

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Підвищення ефективності процесу заміни коліс  
автомобілів шляхом розробки спеціалізованого  
пристрою»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський  
Галузь знань 27 Транспорт  
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт  
Освітня програма Автомобільний транспорт

Шифр КвРАТ. 23066.02.05.00

Виконав студент 3 курсу група АТс-23-2

  
Підпис

Андрій ГНАП

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ

  
Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ

  
Підпис

Олег БАБАК

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

10.06.2026р.

Дата

  
Підпис

Олександр ДИХА

Хмельницький, 2026

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Рівень вищої освіти перший бакалаврський  
Галузь знань 27 Транспорт  
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт  
Освітня програма Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТАМ

  
15.04 Духа О.В.  
2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гнапу Андрію Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: **Підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом розробки спеціалізованого пристрою.**

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 26)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, робіт, практики.

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

1) Аналіз процесу заміни коліс автомобілів та існуючих технічних рішень.

2) Теоретичні основи та обґрунтування конструкції спеціалізованого пристрою.

3) Конструктивні концепції та обґрунтування вибору конструкції пристрою.

4) Технологія виготовлення пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04 2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	<i>Аналіз процесу заміни коліс автомобілів та існуючих технічних рішень</i>	28.05.2026	вик
2	<i>Теоретичні основи та обґрунтування конструкції спеціалізованого пристрою</i>	3.06.2026	вик
3	<i>Конструктивні концепції та обґрунтування вибору конструкції пристрою</i>	12.06.2026	вик
4	<i>Технологія виготовлення пристрою</i>	13.06.2026	вик
5	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	16.06.2026	

Студент



Підпис

Андрій ГНАП

Керівник кваліфікаційної роботи



Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

## РЕФЕРАТ

Судент групи АТс-23-2: Гнап А.О.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Кваліфікаційна робота на тему «Підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом розробки спеціалізованого пристрою» складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 17 найменувань, розмічених на 2 сторінках, та 1 додатку розміщеного на 16 сторінках. Роботу викладено на 60 сторінках, з них 54 сторінки основного тексту, на яких розміщено 23 рисунки і 6 таблиць.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом розробки спеціалізованого пристрою, який забезпечує зменшення фізичних навантажень, підвищення точності позиціонування та безпеки виконання робіт.

У роботі проведено аналіз існуючих методів і технічних засобів заміни коліс автомобілів, визначено їх основні недоліки та обґрунтовано необхідність створення нового технічного рішення. Сформульовано технічні вимоги до пристрою та розроблено декілька варіантів конструктивних рішень. На основі порівняльного аналізу обрано оптимальну конструкцію підвісного типу.

Виконано інженерні розрахунки геометричних параметрів, силових навантажень і міцності основних елементів конструкції, що підтвердили її працездатність та надійність. Обґрунтовано вибір матеріалів і розроблено технологічний процес виготовлення пристрою. Проведено оцінку трудомісткості та визначено можливість виготовлення виробу в умовах серійного виробництва.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленого пристрою на станціях технічного обслуговування, шиномонтажних підприємствах та в умовах експлуатації автотранспортних засобів. Використання пристрою дозволяє зменшити фізичне навантаження на оператора, скоротити час виконання операцій та підвищити рівень безпеки праці.

*Ключові слова: ЗАМІНА КОЛІС, АВТОМОБІЛЬ, СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ, ПІДЙОМНИЙ МЕХАНІЗМ, ШИНОМОНТАЖ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНСТРУКЦІЯ, ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ.*

Примітка

вик

вик

вик





вик

рій ГНАП

ОНСЬКИЙ

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАМІНИ КОЛІС АВТОМОБІЛІВ ТА ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	8
1.1 Загальна характеристика процесу заміни коліс автомобілів.	8
1.2 Аналіз умов експлуатації та вимог до виконання робіт.	9
1.3 Огляд існуючих пристроїв і механізмів для заміни коліс.	10
1.4 Аналіз тенденцій розвитку сучасних пристроїв.	17
1.5 Аналіз недоліків існуючих технічних рішень.	18
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ	19
2.1 Вимоги до конструкції спеціалізованого пристрою.	19
2.2 Вибір принципової схеми та концепції пристрою.	20
2.3. Обґрунтування основних параметрів конструкції.	21
2.4 Розрахунок силових навантажень та стійкості.	21
3 КОНСТРУКТИВНІ КОНЦЕПЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ	23
3.1 Аналіз проблеми.	23
3.2 Аналіз підпроблем та можливих рішень.	24
3.3 Розробка конструктивних концепцій.	25
3.3.1 Концепція 1 – Підвісний пристрій.	25
3.3.2 Концепція 2 – Підлоговий мобільний пристрій.	27
3.3.3 Концепція 3 – Комбінований пристрій з поворотом.	28
3.4 Оцінка варіантів концепцій.	29

КВАРТ. 23066.02.05.00				
м	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
виконав	Гнап			
перевір.	Посонський			
контр.	Бабак			
створ.	Диха			
Підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом розробки спеціалізованого пристрою			Літера	Аркуш
			4	60
ХНУ, АТс-23-2				

3.5 Обґрунтування вибору конструкції.	31
3.5.1 Геометрія конструкції.	31
3.5.2 Кінематичний аналіз.	34
3.5.3 Чисельна оцінка.	37
3.6 Міцність конструкції.	38
3.6.1 Аналіз міцності ніжок.	38
3.6.2 Аналіз міцності валу.	42
3.6.3 Аналіз міцності вушок та підшипникової шайби.	43
3.7 Підшипники та матеріали конструкції.	44
3.8 3D-CAD-модель інструменту.	46
3.9 Опис функціональності інструменту.	49
4 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИСТРОЮ	51
4.1 Технологічність конструкції виробу.	51
4.2 Вибір матеріалів та заготовок.	51
4.3 Розробка технологічного процесу виготовлення.	54
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ	60

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

Автомобіль став невід'ємною складовою інфраструктури суспільства, що обумовлює необхідність забезпечення його надійної, безпечної та безперебійної експлуатації. У цьому контексті особливого значення набувають процеси технічного обслуговування і ремонту, серед яких однією з найбільш частих і важливих операцій є заміна коліс.

Заміна коліс виконується як у плановому порядку, так і в аварійних ситуаціях. Незважаючи на відносну простоту даної операції, вона супроводжується низкою суттєвих труднощів. Передусім це значна маса коліс, яка для легкових автомобілів може становити 15...25 кг, а для позашляховиків, мікроавтобусів і вантажних автомобілів – перевищувати 40...60 кг. Такі навантаження створюють значне фізичне напруження для оператора, особливо при багаторазовому виконанні операцій у шиномонтажних майстернях.

Крім того, процес заміни колеса потребує точного позиціонування отворів диска відносно шпильок або болтів маточини. Навіть незначне відхилення призводить до ускладнення монтажу, збільшення часу виконання операції та додаткових зусиль. У випадках, коли колесо має значну масу або відбулося його «прилипання» до маточини внаслідок корозії, демонтаж стає ще більш складним і потенційно небезпечним.

Особливої уваги заслуговує питання безпеки праці. Під час заміни коліс існує ризик травмування внаслідок: падіння колеса; неправильного підйому та перенесення вантажу; нестійкого положення автомобіля; використання непридатного або зношеного інструменту.

Згідно з дослідженнями у сфері ергономіки, значна частина травм у автосервісах пов'язана саме з ручним переміщенням важких об'єктів. Це свідчить про необхідність впровадження технічних засобів, які б мінімізували фізичне навантаження на людину.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Аналіз сучасних технічних рішень показує, що на сьогодні існує широкий спектр обладнання для заміни коліс. До них належать домкрати, підйомники, шиномонтажні стенди, візки для транспортування коліс, а також спеціалізовані підйомні пристрої. Проте більшість із них має певні обмеження. Наприклад, домкрати забезпечують лише підйом автомобіля, але не полегшують маніпуляції з самим колесом. Шиномонтажні стенди є ефективними, але використовуються переважно в стаціонарних умовах і мають високу вартість. Візки для коліс покращують транспортування, однак не забезпечують точного позиціонування при монтажі.

Таким чином, існує потреба у створенні універсального, компактного та економічно доцільного пристрою, який поєднував би функції: підтримки ваги колеса; його фіксації; точного позиціонування; забезпечення можливості обертання.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом зменшення фізичних навантажень, скорочення часу виконання операцій та підвищення рівня безпеки праці.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу заміни коліс автомобілів шляхом розробки спеціалізованого пристрою, який забезпечує полегшення монтажних-демонтажних робіт, зменшення фізичних зусиль оператора та підвищення точності встановлення колеса.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- 1) провести аналіз існуючих способів і технічних засобів заміни коліс;
- 2) розробити конструктивні варіанти пристрою та обґрунтувати вибір оптимального;
- 3) виконати інженерні розрахунки основних елементів пристрою;
- 4) розробити технологічний процес виготовлення пристрою;

									КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк. 7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

# 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАМІНИ КОЛІС АВТОМОБІЛІВ ТА ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Загальна характеристика процесу заміни коліс автомобілів.

Процес заміни коліс автомобіля є однією з найбільш поширених операцій технічного обслуговування транспортних засобів. Він виконується як у стаціонарних умовах (станції технічного обслуговування, шиномонтажні майстерні), так і в польових умовах (на дорозі, у гаражах, на стоянках тощо). Незважаючи на відносну простоту операції, вона характеризується значною трудомісткістю, фізичним навантаженням на оператора та підвищеними вимогами до безпеки.

Основними причинами необхідності заміни коліс є [1]:

- сезонна заміна шин (літні/зимові);
- пошкодження шин (прокол, поріз, розрив);
- зношення протектора;
- ремонт або балансування коліс;
- зміна типу шин залежно від умов експлуатації.

Процес заміни колеса включає низку послідовних операцій:

1. Підготовка автомобіля (зупинка, фіксація, включення стоянкового гальма).
2. Ослаблення кріпильних елементів (болтів або гайок).
3. Підйом автомобіля за допомогою домкрата.
4. Повне відкручування кріплень.
5. Демонтаж колеса.
6. Установка нового або відремонтованого колеса.
7. Закручування кріпильних елементів.
8. Опускання автомобіля.
9. Остаточне затягування кріплень.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен із цих етапів має свої особливості та потенційні ризики. Найбільш трудомісткими є операції підйому автомобіля та маніпулювання колесом, маса якого може становити від 10–15 кг (легкові автомобілі) до 50–80 кг і більше (позашляховики, комерційний транспорт).

Особливістю процесу є необхідність точного позиціонування колеса відносно маточини, що ускладнюється значною масою колеса та обмеженим простором. Це часто призводить до додаткових фізичних зусиль і збільшення часу виконання операції.

Таким чином, процес заміни коліс є важливою, але не оптимізованою операцією, яка потребує вдосконалення шляхом застосування спеціалізованих технічних засобів.

## 1.2 Аналіз умов експлуатації та вимог до виконання робіт.

Умови виконання заміни коліс можуть істотно відрізнятись залежно від місця проведення робіт, типу транспортного засобу та наявності обладнання.

### 1) Умови виконання робіт.

- Основні умови. Стаціонарні (СТО, шиномонтаж): наявність підйомників; використання пневмоінструменту; достатнє освітлення; рівна поверхня.

- Польові умови: обмежений простір; відсутність спеціального обладнання; нерівна або слизька поверхня; несприятливі погодні умови. У польових умовах процес значно ускладнюється, що підвищує вимоги до універсальності та мобільності пристроїв.

