Рис. 2 Електрична інвалідна коляска у повсякденному житті

Отже, електрична інвалідна коляска є комплексною технічною системою, у якій усі вузли взаємопов'язані. Збільшення ємності акумулятора може підвищити запас ходу, але одночасно збільшує масу. Потужніший двигун покращує тягові характеристики, але підвищує енергоспоживання. Тому під час вибору параметрів необхідно знаходити раціональний баланс між потужністю, масою, автономністю, безпекою та вартістю.

1.5 Аналіз електроскутерів та спеціалізованих транспортних засобів для осіб з інвалідністю

Мобільні електроскутери є окремим напрямом розвитку індивідуальних транспортних засобів для осіб з інвалідністю. За своїм призначенням вони близькі до електричних колясок, але мають іншу конструктивну схему та орієнтовані переважно на пересування поза приміщеннями. Їх застосовують для поїздок у межах житлових районів, парків, територій медичних закладів, торговельних центрів та інших відкритих просторів.

Основною відмінністю електроскутера є наявність рульової колонки, більшого сидіння, збільшеної бази та, як правило, більшого запасу ходу. Така конструкція забезпечує кращий комфорт під час тривалих поїздок, але зменшує маневреність у вузьких проходах. Тому електроскутери доцільніше використовувати там, де є достатньо простору для руху та розвороту.

До складу електроскутера зазвичай входять рама, рульова колонка, сидіння з регулюванням, електродвигун, редуктор, акумуляторна батарея, контролер, колеса, гальмівна система та освітлювальні прилади. У деяких моделях передбачаються дзеркала, покажчики повороту, багажні кошики, амортизатори та інші елементи, які підвищують зручність використання.

Порівняно з електричними колясками, електроскутери часто мають більшу вантажопідйомність і кращу придатність до руху на відкритих територіях. Водночас вони менш ефективні у приміщеннях, оскільки потребують більшого радіуса повороту. Крім того, рульове керування не завжди зручне для користувачів із порушеннями функцій рук або обмеженою координацією рухів.

Окремий інтерес становлять спеціалізовані транспортні засоби комбінованого типу. Вони поєднують властивості електричної коляски та скутера, можуть мати регульоване сидіння, підйомний механізм, змінні режими керування або посилену ходову частину. Такі конструкції дозволяють адаптувати транспортний засіб до різних умов експлуатації.

Розвиток спеціалізованих транспортних засобів також пов'язаний із впровадженням електронних систем контролю. До них належать системи обмеження швидкості, захисту від перекидання, контролю стану батареї, автоматичного гальмування та дистанційної діагностики. Наявність таких систем підвищує безпеку та дозволяє своєчасно виявляти несправності.

Таким чином, електроскутери та спеціалізовані транспортні засоби розширюють можливості осіб з інвалідністю, особливо під час пересування на середні та більші відстані. Однак вибір між електричною коляскою і скутером повинен здійснюватися з урахуванням фізичних можливостей користувача, умов експлуатації, необхідної маневреності та вимог до запасу ходу.

1.6 Порівняльний аналіз технічних характеристик засобів мобільності

Для обґрунтованого вибору параметрів електричного транспортного засобу необхідно порівняти основні типи засобів мобільності. Найважливішими характеристиками є тип приводу, умови експлуатації, маневреність, швидкість, запас ходу, маса, вантажопідйомність і складність обслуговування.

Порівняльна характеристика основних засобів мобільності наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних засобів мобільності для осіб з інвалідністю

| Тип засобу | Основні переваги | Основні недоліки | Доцільна сфера використання |
|--------------------------------------|---|--|---|
| Механічна інвалідна коляска | Простота конструкції, невелика маса, відсутність потреби в заряджанні | Потребує фізичних зусиль, обмежена дальність пересування | Приміщення, короткі маршрути, використання з допомогою супроводжуючої особи |
| Електрична інвалідна коляска | Самостійне пересування, висока маневреність, зручне керування | Вища маса, потреба в заряджанні та технічному обслуговуванні | Приміщення, міські умови, щоденні поїздки |
| Мобільний електроскутер | Збільшений запас ходу, комфорт під час тривалого руху | Більші габарити, менша маневреність у приміщеннях | Відкриті території, парки, житлові райони |
| Спеціалізована транспортна платформа | Можливість подолання перепадів висот, | Обмежена автономність, | Будівлі, станції, громадські об'єкти |

| | | | |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| | використання в інфраструктурі | прив'язка до місця встановлення | |
| Комбінований електричний засіб | Адаптація до різних умов, розширені функції | Складність конструкції, вища вартість | Індивідуальне використання з підвищеними вимогами |

Аналіз таблиці показує, що для щоденного використання в міських умовах найбільш універсальним рішенням є електрична інвалідна коляска. Вона має достатню маневреність для руху в приміщеннях і водночас може використовуватися на вулиці за умови відповідної потужності приводу та запасу ходу.

Для подальшого розрахунку доцільно прийняти такі орієнтовні вимоги до електричного транспортного засобу:

- вантажопідйомність — не менше 120 кг;
- максимальна швидкість руху — до 10 км/год;
- запас ходу — не менше 25 км;
- напруга живлення — 24 В або 36 В;
- потужність електроприводу — 350–500 Вт;
- можливість руху на невеликих підйомах;
- наявність електричного або електромагнітного гальмування;
- просте та інтуїтивно зрозуміле керування.

Прийняті параметри мають компромісний характер. Надмірне збільшення швидкості для такого транспортного засобу не є доцільним, оскільки воно може погіршити безпеку користувача. Водночас занадто мала потужність двигуна не забезпечить упевнений рух на підйомах і нерівних ділянках. Тому вибір параметрів повинен здійснюватися з урахуванням балансу між безпекою, енергоефективністю та зручністю експлуатації.

1.7 Перспективи розвитку електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю

Подальший розвиток електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю пов'язаний із вдосконаленням електроприводів, акумуляторних батарей, електронних систем керування та засобів безпеки. Сучасні тенденції свідчать про перехід від простих електромеханічних конструкцій до інтелектуальних систем мобільності, які можуть адаптуватися до умов руху та потреб користувача.

Одним із важливих напрямів є застосування більш ефективних електродвигунів. Безщіткові двигуни постійного струму мають кращий коефіцієнт корисної дії, менший рівень шуму та більший ресурс порівняно з традиційними колекторними двигунами. Їх використання дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити надійність транспортного засобу.

Другим важливим напрямом є розвиток акумуляторних технологій. Для засобів мобільності особливе значення мають питома енергоємність, безпека, ресурс і час заряджання. Літій-іонні та літій-залізо-фосфатні акумулятори мають переваги порівняно зі свинцево-кислотними батареями за масою та довговічністю. Це дозволяє збільшити запас ходу без значного збільшення маси конструкції.

Перспективним є впровадження систем рекуперативного гальмування, які дають змогу частково повертати енергію в акумулятор під час сповільнення або руху на спуску. Для малошвидкісних транспортних засобів ефект рекуперації не завжди є значним, однак у міських умовах із частими зупинками така система може підвищити загальну енергоефективність.

Важливого значення набувають електронні системи безпеки. До них належать обмеження максимальної швидкості, контроль нахилу, захист від перевантаження двигуна, контроль температури, індикація заряду батареї та автоматичне вимкнення у разі несправності. Такі рішення дозволяють зменшити ризик аварійних ситуацій і підвищити надійність експлуатації.

Окремим перспективним напрямом є адаптивне керування. Для користувачів із різним рівнем фізичних можливостей можуть застосовуватися різні органи керування: джойстик, кнопкова панель, сенсорний інтерфейс, голосові команди або спеціальні датчики. Це дозволяє пристосувати транспортний засіб до індивідуальних потреб конкретної людини.

У майбутньому можна очікувати ширшого використання систем допоміжної навігації. Вони можуть включати датчики перешкод, камери, ультразвукові сенсори або модулі позиціонування. Такі системи не обов'язково мають забезпечувати повністю автономний рух, але можуть попереджати користувача про небезпеку та допомагати уникати зіткнень.

Отже, перспективи розвитку електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю пов'язані не лише зі збільшенням потужності чи запасу ходу. Основним напрямом є створення безпечних, енергоефективних, зручних і доступних систем, які забезпечують реальну незалежність користувача в повсякденних умовах.

2 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна характеристика електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю

Електричні транспортні засоби для осіб з інвалідністю призначені для забезпечення самостійного пересування користувача в побутових, громадських та міських умовах. На відміну від механічних засобів мобільності, вони використовують електричну енергію для створення тягового зусилля, що дозволяє зменшити фізичне навантаження на людину та збільшити дальність пересування.

До основних представників таких засобів належать електричні інвалідні коляски, мобільні електроскутери, спеціалізовані транспортні платформи та комбіновані засоби індивідуальної мобільності. Найбільш поширеними є електричні коляски, оскільки вони поєднують компактність, достатню маневреність і можливість використання як у приміщеннях, так і на відкритих територіях.

Електричний транспортний засіб для осіб з інвалідністю повинен відповідати низці технічних, експлуатаційних та ергономічних вимог. До технічних вимог належать достатня потужність електроприводу, надійна система живлення, ефективне гальмування та стабільна робота системи керування. До експлуатаційних вимог можна віднести запас ходу, простоту заряджання, ремонтпридатність і стійкість до впливу зовнішніх умов. Ергономічні вимоги пов'язані зі зручністю посадки, положенням користувача, доступністю органів керування та загальним комфортом під час руху.

Особливістю таких транспортних засобів є необхідність забезпечення високого рівня безпеки при відносно невеликій швидкості руху. Для користувача важливими є не максимальні швидкісні показники, а передбачуваність керування, стійкість, плавність розгону та гальмування, а також можливість безпечно зупинитися в аварійній ситуації.

У межах цієї роботи як базовий варіант розглядається електричний транспортний засіб типу електричної інвалідної коляски, призначений для індивідуального використання в міських умовах. Такий вибір обумовлений тим, що електрична коляска є найбільш універсальним засобом мобільності для осіб із порушеннями опорно-рухового апарату.

2.2 Формування технічних вимог до електричного транспортного засобу

Формування технічних вимог є важливим етапом розробки електричного транспортного засобу. На цьому етапі визначаються основні параметри, яким повинна відповідати конструкція, система електроприводу, акумуляторна батарея та система керування.

Під час визначення технічних вимог необхідно враховувати реальні умови експлуатації. До таких умов належать рух по рівному покриттю, подолання невеликих підйомів, переміщення у приміщеннях, маневрування на обмеженому просторі, рух тротуарами та можливість короткочасної експлуатації на нерівних ділянках.

Основними вимогами до електричного транспортного засобу є:

- забезпечення самостійного пересування користувача;
- достатня вантажопідйомність;
- безпечна максимальна швидкість;
- запас ходу, достатній для щоденного використання;
- плавне регулювання швидкості;
- надійне гальмування;
- просте керування;
- стійкість під час руху та зупинки;
- захист електричних кіл від перевантаження;
- можливість заряджання від побутової електричної мережі;
- зручність технічного обслуговування.

