

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Розробка ресурсозберігаючої технології переробки гумових відходів транспортних засобів

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Відновлення і технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРБМТВА 26. 10023. 000 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу,  
група МТВАз-22-1



Тарас ШПАКІВСЬКИЙ

Керівник, д.т.н., професор



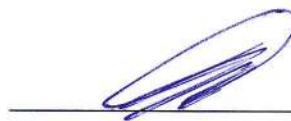
Олександр ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри ТАМ




Олександр ДИХА

10 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Рівень вищої освіти: перший бакалаврський  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

  
Завідувач кафедри ТАМ  
Олександр ДИХА

" 15" квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Шпаківський Тарас Олександрович

1. Тема роботи: **Розробка ресурсозберігаючої технології переробки гумових відходів транспортних засобів**

Керівник роботи: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про будову автомобільних шин
- 2) Технічні умови переробки автомобільної гуми
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Будова автомобільних шин, аналіз способів утилізації
2. Розробка технології переробки відпрацьованих шин
3. Вибір конструкцій і розрахунки обладнання для переробки шин

## 5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

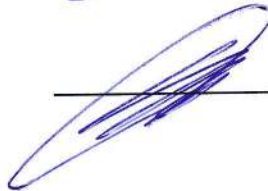
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Будова автомобільних шин, аналіз способів утилізації	1.05.2026	
2	Розробка технології переробки відпрацьованих шин	15.05.2026	
3	Вибір конструкцій і розрахунки обладнання для переробки шин	30.05.2026	
4	Оформлення роботи	10.06.2026	

Студент



Тарас ШПАКІВСЬКИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи



Олександр ДИХА

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 60 сторінок, кількість рисунків - 23, таблиць - 3, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 20.  
Студент гр. МТВАз-22-1 Шпаківський Т.О.





### **Тема «Розробка ресурсозберігаючої технології переробки гумових відходів транспортних засобів»**

У кваліфікаційній роботі розглянуто проблему утилізації відпрацьованих автомобільних шин як важливого джерела вторинної сировини та чинника екологічного навантаження. Проведено аналіз конструкції шин, їх матеріалознавчих особливостей і причин зносу в процесі експлуатації транспортних засобів. Обґрунтовано доцільність застосування бародеструкційного методу як найбільш ефективного способу переробки автомобільних шин. Розроблено технологічну схему переробки з отриманням гумової крихти різних фракцій, а також відокремленням металевого та текстильного корду. Виконано вибір основного технологічного обладнання, зокрема установок для різання та подрібнення шин, і проведено розрахунок гідроприводу стенда для забезпечення необхідних параметрів процесу. Показано, що запропонована технологія дозволяє забезпечити високий рівень використання вторинних ресурсів, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити економічну ефективність переробки гумових відходів у транспортній галузі.

**Ключові слова:** автомобільні шини, гумові відходи, бародеструкція, переробка шин, гумова крихта, вторинна сировина

## Зміст

ВСТУП .....	6
1 БУДОВА АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН, АНАЛІЗ СПОСОБІВ УТИЛІЗАЦІЇ.....	8
1.1 Влаштування шин та їх класифікація.....	8
1.2 Причини зносу та умови вибракування.....	15
1.3 Методи утилізації автомобільних шин.....	28
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ШИН.....	34
2.1. Вибір методу переробки автомобільних шин у крихту.....	34
2.2 Експертна оцінка методів переробки автомобільних шин.....	40
2.3 Техніко-економічне обґрунтування застосування бародеструкційної технології.....	42
2.4 Опис процесу виконання робіт на дільниці переробки шин.....	43
3. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙ І РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ШИН.....	46
3.1 Аналіз обладнання для різання шин.....	46
3.2 Пристрій та принцип роботи алігаторних ножиць для різання корду шин.....	51

КРБМТВА 26. 10023. 000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шпаківський		
Перевір.		Диха		
Н.контр.		Бабак		
Затвер		Диха		
Розробка ресурсозберігаючої технології переробки гумових відходів транспортних засобів			Літ.	Аркуш
			4	70
ХНУ, гр. МТВАз-22-1				

3.3	Опис	принципової	гідролічної	схеми.....	53
3.4	Розрахунок	об'ємного	гідропроводу.....		54
3.5	Визначення	потужності	гідропроводу	та	
	насоса.....				55
	ВИСНОВОК .....				57
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....				58

**Додатки**

					КРБМТВА 26. 10023. 000 ПЗ	Ст.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		5