### 2) Основні вимоги до процесу заміни коліс.

До процесу заміни коліс висуваються такі вимоги [1-2]:

- Безпека: стійкість автомобіля; запобігання падінню; захист оператора від травм.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Ергономічність: мінімізація фізичних зусиль; зручність доступу до кріплень; зниження навантаження на спину та руки.

- Ефективність: скорочення часу виконання; зменшення кількості операцій; підвищення продуктивності праці.

- Універсальність: можливість використання для різних типів автомобілів; адаптація до різних розмірів коліс.

- Надійність: довговічність пристроїв; стійкість до зношування.

Недотримання цих вимог може призвести до травматизму, пошкодження автомобіля або зниження якості виконаних робіт.

### 1.3 Огляд існуючих пристроїв і механізмів для заміни коліс.

Сучасний розвиток автомобільного сервісу призвів до появи широкого спектру спеціалізованих пристроїв, що значно полегшують процес заміни коліс. Вони відрізняються за принципом дії, ступенем автоматизації, мобільністю та сферою застосування. Умовно всі пристрої можна поділити на кілька основних груп: підйомні механізми, засоби демонтажу/монтажу, транспортно-позиціонувальні пристрої та автоматизовані системи.

#### 1) Домкрати та підйомні пристрої.

Домкрати залишаються базовим засобом для підйому автомобіля при заміні коліс. Сучасні моделі значно вдосконалені порівняно з традиційними.

Типи сучасних домкратів: механічні (гвинтові, ромбічні); гідравлічні (пляшкові, підкатні); пневматичні (подушкові); електрогідравлічні.

Приклад сучасного рішення моделі «Floor Jack», рис 1.1. Аварійний інструмент для підйому автомобіля на підлозі [2].

Характеристики:

- вантажопідйомність: до 2 т;
- компактність;
- призначений для аварійної заміни коліс.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рисунок 1.1 – Домкрат гідравлічний підкатний Belauto Floor Jack DP28P.

Особливості сучасних моделей: швидкий підйом за рахунок гідравліки; зменшене фізичне навантаження; наявність систем безпеки (клапани перевантаження).

Недоліки:- відсутність функції позиціонування колеса; потреба додаткових пристроїв.

2) Гайковерти та інструмент для демонтажу кріплень.

Сучасні системи відкручування кріпильних елементів значно підвищують продуктивність. Гайковерти призначені для роботи з гайками, болтами, анкерами та іншими кріпленнями, володіють високим крутним моментом для відкручування щільно затягнутих або заржавілих з'єднань.

Типи: електричні гайковерти; акумуляторні; пневматичні, рис. 1.2, (найпоширеніші на СТО).

Популярні бренди: CAT, NARVA, DeWALT, Makita, Bosch, Hilti, Procraft [3].

Ключові параметри вибору:

- Крутний момент: Для побутових потреб достатньо до 200 Нм, для професійних робіт 200-400 Нм і вище (ударні моделі можуть мати понад 1000 Нм).

- Тип патрона: Стандарт — квадрат ½".

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



- гідравлічний підйом;
- ножний привід.



Рисунок 1.3 – Гідравлічний візок PIONEER 1500lbs.

2. Гідравлічний візок DURHAND Hydraulic Wheel Dolly, рис. 1.4.

Особливості:

- храповий механізм;
- компактність;
- універсальність.



Рисунок 1.4 – Гідравлічний візок DURHAND Hydraulic.

3. Професійні системи типу GoJak G4520 Wheel Dolly, рис. 1.5.

Особливості:

- швидке захоплення колеса;
- використовується евакуаторами;
- висока мобільність.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.4 – Професійний візок GoJak G4520.

4. Комплекти для майстерень типу VEVOR Wheel Cart Heavy Duty Tire Jack.

Характеристики: комплект із 4 візків; вантажопідйомність до 1500 lbs (~680 кг); призначений для повного переміщення автомобіля.

Технічні характеристики (узагальнено):

- вантажопідйомність: 600–2700 кг (комплект);
- ширина шин: до 300 мм;
- діаметр коліс: до 22";
- матеріал: сталь;
- маса пристрою: 20–30 кг [2].

Переваги: значне зниження фізичних зусиль; можливість переміщення автомобіля без двигуна; універсальність застосування.

Недоліки: не вирішують повністю проблему монтажу колеса; потребують рівної поверхні; висока вартість професійних моделей.

5. Підйомники для коліс (Wheel Lift, Tire Lifter).

Це сучасні пристрої, які безпосередньо спрямовані на полегшення монтажу/демонтажу колеса.

Принцип роботи: колесо встановлюється на платформу, після чого піднімається до рівня маточини. Приклади сучасних моделей: WL80 Electric Wheel Lift, рис. 1.5.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Характеристики:

- вантажопідйомність: до 80 кг;
- електричний привід;
- швидкий підйом;
- компактність;
- точне позиціонування.
- застосування на СТО.



Рисунок 1.5 – Підйомник WL80.

Особливості: ручний механізм; регулювання висоти; ергономічна конструкція.

Переваги: суттєве зниження навантаження на оператора; точне позиціонування колеса; підвищення безпеки.

Недоліки: обмежена мобільність; додаткова складність конструкції; потреба у рівній поверхні.

Порівняльний аналіз обладнання наведено в таблиці 1.1.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз обладнання.

Тип пристрою	Гідравл. візок DURHAND	Гідравл. візок PIONEER 1500lbs	Механіч. GoJak G4520	Електр. підйом. WL80
Вантажо- підйомність	~680 кг	~680 кг	~900 кг	~80 кг
Привід	Ножний (гідравліка)	Ножний (гідравліка)	Механічни й	Електрични й
Функція переміщення авто	Так	Так	Так	Ні
Функція позиціонування колеса	Частково	Частково	Частково	Так
Мобільність	Висока	Висока	Дуже висока	Середня
Сфера застосування	СТО, гараж	СТО, евакуація	Евакуація, паркінг	СТО
Складність конструкції	Середня	Середня	Низька	Висока
Вартість	Середня	Низька– середня	Середня	Висока

Порівняльний аналіз показує:

Гідравлічні wheel dolly (DURHAND, PIONEER) є оптимальними за співвідношенням ціни та функціональності.

GoJak-системи забезпечують найкращу мобільність, але не вирішують проблему точного монтажу колеса.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Електричні підйомники (WL80) найбільш ефективні для монтажу, але мають високу вартість і меншу універсальність.

#### 4) Комбіновані пристрої (Lift + Dolly).

Сучасна тенденція – створення комбінованих пристроїв, що поєднують: підйом; утримання; переміщення колеса.

Приклад: Atlas Pneumatic Wheel Lift. Характеристики: пневматичний підйом; висока вантажопідйомність; інтегровані ролики.

Переваги: універсальність; скорочення кількості операцій; підвищення ефективності.

#### 5) Допоміжні пристрої та аксесуари.

До допоміжних засобів належать:

- напрямні шпильки;
- центрувальні пристрої;
- балансувальні стенди;
- візки для зберігання коліс.

Також використовуються досить прості механічні рішення, що аналогічні принципу важеля (як у звичайній тачці), таке поєднання дозволяє перерозподіляти навантаження і полегшувати переміщення та транспортування важких об'єктів [5].

### 1.4 Аналіз тенденцій розвитку сучасних пристроїв.

Аналіз сучасного обладнання дозволяє виділити ключові тенденції:

1. Автоматизація: електричні та пневматичні системи; мінімізація участі людини.

2. Ергономічність: зниження фізичного навантаження; адаптація під оператора.

3. Мобільність: компактні конструкції; можливість використання в польових умовах.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Універсальність: робота з різними типами автомобілів; регулювання під різні колеса.

#### 1.5 Аналіз недоліків існуючих технічних рішень.

Незважаючи на різноманіття обладнання, існуючі рішення мають низку суттєвих недоліків:

1 Висока трудомісткість. Більшість операцій виконується вручну, що призводить до: швидкої втоми оператора; зниження продуктивності; підвищення ризику помилок.

2 Низька ергономічність. Оператор змушений: працювати в незручних позах; піднімати важкі колеса; виконувати точне позиціонування вручну.

3 Недостатня безпека. Основні ризики: падіння автомобіля; травми рук і спини; зісковзування інструментів.

4 Відсутність універсальних рішень. Більшість пристроїв: орієнтовані на конкретні умови; не підходять для різних типів автомобілів; мають обмежений функціонал.

5 Висока вартість професійного обладнання. Сучасні підйомники та автоматизовані системи: дорогі; недоступні для приватних користувачів; потребують спеціального обслуговування.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Вимоги до конструкції спеціалізованого пристрою.

На основі аналізу, проведеного у розділі 1, встановлено, що існуючі пристрої не забезпечують комплексного вирішення задачі ефективної заміни коліс. У зв'язку з цим формуються основні вимоги до нового спеціалізованого пристрою [7-8].

#### 1. Функціональні вимоги. Пристрій повинен забезпечувати:

- підйом колеса до рівня маточини;
- утримання колеса у стабільному положенні;
- точне позиціонування відносно отворів кріплення;
- можливість переміщення колеса у горизонтальній площині;
- сумісність із різними типами транспортних засобів.

2. Ергономічні вимоги. Основною задачею є зниження фізичного навантаження на оператора:

- мінімізація підйомних зусиль;
- забезпечення роботи без нахилу корпусу;
- інтуїтивно зрозуміле керування;
- можливість роботи однією людиною.

#### 3. Конструктивні вимоги:

- простота конструкції;
- використання стандартних елементів;
- компактність;
- мала маса;
- зручність транспортування.

#### 4. Вимоги безпеки:

- стійкість конструкції;

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- запобігання випадковому опусканню;
- відсутність гострих кромek;
- обмеження рухів механізмів.

#### 5. Економічні вимоги:

- мінімізація вартості виготовлення;
- використання доступних матеріалів;
- простота технічного обслуговування.

### 2.2 Вибір принципової схеми та концепції пристрою.

На основі аналізу існуючих рішень доцільно розробити комбінований пристрій, який поєднує: підйомний механізм; опорну платформу для колеса; систему позиціонування; рухому основу (візок).

1. Обґрунтування вибору типу механізму. Розглянуто кілька варіантів: гвинтовий механізм; важільний механізм; гідравлічний механізм; ножичний підйомник.

Найбільш доцільним є ножичний механізм, оскільки він: забезпечує вертикальний підйом; має високу стійкість; є компактним; простий у виготовленні.

2. Концепція пристрою. Пропонується конструкція, що включає: раму на колесах; ножичний підйомний механізм; платформу з роликами; гвинтовий привід підйому.

Принцип роботи:

- 1) Колесо встановлюється на платформу.
- 2) За допомогою приводу здійснюється підйом.
- 3) Колесо позиціонується відносно маточини.
- 4) Виконується монтаж.

3. Ергономічні та безпекові аспекти конструкції.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Ергономіка. Пристрій повинен: дозволяти роботу у вертикальному положенні; мінімізувати підйом вантажу руками; мати зручні органи керування.

2) Безпека. Передбачаються: фіксатори положення; обмежувачі ходу; антиковзні покриття; блокування самовільного опускання.

### 2.3. Обґрунтування основних параметрів конструкції.

1) Визначення маси колеса. Для розрахунків приймаємо: легковий автомобіль: 15–25 кг; позашляховик: 25–40 кг.