З урахуванням призначення транспортного засобу доцільно прийняти такі основні параметри.

Таблиця 2.1 – Орієнтовні технічні вимоги до електричного транспортного засобу

| Параметр | Прийняте значення |
|--------------------------------------|---|
| Тип транспортного засобу | електрична інвалідна коляска |
| Призначення | індивідуальне пересування осіб з інвалідністю |
| Умови експлуатації | приміщення та міське середовище |
| Максимальна маса користувача | 100–120 кг |
| Орієнтовна маса транспортного засобу | 35–50 кг |
| Максимальна швидкість руху | до 10 км/год |

| | | |
|---------------------------|--------|--|
| Рекомендована швидкість | робоча | 4–6 км/год |
| Запас ходу | | не менше 25 км |
| Напруга живлення | | 24 В |
| Потужність електроприводу | | 350–500 Вт |
| Тип керування | | джойстикове або кнопкове |
| Тип гальмування | | електричне та механічне |
| Спосіб заряджання | | від побутової мережі через зарядний пристрій |

Прийняті вимоги дозволяють забезпечити баланс між безпекою, автономністю, масою та вартістю конструкції. Збільшення швидкості понад 10 км/год для такого транспортного засобу не є доцільним, оскільки це підвищує ризик втрати стійкості та ускладнює керування для користувача. Водночас запас ходу менше 20–25 км може бути недостатнім для щоденного використання в міських умовах.

2.3 Вибір типу електричного транспортного засобу

На основі аналізу, виконаного в першому розділі, для подальшої розробки доцільно обрати електричну інвалідну коляску індивідуального користування. Такий тип транспортного засобу має низку переваг порівняно з мобільним електроскутером.

Електрична коляска є компактнішою, краще підходить для використання у приміщеннях і має вищу маневреність. Завдяки можливості незалежного керування ведучими колесами вона може виконувати розворот на малому радіусі, що особливо важливо у квартирах, коридорах, ліфтах, медичних закладах та інших обмежених просторах.

Мобільний електроскутер має більший запас ходу та вищий комфорт під час тривалих поїздок, однак його габарити обмежують використання в приміщеннях. Крім того, рульове керування вимагає більшої амплітуди рухів рук, що не завжди зручно для людей із порушеннями опорно-рухового апарату.

З огляду на це електрична коляска є більш універсальним рішенням для користувача, якому необхідно пересуватися як у приміщенні, так і на вулиці. Вона повинна мати компактну раму, два ведучі колеса, акумуляторну батарею, електронний контролер, орган керування та систему гальмування.

Конструктивно обраний транспортний засіб повинен включати такі основні вузли:

- несучу раму;
- сидіння з елементами підтримки користувача;
- два ведучі колеса;
- опорні колеса;
- електродвигун або два електродвигуни;
- редуктор або мотор-редуктор;
- акумуляторну батарею;
- контролер керування;
- орган керування;
- гальмівну систему;
- зарядний пристрій;
- захисні електричні апарати.

Таким чином, для подальшого розрахунку приймається електрична інвалідна коляска з акумуляторним живленням, електроприводом постійного струму та електронною системою керування.

2.4 Вибір конструктивної схеми транспортного засобу

Конструктивна схема електричного транспортного засобу визначає розташування основних вузлів, тип приводу, спосіб керування та загальну компоновку. Для інвалідної коляски важливими є стійкість, компактність, зручність посадки та можливість безпечного переміщення у різних умовах.

Найбільш доцільною є схема з двома ведучими колесами та двома опорними колесами. Ведучі колеса розміщуються з боків рами та приводяться в рух електродвигунами через редуктори. Опорні колеса забезпечують стійкість транспортного засобу та підтримують його положення під час руху і зупинки.

Перевагою такої схеми є висока маневреність. Якщо ліве і праве колесо обертаються з різною швидкістю, транспортний засіб може змінювати напрямок руху без використання окремого рульового механізму. При обертанні коліс у протилежних напрямках можливо виконати розворот майже на місці.

Рама повинна забезпечувати розміщення сидіння, акумуляторної батареї, електродвигунів, контролера та допоміжних елементів. Важливо, щоб центр мас був розташований якомога нижче, оскільки це підвищує

стійкість транспортного засобу. Акумуляторну батарею доцільно розміщувати у нижній частині рами, що додатково знижує центр мас.

Сидіння повинно мати достатню ширину, опору для спини, підлокітники та підніжки. За потреби можуть застосовуватися ремені безпеки або додаткові елементи фіксації. Конструкція повинна забезпечувати можливість зручної посадки та висадки користувача.

Основні вимоги до конструктивної схеми наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимоги до конструктивної схеми електричної коляски

| Елемент конструкції | Основні вимоги |
|----------------------|--|
| Рама | міцність, жорсткість, мінімальна маса, можливість кріплення вузлів |
| Сидіння | комфорт, підтримка спини, безпечне положення користувача |
| Ведучі колеса | достатнє зчеплення з покриттям, надійна передача тягового зусилля |
| Опорні колеса | стійкість, зменшення ризику перекидання |
| Акумуляторна батарея | низьке розташування, захист від механічних пошкоджень |
| Контролер | захист від вологи, перегріву та випадкового пошкодження |
| Орган керування | доступність для користувача, простота використання |
| Гальмівна система | надійна зупинка на рівній поверхні та під час руху на ухилі |

Обрана конструктивна схема дозволяє забезпечити необхідну маневреність і безпеку при відносно простій будові. Вона є придатною для подальшого розрахунку електроприводу, вибору акумуляторної батареї та розробки системи керування.

2.5 Вибір електроприводу

Електропривод є одним із головних вузлів електричного транспортного засобу. Він перетворює електричну енергію акумуляторної батареї в механічну енергію обертання коліс. Від параметрів електроприводу залежать швидкість руху, здатність подолання підйомів, плавність розгону, енергоспоживання та загальна надійність транспортного засобу.

Для електричних колясок можуть використовуватися різні типи електродвигунів:

- колекторні двигуни постійного струму;
- безщіткові двигуни постійного струму;
- мотор-колеса;
- мотор-редуктори.

Колекторні двигуни постійного струму мають просту систему керування та доступну вартість. Їх недоліком є наявність щітково-колекторного вузла, який з часом зношується і потребує обслуговування.

Безщіткові двигуни мають вищий коефіцієнт корисної дії, менший рівень шуму та більший ресурс роботи. Вони є перспективнішими, однак вимагають складнішого електронного контролера.

Мотор-редуктор є зручним рішенням для електричної коляски, оскільки поєднує електродвигун і редуктор в одному вузлі. Це спрощує компоновку, зменшує кількість передавальних елементів і підвищує надійність конструкції.

Для розроблюваного транспортного засобу доцільно прийняти електропривод на основі двигуна постійного струму з редуктором або двох мотор-редукторів. Така схема забезпечує достатнє тягове зусилля та дозволяє реалізувати незалежне керування лівим і правим колесом.

Орієнтовна потужність електроприводу приймається в межах 350–500 Вт. Такого значення достатньо для руху електричної коляски з користувачем по рівній поверхні, подолання невеликих підйомів і забезпечення необхідної динаміки розгону.

2.6 Вибір акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея забезпечує живлення електродвигунів, контролера та допоміжних електричних пристроїв. Від її параметрів залежить запас ходу, маса транспортного засобу, час заряджання та зручність експлуатації.

Основними характеристиками акумуляторної батареї є:

- номінальна напруга;
- електрична ємність;
- енергетична ємність;
- максимальний розрядний струм;
- маса;

- ресурс циклів заряджання-розряджання;
- безпечність експлуатації.

Для електричних транспортних засобів невеликої потужності найчастіше застосовують акумуляторні батареї напругою 24 В або 36 В. Напруга 24 В є поширеною для електричних колясок, оскільки забезпечує достатню потужність при відносно простій системі керування. Крім того, для такої напруги доступні стандартні контролери, зарядні пристрої та захисні елементи.

За типом акумуляторів можливе використання свинцево-кислотних, гелевих, літій-іонних або літій-залізо-фосфатних батарей. Свинцево-кислотні батареї мають меншу вартість, але характеризуються значною масою та меншим ресурсом. Літій-іонні батареї легші, мають більшу питому енергоємність і кращі експлуатаційні характеристики. Літій-залізо-фосфатні акумулятори відзначаються підвищеною безпекою та довговічністю.

Для розроблюваного транспортного засобу доцільно використати акумуляторну батарею напругою 24 В та ємністю близько 40 А·год. Такий варіант дозволяє отримати достатній запас енергії для щоденного використання та не призводить до надмірного збільшення маси конструкції.

Орієнтовна енергетична ємність батареї визначається як добуток напруги на електричну ємність. Для батареї 24 В і 40 А·год вона становить приблизно 960 Вт·год. Це значення буде використано в розрахунковій частині для визначення запасу ходу.

2.7 Розробка структурної схеми системи

Структурна схема електричного транспортного засобу відображає взаємозв'язок основних функціональних вузлів. Вона дозволяє визначити, які елементи беруть участь у живленні, керуванні, русі та захисті системи.

До складу структурної схеми входять:

- акумуляторна батарея;
- головний вимикач живлення;
- запобіжник або автоматичний захист;
- контролер електроприводу;
- орган керування;
- електродвигун або два електродвигуни;
- гальмівна система;
- зарядний пристрій;
- індикатор заряду;

- допоміжні електричні пристрої.

Акумуляторна батарея є основним джерелом енергії. Від неї живлення надходить через захисний пристрій до контролера. Захисний пристрій призначений для вимкнення кола у разі короткого замикання або перевантаження.

Контролер електроприводу виконує функцію керування роботою електродвигунів. Він отримує сигнал від органу керування, обробляє його та формує вихідний сигнал для двигуна. Залежно від положення джойстика контролер змінює швидкість і напрямок обертання коліс.

Орган керування повинен бути зручним і зрозумілим для користувача. Найбільш поширеним є джойстик, оскільки він дозволяє одночасно задавати напрямок і швидкість руху. У разі відпускання джойстика транспортний засіб повинен автоматично зменшувати швидкість і зупинятися.



Рис. 3 Джойстик керування

Гальмівна система може включати електричне гальмування двигуном і механічне або електромагнітне гальмо. Така комбінація підвищує безпеку експлуатації, особливо під час руху на ухилі.