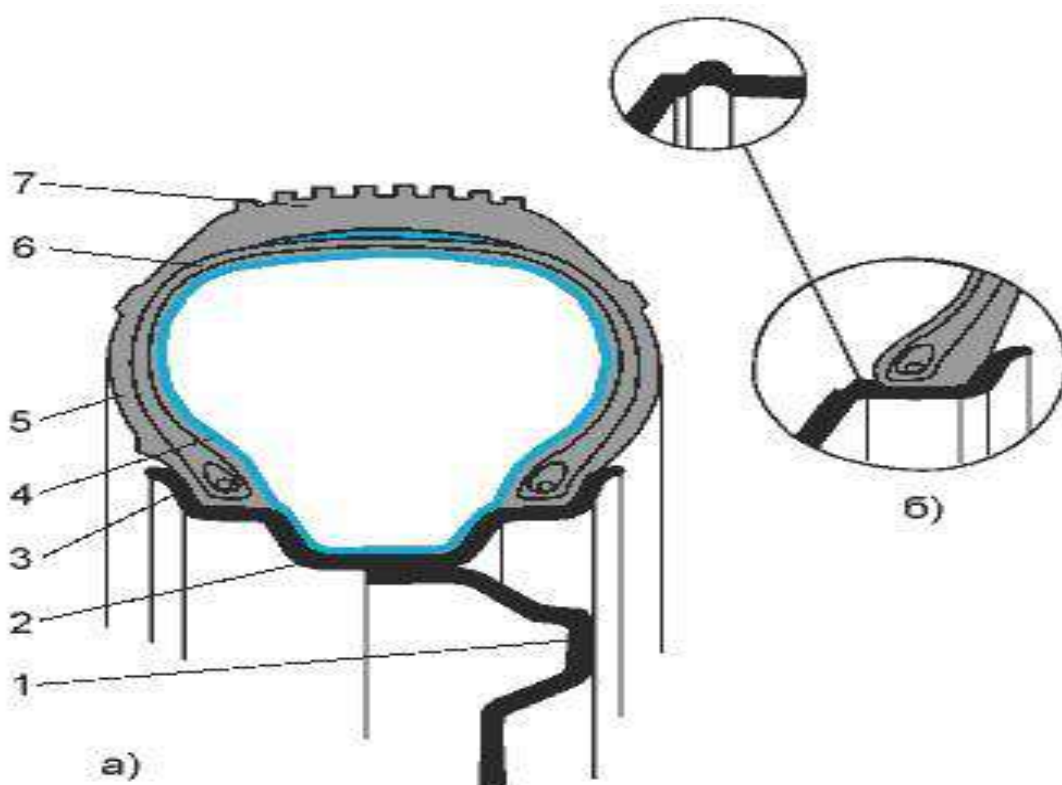


# 1 БУДОВА АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН, АНАЛІЗ СПОСОБІВ УТИЛІЗАЦІЇ

## 1.1 Влаштування шин та їх класифікація

### 1.1.1 Будова автомобільного колеса

Колеса приймають момент, що крутить, від двигуна, і за рахунок сил зчеплення з дорогою забезпечують рух автомобіля, а також вони сприймають і згладжують удари і поштовхи від нерівностей поверхні дороги. Від них залежать можливість розгону та гальмування, керованість та стійкість, плавність ходу та безпека автомобіля.



а) влаштування колеса; б) ущільнюючий буртик на обід безкамерної шини; 1 – диск колеса; 2 - обід; 3 – борт; 4 – камера; 5 – боковина; 6 – корд; 7 – протектор

Рисунок 1.1 - Колесо легкового автомобіля

Диск, з привареним до нього ободом, кріпиться до ступиці колеса або півосі заднього моста за допомогою конічних болтів або гайок. Надалі, диск

разом з ободом називатимемо просто – диском, тому що на легкових автомобілях, на відміну від вантажівок, обід не є знімним, а складає з диском одне ціле.