Приймаємо розрахункову масу:  $m = 40$  кг

2) Визначення сили навантаження. Сила ваги визначається [6-7]:

$$F = mg, \quad (2.1)$$

де:  $m$  - маса колеса, кг;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Розрахунок:  $F = 40 \times 9,81 \approx 392$  Н. З урахуванням запасу:  $F = 500$  Н

3) Висота підйому. Середня висота маточини: легкові авто: 300–400 мм; позашляховики: до 600 мм. Приймаємо:  $H = 500$  мм

4) Ширина платформи. Залежить від ширини колеса: стандарт: 185–255 мм. Приймаємо:  $B = 300$  мм

### 2.4 Розрахунок силових навантажень та стійкості.

1) Розрахунок ножичного механізму. Сила у важелях визначається:

$$F_1 = \frac{F}{2 \sin \alpha}, \quad (2.2)$$

де:  $\alpha$  - кут нахилу важелів.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При  $\alpha = 30^\circ$ :  $F_1 \approx 500 / (2 \times 0,5) = 500$  Н. З урахуванням запасу:  $F_1 = 800$

Н

2) Розрахунок гвинтового механізму. Крутний момент:

$$M = \frac{F\rho}{2\pi\eta}, \quad (2.3)$$

де:  $\rho$  - крок різьби;  $\eta$  - ККД ( $\sim 0,3-0,4$ ). Приймаємо:  $M \approx 15-25$  Н·м

Це дозволяє використовувати ручний привід.

3) Перевірка стійкості. Умова стійкості [8]:

$$M_{\text{утр}} > M_{\text{перекид}} \quad (2.3)$$

Збільшення бази опори забезпечує: стабільність; безпечну роботу.

4) Обґрунтування вибору матеріалів. Основні елементи: рама: сталь Ст3; важелі: конструкційна сталь 20; платформа: листовая сталь; ролики: поліуретан або гума. Вимоги: міцність; зносостійкість; доступність.

5) Оцінка ефективності запропонованої конструкції. Порівняно з існуючими рішеннями пристрій забезпечує: зниження фізичних зусиль на 60–70%; скорочення часу заміни на 30–40%; підвищення точності монтажу.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 3 КОНСТРУКТИВНІ КОНЦЕПЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

### 3.1 Аналіз проблеми.

Розробка спеціалізованого пристрою для заміни коліс автомобілів потребує комплексного підходу до вирішення низки технічних і експлуатаційних задач. Основною проблемою є забезпечення ефективного, безпечного та зручного процесу маніпулювання колесом, маса якого може досягати 40 кг і більше.

Для системного аналізу задачі доцільно розділити її на підпроблеми, кожна з яких визначає окремий аспект функціонування пристрою.

Основні підпроблеми:

- Вага колеса – необхідність компенсації сили тяжіння та зменшення навантаження на оператора;
- Захоплення колеса – забезпечення надійної фіксації без пошкодження шини чи диска;
- Обертання колеса – можливість точного суміщення отворів під болти;
- Керування положенням – підйом, опускання та орієнтація колеса;
- Мобільність – переміщення пристрою в межах робочої зони;
- Горизонтальне положення – додаткова функція для шиномонтажу;
- Вартість – забезпечення економічної доцільності;
- Безпека – виключення травмонебезпечних ситуацій.

Такий підхід дозволяє перейти від загальної задачі до конкретних інженерних рішень.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Аналіз підпроблем та можливих рішень.

#### 1) Вага колеса.

Як інструмент повинен підтримувати вагу колеса? Сила від ваги колеса повинна кудись йти. Очевидними стають дві пропозиції щодо рішень. Перше полягає в тому, що інструмент стоїть на підлозі, наприклад, на колесах, а друге - що інструмент висить зі стелі в рейковій системі або на поворотній стрілі.

#### 2) Захоплення колеса.

Насправді існує лише один спосіб захоплення колеса, і це шина. Спробувати захопити обід дуже складно, оскільки всі ободи різні, і ободи не повинні бути подряпанними. Захопити шину можна, затиснувши її або просто залишивши стояти вертикально.

#### 3) Обертання колеса.

Для того, щоб колесо могло обертатися, його можна захопити роликми або колесами, які дозволяють йому обертатися. Також можна вважати, що частина інструменту, яка захоплює колесо, може обертатися, за умови, що це не суперечить жодній вимозі в специфікації вимог.

#### 4) Керування інструментом з урахуванням кріплення на автомобілі

Колесо можна піднімати багатьма способами, наприклад, за допомогою гідравліки, пневматики, електродвигуна. Важливо, щоб точність була достатньо високою, щоб не було проблем із встановленням колісних болтів на висоту отворів в ободі. Шиномонтаж має ланцюгові талі з функцією прихованого положення та телескопічні підйомники, які працюють як від електродвигунів, так і від пневматики. Шиномонтаж також має повністю збалансовані підйомники, які також можна використовувати.

Колесо також повинно мати можливість обертатися вбік, і це можна вирішити, розмістивши інструмент на поворотних колесах або маючи шарнір

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на інструменті, який дозволяє колесу обертатися. Проблему також можна вирішити, підвішуючи інструмент, наприклад, на ланцюгу.

#### 5) Мобільність інструменту.

Одним із рішень може бути переміщення інструменту на колесах по підлозі. Іншим рішенням є підвішування інструменту та переміщення його за допомогою поворотної стріли або рейкової системи. Шиномонтаж має відповідні стріли та рейкові системи для цієї потреби.

#### 6) Можливість горизонтального розташування колеса.

Щоб колесо оберталося горизонтально, потрібне поворотне з'єднання. Це з'єднання зручно розташоване поруч із колесом у радіальному з'єднанні.

### 3.3 Розробка конструктивних концепцій.

#### 3.3.1 Концепція 1 – Підвісний пристрій.

На рисунку 3.1 показано схематичне зображення першої ідеї дизайну. Інструмент підвішується до стелі, наприклад, у стандартній ланцюговій талі, яка, у свою чергу, переміщується вручну в рейковій системі, що має забезпечити достатню свободу руху. Будь-які кабелі/шланги від інструменту або гайковерта йдуть за ланцюгом до стелі.

Колесо слід затискати між трьома опорними важелями, що виступають з передньої частини інструменту. Верхній опорний важіль можна ковзати по висоті, згідно зі стрілкою на рисунку 3.1, щоб можна було затискати колеса різних розмірів. Зусилля затиску можна досягти за допомогою пневматичного поршня, оскільки стиснене повітря доступне в більшості шиномонтажних майстерень. Також можливо, що вага колеса та інструменту створює зусилля затиску, коли інструмент підвішується на дроті, з'єднаному з ковзним опорним важелем. На рисунку 3.2 показано, як може працювати

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

цей принцип. Опорні важелі також є поворотними, що означає, що колесо можна повертати так, щоб воно відповідало болтам колеса.

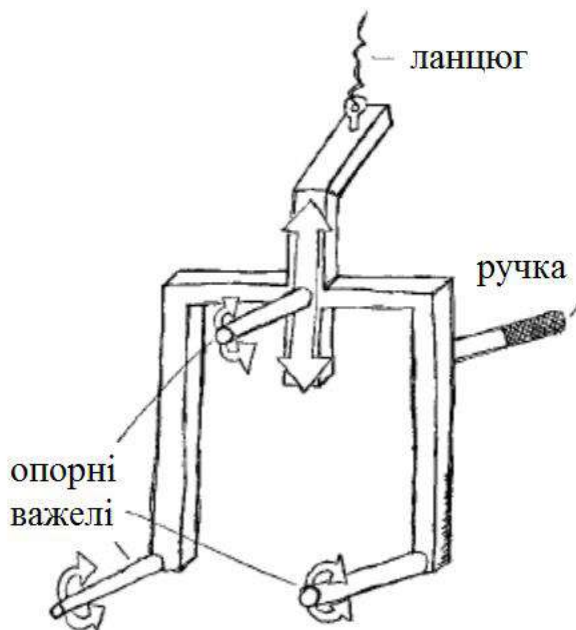


Рисунок 3.1 – Принциповий ескіз концепції 1.

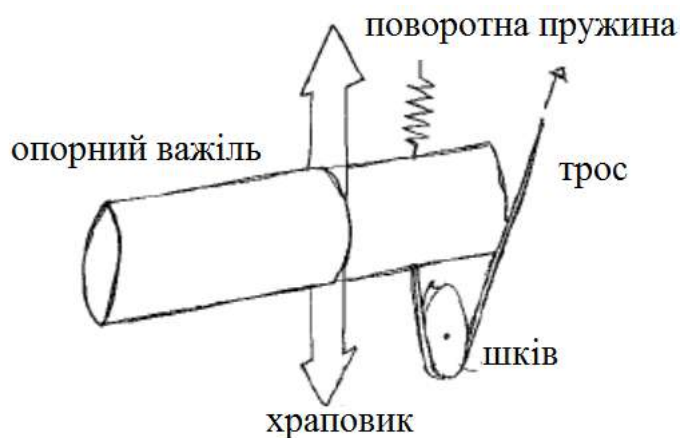


Рисунок 3.2 – Принциповий ескіз принципу роботи.

Інструмент має ручку, яка, окрім того, що дозволяє користувачеві керувати інструментом, також повинна забезпечувати його балансування. Оскільки інструмент не буде висіти безпосередньо над центром ваги, колесо також не буде висіти вертикально, а це означає, що встановити колесо неможливо. Пристрій керування підйомником також встановлений на ручці.

										Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Інструмент виконаний у вигляді перевернутої літери U, щоб гайки колеса були доступні. Також зверніть увагу, що гак для підвішування розташований трохи позаду літери U. Це пояснюється тим, що на багатьох автомобілях корпус виступає далі, ніж зовнішня частина колеса, і тоді ланцюг не повинен вдаряти.

Суть конструкції: підвішування до рейкової системи; затиск колеса трьома важелями; використання пружини або пневматики.

Переваги: мінімальне фізичне навантаження; висока точність позиціонування; простота конструкції.

Недоліки: залежність від інфраструктури; обмежена мобільність.

### 3.3.2 Концепція 2 – Підлоговий мобільний пристрій.

На рисунку 3.3 показано схематичне зображення другої пропозиції дизайну. Основна відмінність між пропозиціями один і два полягає в тому, що цей інструмент котиться по підлозі. Колеса роблять інструмент дуже мобільним, за умови, що до інструменту не підключено кабелі/шланги. У такому випадку це означало б, що функція підйому повинна працювати від акумулятора.

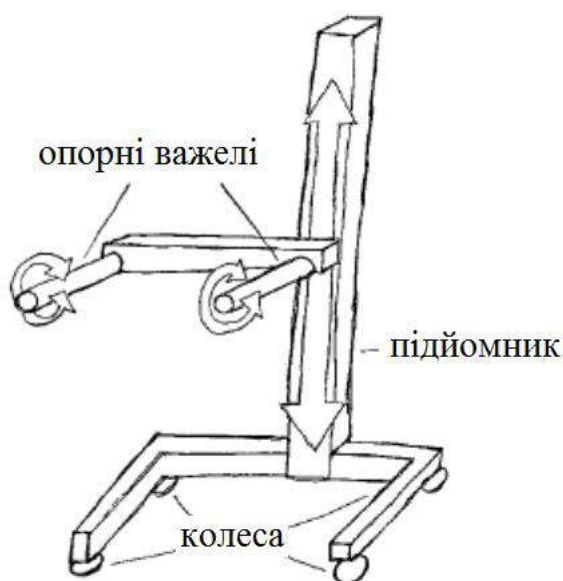


Рисунок 3.3 – Принциповий ескіз концепції 2.

						КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			27

В іншому випадку пропозиція два така ж, як і пропозиція один, з її поворотними опорними кронштейнами, на яких стоятиме колесо. Однак третій опорний кронштейн, який затискає колесо, тут не включено, але колесо призначене для того, щоб просто стояти самостійно поверх опорних кронштейнів.

Суть концепції 2: пристрій на колесах; опора на платформу; відсутність жорсткого затиску. Переваги: мобільність; автономність. Недоліки: менша стабільність; складність точного позиціонування.

### 3.3.3 Концепція 3 – Комбінований пристрій з поворотом.

На рисунку 3.4 показано пропозицію три, яка реалізує ідею можливості повертати колесо так, щоб воно стало горизонтальним. Тут опорні кронштейни замінені двома пластинами, які затискають колесо та тримають його. Пластини з'єднані шарнірно таким чином, що вони можуть обертатися відповідно до стрілки на рисунку 3.4, що означає, що колесо можна повертати. Пластини також з'єднані з ручкою, що означає, що пластини не можуть вільно обертатися одна з одною. Ручку також можна використовувати для наведення колеса в правильне положення після встановлення на автомобіль. Важливо зазначити, що ручку необхідно стискати, щоб затиснути колесо між пластинами. Тому ручка виконана у вигляді телескопа. Також можливо, що ручку не розміщувати між пластинами. У цьому випадку пластини необхідно фіксувати в певних положеннях, але це вважається занадто незграбним. Пластини також мають чотири ролики, які дозволяють колесу обертатися.

Зусилля затискання зручно досягається за допомогою пневматичного поршня, розміщеного в горизонтальній балці.

На відміну від першої пропозиції, інструмент підвішений не на ланцюзі, а в телескопі, що амортизує крутний момент. Це пояснюється тим,

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

що користувачеві буде важко збалансувати інструмент за допомогою ручки, оскільки вона може обертатися. Крім того, підвіска буде прикріплена до аналогічної рейкової системи, як і в першій пропозиції. Також між телескопом та інструментом є шарнір, який дозволяє інструменту обертатися вбік.

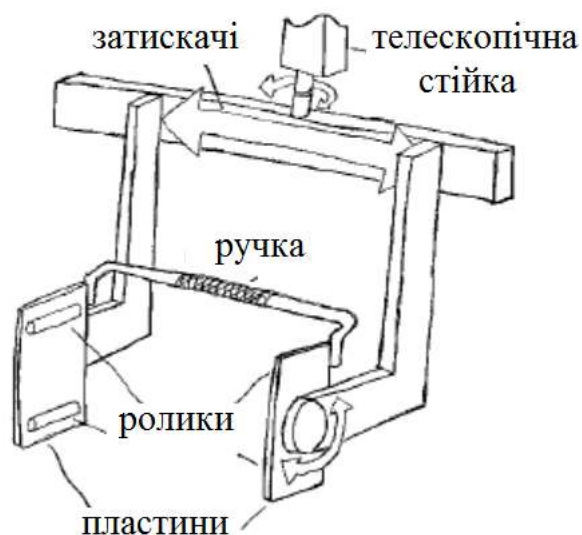


Рисунок 3.4 – Принциповий ескіз концепції 3.

Привід поршня та функції підйому телескопа розташовані на ручці.

Суть: затиск між пластинами; поворот на 90°; ролик для обертання.

Переваги: універсальність; можливість горизонтального положення.

Недоліки: складність; висока вартість.

### 3.4 Оцінка варіантів концепцій.

Для того, щоб оцінити, яка з трьох пропозицій є найбільш придатною для продовження та проектування, пропозиції були оцінені на основі наведених нижче критеріїв, таблиця 3.1. Кожна пропозиція оцінюється, причому одна є найгіршою, а три - найкращою. Крім того, критерії зважуються. Критерії, які оцінюються найбільше, множаться на коефіцієнт два, а решта - на коефіцієнт один. Пропозиція, яка отримує найбільшу

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

загальну кількість балів, є основою для продовження проектної роботи. Зверніть увагу, що оцінювання є приблизним.

- **Вартість.** Це включає вартість як самого інструменту, так і супутнього обладнання, такого як ланцюгова таль, яке необхідне для його функціонування.

- **Гнучкість / часомісткість.** Гнучкість, перш за все, означає, що використання інструменту не повинно займати більше часу, ніж ручна заміна коліс. Вона також включає загальну простоту використання інструменту.

- **Безпека.** Безпека включає ризик отримання травми.

- **Універсальність.** Універсальність інструменту, така як горизонтальність.

- **Мобільність.** Концепція включає свободу пересування інструменту в майстерні.

- **Виробництво.** Критерій «виробництво» вказує на те, наскільки легко виготовити інструмент.

Таблиця 3.1 – Порівняльна оцінка концепцій.

№	Зважування	Концепція 1	Концепція 2	Концепція 3
Вартість	×2	3	2	2
Гнучкість	×2	3	2	2
Безпека	×2	2	2	2
Універсальність	×1	2	2	3
Мобільність	×1	2	3	2
Виробництво	×1	3	1	2
Всього	-	23	18	19

З таблиці 3.1 видно, що перша пропозиція є найбільш підходящим рішенням проблеми. Вартість самого інструменту вважається низькою,

оскільки він простий і не містить дорожчих деталей, таких як електродвигун або пневматичний поршень. Оскільки інструмент простий, його можна спроектувати так, щоб його було легко виготовити.

Зручності використання інструменту надається високий пріоритет, і вважається, що вона є високою для інструменту. Це пояснюється тим, що інструмент та колесо повинні бути зручними для використання однією рукою під час складання, а болти колеса – затягуватися іншою. Крім того, інструмент захоплює колесо під час його підйому, що легко зробити однією рукою, якщо колесо стоїть вертикально.

Однак інструмент має деякі недоліки. Інструмент не дозволяє повертати колесо горизонтально. Крім того, інструмент прив'язаний до рейкової системи у стелі, що означає, що він може не мати такої високої мобільності, як хотілося б. Мобільність все одно буде повністю задовільною для більшості людей. Іншими недоліками інструменту є те, що він звисає зі стелі, і існує ризик удару інструментом, а він, у свою чергу, може вдарити, наприклад, автомобіль.

### 3.5 Обґрунтування вибору конструкції.

Інструмент повинен бути розроблений таким чином, щоб підходити для всіх автомобілів або принаймні для якомога більшої кількості. Тут виникає проблема з отриманням загального огляду всіх автомобілів. Тому багато аспектів інструменту будуть базуватися на оцінках та кваліфікованих припущеннях.

#### 3.5.1 Геометрія конструкції.

Для визначення розмірів H1, H2 та B1 інструменту, згідно з рисунком 3.5, які визначають розміри коліс, з якими інструмент може працювати,

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

відправною точкою є крайні точки коліс. Найменші колеса мають діаметр приблизно 55 см, а найбільші – 80 см. Однак, щоб мати запас, інструмент розмірується відповідно до діаметрів 53 см та 82 см відповідно.

Другим критерієм для визначення розмірів є те, що колесо, яке стоїть на краю, має без проблем захоплюватися інструментом. Це означає, що нижні опорні важелі повинні розміщуватися між колесом та поверхнею.

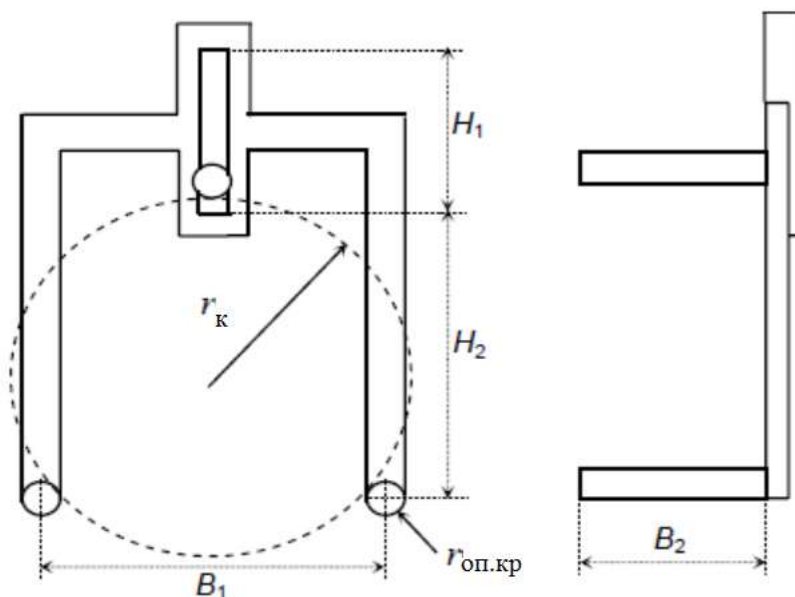


Рисунок 3.5 – Схема геометричних розмірів, які визначають, з якими колесами може працювати інструмент.

Для розрахунків використовувалися наступні рівняння:

$$x^2 + y^2 = r_k^2, \quad (3.4)$$

$$x = r_k \cos(t), \quad (3.5)$$

$$x'^2 + y'^2 = r_{оп.кр}^2, \quad (3.6)$$

$$x' = r_{оп.кр} \cos(t), \quad (3.7)$$

$$x + x' = \frac{B_1}{2}. \quad (3.8)$$

						КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

Де  $x$  та  $y$  належать до системи координат колеса, див. рисунок 3.6, а  $x'$  та  $y'$  належать до системи координат опорного важеля. Якщо діаметр колеса змінюється, точка контакту між колесом та опорним важелем рухатиметься вздовж дуги колеса та опорного важеля. Однак кути до точки контакту, згідно з рівняннями 3.5 та 3.7, як для колеса, так і для опорного важеля будуть однаковими.

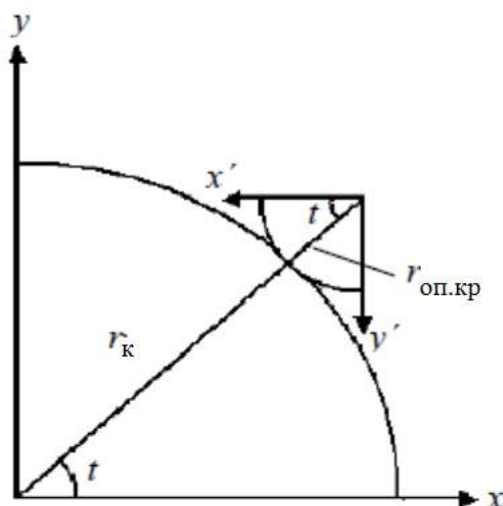


Рисунок 3.6 – Зв'язок між колесом та системою координат опорного важеля  $x$

Рівняння 3.5 та 3.7 підставляють у рівняння (3.8) і отримують рівняння (3.9). За допомогою цього рівняння можна обчислити кут  $t$ .

$$\cos(t) = \frac{B_1}{2(r_k + r_{\text{оп.кр}})}. \quad (3.9)$$

Використовуючи рівняння (3.5) та (3.9) у рівнянні (3.4), можна розв'язати  $y$  та отримати рівняння (3.10). Аналогічно можна розв'язати  $y'$ .

$$y = \sqrt{r_k^2 \left( 1 - \frac{B_1^2}{4(r_k + r_{\text{оп.кр}})^2} \right)}, \quad (3.10)$$

$$y' = \sqrt{r_{\text{оп.кр}}^2 \left( 1 - \frac{B_1^2}{4(r_k + r_{\text{оп.кр}})^2} \right)}. \quad (3.11)$$

					КВРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

За допомогою рівнянь (3.10) та (3.11) можна визначити та розрахувати відповідні розміри. Результат представлено нижче в таблиці 3.2. Розмір В1 передбачає, що діаметр опорного важеля становить 31 мм, і встановлений на 400 мм. Діаметр опорного важеля визначається тим, що Шиномонтаж використовує труби діаметром 27 мм, а зовні встановлений підшипник ковзання. Потім перевіряється, чи знаходиться опорний важіль між колесом найбільшого діаметра та поверхнею. Після цього можна розрахувати розміри Н1 та Н2.