Зарядний пристрій використовується для відновлення заряду акумуляторної батареї від побутової електричної мережі. Для безпечної експлуатації бажано

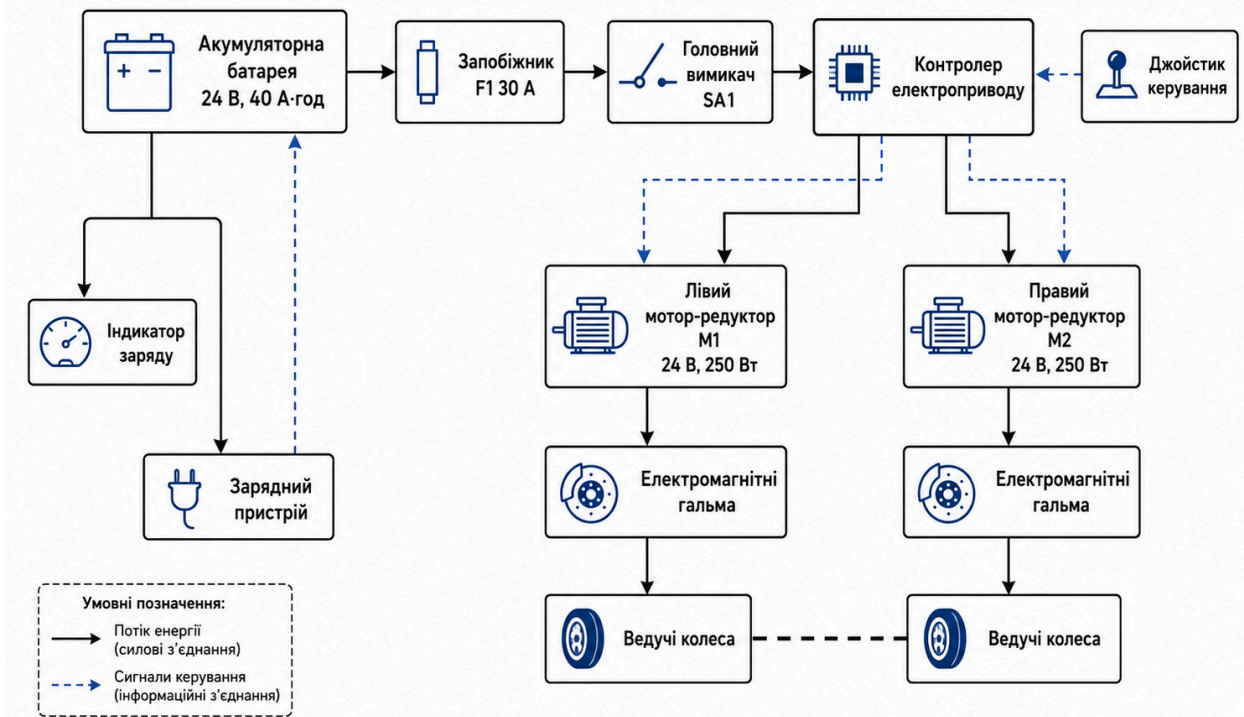
передбачити захист від перезаряджання, перегріву та неправильного підключення.



Рис. 4 Батарея

Структурно роботу системи можна описати так: користувач вмикає живлення, контролер перевіряє стан системи, після чого сигнал з органу керування надходить до контролера. Контролер регулює роботу електродвигунів, забезпечуючи рух транспортного засобу у заданому напрямку. У разі відпускання органу керування або спрацювання захисту система переходить у режим зупинки.

Рисунок 2.2 – Структурна схема електричного транспортного засобу

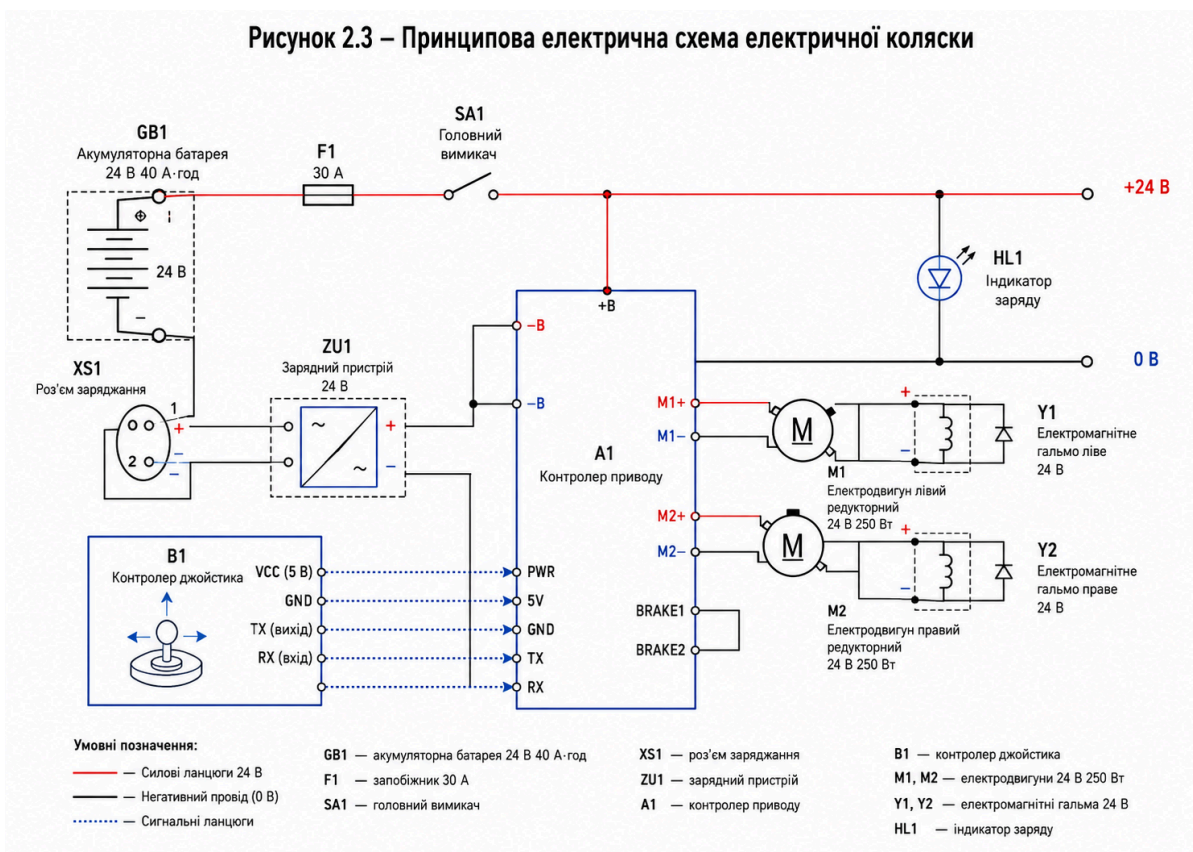


2.8 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема електричного транспортного засобу повинна забезпечувати надійне живлення електроприводу, безпечне керування двигуном і захист основних елементів від аварійних режимів.

Основними елементами електричної схеми є акумуляторна батарея, головний вимикач, запобіжник, контролер, електродвигун, орган керування, зарядний роз'єм, індикатор заряду та допоміжні споживачі. Усі елементи повинні бути з'єднані таким чином, щоб забезпечити мінімальні втрати енергії та надійний контакт у процесі експлуатації.

Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема електричної коляски



Акумуляторна батарея підключається до силового кола через головний вимикач і запобіжник. Головний вимикач дозволяє повністю відключити живлення під час зберігання, обслуговування або аварійної ситуації. Запобіжник захищає силове коло від надмірного струму.

Контролер підключається до акумуляторної батареї та електродвигунів. Він виконує регулювання напруги або струму, що подається на двигуни. Для зміни напрямку руху контролер змінює полярність або алгоритм керування електродвигуном залежно від його типу.

Орган керування з'єднується з контролером сигнальними проводами. Його сигнал має низьку потужність, тому він не повинен безпосередньо комутувати силове коло двигуна. Це підвищує безпеку користувача та надійність системи.

Зарядний роз'єм підключається до акумуляторної батареї через відповідні захисні елементи. Бажано передбачити блокування руху під час заряджання, щоб виключити випадкове ввімкнення транспортного засобу при підключеному зарядному пристрої.

Допоміжні споживачі, такі як освітлення, звуковий сигнал або індикатор заряду, можуть живитися безпосередньо від акумулятора або через

понижувальний перетворювач. Якщо використовується електроніка з напругою 5 В або 12 В, необхідно застосовувати DC-DC перетворювач.

Електрична схема повинна бути виконана з урахуванням захисту від короткого замикання, перевантаження, неправильної полярності та механічного пошкодження проводів. Провідники силового кола повинні мати достатній переріз відповідно до робочого струму електроприводу.

2.9 Алгоритм роботи системи керування

Алгоритм роботи системи керування визначає послідовність дій електричного транспортного засобу від моменту ввімкнення до завершення руху. Він повинен забезпечувати безпечну, передбачувану та зручну роботу транспортного засобу.

Після ввімкнення головного вимикача живлення напруга акумуляторної батареї подається на контролер. Контролер виконує початкову перевірку системи: оцінює рівень заряду батареї, стан органу керування, наявність помилок і готовність електроприводу до роботи.

Якщо система справна, транспортний засіб переходить у режим очікування. У цьому режимі двигуни не обертаються, а контролер очікує сигналу від органу керування. Якщо джойстик знаходиться у нейтральному положенні, рух не відбувається.

Під час відхилення джойстика вперед контролер формує команду на рух уперед. Чим більше відхилення джойстика, тим більша швидкість руху. Для забезпечення комфорту і безпеки розгін повинен бути плавним, без різких ривків.

Під час відхилення джойстика назад транспортний засіб рухається у зворотному напрямку. Швидкість руху назад доцільно обмежити, оскільки під час такого руху користувач має гірший огляд простору.

Для повороту контролер змінює швидкість обертання лівого і правого колеса. Якщо одне колесо обертається швидше за інше, транспортний засіб повертає у відповідний бік. При протилежному напрямку обертання коліс може виконуватися розворот на місці.

У разі повернення джойстика в нейтральне положення контролер зменшує швидкість і переводить транспортний засіб у режим зупинки. При необхідності спрацьовує гальмівна система.

Якщо контролер виявляє аварійну ситуацію, наприклад перевантаження двигуна, критичне зниження напруги батареї, перегрів або несправність

органу керування, система повинна перейти в захисний режим. У цьому режимі рух блокується або швидкість обмежується до безпечного значення.

У спрощеному вигляді алгоритм роботи системи можна подати так:

1. Увімкнення живлення.
2. Перевірка стану акумуляторної батареї.
3. Перевірка положення органу керування.
4. Перехід у режим очікування.
5. Отримання команди від користувача.
6. Формування сигналу керування двигунами.
7. Рух у заданому напрямку.
8. Контроль струму, напруги та стану системи.
9. Зупинка при нейтральному положенні органу керування.
10. Перехід у захисний режим у разі несправності.

Такий алгоритм забезпечує логічну та безпечну роботу електричного транспортного засобу. Він може бути реалізований як за допомогою готового контролера, так і на базі мікроконтролерної системи керування.