### 1.1.2 Будова автомобільної шини

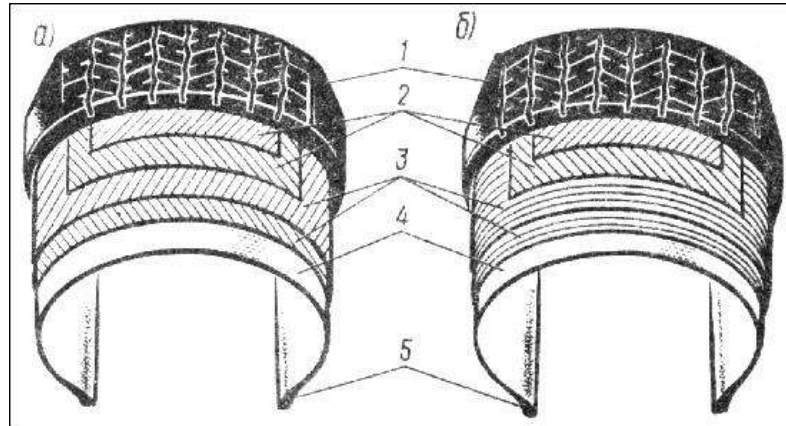


1 – протектор; 2 – брекер (підкладка): знижує опір коченню; 3 – нейлоновий корд: підвищує швидкісні характеристики шин; 4 - шар металокорду: збільшують курсову стійкість при їзді; 5 – каркас: надає шинам форму та міцність; 6 – повітронепроникний внутрішній шар (сердечник): замінює камеру; 7 – боковина: захищає каркас від пошкоджень; 8 – профіль борту: забезпечує стійкість при русі та керованість; 9 - бортове кільце: забезпечує щільну посадку на колесах; 10 – полиця обода: служить для гарної керованості та високої курсової стійкості;

Рисунок 1.2 - Будова багатошарової шини







1 - протектор; 2 - шари брекера; 3 - шари каркасу; 4 - гумовий прошарок каркаса; 5 - бортова частина;

Рисунок 1.3 - Покришки діагональної (а) та радіальної (б) конструкції

### 1.1.3 Маркування шин

Шини бувають: зимові, всесезонні та кар'єрні. Шини для різних умов відрізняються малюнком протектора, хімічним складом гуми, конструкцією та іншими елементами. На зимових шинах не варто їздити влітку. Вони працюють при менших температурах  $+9^{\circ}\text{C}$ , а після цього стають м'якими, як пластилін, швидко зношуються і не "тримають" дорогу. Літні шини взимку "дубіють" і ковзають, як пластмаса.

Камерні та безкамерні. Камерні шини складаються з покриття та камери з вентилям. Безкамерні шини мають повітронепроникний гумовий шар (замість камери). Герметичність у них досягається щільною посадкою покриття на обід. Вентиль для нагнітання повітря в шину розміщується та герметизується в отворі обода колеса.

Будьте уважні! Не рекомендується встановлення камер у шини безкамерної конструкції. Це призводить не тільки до суттєвої зміни поведінки шини на дорозі, але й до небезпеки перегріву та руйнування шини під час руху з високою швидкістю.











Рисунок 1.6 - Передчасне двостороннє зношування в плечовій зоні  
Передчасне зношування в центрі доріжки шини.

Причиною є занадто сильний тиск у шині або велика кількість поїздок без навантаження.

Рекомендація. Відрегулюйте внутрішній тиск у шині відповідно до навантаження

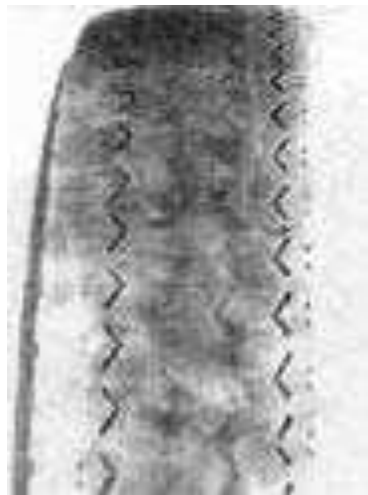


Рисунок 1.7 - Передчасне зношування в центрі доріжки шини

– Стирання малюнка

Причина. Деформація, що викликається пробуксовкою, є результатом великих кругових та поперечних сил і збільшується за рахунок надмірно високого внутрішнього тиску в шині або через недостатнє навантаження на


колесо. Рекомендація. Відрегулюйте внутрішній тиск у шині відповідно до навантаження.



Рисунок 1.8 - Стирання малюнка

– Зношування у вигляді кілець, борозни (кругові борозенки)

Має місце лише для шин, встановлених на не провідних осях (передня вісь чи причіп).

Причина. Неприятлива додаткова дія різноманітних вібрації автомобіля при роботі в умовах невеликого зносу, наприклад, на автостраді.

Рекомендація. Переставити шини на провідні осі для вирівнювання.