В2 встановлено на 200 мм, оскільки це вважається придатним. Існують значно ширші колеса, але опорні важелі не обов'язково повинні покривати всю ширину колеса, і вони не повинні розміщуватися в колісних арках.

Таблиця 3.2 – Результат розрахунку розмірів колеса може які може обробляти інструмент.

Н1	324 мм
В1	400 мм
Н2	462 мм
В2	200 мм

### 3.5.2 Кінематичний аналіз.

1) Механізм. Для уточнення сил підшипників на підшипниках між верхнім опорним важелем та пазом, в якому рухається опорний важіль, а також сили, що діє на шину, механізм показано відповідно до рисунка 3.7. Введено та визначено сили. Сила  $F_{\text{тельфер}}$  – це сила, яку підйомник чинить на інструмент, що означає, що  $F_{\text{тельфер}}$  дорівнює силі тяжіння інструменту, включаючи колесо.  $R_{\text{шини}}$  – це сила реакції колеса на опорний важіль. Розташування сили в бічному напрямку залежить від ширини колеса та місця

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

розташування колеса відносно інструменту. Однак передбачається, що сила знаходиться посередині ширини, а колесо розташоване найдалі праворуч.

Для кращого уявлення про механізм див. рисунки 3.15 та 3.16.

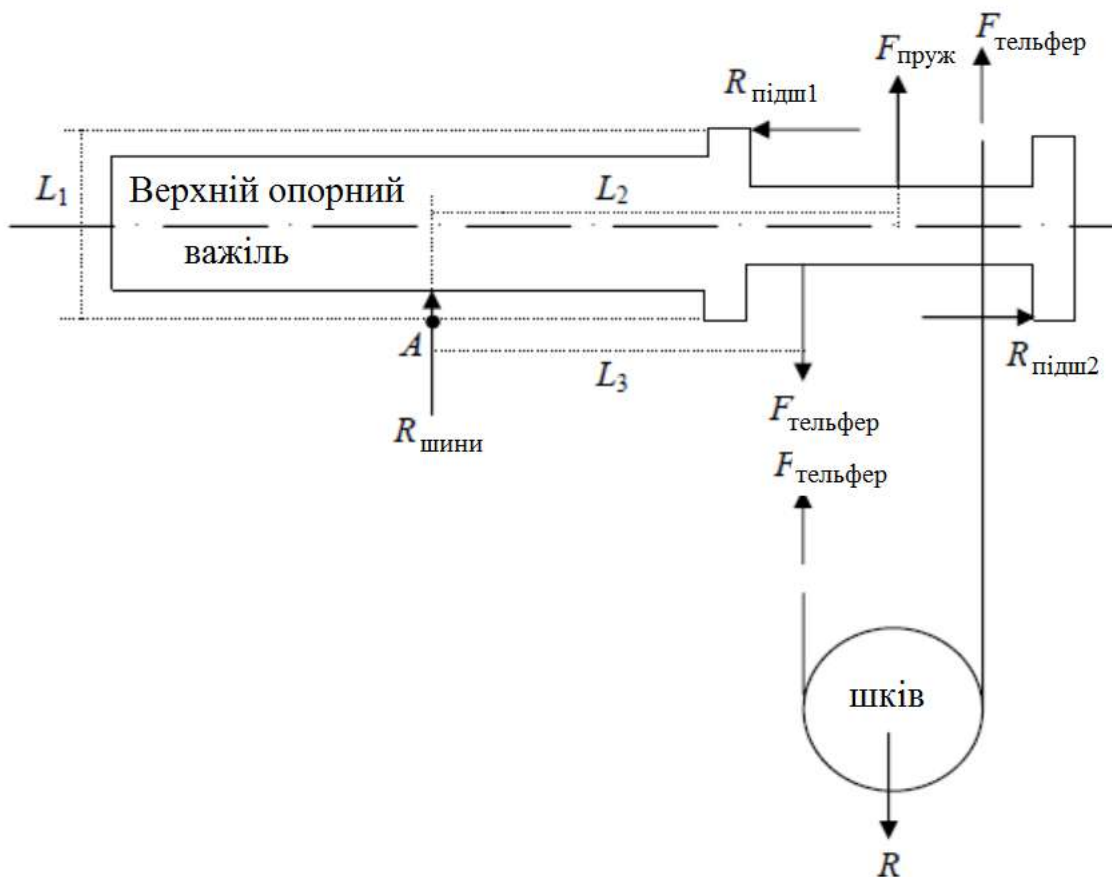


Рисунок 3.7 – Схема дії сил для верхнього опорного важеля та важеля тяги.

Рівняння рівноваги для шківів тоді стає:

$$2F_{\text{тельфер}} - R = 0, \quad (3.12)$$

а опорний важіль отримує наступні три рівняння рівноваги:

$$F_{\text{тельфер}} - F_{\text{пруж}} - R_{\text{шпини}} = 0, \quad (3.13)$$

$$R_{\text{підш1}} - R_{\text{підш2}} = 0, \quad (3.14)$$

$$F_{\text{тельфер}} L_3 - F_{\text{пруж}} L_2 - R_{\text{шпини}} L_1 = 0. \quad (3.15)$$

Щоб отримати силу пружини, необхідно визначити її розміри. Для цього найкраще звернутися до виробника пружин, який може допомогти з визначенням розмірів. На жаль, це не вдалося, тому в подальшій роботі буде використана пружина, яка вважається прийнятною.

Пружина повинна бути попередньо натягнутою гвинтовою пружиною, призначеною для тяги. Попереднє натягування означає, що пружина повинна бути навантажена заданою силою, перш ніж пружина почне розтягуватися. Причина, чому було обрано, полягає в тому, що простір між колесом і корпусом обмежений, і інструмент ідеально повинен там розміщуватися.

Сила пружини визначається рівнянням (3.16):

$$F_{\text{пруж}} = F_0 + kx. \quad (3.16)$$

Де  $F_0$  - сила попереднього натягу, яка відповідає силі тяжіння інструменту плюс невелика додаткова сила, щоб забезпечити, щоб верхній опорний важіль знаходився у верхньому положенні, коли інструмент не навантажений. Коефіцієнт пружності  $k$  бажано має бути якомога меншим, оскільки сила  $R_{\text{шпунт}}$  у рівнянні (3.13) має бути якомога більшою. Тут  $F_0$  вибрано рівним 70 Н, а  $k = 200$  Н/м. В іншому випадку пружина повинна мати хід пружини щонайменше 324 мм.

2) Опорні важелі. Для того, щоб мати змогу виконати розрахунки міцності на ніжках, необхідні сили на нижніх опорних важелях. Сили визначені на рисунку 3.8, де кут  $t$  такий самий, як і кут на рисунку 3.6.

Рівняння рівноваги тоді набувають наступного вигляду:

$$R_{\text{шпунт}} - R_v \sin(t) - R_h \sin(t) = 0, \quad (3.17)$$

$$R_h \cos(t) - R_v \cos(t) = 0. \quad (3.18)$$

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Найкращим рішенням є концепція 1, оскільки: проста у виготовленні; має низьку вартість; забезпечує ефективність.

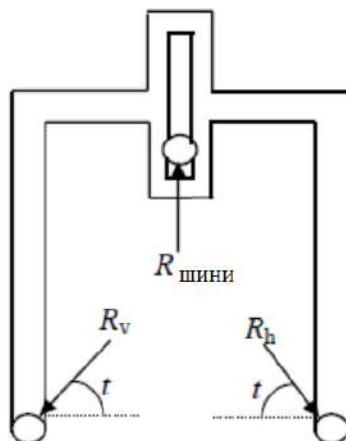


Рисунок 3.8 – Вплив та визначення сил на опорні важелі.

### 3.5.3 Чисельна оцінка.

Невідомі сили розраховані та представлені в таблиці 3.3. Сили були розраховані для двох випадків на додаток до сили  $R$ , оскільки інтерес представляє лише найбільше значення цієї сили. Два випадки - з малим легким колесом та великим важким колесом. Розмір коліс має той самий діаметр, для якого розрахований інструмент - 530 мм та 820 мм відповідно. Вага коліс базується на припущенні, що колесо з розмірами 205/55 R16 (=632 мм) важить 17,2 кг. Кут  $t$  також представлений у таблиці.

Таблиця 3.3 – Величини сил та кутів.

Показник	530 мм; 10 кг	820 мм; 24 кг
$R_{шина}$	32,2 Н	233,8 Н
$R_{підшипник1}$	26,0 Н	679,4 Н
$t$	47,5°	63,0°
$R_v$	21,8 Н	131,2 Н
$R$	608,8 Н	-

### 3.6 Міцність конструкції.

Міцність розраховано в критичних точках інструменту. Головним чином для того, щоб інструмент не деформувався під навантаженням, а також для того, щоб інструмент не змінював форму неприйнятним чином та не втомлювався.

Критичними точками вважаються:

- Ніжки, що підтримують нижні опорні важелі.
- Вал шківів.
- Вушко, до якого кріпиться пружина.
- Підшипникова шайба для верхнього опорного важеля.

Для більш детального опису деталей дивіться розгорнуте зображення на рисунку 3.9. Найбільш навантажені елементи: опорні важелі; вал; зварні з'єднання.

#### 3.6.1 Аналіз міцності ніжок.

Ризик, пов'язаний з ніжками, полягає в тому, що вони сильно згинаються під навантаженням колеса, що призводить до їх деформації. Крім того, вони не повинні згинатися занадто сильно, оскільки тоді точка контакту між колесом та опорним важелем зміниться в гіршу сторону. Тоді сила, яка викликає момент згинання, зросте, що призведе до ще більшого згинання ніжок і утвориться замкнене коло. Тут також існує ризик втоми.