2.10 Перспективи вдосконалення технічних рішень

Подальше вдосконалення електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю пов'язане з підвищенням енергоефективності, безпеки, комфорту та адаптивності. У сучасних умовах недостатньо лише забезпечити рух від електродвигуна. Транспортний засіб повинен бути зручним у щоденному використанні та максимально пристосованим до потреб конкретного користувача.

Одним із перспективних рішень є використання безщіткових двигунів із електронним керуванням. Вони дозволяють зменшити втрати енергії, підвищити ресурс роботи та знизити потребу в технічному обслуговуванні.

Другим напрямом є застосування сучасних акумуляторних батарей із системою керування батареєю. Така система контролює напругу окремих елементів, температуру, струм заряду та розряду. Це підвищує безпеку й дозволяє продовжити термін служби батареї.

Важливим є також розвиток інформаційних систем. Індикатор заряду, повідомлення про несправність, обмеження швидкості та контроль технічного стану дозволяють користувачу краще розуміти стан транспортного засобу.

Перспективним напрямом є впровадження датчиків перешкод. Навіть проста система попередження про наближення до перешкоди може підвищити безпеку під час руху в приміщеннях або на вулиці.

Для користувачів із важкими порушеннями рухових функцій можуть застосовуватися альтернативні системи керування. До них належать кнопкові панелі, голосове керування, керування рухами голови або спеціальні адаптивні пристрої. Такі рішення дозволяють зробити транспортний засіб доступним для ширшого кола користувачів.

Отже, технічний розвиток електричних засобів мобільності повинен бути спрямований не лише на підвищення потужності чи швидкості, а насамперед на забезпечення безпеки, автономності, простоти використання та індивідуальної адаптації до потреб людини.

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Вихідні дані для розрахунку

Розрахункова частина бакалаврської кваліфікаційної роботи виконується з метою визначення основних параметрів електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю. До таких параметрів належать сила опору руху, необхідне тягове зусилля, потужність електродвигуна, крутний момент на ведучих колесах, параметри акумуляторної батареї та орієнтовний запас ходу.

Для розрахунку приймаємо електричний транспортний засіб типу електричної інвалідної коляски з акумуляторним живленням і приводом на ведучі колеса.

Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

| Параметр | Позначення | Значення |
|----------------------------|------------|----------|
| Маса користувача | m_1 | 100 кг |
| Маса транспортного засобу | m_2 | 50 кг |
| Загальна розрахункова маса | m | 150 кг |

| | | |
|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| Прискорення вільного падіння | g | 9,81 м/с ² |
| Максимальна швидкість руху | v_{max} | 10 км/год |
| Робоча швидкість руху | v | 6 км/год |
| Коефіцієнт опору коченню | f | 0,03 |
| Радіус ведучого колеса | r | 0,16 м |
| Коефіцієнт корисної дії приводу | η | 0,75 |
| Максимальний ухил дороги | i | 0,08 |
| Напруга акумуляторної батареї | U | 24 В |
| Ємність акумуляторної батареї | C | 40 А·год |

Максимальна швидкість 10 км/год приймається як допустима для безпечного руху у міських умовах. Для основних розрахунків використовується робоча швидкість 6 км/год, оскільки саме такий режим є найбільш характерним для пересування тротуарами, територіями медичних закладів, навчальних корпусів та іншими громадськими просторами.

Переведемо швидкість у метри за секунду:

$$v_{max} = 10 \text{ км/год} = 10 / 3,6 = 2,78 \text{ м/с};$$

$$v = 6 \text{ км/год} = 6 / 3,6 = 1,67 \text{ м/с}.$$

Загальна маса транспортного засобу з користувачем:

$$m = m_1 + m_2;$$

$$m = 100 + 50 = 150 \text{ кг}.$$

Отримане значення маси приймається з певним запасом, що дозволяє врахувати додаткове навантаження, особисті речі користувача, акумуляторну батарею та можливі конструктивні елементи.

3.2 Розрахунок сили опору коченню

Під час руху електричного транспортного засобу виникають сили опору, які необхідно подолати за допомогою електроприводу. Основною складовою при невеликих швидкостях є сила опору коченню.

Сила опору коченню визначається за формулою:

$$F_{\square} = f \cdot m \cdot g,$$

де F_{\square} — сила опору коченню, Н;

f — коефіцієнт опору коченню;

m — загальна маса транспортного засобу з користувачем, кг;

g — прискорення вільного падіння, м/с².

Підставимо числові значення:

$$F_{\square} = 0,03 \cdot 150 \cdot 9,81 = 44,1 \text{ Н.}$$

Отже, сила опору коченню становить приблизно 44 Н. Це значення відповідає руху по відносно рівному твердому покриттю. У реальних умовах воно може збільшуватися через нерівності дороги, деформацію шин або зміну стану покриття.

3.3 Розрахунок сили опору під час руху на підйомі

Для електричного транспортного засобу важливо забезпечити можливість руху не лише по рівній поверхні, а й на невеликих підйомах. У міських умовах такими ділянками можуть бути пандуси, в'їзди до будівель, нахилені тротуари або ділянки з перепадом висот.

Сила опору під час руху на підйомі визначається за формулою:

$$F_{\square} = m \cdot g \cdot i,$$

де F_{\square} — сила опору підйому, Н;

i — ухил дороги.

Для ухилу $i = 0,08$ отримаємо:

$$F_{\square} = 150 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 117,7 \text{ Н.}$$

Отже, для руху на підйомі з ухилом 8 % необхідно додатково подолати силу приблизно 118 Н.

Загальна сила опору при русі на підйомі без урахування прискорення становить:

$$F = F_{\square} + F_{\square};$$

$$F = 44,1 + 117,7 = 161,8 \text{ Н.}$$

Таким чином, під час руху на підйомі електропривод повинен створювати тягове зусилля не менше 162 Н.

3.4 Розрахунок сили, необхідної для розгону

Під час початку руху з місця електропривод повинен не лише подолати опір коченню та підйому, а й забезпечити прискорення транспортного засобу. Для плавного та безпечного руху приймаємо прискорення:

$$a = 0,3 \text{ м/с}^2.$$

Сила, необхідна для розгону, визначається за формулою:

$$F_a = m \cdot a,$$

де F_a — сила, необхідна для розгону, Н;

a — прискорення, м/с^2 .

$$F_a = 150 \cdot 0,3 = 45 \text{ Н.}$$

Тоді повна сила тяги при початку руху на підйомі становитиме:

$$F_T = F_{\square} + F_{\square} + F_a;$$

$$F_T = 44,1 + 117,7 + 45 = 206,8 \text{ Н.}$$

Отже, максимальне розрахункове тягове зусилля становить приблизно 207 Н.

Це значення використовується для вибору електродвигуна та визначення крутного моменту на ведучих колесах.

3.5 Розрахунок потужності електроприводу

Потужність, необхідна для руху транспортного засобу, визначається добутком тягового зусилля на швидкість руху:

$$P = F \cdot v,$$

де P — механічна потужність на колесах, Вт;

F — сила тяги, Н;

v — швидкість руху, м/с .

Для руху по рівній поверхні при робочій швидкості 6 км/год:

$$P_1 = F_{\square} \cdot v;$$

$$P_1 = 44,1 \cdot 1,67 = 73,6 \text{ Вт.}$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії приводу:

$$P_{ел1} = P_1 / \eta;$$

$$P_{ел1} = 73,6 / 0,75 = 98,1 \text{ Вт.}$$

Отже, для рівномірного руху по рівній поверхні при швидкості 6 км/год достатньо приблизно 100 Вт електричної потужності. Однак це значення не враховує рух на підйомі, розгін, нерівності дороги та запас потужності.

Для руху на підйомі з ухилом 8 % при швидкості 6 км/год:

$$P_2 = F \cdot v;$$

$$P_2 = 161,8 \cdot 1,67 = 270,2 \text{ Вт.}$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії:

$$P_{ел2} = 270,2 / 0,75 = 360,3 \text{ Вт.}$$

Для початку руху на підйомі з урахуванням прискорення:

$$P_3 = F_T \cdot v;$$

$$P_3 = 206,8 \cdot 1,67 = 345,4 \text{ Вт.}$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії:

$$P_{ел3} = 345,4 / 0,75 = 460,5 \text{ Вт.}$$

Отримані результати показують, що для надійної роботи транспортного засобу необхідно прийняти електропривод із потужністю не менше 460 Вт. З урахуванням запасу доцільно обрати електропривод сумарною потужністю 500 Вт.

Найбільш раціональним варіантом є використання двох електродвигунів потужністю по 250 Вт кожний. Така схема дозволяє забезпечити незалежне керування ведучими колесами та підвищити маневреність транспортного засобу.

3.6 Розрахунок крутного моменту на ведучих колесах

Крутний момент на ведучих колесах визначається за формулою:

$$M = F_T \cdot r,$$

де M — загальний крутний момент на ведучих колесах, Н·м;

F_T — тягове зусилля, Н;

r — радіус ведучого колеса, м.

Підставимо числові значення:

$$M = 206,8 \cdot 0,16 = 33,1 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Отже, загальний крутний момент на ведучих колесах повинен становити приблизно 33 Н·м.

Оскільки транспортний засіб має два ведучі колеса, момент на одне колесо становитиме:

$$M_1 = M / 2;$$

$$M_1 = 33,1 / 2 = 16,55 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $k = 1,3$:

$$M_3 = M_1 \cdot k;$$

$$M_3 = 16,55 \cdot 1,3 = 21,5 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Таким чином, кожний мотор-редуктор повинен забезпечувати крутний момент на вихідному валу не менше 21,5 Н·м.

Прийняте значення дозволяє забезпечити рух транспортного засобу на підйомі, початок руху з місця та подолання незначних нерівностей покриття.

3.7 Визначення частоти обертання ведучих коліс

Для вибору редуктора необхідно визначити частоту обертання ведучих коліс при максимальній швидкості руху.

Частота обертання колеса визначається за формулою:

$$n_k = v \cdot 60 / (2 \cdot \pi \cdot r),$$

де n_k — частота обертання колеса, об/хв;

v — швидкість руху, м/с;

r — радіус колеса, м.

Для максимальної швидкості $v_{\text{max}} = 2,78 \text{ м/с}$:

$$n_k = 2,78 \cdot 60 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,16);$$

$$n_k = 166,8 / 1,0048 = 166 \text{ об/хв.}$$

Отже, при швидкості 10 км/год ведучі колеса повинні обертатися з частотою приблизно 166 об/хв.

Для робочої швидкості 6 км/год:

$$n_k = 1,67 \cdot 60 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,16);$$

$$n_k = 100,2 / 1,0048 = 99,7 \text{ об/хв.}$$

Отже, при робочій швидкості 6 км/год частота обертання колеса становить приблизно 100 об/хв.