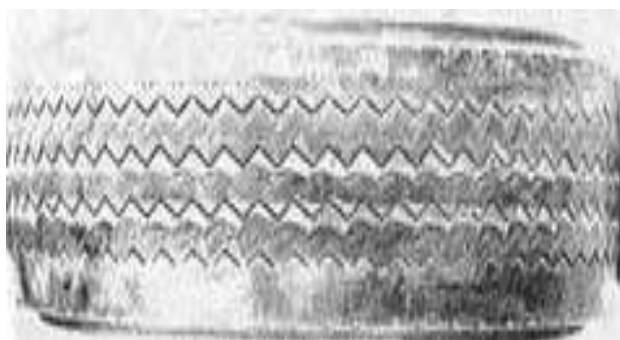


Рисунок 1.9 - Зношування у вигляді кілець, борозни (кругові борозенки).

– Місцевий знос (плямистий знос)

Причина. Різниця в діаметрі здвоєних шин, різний тиск у здвоєних шинах, несправності автомобіля (надто великий люфт у підшипниках або вузлах, несправна або пошкоджена підвіска).

Рекомендація. Підбирати здвоєні шини одного діаметра, усунути люфт у підшипниках або вузли, відремонтувати підвіску (ресори, амортизатори).



Рисунок 1.10 - Місцевий знос (плямистий знос)

– Утворення глибоких тріщин, подряпин по колу протектора

Причина. Порізи, викликані деталями автомобіля або стороннього предмета, що прогнулися або виступають, потрапив у колесо.

Рекомендація. Регулярний огляд автомобіля та шин для усунення причин такого роду

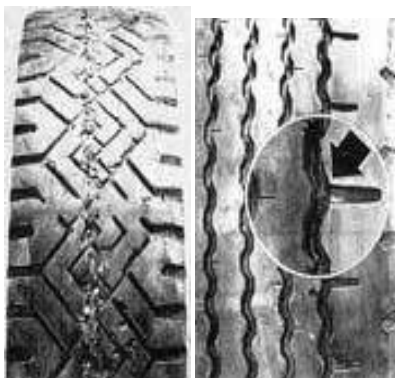



Рисунок 1.11 - Утворення глибоких тріщин, подряпин по колу протектора

– Гоління металокорду

Причина. Занадто глибока нарізка малюнка протектора до брекера. Ушкодження такого роду у поєднанні з дією бруду та вологи призводить до корозії металокорду. Це призводить до передчасного руйнування шини.

Рекомендація. Негайно зняти шину і віддати її на відновлення, якщо можливо. У всіх випадках необхідно дотримуватись інструкцій заводу-виробника з нарізки малюнка протектора.



Рисунок 1.12 - Оголення металокорду

– Плямистий знос (місцевий знос)


Причина. Локальне зношування на місці контакту з дорогою, викликане дуже різким гальмуванням (аварійний зупинка), заклинюванням гальм внаслідок неправильного їх регулювання або встановлення пошкоджених (бракованих) гальм.

Рекомендація. Уникати непотрібного різкого гальмування, перевіряти справність гальм та гальмівної системи та регулювати їх при необхідності, встановлювати антиблокувальну (Протизаклинювальну) гальмівну систему.



Рисунок 1.13 - Плямистий знос (місцевий знос)

– Вищерблена поверхня протектора, утворення тріщин, порізи

Причина. Пробуксовування провідних коліс на кам'янистому ґрунті. Посилюється за рахунок вологи та підвищеного внутрішнього тиску в шині.

Рекомендація. Встановити внутрішній тиск у шині відповідно до навантаження. Якщо потрібно, використовуйте спеціальні шини.




краями великої швидкості. Це посилюється надто високим внутрішнім тиском у шині або перевантаженням.

Рекомендація. Якщо перешкоди не можна уникнути, її треба долати повільно. Внутрішній тиск у шині треба встановити відповідно до навантаження.



Рисунок 1.16 – Розрив протектора від удару

– Розрив каркасу від удару

Причина. Несподівана різка деформація шини при сильному ударі об перешкоду. Це посилюється надто високим внутрішнім тиском у шині або перевантаженням.

Рекомендація. Якщо не можна уникнути наїзду на перешкоду, його треба долати повільно. Внутрішній тиск у шині треба встановити відповідно до навантаження.