Для ніжок слід використовувати круглі труби із зовнішнім діаметром 27 мм, тому внутрішній діаметр невідомий. Однак, оскільки неможливо розв'язати внутрішній діаметр з рівняння, максимальне напруження буде розраховано для внутрішнього діаметра 23 мм і порівняно з межею текучості матеріалу.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

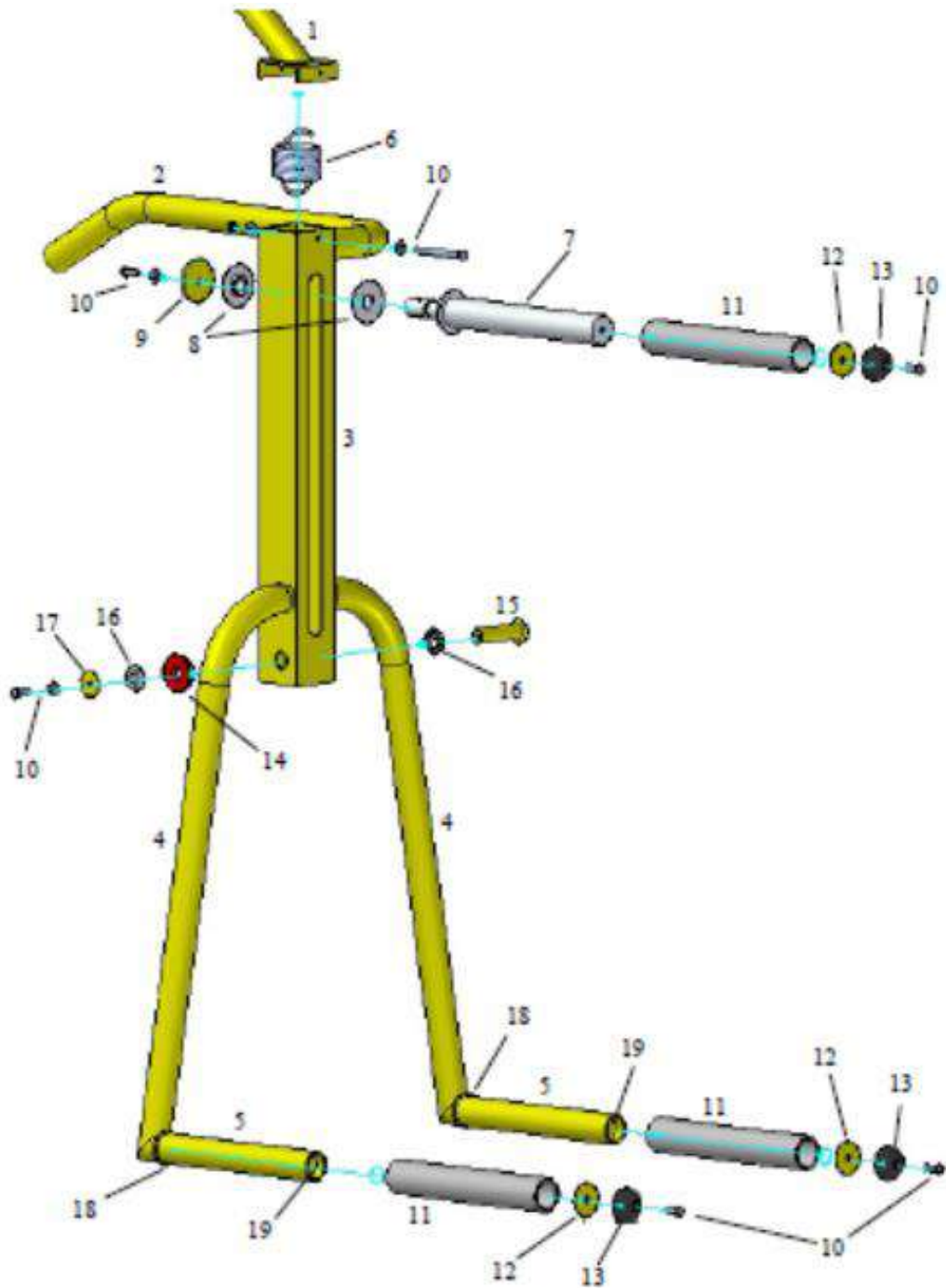


Рисунок 3.9 – Модель пристрою:

1. Балансувальна труба з кришкою 2. Ручка 3. Рама 4. Ніжки 5. Нижні опорні важелі 6. Пружини 7. Верхній опорний важіль 8. Підшипник гусениці 9. Шайба підшипника гусениці 10. Гвинт з шайбою 11. Підшипник опорного важеля 12. Шайба підшипника опорного важеля 13. Амортизуюча прокладка 14. Шків 15. Вісь 16. Підшипник осі 17. Шайба підшипника осі 18. Обмежувач підшипника опорного важеля 19. Різьбова вставка

									КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						39

Оскільки ніжка зігнута, важко розрахувати максимальне напруження в ніжці вручну. Для цього фактично потрібно буде використовувати метод скінченних елементів (FEM). Замість цього використовується спрощена модель, де ніжка вважається прямою без згинання. Для розрахунку максимального напруження  $\sigma_{max}$  у вітках використовується рівняння:

$$\sigma_{max} = \left( \frac{R_{vy'}}{A} + \frac{R_{vx'}L}{W_b} \right) n. \quad (3.19)$$

Де  $R_{vy''}$  – складова сили  $R_v$ , паралельна вітці, а  $R_{vx''}$  – складова, перпендикулярна вітці. Змінна  $L$  – довжина вітки, яка становить 527,6 мм. А та  $W_b$  – площа поперечного перерізу та опір згину вітки відповідно. Коефіцієнт запасу міцності  $n$  встановлено на рівні 3,5, що відповідає рекомендаціям.

Для обчислення компонентів та перетворення їх у бікоординатну систему, яка показана на рисунку 3.10, щоб компоненти були паралельними та перпендикулярними до кістки, використовуються наступні рівняння:

$$R_{vx''} = R_v \cos(t + u), \quad (3.20)$$

$$R_{vy''} = R_v \sin(t + u), \quad (3.21)$$

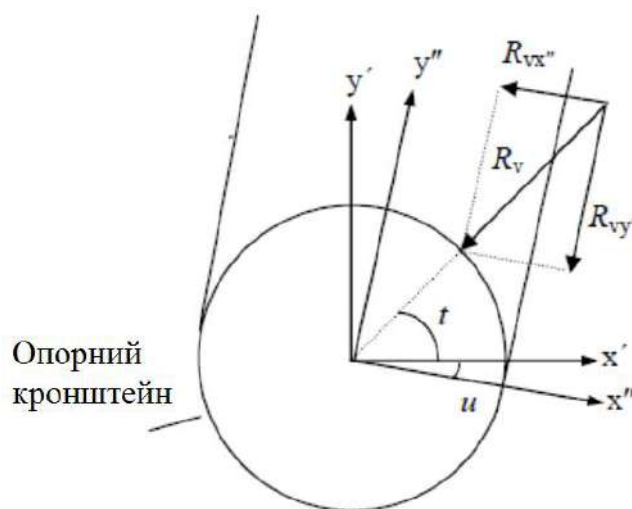


Рисунок 3.10 – Схема визначення компонентів сили.

						КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			40

Де  $u$ , що дорівнює  $10^\circ$ , – це кут між системами координат, а  $t$  – той самий кут, що й раніше. Для  $W_b$  використовується рівняння (3.22), де  $d_y$  – зовнішній діаметр самої сталевий труби, а  $d_i$  – внутрішній діаметр.

$$W_b = \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{d_y^4 - d_i^4}{d_y} \right) \quad (3.22)$$

Максимальне напруження розраховується для двох випадків так само – велике важке колесо та трохи легше колесо відповідно. Результат представлено в таблиці 3.4 нижче. У таблиці 3.4 також представлено прогин, отриманий за допомогою наступного рівняння:

$$\delta = \frac{R_{\text{из}} \cdot l^3}{3EI} \quad (3.23)$$

Де  $l$  – довжина катета, а  $E$  – модуль пружності для матеріалу SS 141312-00, який становить 208 ГПа.  $I$  – момент інерції площі для круглої труби, який визначається рівнянням:

$$I = \frac{\pi}{64} (d_y^4 - d_i^4) \quad (3.24)$$

Таблиця 3.4 – Напруження та переміщення катетів.

Параметр	530 мм; 10 кг	820 мм; 24 кг
$\sigma_{\text{max}}$	8,4 МПа	13,2 МПа
$\delta$	0,27 мм	0,73 мм

Матеріал, який використовується для порівняння результатів у таблиці 3.4, – це SS 141312-00. Це загальна конструкційна сталь, межа текучості якої становить 240 МПа. Результати в таблиці 3.4 показують, що напруження значно нижчі за межу текучості SS 141312-00. Напруження також значно нижчі за межу втоми, яка для матеріалу становить 110 МПа. Однак, згідно з Довідником та збіркою формул з міцності [3], зварні з'єднання віток у рамі становлять від 25% до майже 100% від міцності матеріалу на втому. Тому саме зварне з'єднання розраховується на втому, але навіть тут цього достатньо.

### 3.6.2 Аналіз міцності валу.

Для розрахунку відповідного діаметра вала шківів використовується рівняння (3.25).

$$\sigma_{\max} = \frac{Rl}{W_b} \cdot n \quad (3.25)$$

Де сила  $R$  така ж, як у рівнянні (3.12), а  $l$  дорівнює половині довжини вала, 22 мм, оскільки сила діє на середину вала. Для опору згину  $W_b$  використовується рівняння:

$$W_b = \frac{\pi d^3}{32} \quad (3.26)$$

Змінна  $d$  розв'язується з рівняння та розраховується. Для розрахунку використовується той самий матеріал, що й у попередньому абзаці. Діаметр вала після округлення до парного числа становитиме 13 мм.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

### 3.6.3 Аналіз міцності вушок та підшипникової шайби.

Вушка розташована під кришкою – номер один на розібраному зображенні в додатку один. Для розрахунку необхідної площі вушка використовується рівняння (3.19), проте без другого члена, і замість сили  $R_{\nu}$  слід використовувати пружину  $F$ . Використовується той самий матеріал, що й для вала. Якщо розв'язати та розрахувати  $A$ , то воно становитиме  $1,97 \text{ мм}^2$ . Це дуже мала площа, яку легко деформувати. Тому вушка будуть значно більшими.

Підшипникова шайба верхнього опорного важеля не повинна згинатися, коли опорний важіль притискається до колеса. Рівняння (3.25) використовується для розрахунку товщини матеріалу шайби, якщо  $R$  замінити на  $R_{\text{підш}1}$ , а  $l$  – відстань від сили до шайби –  $11,6 \text{ мм}$ . Оскільки поперечний переріз прямокутний, опір згину відповідає рівнянню:

$$W_b = \frac{bh^2}{6} \quad (3.27)$$

Висота  $h$  – це невідома змінна. Ширина вже визначається діаметром шайби підшипника та шайбою для гайки, оскільки, ймовірно, саме навколо цієї шайби шайба підшипника згинається. Див. рисунок 3.11. Діаметр шайби гайки невідомий, але можна припустити, що він становить  $12 \text{ мм}$ .

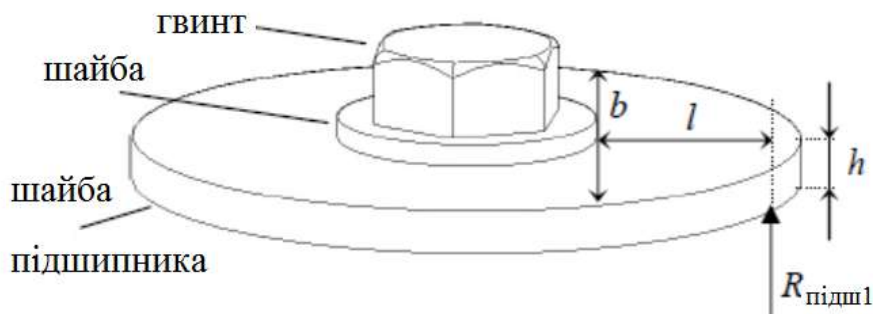


Рисунок 3.11 – Визначення сили на шайбі підшипника, а також ширини та висоти поперечного перерізу.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Для отримання ширини використовується наступне рівняння:

$$b = d \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.28)$$

Де  $d$  – діаметр шайби підшипника, а  $\alpha$  – кут сектора. Див. рисунок 3.12.

Для отримання  $\alpha$  використовується наступне рівняння:

$$\frac{d - d_{mb}}{2} = \frac{d}{2} \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3.29)$$

Де  $d_{mb}$  – діаметр гайкової шайби. Ширина приблизно 38,2 мм. В результаті висота / товщина шайби підшипника становить 4,2 мм.