3.8 Вибір передаточного числа редуктора

Електродвигуни мають значно більшу частоту обертання, ніж необхідна частота обертання ведучих коліс. Тому для електричної коляски доцільно використовувати мотор-редуктори.

Передаточне число редуктора визначається за формулою:

$$i_p = n_d / n_k,$$

де i_p — передаточне число редуктора;

n_d — номінальна частота обертання двигуна, об/хв;

n_k — частота обертання колеса, об/хв.

Приймаємо номінальну частоту обертання двигуна:

$$n_d = 3000 \text{ об/хв.}$$

Тоді для максимальної швидкості:

$$i_p = 3000 / 166 = 18,1.$$

Отже, доцільно прийняти передаточне число редуктора близько 1:18 або 1:20.

Приймаємо стандартне передаточне число:

$$i_p = 20.$$

Таке значення забезпечує достатнє зменшення частоти обертання двигуна та збільшення крутного моменту на ведучих колесах.

3.9 Перевірка вибраного електродвигуна за моментом

Для перевірки приймаємо два електродвигуни потужністю по 250 Вт кожний. Сумарна потужність електроприводу становить:

$$P_{\Sigma} = 2 \cdot 250 = 500 \text{ Вт.}$$

Крутний момент одного двигуна на виході мотор-редуктора при робочій швидкості можна визначити за формулою:

$$M = 9550 \cdot P / n,$$

де M — крутний момент, Н·м;

P — потужність, кВт;

n — частота обертання, об/хв.

Для одного двигуна:

$$P = 250 \text{ Вт} = 0,25 \text{ кВт.}$$

При частоті обертання колеса $n = 100$ об/хв:

$$M = 9550 \cdot 0,25 / 100 = 23,9 \text{ Н·м.}$$

Раніше було визначено, що необхідний момент на одне ведуче колесо з урахуванням запасу становить 21,5 Н·м. Отримане значення моменту мотор-редуктора:

$$23,9 \text{ Н·м} > 21,5 \text{ Н·м.}$$

Отже, вибраний електропривод із двома двигунами по 250 Вт задовольняє вимоги за крутним моментом.

3.10 Розрахунок параметрів акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея повинна забезпечувати живлення електроприводу протягом необхідного часу роботи. У другому розділі було прийнято батарею з такими параметрами:

$$U = 24 \text{ В};$$

$$C = 40 \text{ А·год.}$$

Енергетична ємність акумуляторної батареї визначається за формулою:

$$W = U \cdot C,$$

де W — енергетична ємність, Вт·год;

U — напруга батареї, В;

C — ємність батареї, А·год.

Підставимо значення:

$$W = 24 \cdot 40 = 960 \text{ Вт·год.}$$

Отже, повна енергетична ємність акумуляторної батареї становить 960 Вт·год.

У реальних умовах не вся енергія батареї може бути використана. Частина енергії втрачається в електроприводі, контролері, проводах, а також залишається невикористаною для захисту батареї від глибокого розряду. Тому приймаємо коефіцієнт використання ємності:

$$k = 0,8.$$

Тоді корисна енергетична ємність:

$$W_k = W \cdot k;$$

$$W_k = 960 \cdot 0,8 = 768 \text{ Вт}\cdot\text{год}.$$

Отже, для розрахунку запасу ходу приймаємо корисну енергетичну ємність 768 Вт·год.

3.11 Розрахунок струму споживання електроприводу

Струм, який споживає електропривод, залежить від потужності та напруги живлення. При максимальній потужності 500 Вт струм визначається за формулою:

$$I = P / U,$$

де I — струм, А;

P — потужність, Вт;

U — напруга, В.

$$I = 500 / 24 = 20,8 \text{ А}.$$

Отже, при роботі електроприводу на повній потужності струм становить приблизно 21 А.

З урахуванням короточасних перевантажень під час розгону або руху на підйомі струм може бути більшим. Тому акумуляторна батарея, контролер, запобіжник і провідники повинні бути розраховані на струм не менше 25–30 А.

Для силового кола доцільно передбачити запобіжник або автоматичний захист на струм близько 30 А. Це дозволить захистити електричні кола від короткого замикання та перевантаження.

3.12 Розрахунок орієнтовного запасу ходу

Запас ходу електричного транспортного засобу залежить від ємності акумуляторної батареї та середнього енергоспоживання на один кілометр шляху.

Середнє енергоспоживання визначається за формулою:

$$q = P_{\text{сер}} / v,$$

де q — пито́ме енергоспоживання, Вт·год/км;

$P_{\text{сер}}$ — середня споживана потужність, Вт;

v — швидкість руху, км/год.

Для руху по рівній поверхні при швидкості 6 км/год електрична потужність становить приблизно 100 Вт. Тоді:

$$q_1 = 100 / 6 = 16,7 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{км}.$$

Однак у реальних умовах транспортний засіб рухається не тільки по рівній поверхні. Виникають зупинки, розгони, підйоми, нерівності покриття, втрати в електрообладнанні та зміна маси навантаження. Тому для практичного розрахунку приймаємо середнє пито́ме енергоспоживання:

$$q = 30 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{км}.$$

Запас ходу визначається за формулою:

$$L = W_k / q,$$

де L — запас ходу, км;

W_k — корисна енергетична ємність батареї, Вт·год;

q — пито́ме енергоспоживання, Вт·год/км.

$$L = 768 / 30 = 25,6 \text{ км}.$$

Отже, орієнтовний запас ходу електричного транспортного засобу становить приблизно 25–26 км.

Це значення відповідає сформованій у другому розділі вимозі щодо запасу ходу не менше 25 км.

3.13 Розрахунок часу заряджання акумуляторної батареї

Час заряджання акумуляторної батареї залежить від її ємності та струму зарядного пристрою. Для батареї ємністю 40 А·год доцільно використовувати зарядний пристрій зі струмом 5 А.

Орієнтовний час заряджання визначається за формулою:

$$t_z = C / I_z \cdot k_z,$$

де t_z — час заряджання, год;

C — ємність батареї, $A \cdot \text{год}$;

I_z — струм заряджання, A ;

k_z — коефіцієнт, що враховує втрати та завершальну стадію заряджання.

Приймаємо:

$$I_z = 5 \text{ A};$$

$$k_z = 1,2.$$

Тоді:

$$t_z = 40 / 5 \cdot 1,2 = 9,6 \text{ год.}$$

Отже, повне заряджання акумуляторної батареї триватиме приблизно 9–10 годин.

Такий час заряджання є прийнятним для щоденного використання, оскільки батарею можна заряджати у нічний час.

3.14 Перевірка працездатності транспортного засобу на підйомі

Для перевірки працездатності транспортного засобу на підйомі порівняємо необхідну потужність із потужністю вибраного електроприводу.

Раніше було визначено, що для руху на підйомі з ухилом 8 % при швидкості 6 км/год необхідна електрична потужність становить приблизно:

$$P_{ел2} = 360,3 \text{ Вт.}$$

Вибрана сумарна потужність електроприводу:

$$P_{\Sigma} = 500 \text{ Вт.}$$

Оскільки:

$$500 \text{ Вт} > 360,3 \text{ Вт},$$

електропривод має достатню потужність для руху на підйомі з ухилом 8 %.

Для початку руху на підйомі з урахуванням прискорення необхідна потужність становить:

$$P_{ел3} = 460,5 \text{ Вт.}$$

Оскільки:

$$500 \text{ Вт} > 460,5 \text{ Вт},$$

вибраний електропривод також забезпечує початок руху на підйомі. При цьому запас потужності є невеликим, тому в реальній конструкції доцільно передбачити короткочасний режим перевантаження двигунів або обмеження швидкості на підйомі.

3.15 Оцінка енергоефективності транспортного засобу

Енергоефективність електричного транспортного засобу визначається тим, скільки електричної енергії витрачається на подолання одного кілометра шляху. Для розроблюваної електричної коляски прийняте середнє питоме енергоспоживання становить:

$$q = 30 \text{ Вт}\cdot\text{год/км.}$$

Для порівняння, при русі по рівній поверхні без значних зупинок енергоспоживання може становити приблизно 16–20 Вт·год/км. У складніших умовах, з урахуванням підйомів, частих розгонів і нерівностей покриття, воно збільшується до 25–35 Вт·год/км.

Отримане значення $q = 30 \text{ Вт}\cdot\text{год/км}$ можна вважати реалістичним для міських умов експлуатації.

На енергоефективність впливають такі фактори:

- маса користувача та транспортного засобу;
- тип і стан дорожнього покриття;
- тиск у шинах;
- кількість зупинок і розгонів;
- наявність підйомів;
- коефіцієнт корисної дії двигунів і редукторів;
- стан акумуляторної батареї;
- стиль керування.

Для підвищення енергоефективності доцільно застосовувати легкі конструкційні матеріали, ефективні електродвигуни, якісні редуктори, акумуляторні батареї з високою питомою енергоемністю та електронну систему плавного керування швидкістю.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою під час розробки, експлуатації та технічного обслуговування електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю. Особливість таких засобів полягає в тому, що вони поєднують механічні вузли, електричне обладнання, акумуляторну батарею, систему керування та елементи безпеки користувача. Тому питання безпечної експлуатації мають розглядатися комплексно.

Електричний транспортний засіб для осіб з інвалідністю повинен забезпечувати не лише можливість самостійного пересування, але й мінімальний ризик травмування користувача. Під час експлуатації можуть виникати небезпечні ситуації, пов'язані з рухом на нерівній поверхні, втратою стійкості, несправністю гальмівної системи, розрядженням акумуляторної батареї, коротким замиканням або неправильним зарядженням.

Метою розділу є визначення основних небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації електричного транспортного засобу, а також розробка заходів щодо зменшення ризиків для користувача та осіб, які виконують технічне обслуговування.

До основних завдань охорони праці під час використання електричного транспортного засобу належать:

- забезпечення електробезпеки;
- запобігання пожежонебезпечним ситуаціям;
- зменшення ризику механічного травмування;
- забезпечення безпечного зарядження акумуляторної батареї;
- підвищення стійкості транспортного засобу;
- забезпечення безпечного технічного обслуговування;
- інформування користувача про правила експлуатації.

Безпечна експлуатація електричного транспортного засобу залежить не тільки від якості конструкції, але й від правильного використання. Користувач повинен дотримуватися інструкції з експлуатації, контролювати заряд акумулятора, не перевищувати допустиме навантаження, уникати руху по небезпечних ділянках та своєчасно проводити технічний огляд.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Під час експлуатації електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю можуть виникати різні небезпечні фактори. Їх доцільно поділити на механічні, електричні, пожежні, ергономічні та експлуатаційні.

До механічних небезпечних факторів належать можливість перекидання транспортного засобу, наїзд на перешкоду, затискання частин тіла рухомими елементами, падіння користувача під час посадки або висадки, а також травмування внаслідок різкого гальмування. Найбільш небезпечними є ситуації, коли транспортний засіб рухається по похилій поверхні, нерівному покриттю або через бордюри.