Рисунок 1.17 - Розрив каркасу від удару


– Розрив каркаса внаслідок застрягання каміння між здвоєними шинами

Причина. Якщо між здвоєними шинами застрягають каміння та інше, це може легко призвести до серйозних пошкоджень боковини або розриву каркаса.

Рекомендація. Регулярно перевіряйте, чи немає предметів, що застрягли, видаляйте їх, якщо виявите. Для цього іноді потрібно зняти зовнішнє колесо. Але зазвичай досить трохи спустити повітря.



Рисунок 1.18 - Розрив каркасу внаслідок застрягання каміння між здвоєними шинами

- Розрив

Причина. Дія стороннього предмета із гострими краями. Він проникає всередину у певному місці та викликає розрив каркасу.

Рекомендація. Шини з таким ушкодженням зазвичай не підлягають ремонту та мають бути замінені.

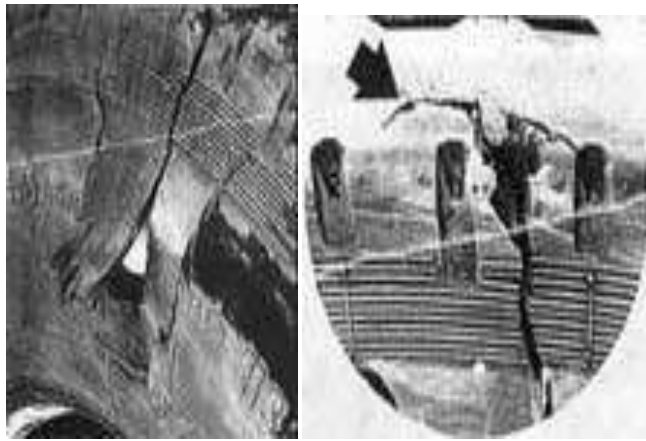


Рисунок 1.19 – Розрив

– Сильне стирання (спрацьовування, знос)

Причина. Часті удари об узбіччя та тертя об бордюрний камінь тротуару. При певних умовах це може викликати розрив металокорду.

Рекомендація. Регулярний огляд боковин. Якщо спостерігається занадто велике зношування, переставте колесо в менш небезпечне місце або переверніть шину на своєму обід. Замініть шину, якщо спостерігається руйнування до каркаса. Якщо потрібно, використовуйте спеціальні шини, наприклад, для автобусів.



Рисунок 1.20 - Сильне стирання (спрацьовування, знос)


– Руйнування каркасу. Слід від цвяха стрілка

Причина. Їзда на знижувальному або зниженому тиску в шині. Надмірний прогин та теплоутворення можуть згодом спричинити повне руйнування шини. Найпоширеніші причини зниження внутрішнього тиску в шині: цвяхи та аналогічні гострі предмети; вентиля, що пропускають повітря; несправні (пошкоджені) камери та ободні стрічки; дуже дрібні тріщини в обід (для безкамерних шин).

Рекомендація. Регулярно перевіряйте внутрішній тиск повітря у шині. Встановіть причину зниження внутрішнього тиску в шині та усуньте її. Використовуйте лише нові камери та ободні стрічки.



Рисунок 1.21 – Руйнування каркаса.

Слід від цвяха стрілка Піддулканізований (при експлуатації) борт

Причина. Надмірне нагрівання гальм та ободів внаслідок тривалого гальмування або несправності гальм.

Рекомендація. Регулярні огляди гальм та гальмівної системи. Використання системи тривалого гальмування чи постійного дроселя (регулятора).




Рисунок 1.22 - Підвulkanізований (при експлуатації) борт

– Ушкодження борту через несправність обода

Причина. Деформований в якомусь місці обід або іржа на полиці обода.

Рекомендація. Перевірити, чи немає пошкоджень на обід і при необхідності замінити його. Перед встановленням видалити іржу з обода та нанести захисне покриття. Використовуйте відповідні мастила (наприклад CONTIFIX).



Рисунок 1.23 - Пошкодження борту через несправність обода




<i>Критерій</i>	<i>Прийняті заходи</i>	<i>Кількість, %</i>	<i>Утилізація, %</i>
<i>Нормативний пробіг</i>	<i>Списання</i>	72	72
	<i>Відновлення</i>	20	-
<i>Вихід з ладу з непередбачених причин</i>	<i>Вибраковка</i>	8	8

### **1.3.2 Види методів утилізації автомобільних шин**

Проблема переробки зношених автомобільних шин є спільною всім промислово розвинених країн світу, має велике екологічне та економічне значення. Крім того, сучасні економічні реалії диктують необхідність використання вторинних ресурсів із максимальною ефективністю.