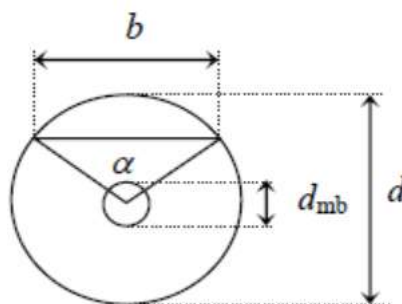


Рисунок 3.12 – Визначення змінних у рівняннях (3.28) та (3.29).

### 3.7 Підшипники та матеріали конструкції.

Підшипник потрібен у трьох місцях: підшипник шківів, підшипник верхнього опорного важеля та підшипник між опорними важелями та колесом. Як тип підшипника використовуються підшипники ковзання з неметалевого матеріалу, оскільки інструмент буде піддаватися впливу як бруду, так і вологи, а вимоги до низьких коефіцієнтів тертя низькі.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Щоб визначити, який тип матеріалу підшипника підходить, необхідно розрахувати максимальний поверхневий тиск та  $pv$ -число. Для розрахунку максимального поверхневого тиску для валів, що застосовуються до корпусу шківів та опорних важелів, використовується рівняння (3.30). Для обчислення числа  $pv$  використовується рівняння (3.31).

$$p = \frac{F}{bd} \quad (3.30)$$

$$pv = p \cdot v \quad (3.31)$$

Де  $F$  – радіальна сила на підшипник,  $b$  та  $d$  – ширина та діаметр відповідно.

Щоб обчислити максимальний поверхневий тиск на підшипник верхнього опорного важеля, спочатку необхідно обчислити площу  $A$ , а потім можна використовувати рівняння (3.32).

$$p = \frac{R_{\text{підшп1}}}{A} \quad (3.32)$$

Де  $R_{\text{підшп1}}$  знаходиться на рисунку 3.8. Для площі передбачається, що лише половина підшипника прилягає до рами, див. позначену площу на рисунку 3.13. Площа інтегрується та отримується до 131,6 мм<sup>2</sup>.

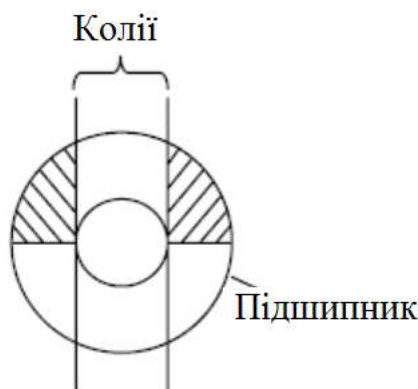


Рисунок 3.13 – Площа контакту підшипника верхнього опорного важеля з рамою.

									КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						45

Для чисел  $pv$  потрібна швидкість ковзання. Для підшипників шківів та верхнього опорного важеля швидкість ковзання залежить від швидкості підйомника, на якому підвішено інструмент. Підйомник має максимальну швидкість підйому 0,2 м/с. Для підшипників коліс прийнята швидкість ковзання, яка базується на тому факті, що колесо діаметром 82 см і чотирма отворами для болтів повністю неправильне по відношенню до болтів автомобіля, і що для правильного обертання колеса потрібна 1 секунда.

Якщо для всіх підшипників використовується однаковий матеріал, максимальний тиск становитиме 6,0 МПа, максимальне число  $pv$  становитиме 0,12 МПа м/с, а максимальна швидкість ковзання становитиме 0,32 м/с. Для цього, наприклад, добре підійде PTFE з наповнювачем.

### 3.8 3D-CAD-модель інструменту.

На основі наведених вище розрахунків і розмірів було створено 3D-CAD-модель для легшої візуалізації інструменту та його опису. Зверніть увагу, що порівняно з оригінальною схемою було внесено деякі зміни.

На рисунку 3.14 показано весь інструмент. Найбільша відмінність між рис. 3.1 та рис. 3.14 полягає у довгій підвісній трубі, доданій для балансування інструменту під навантаженням. Точка підвісу розташована посередині між центром ваги інструменту, включаючи колеса, з малим легким колесом та великим важким колесом. Це означає, що інструмент буде нахилитися до автомобіля з малим легким колесом та від автомобіля з великим важким колесом. Однак це лише близько  $0,02^\circ$  градуса. Причина такої довгої труби полягає в тому, що є автомобілі, які є високими.

Інші відмінності полягають у тому, що ніжки розроблені для мінімально можливої витрати матеріалу, але вони все одно не повинні заважати болтам колеса.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

На рис. 3.15 показано механізм з верхнім опорним важелем у найвищому положенні. Верхній опорний важіль призначений для виготовлення з суцільного алюмінію, щоб зменшити вагу та полегшити виробництво. Спочатку опорний важіль мав бути виготовлений зі сталевій труби діаметром 27 мм, як і нижні опорні важелі, але конструкція ускладнилася через численні зварні шви, а алюміній також легший. Алюміній, для якого розроблений верхній опорний важіль, називається SS 4212-06 і має еквівалентні міцнісні властивості, як і сталь.



Рисунок 3.14 – 3D-CAD модель інструменту.

Деякі цікаві деталі, на які слід звернути увагу в конструкції. Там, де вказує коло, на яке вказує цифра один, є отвір у кришці для пропускання дроту. Функція отвору полягає в тому, щоб направляти дріт так, щоб дріт не впирався в пружину або верхній опорний важіль. Отвір закруглений, щоб уникнути пошкодження дроту.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Там, де вказує цифра два, знаходиться наскрізний отвір в опорному важелі, через який проходить дрід. Це тому, що опорний важіль знаходиться на одній лінії зі шківом, і дрід не повинен впирається у верхній опорний важіль. Цифра три вказує на вушко, до якого слід кріпити пружину. Цей отвір призначений для вирізання з матеріалу кришки.

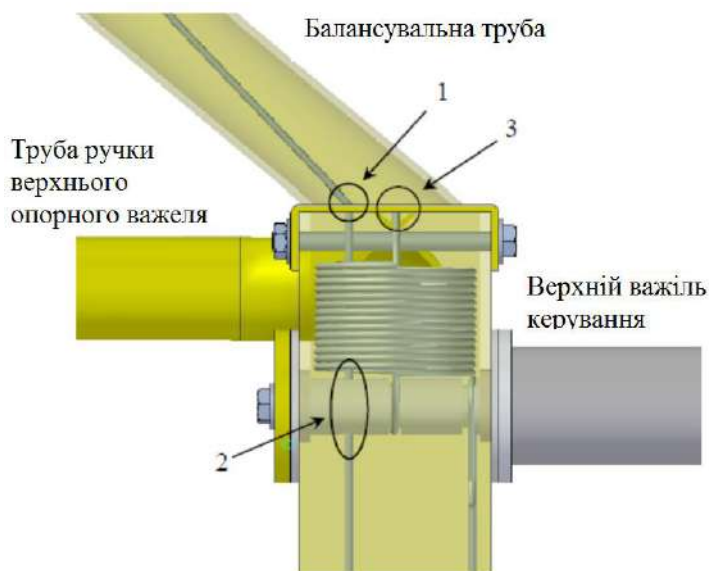


Рисунок 3.15 – Верхня частина механізму в поперечному перерізі.

На рисунку 3.16 показано нижню частину механізму. Шків, на який вказує цифра чотири, має бути виготовлений з відповідного пластику. Шків слід притиснути до вала 4.

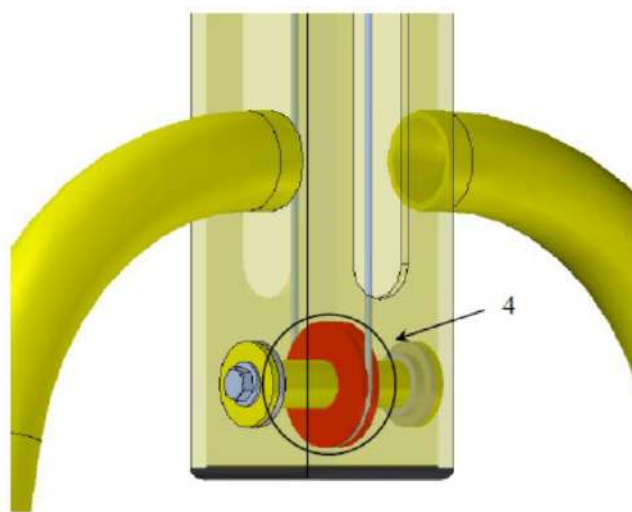


Рисунок 3.16 – Нижня частина механізму в поперечному розрізі.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

### 3.9 Опис функціональності інструменту.

У цьому розділі функція інструменту буде описана за допомогою двох серій зображень. Дві серії зображень описують дві різні процедури. Перша процедура, показана на рисунку 3.17, описує, як колесо, що стоїть вертикально, піднімається інструментом. Друга описує процедуру, коли колесо встановлено на колісні болти – див. рисунок 3.18.



Рисунок 3.17 – Процедура підйому колеса.

Стрілки поруч із ланцюгами на рисунках показують напрямок руху ланцюгу, а стрілки на балансувальних трубах показують напрямок руху інструменту. Якщо стрілки немає, це означає, що дріт або інструмент нерухомі. Рисунки поділені на чотири частини.

У першій частині рисунка 3.17 колесо вільне, а інструмент опускається за допомогою талі, яка подає ланцюг. У другій частині інструмент зачепив колесо, а дріт підтягується талем. Залежно від ваги колеса, інструмент нерухомий, і рухається лише верхній опорний важіль. У третій частині колесо затиснуто, а в четвертій частині інструмент піднімається разом з колесом.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

У першій частині рисунка 3.18 показано, як інструмент з колесами опускається, щоб досягти потрібної висоти з автомобілем.

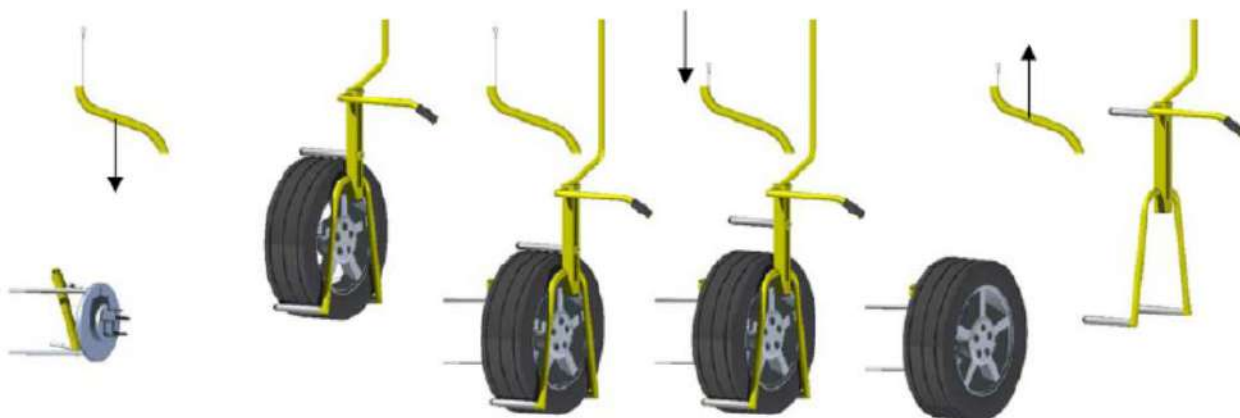


Рисунок 3.18 – Процедура монтажу колеса.