Електричні небезпечні фактори пов'язані з наявністю акумуляторної батареї, силових проводів, контролера, електродвигунів і зарядного пристрою. Незважаючи на те, що напруга живлення 24 В вважається відносно безпечною, неправильна експлуатація може призвести до короткого замикання, перегріву проводів, пошкодження ізоляції або виходу з ладу електронних компонентів.

Пожежна безпека виникає у разі перегріву акумуляторної батареї, неправильного заряджання, використання несправного зарядного пристрою, пошкодження електричних кіл або перевантаження системи. Особливої уваги потребують літєві акумуляторні батареї, оскільки вони повинні мати систему захисту від перезаряджання, глибокого розряду, перегріву та перевищення допустимого струму.

Ергономічні фактори пов'язані з положенням користувача, зручністю сидіння, доступністю органів керування, розташуванням підлокітників і підніжок. Неправильне положення тіла може спричинити втому, дискомфорт або додаткове навантаження на опорно-руховий апарат.

Експлуатаційні ризики виникають у разі використання транспортного засобу в умовах, для яких він не призначений. До таких умов належать рух під час сильного дощу, пересування по слизькому покриттю, подолання занадто крутих підйомів, перевищення допустимої маси користувача або використання несправного обладнання.

Основні небезпечні фактори та заходи щодо їх зменшення наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні фактори під час експлуатації електричного транспортного засобу

| Небезпечний фактор | Можливі наслідки | Заходи безпеки |
|--------------------|--------------------------------------|---|
| Втрата стійкості | Перекидання, травмування користувача | Низький центр мас, обмеження швидкості, правильне |

| | | |
|-----------------------|---|--|
| | | розташування акумулятора |
| Несправність гальм | Зіткнення, неконтрольований рух | Регулярна перевірка гальмівної системи, аварійне гальмування |
| Коротке замикання | Перегрів проводів, пошкодження обладнання | Запобіжники, якісна ізоляція, правильний переріз проводів |
| Перегрів акумулятора | Пошкодження батареї, пожежна небезпека | BMS, контроль температури, справний зарядний пристрій |
| Нерівне покриття | Втрата керованості, ударні навантаження | Обмеження швидкості, використання коліс достатнього діаметра |
| Неправильна посадка | Падіння користувача | Підлокітники, підніжки, за потреби ремінь безпеки |
| Рух у темний час доби | Погіршення видимості | Освітлення, світловідбивачі, звуковий сигнал |

Таким чином, безпека експлуатації залежить від поєднання конструктивних рішень, технічного стану транспортного засобу та правильних дій користувача.

4.3 Вимоги електробезпеки

Електробезпека є одним із головних питань під час експлуатації електричного транспортного засобу. У конструкції використовуються акумуляторна батарея, контролер, електродвигуни, зарядний пристрій і силові електричні кола. Усі ці елементи повинні бути захищені від пошкодження, перевантаження та неправильного підключення.

Для розроблюваного транспортного засобу прийнято напругу живлення 24 В. Така напруга є поширеною для електричних інвалідних колясок і дозволяє забезпечити необхідну потужність при відносно простій системі керування. Однак навіть при низькій напрузі силове коло може мати значний струм. У розрахунковій частині було визначено, що при потужності електроприводу 500 Вт струм може становити близько 21 А. З урахуванням короткочасних

перевантажень силові елементи повинні бути розраховані на струм не менше 25–30 А.

Основні вимоги електробезпеки:

- наявність головного вимикача живлення;
- встановлення запобіжника або автоматичного захисту;
- застосування проводів з достатнім перерізом;
- якісна ізоляція електричних з'єднань;
- захист контролера від вологи та механічних пошкоджень;
- недопущення відкритих струмопровідних частин;
- правильне підключення акумуляторної батареї;
- використання справного зарядного пристрою;
- заборона експлуатації при пошкодженій ізоляції.

Головний вимикач повинен забезпечувати повне відключення живлення під час зберігання, ремонту або аварійної ситуації. Він має бути розташований у доступному місці, щоб користувач або супроводжуюча особа могли швидко вимкнути транспортний засіб.

Запобіжник встановлюється у силовому колі між акумуляторною батареєю та контролером. Його призначення полягає у захисті електричної системи від надмірного струму. У разі короткого замикання або перевантаження запобіжник повинен розірвати електричне коло та запобігти перегріву проводів.

Провідники силового кола повинні мати достатній переріз відповідно до робочого струму. Використання проводів малого перерізу може призвести до їх перегріву, падіння напруги та пошкодження ізоляції. Усі з'єднання повинні бути надійно закріплені, оскільки вібрації під час руху можуть послаблювати контакти.

Заряджання акумуляторної батареї необхідно виконувати тільки справним зарядним пристроєм, який відповідає типу батареї. Забороняється використовувати саморобні зарядні пристрої або пристрої з невідомими параметрами. Під час заряджання транспортний засіб повинен перебувати у сухому приміщенні, а зарядний кабель не повинен мати пошкоджень.

Для підвищення безпеки доцільно передбачити блокування руху під час заряджання. Це унеможливує випадкове ввімкнення електроприводу, коли транспортний засіб підключений до електричної мережі.

4.4 Пожежна безпека акумуляторної батареї та електрообладнання

Пожежна безпека електричного транспортного засобу пов'язана насамперед із роботою акумуляторної батареї, зарядного пристрою, контролера та силових проводів. Причинами пожежонебезпечних ситуацій можуть бути коротке замикання, перегрів батареї, неправильне заряджання, механічне пошкодження елементів або використання несправного обладнання.

Акумуляторна батарея повинна мати захист від перезаряджання, глибокого розряду, перевищення допустимого струму та перегріву. Для літієвих батарей обов'язковим елементом є система керування батареєю, яка контролює параметри окремих елементів і вимикає батарею при небезпечних режимах.

Заряджання акумуляторної батареї повинно виконуватися в добре провітрюваному приміщенні, далеко від легкозаймистих матеріалів. Не допускається накривати зарядний пристрій тканиною або розміщувати його поблизу джерел тепла. Під час заряджання необхідно уникати потрапляння вологи на електричні з'єднання.

Основні вимоги пожежної безпеки:

- використовувати тільки штатний зарядний пристрій;
- не залишати пошкоджену батарею в експлуатації;
- не допускати перегріву акумуляторного відсіку;
- не виконувати заряджання поблизу горючих матеріалів;
- не використовувати транспортний засіб при запаху гару або ознаках перегріву;
- не замикати контакти акумуляторної батареї металевими предметами;
- своєчасно перевіряти стан проводів і роз'ємів;
- зберігати батарею в сухому місці.

У разі виявлення перегріву, диму, іскріння або запаху гару необхідно негайно вимкнути живлення, припинити заряджання та від'єднати транспортний засіб від електромережі. Подальша експлуатація можлива лише після перевірки технічного стану.

Для зменшення пожежної небезпеки акумуляторна батарея повинна бути розміщена у захищеному від механічних пошкоджень відсіку. Бажано, щоб акумуляторний відсік мав вентиляцію та був відокремлений від місць, де можуть накопичуватися забруднення або волога.

Електрична схема повинна містити захист від короткого замикання. Особливу увагу слід приділяти місцям з'єднання проводів, оскільки саме в них найчастіше виникає підвищений перехідний опір, що може спричинити нагрівання.

Таким чином, пожежна безпека забезпечується правильним вибором акумуляторної батареї, використанням захисних пристроїв, справним зарядним обладнанням і дотриманням правил експлуатації.

4.5 Безпека користувача під час руху

Безпека користувача під час руху є головною вимогою до електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю. Оскільки користувач може мати обмежені фізичні можливості, конструкція повинна бути максимально передбачуваною, стійкою та простою в керуванні.

Максимальна швидкість транспортного засобу не повинна бути надмірною. У роботі прийнято максимальну швидкість до 10 км/год, а робочу швидкість близько 6 км/год. Такі параметри дозволяють забезпечити достатню мобільність і водночас зменшити ризик аварійних ситуацій.

Одним із важливих факторів безпеки є стійкість. Для її підвищення необхідно розташовувати важкі елементи, зокрема акумуляторну батарею, якомога нижче. Це знижує центр мас і зменшує ризик перекидання. Також важливе значення має достатня ширина колісної бази.

Під час руху на підйомах необхідно уникати різких поворотів і різкого гальмування. На похилих ділянках транспортний засіб повинен рухатися з обмеженою швидкістю. Не допускається експлуатація на ухилах, що перевищують допустиме значення для конструкції.

Гальмівна система повинна забезпечувати надійну зупинку як на рівній поверхні, так і на невеликому ухилі. Доцільним є використання електричного гальмування в поєднанні з механічним або електромагнітним гальмом. При відпусканні джойстика транспортний засіб повинен плавно зменшувати швидкість і зупинятися.

Орган керування повинен бути зручним, чутливим і зрозумілим для користувача. У разі використання джойстика його нейтральне положення має відповідати зупинці транспортного засобу. Різкі команди керування повинні оброблятися контролером таким чином, щоб уникнути ривків.

Для руху у темний час доби або в умовах недостатньої видимості транспортний засіб повинен мати світловідбивачі, переднє освітлення або

інші засоби позначення. Це підвищує помітність користувача для пішоходів, водіїв велосипедів та інших учасників руху.

Користувач повинен дотримуватися таких правил:

- перед початком руху перевірити рівень заряду батареї;
- переконатися у справності гальм і органів керування;
- не перевищувати допустиму швидкість;
- уникати різких маневрів;
- не рухатися по слизьких або небезпечних ділянках;
- не перевищувати допустиме навантаження;
- не використовувати транспортний засіб при явних ознаках несправності.

Дотримання цих вимог дозволяє зменшити ризик травмування та забезпечити безпечне пересування в міських умовах.

4.6 Безпека під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування електричного транспортного засобу необхідне для підтримання його працездатності та безпеки. Воно включає перевірку механічних вузлів, електричних з'єднань, акумуляторної батареї, гальмівної системи, коліс і органів керування.

Перед виконанням будь-яких робіт з технічного обслуговування необхідно вимкнути головний вимикач живлення. Якщо роботи пов'язані з електричною системою, бажано також від'єднати акумуляторну батарею. Це дозволяє уникнути випадкового запуску двигунів або короткого замикання.

Під час огляду електричної частини необхідно перевіряти стан ізоляції проводів, надійність контактних з'єднань, відсутність слідів перегріву, пошкодження роз'ємів і правильність кріплення контролера. Особливу увагу слід приділяти силовим проводам, оскільки через них проходить найбільший струм.

Механічна частина потребує перевірки кріплення коліс, стану шин, рами, сидіння, підлокітників і підніжок. Ослаблення кріплень може призвести до втрати стійкості або погіршення керованості. У разі виявлення тріщин, деформацій або значного зносу експлуатацію слід припинити до усунення несправностей.

Гальмівна система повинна перевірятися регулярно. Порушення її роботи є одним із найбільш небезпечних дефектів, оскільки може призвести до зіткнення або неконтрольованого руху на ухилі.

Акумуляторна батарея потребує контролю стану корпусу, роз'ємів, температури та часу заряджання. Якщо батарея швидко розряджається, нагрівається або має механічні пошкодження, її необхідно перевірити або замінити.

Під час обслуговування забороняється:

- виконувати роботи при ввімкненому живленні;
- замикати контакти акумуляторної батареї;
- використовувати несправні інструменти;
- самостійно змінювати електричну схему без відповідної підготовки;
- встановлювати запобіжники більшого номіналу без розрахунку;
- експлуатувати транспортний засіб після виявлення небезпечної несправності.

Планове технічне обслуговування дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям.

4.7 Заходи щодо підвищення безпеки експлуатації

Для підвищення безпеки електричного транспортного засобу необхідно передбачити комплекс конструктивних, електричних та організаційних заходів.

До конструктивних заходів належать зниження центра мас, використання стійкої рами, надійне кріплення сидіння, правильне розташування акумуляторної батареї, застосування коліс достатнього діаметра та встановлення захисних кожухів на рухомі елементи.

До електричних заходів належать використання запобіжників, головного вимикача, системи захисту акумуляторної батареї, якісної ізоляції проводів, надійних роз'ємів і контролера з функціями захисту від перевантаження. Доцільно також передбачити індикатор заряду батареї, щоб користувач міг контролювати залишок енергії.

До організаційних заходів належить інструктаж користувача щодо правил експлуатації, заряджання, зберігання та обслуговування транспортного засобу. Користувач повинен розуміти допустимі умови експлуатації, правила руху на ухилах, порядок дій при несправностях і необхідність регулярної перевірки технічного стану.

Додатково для підвищення безпеки можна передбачити:

- аварійне вимкнення живлення;

- звуковий сигнал;
- світлові елементи або світловідбивачі;
- обмеження швидкості руху назад;
- автоматичне гальмування при відпусканні джойстика;
- захист від руху під час заряджання;
- індикацію несправностей;
- ремінь безпеки або додаткові елементи фіксації користувача.

Особливе значення має адаптація транспортного засобу до конкретного користувача. Для однієї людини достатньо стандартного джойстика, а для іншої можуть бути потрібні додаткові органи керування, інша висота сидіння або спеціальні елементи підтримки тіла. Тому безпека повинна розглядатися не лише як технічна характеристика, а й як відповідність конструкції індивідуальним потребам людини.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто електричні транспортні засоби для осіб з інвалідністю, їх призначення, конструктивні особливості, технічні характеристики, вимоги до експлуатації та основні параметри електроприводу. Виконана робота дозволила сформуванати комплексне уявлення про сучасні засоби індивідуальної мобільності та визначити раціональні технічні рішення для електричної інвалідної коляски.

У першому розділі було проаналізовано стан питання щодо забезпечення мобільності осіб з інвалідністю. Встановлено, що ця проблема має не лише технічне, а й соціальне значення, оскільки можливість самостійного пересування впливає на рівень незалежності людини, її доступ до освіти, роботи, медичних послуг та громадської інфраструктури. Розглянуто законодавче та нормативне забезпечення мобільності осіб з інвалідністю, а також вимоги до створення доступного міського середовища.

Визначено, що ефективність використання електричних транспортних засобів залежить не тільки від їх технічних характеристик, а й від стану транспортної інфраструктури. Наявність пандусів, понижених бордюрів, рівного покриття, доступного громадського транспорту та безпечних маршрутів руху є необхідною умовою повноцінного використання таких засобів.

У роботі виконано класифікацію технічних засобів мобільності для осіб з інвалідністю. Розглянуто механічні інвалідні коляски, електричні інвалідні коляски, мобільні електроскутери, спеціалізовані транспортні платформи та комбіновані засоби пересування. Встановлено, що найбільш універсальним рішенням для індивідуального використання в міських умовах є електрична інвалідна коляска, оскільки вона поєднує компактність, маневреність, простоту керування та можливість самостійного пересування.

У другому розділі сформовано технічні вимоги до електричного транспортного засобу для осіб з інвалідністю. Прийнято, що розроблюваний транспортний засіб повинен забезпечувати вантажопідйомність не менше 120 кг, максимальну швидкість руху до 10 км/год, робочу швидкість близько 6

км/год, запас ходу не менше 25 км, просте керування та надійну систему гальмування.

Обґрунтовано вибір конструктивної схеми електричної інвалідної коляски з двома ведучими колесами, акумуляторним живленням, електронним контролером та джойстиком керування. Така схема забезпечує високу маневреність, можливість розвороту на малому радіусі та зручність експлуатації у приміщеннях і міському середовищі.

Розглянуто основні елементи транспортного засобу: несучу раму, сидіння, ведучі та опорні колеса, електродвигуни або мотор-редуктори, акумуляторну батарею, контролер, орган керування, гальмівну систему та зарядний пристрій. Визначено, що всі ці вузли повинні працювати узгоджено, оскільки зміна параметрів одного елемента впливає на характеристики всієї системи.

У третьому розділі виконано розрахунок основних параметрів електричного транспортного засобу. Для розрахунку прийнято загальну масу транспортного засобу з користувачем 150 кг, радіус ведучого колеса 0,16 м, коефіцієнт опору коченню 0,03, напругу живлення 24 В та ємність акумуляторної батареї 40 А·год.

Розраховано силу опору коченню, яка становить приблизно 44 Н. Для руху на підйомі з ухилом 8 % визначено силу опору підйому близько 118 Н. З урахуванням сили розгону повне необхідне тягове зусилля становить приблизно 207 Н.

Визначено необхідну потужність електроприводу. Для руху на підйомі з урахуванням втрат у приводі необхідна електрична потужність становить близько 460 Вт. З урахуванням запасу прийнято електропривод сумарною потужністю 500 Вт, що складається з двох електродвигунів потужністю по 250 Вт кожний.

Виконано розрахунок крутного моменту на ведучих колесах. Загальний необхідний момент становить приблизно 33 Н·м, а момент на одне колесо з урахуванням запасу — близько 21,5 Н·м. Перевірка показала, що вибраний мотор-редуктор потужністю 250 Вт забезпечує необхідний момент і відповідає умовам експлуатації.

Розраховано параметри акумуляторної батареї. Для батареї напругою 24 В та ємністю 40 А·год енергетична ємність становить 960 Вт·год. З урахуванням коефіцієнта використання корисна енергетична ємність прийнята 768 Вт·год. При середньому питомому енергоспоживанні 30

Вт·год/км орієнтовний запас ходу становить 25,6 км, що відповідає прийнятій технічній вимозі.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації електричного транспортного засобу. Визначено основні небезпечні фактори: ризик перекидання, несправність гальмівної системи, коротке замикання, перегрів акумуляторної батареї, неправильне заряджання, рух по нерівному покриттю та порушення правил експлуатації.

Запропоновано заходи електробезпеки, пожежної безпеки та безпеки користувача під час руху. До них належать використання головного вимикача живлення, запобіжника, проводів достатнього перерізу, акумуляторної батареї із системою захисту, справного зарядного пристрою, надійної гальмівної системи, обмеження швидкості та регулярне технічне обслуговування.

У результаті виконання роботи підтверджено доцільність використання електричної інвалідної коляски з акумуляторним живленням і двома електродвигунами як ефективного засобу індивідуальної мобільності для осіб з інвалідністю. Запропоновані технічні рішення забезпечують необхідну вантажопідйомність, безпечну швидкість руху, достатній запас ходу, просте керування та можливість експлуатації в міських умовах.

Отримані результати можуть бути використані під час вибору, модернізації або проектування електричних транспортних засобів для осіб з інвалідністю, а також при подальшому вдосконаленні спеціалізованого електротранспорту з урахуванням вимог безпеки, енергоефективності та доступності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про права осіб з інвалідністю : ратифікована Законом України від 16.12.2009 № 1767-VI.
2. Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні : Закон України № 875-XII (чинна редакція станом на 2024 р.).
3. Про реабілітацію осіб з інвалідністю в Україні : Закон України № 2961-IV (чинна редакція станом на 2024 р.).
4. Про охорону праці : Закон України № 2694-XII (чинна редакція станом на 2024 р.).
5. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Київ : Мінрегіон України, 2018.
6. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ : Мінрегіон України, 2018.
7. ДСТУ ISO 7176-1:2018. Крісло колісне. Частина 1. Визначення статичної стійкості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
8. ДСТУ EN 12184:2017. Коляски з електроприводом, моторолери та зарядні пристрої. Вимоги та методи випробування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
9. ДСТУ EN ISO 7176-14:2023. Крісло колісне. Частина 14. Системи живлення та керування електричних колісних крісел і скутерів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
10. ДСТУ EN ISO 7176-21:2022. Крісло колісне. Частина 21. Вимоги та методи випробування електромагнітної сумісності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
11. World Health Organization, UNICEF. Global Report on Assistive Technology. Geneva : WHO, 2022.
12. World Health Organization. Assistive Technology Assessment Handbook. Geneva : WHO, 2024.
13. European Commission. Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Brussels : European Commission, 2021.

14. European Parliament. Accessibility and Disability in the European Union. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023.
15. European Disability Forum. Human Rights Report 2023. Brussels : EDF, 2023.
16. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Київ : Кабінет Міністрів України, актуальна редакція 2024 р.
17. Правила пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014 (чинна редакція станом на 2024 р.).
18. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Міністерство енергетики України, редакція 2023 р.
19. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Трунова І. С. Теорія електроприводу транспортних засобів. Харків : ХНАДУ, 2017. 292 с.
20. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. Вінниця : ВНАУ, 2020. 387 с.
21. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Лавріненко Ю. М. та ін. Електропривод виробничих машин і механізмів. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2020. 444 с.
22. Лавріненко Ю. М., Савченко П. І., Синявський О. Ю. та ін. Основи електропривода. Київ : Ліра-К, 2016. 524 с.
23. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Човнюк Ю. В. Мехатроніка : навчальний посібник. Київ, 2012. 357 с.
24. European Association for Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles. Battery Electric Vehicles Report 2023. Brussels : AVERE, 2023.
25. European Environment Agency. Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives. Copenhagen : EEA, 2023.
26. European Commission. Sustainable and Smart Mobility Strategy. Brussels : European Commission, 2021.
27. European Agency for Safety and Health at Work. Occupational Safety and Health in Transport Sector. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022.
28. European Committee for Standardization (CEN). Standards Supporting Accessibility and Assistive Technologies in Europe. Brussels : CEN, 2023.