У другій частині колесо встановлюється на автомобіль, але все ще затискається інструментом. У третій частині дріт опускається, а верхній опорний важіль піднімається пружиною. Нарешті, інструмент відпускається та піднімається.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 4 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИСТРОЮ

### 4.1 Технологічність конструкції виробу.

Технологічність конструкції є одним із ключових факторів, що визначає ефективність виготовлення пристрою, його собівартість та якість. Розроблений пристрій для заміни коліс спроектований з урахуванням принципів технологічності, а саме: мінімізація кількості деталей; використання стандартних профілів (труби, листовий метал); зменшення кількості складних обробок; можливість застосування типових технологічних процесів; зниження потреби у високоточному обладнанні.

Основні ознаки технологічності:

- рама виготовляється зі стандартних сталевих труб;
- опорні елементи мають просту геометрію;
- більшість з'єднань виконуються зварюванням;
- використання типових кріпильних елементів (болтів, шайб, гайок).

Переваги конструкції:

- низька трудомісткість виготовлення;
- можливість серійного виробництва; ремонтпридатність.

### 4.2 Вибір матеріалів та заготовок.

Вибір матеріалів для виготовлення пристрою є одним із ключових етапів проектування, оскільки саме від нього залежать міцність, довговічність, надійність і економічна ефективність виробу. При підборі матеріалів враховувалися такі основні критерії: механічні характеристики (границя міцності, текучості, твердість); опір втомі та зносу; корозійна стійкість; технологічність (оброблюваність різанням, зварюваність); маса конструкції; вартість матеріалу та доступність на ринку.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Основні матеріали наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Матеріали елементів конструкції.

Елемент конструкції	Матеріал	Обґрунтування
Рама	Сталь Ст3	міцність, доступність
Опорні важелі	Сталь 20	витривалість
Верхній важіль	Алюміній	зменшення ваги
Вал	Сталь 45	міцність, зносостійкість
Підшипники	PTFE	низьке тертя
Ролики	Поліуретан	Зносостійкість

Для виготовлення рами використано вуглецеву конструкційну сталь Ст3, яка є одним із найпоширеніших матеріалів у машинобудуванні.

Основні властивості: границя текучості: 235–245 МПа; границя міцності: 370–510 МПа; відносне подовження: 20–25%; добра зварюваність без попереднього підігріву.

Сталь Ст3 має оптимальне поєднання міцності, пластичності та вартості. Вона добре піддається зварюванню, що є критично важливим для каркасних конструкцій. Крім того, матеріал широко доступний у вигляді стандартного прокату (труби, листи), що знижує витрати на виготовлення.

Недоліки: відносно низька корозійна стійкість; потреба у захисному покритті (фарбування або ґрунтування).

Матеріал опорних важелів – сталь 20. Опорні важелі працюють під дією змінних навантажень, тому до їх матеріалу висуваються підвищені вимоги щодо міцності та втомної витривалості.

Основні властивості: границя міцності: 410–550 МПа; висока пластичність; добра оброблюваність різанням; можливість термічної обробки (цементация, нормалізація).

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Сталь 20 забезпечує достатню міцність при одночасно високій ударній в'язкості, що важливо для запобігання руйнуванню при динамічних навантаженнях. Вона добре піддається механічній обробці, що спрощує виготовлення отворів і посадочних місць.

Матеріал верхнього важеля – алюмінієвий сплав. Верхній важіль виготовляється з алюмінієвого сплаву з метою зменшення маси конструкції.

Основні властивості: густина:  $\sim 2700 \text{ кг/м}^3$  (у 2,7 раза менша за сталь); границя міцності: 150–300 МПа (залежно від сплаву); висока корозійна стійкість; добра оброблюваність.

Зменшення маси рухомих елементів дозволяє покращити ергономіку пристрою та знизити навантаження на інші вузли. Алюмінієві сплави не потребують складного антикорозійного захисту, що також зменшує експлуатаційні витрати.

Недоліки: нижча міцність порівняно зі сталлю; складність зварювання (потребує спеціального обладнання).

Матеріал валів – сталь 45. Вали є відповідальними деталями, які працюють на кручення та згин, тому до них висуваються підвищені вимоги щодо міцності та зносостійкості.

Основні властивості: границя міцності: 600–800 МПа; твердість після термообробки: до 45–50 HRC; добра оброблюваність.

Сталь 45 є класичним матеріалом для виготовлення валів. Вона добре піддається термічній обробці (гартування та відпуск), що дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь і забезпечити довговічність вузлів.

Матеріал підшипників – PTFE (політетрафторетилен). Для зменшення тертя у вузлах використано підшипники з полімерного матеріалу PTFE.

Основні властивості: коефіцієнт тертя: 0,04–0,1; висока хімічна стійкість; самозмашуваність; робоча температура: до  $+250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PTFE дозволяє працювати без додаткового змащування, що спрощує обслуговування пристрою. Матеріал забезпечує плавність руху та зменшує знос спряжених поверхонь.

Матеріал роликів – поліуретан. Ролики контактують із поверхнею колеса, тому повинні мати високу зносостійкість і демпфуючі властивості.

Основні властивості: висока зносостійкість; еластичність; стійкість до ударних навантажень; хороше зчеплення з поверхнею.

Поліуретан забезпечує надійний контакт із колесом без його пошкодження, зменшує шум і вібрації під час роботи пристрою.

Вибір заготовок. Раціональний вибір заготовок дозволяє зменшити витрати матеріалу та обсяг механічної обробки.

Основні типи заготовок: труби сталеві Ø27 мм – для виготовлення рами та важелів; листовий прокат 3–5 мм – для опорних пластин і кронштейнів; круглий прокат – для валів і осей; стандартні вироби – підшипники, болти, гайки.

Переваги використання стандартних заготовок: скорочення часу виготовлення; зменшення кількості операцій; зниження вартості виробу; забезпечення стабільної якості.

Обрані матеріали забезпечують: необхідну міцність і надійність конструкції; зниження маси окремих елементів; високу технологічність виготовлення; економічну доцільність виробництва.

Комбінація сталевих і полімерних матеріалів дозволяє досягти оптимального балансу між міцністю, довговічністю та вартістю пристрою.

#### 4.3 Розробка технологічного процесу виготовлення.

Для виготовлення деталей застосовуються такі методи:

1) Механічна обробка: токарна обробка (вали, втулки); свердління (отвори); фрезерування (площини, пази).

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

2) Обробка листового металу: різання (лазерне або плазмове); гнуття; штампування (за необхідності).

3) Зварювання: дугове зварювання; напіваавтоматичне зварювання (MIG/MAG).

4) Поверхнева обробка: шліфування; фарбування; антикорозійне покриття.

Розробка технологічного процесу виготовлення ключової деталі. Розглянемо технологію виготовлення опорного важеля.

1) Заготовка: сталева труба Ø27 мм; довжина – 400–500 мм.

2) Послідовність операцій: 1. Розмітка заготовки. 2. Різання труби. 3. Свердління отворів. 4. Обробка торців. 5. Зварювання кріпильних елементів. 6. Шліфування. 7. Фарбування

Вибір обладнання та інструменту. Обладнання токарний верстат; свердлильний верстат; зварювальний апарат; шліфувальна машина; прес (для гнуття). Інструмент свердла; різці; шліфувальні круги; вимірювальні інструменти (штангенциркуль, мікрометр).

Технологія складання виробу. Складання виконується поетапно. 1. Складання рами; 2. Монтаж опорних важелів; 3. Встановлення валів; 4. Монтаж підшипників; 5. Установка механізму затиску; 6. Перевірка рухомих частин; 7. Остаточне регулювання.

Контроль якості виготовлення. Контроль виконується на всіх етапах: 1 Вхідний контроль: перевірка матеріалів; відповідність стандартам. 2 Операційний контроль: точність обробки; якість зварних швів. 3 Заключний контроль: перевірка геометрії; перевірка працездатності; випробування під навантаженням.

Нормування праці та трудомісткість. Орієнтовна трудомісткість наведена в таблиці 4.2.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Таблиця 4.2 – Орієнтовна трудомісткість.

№	Операція	Час, год
1	Різання	0,5
2	Обробка	1,5
3	Зварювання	2
4	Складання	2
5	Контроль	1
Разом		7 год

Економічна доцільність технології. Обрана технологія: не потребує дорогого обладнання; забезпечує низьку собівартість; підходить для дрібносерійного виробництва.

Охорона праці при виготовленні. Основні вимоги: використання засобів індивідуального захисту; дотримання правил роботи з обладнанням; вентиляція при зварюванні; захист від шуму та пилу.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## ВИСНОВКИ

1) Проведений аналіз показав, що існуючі засоби не забезпечують комплексного полегшення процесу заміни коліс, особливо при роботі з колесами великої маси. Встановлено необхідність створення пристрою, який поєднує функції підтримки, фіксації та точного позиціонування колеса.

2) У роботі сформульовано технічні вимоги до пристрою та розроблено кілька варіантів конструктивних рішень. На основі порівняльного аналізу обрано оптимальну конструкцію підвісного типу, яка забезпечує високу ефективність, простоту та економічність.

3) Виконані інженерні розрахунки підтвердили працездатність і надійність конструкції, а також достатній запас міцності її елементів. Обґрунтовано вибір матеріалів і розроблено технологічний процес виготовлення пристрою, що характеризується невисокою трудомісткістю та можливістю реалізації у виробничих умовах.

4) Впровадження розробленого пристрою дозволяє зменшити фізичне навантаження на оператора, скоротити час виконання операцій заміни коліс та підвищити рівень безпеки праці.

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zinko R., Burian M., Faryma V. Features of modernization of truck cranes on special wheeled platforms // ISTCIPA. – 2023. – Vol. 57. – P. 21–28.
2. Zaveretannyi B., Pasov H., Zaveretannyi M. Geometric analysis of car tire slippage on the road surface // Автошляховик України. – 2025. – №1. – С. 29–34.
3. Дідик А.С. Організація поста шиномонтажних робіт на СТО // Кваліфікаційна робота. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2025. – 62 с.
4. Диняк О. В. Удосконалення технології технічного обслуговування автомобілів з розробкою підйомного обладнання // Кваліфікаційна робота. – Житомир: Поліський національний університет, 2024. – 70 с.
5. Yovchenko A., Kreida A., Usenko E. Analysis of existing lifting equipment for moving and handling cargo // Наукові праці ЧДТУ. – 2024. – №2. – С. 45–52.
6. Stanek R. та ін. Real-time wheel detection and rim classification in automotive production // arXiv. – 2023. – 12 p.
7. Karkaria V. та ін. Digital twin framework for tire health monitoring // arXiv. – 2024. – 15 p.
8. Xu N., Huang Y., Askari H. Tire slip angle estimation using intelligent tire technology // arXiv. – 2020. – 10 p.
9. Xu N. та ін. Tire force estimation in intelligent tires using machine learning // arXiv. – 2020. – 11 p.
10. Wheel dolly market size and forecast 2025–2033 // 360 Research Reports. – 2025.
11. Hydraulic wheel dolly for vehicle maintenance // Made-in-China. – 2024.

					КВРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

12. Automatic wheel lifter for tire service equipment // Karjoys Auto Equipment. – 2023.

13. Sundström, B. *Handbok och Formelsamling i Hållfasthetslära*. Institutionen för hållfasthetslära, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 1999.

14. DK 020:2016. Обладнання для технічного обслуговування і ремонту автомобілів. – Київ, 2016.

15. US9302543B1 Tire and wheel lift apparatus // Patent. – 2016.

16. JP2017206065A Wheel dolly for vehicle maintenance // Patent. – 2017.

17. US10226964B2 Tire jack and trolley // Patent. – 2019.

					КВРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ДОДАТКИ

					КвРАТ. 23066.02.05.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60