ДОДАТКИ

Рисунок 2.2 – Структурна схема електричного транспортного засобу

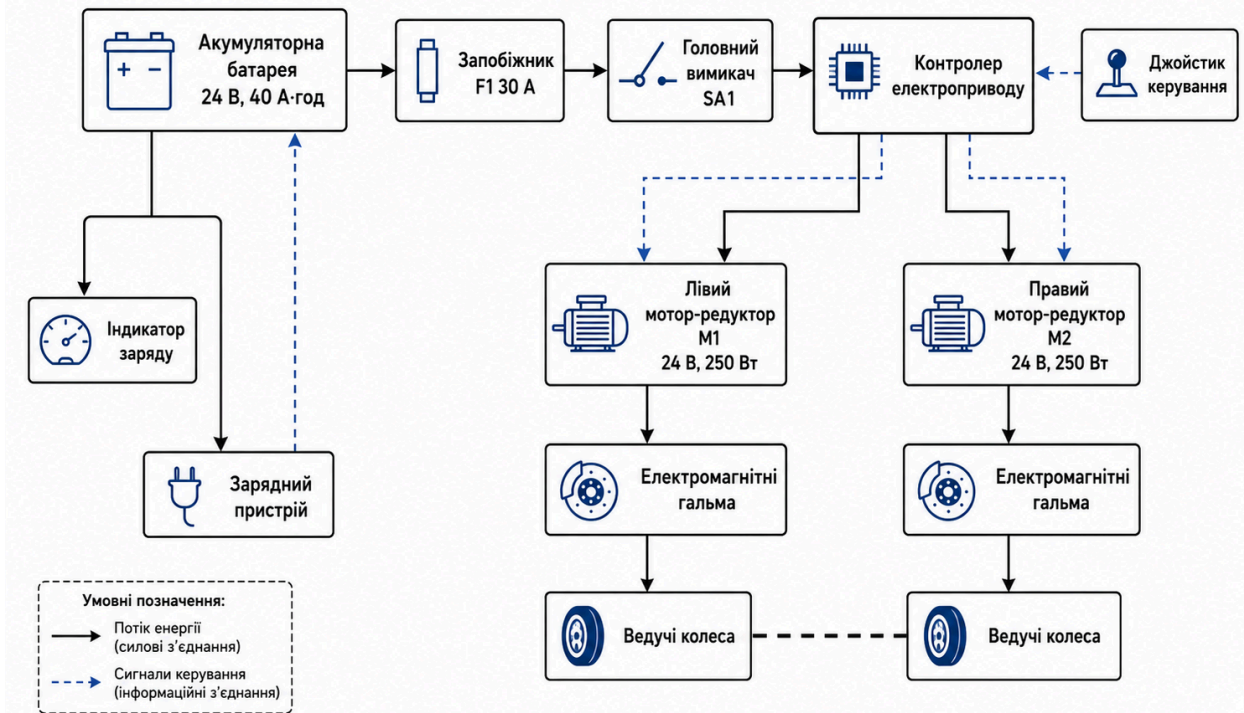


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема електричної коляски

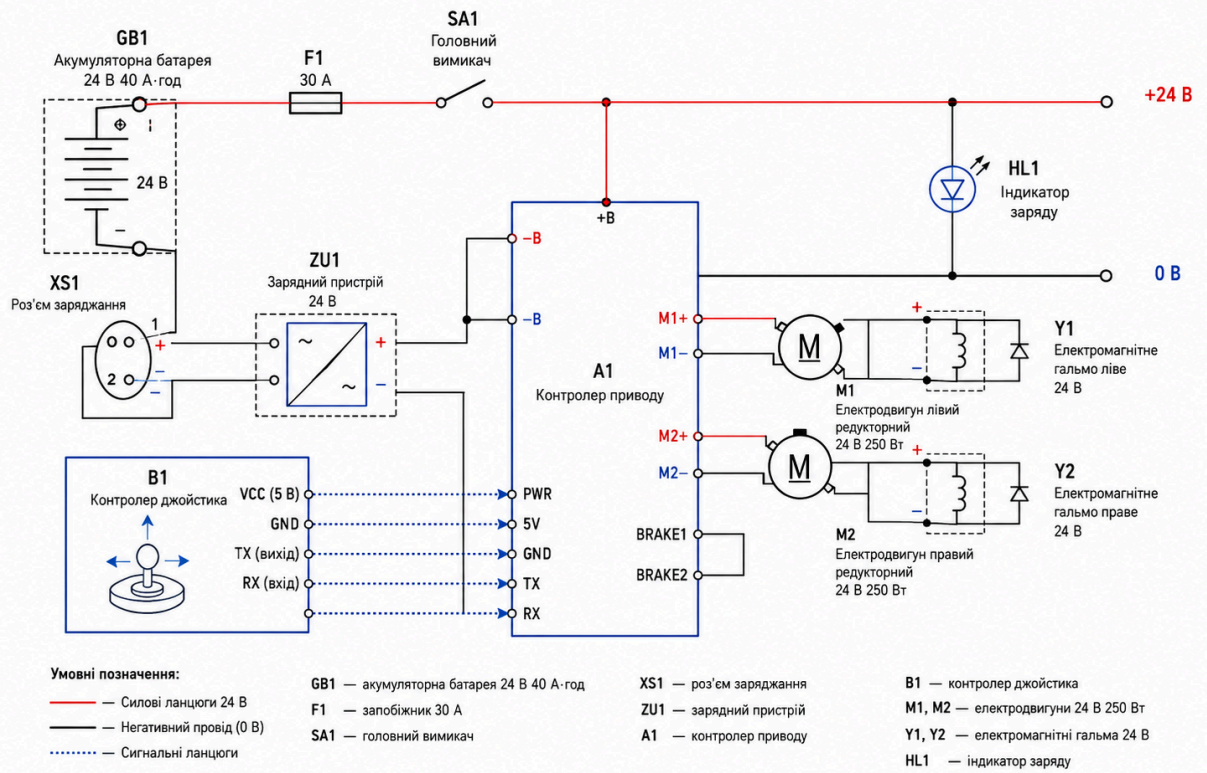


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи системи керування

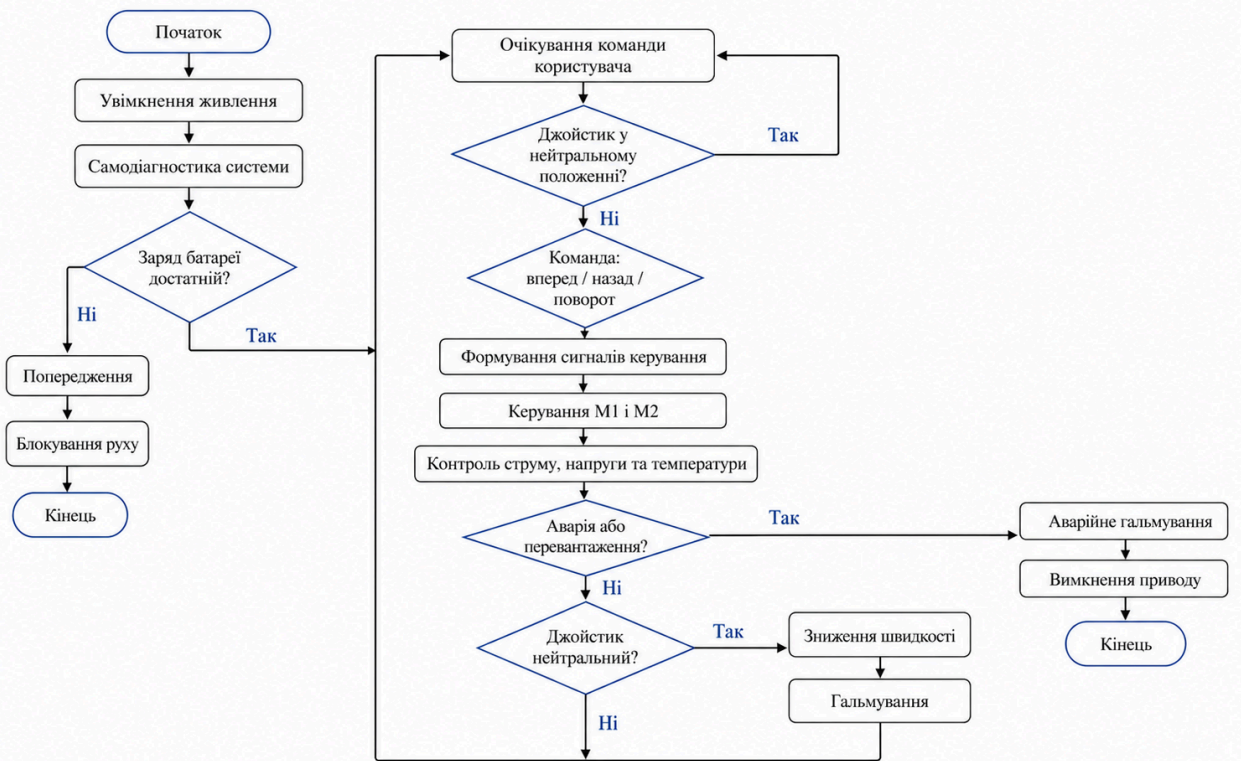












Рисунок 1.1 – Порівняльна характеристика засобів мобільності

| Критерій | Механічна інвалідна коляска | Електрична інвалідна коляска | Мобільний електроскутер |
|--|--|--|---|
| |  |  |  |
|  Тип приводу | Ручний привід | Електропривод 24 В | Електропривод 24–36 В |
|  Швидкість | 0–6 км/год | 6–10 км/год | 8–15 км/год |
|  Запас ходу | Не обмежений батареєю (залежить від користувача) | 20–30 км | 30–50 км |
|  Маневреність | Дуже висока (особливо в приміщенні) | Висока | Середня |
|  Умови використання | Переважно в приміщенні, також на рівних поверхнях на вулиці | У приміщенні та на вулиці (рівні поверхні, помірні ухили) | Переважно на вулиці (рівні поверхні, дороги, тротуари, парки) |
|  Основні переваги | <ul style="list-style-type: none"> Легка та проста конструкція Не потребує заряджання Доступна ціна Висока маневреність у приміщенні | <ul style="list-style-type: none"> Електропривод зменшує фізичне навантаження Висока маневреність Компактні розміри Підходить для щоденного використання | <ul style="list-style-type: none"> Вища швидкість і запас ходу у приміщенні Комфортна їзда на вулиці Добра прохідність Зручність для тривалих поїздок |
|  Основні недоліки | <ul style="list-style-type: none"> Потребує фізичних зусиль Низька швидкість Обмежена прохідність на нерівних поверхнях | <ul style="list-style-type: none"> Потребує заряджання Більша вага і габарити, ніж у ручної коляски Чутливість до нерівностей і перешкод | <ul style="list-style-type: none"> Великі габарити, менша маневреність у приміщенні Вища ціна Потребує заряджання |


 Примітка: Характеристики можуть відрізнятися залежно від моделі та виробника.

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд та основні вузли електричної інвалідної коляски