Щорічно у світі за даними ООН утворюється понад 24 млн. тонн відходів як зношених автопокришок, у тому числі близько 15 млн. тонн, тобто. більше 60%, викидається на звалища.

У Європі щорічно виходять з експлуатації понад 2,5 млн. тонн шин, рівень переробки сягає 90%. Більшість зібраних старих шин спалюється для отримання енергії – майже 40%. Дещо менший обсяг переробляється на крихту — понад 30%, понад 20% шин відновлюються або експортуються для повторного використання чи поховання.

Важливо відзначити, що європейський ринок активно йде у бік збільшення частки застосування механічної технології переробки: якщо 1992 року дробилося лише 5% зібраних шин, то 2020 року — вже 34%. Крім того, швидко зростають обсяги спалювання шин, особливо зі створенням екологічного обладнання з високим ККД.

За даними журналу "EUROPEAN RUBBER" комісія ЄС

підготувала рекомендації для держав-членів ЄС щодо добровільних ініціатив щодо створення технологій з переробки та використання зношених шин. Одними з головних цілей цих ініціатив у 2010 році є збільшення рівня вторинної переробки з 30% до 100% та зниження рівня поховання з 50% до 0.

Крім того, важливим завданням переробки використаних шин є отримання якісної вторинної сировини та її повторного використання для зниження споживання природних ресурсів.

В Україні щорічний обсяг амортизації шин перевищує 1,1 млн. тон на рік. За останні 5 років цей показник зріс майже на 25%.

Фактичний обсяг переробки шин у Україні – менше 10%.

Існують такі методи утилізації автомобільних шин:

1. Спалювання.
2. Піроліз.
3. Переробка на крихту.



Рисунок 1.25 Методи утилізації автомобільних шин.

Спалювання один із найпростіших способів переробки шин, полягає у високотемпературному окисленні, в основному в барабанних печах на цементних заводах. При спалюванні виділяється тепло, яке йде на опалення або для виробництва електроенергії. Даний спосіб переробки є енергетично

малоефективним, так як при виготовленні однієї покришки витрачається енергія, що міститься в 35л нафти, а при спалюванні енергія виділяється, еквівалентна 8л нафти. Крім того, в довкілля виділяється безліч забруднюючих речовин: діоксид сірки, біфеніл, антрацен, флуорентан, пірен, бензапірен хлоровані діоксини та фурани.

Після спалювання шини виходить тепло, яке йде нагрівання води в котлі до пари. Далі пар пускають на опалення або парову турбіну, для отримання електрики.

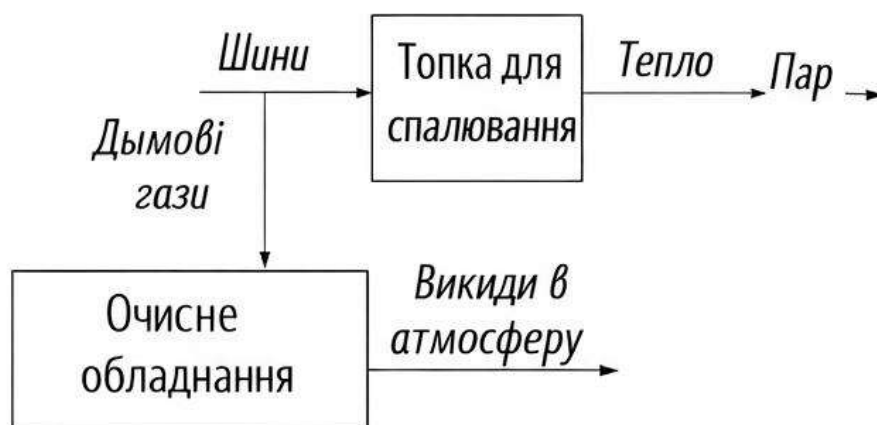


Рисунок 1.26 – Схема спалювання автомобільних шин

Піроліз – спосіб термічної переробки гуми з обмеженням чи без доступу кисню.

Піроліз є одним із ефективних методів термічної переробки гумових відходів, що здійснюється в умовах обмеженого або повністю відсутнього доступу кисню. Суть процесу полягає у термодеструкції полімерної структури гуми з утворенням газоподібних, рідких і твердих продуктів, які можуть бути використані як вторинна сировина або енергоресурси.

Перед проведенням піролізу відпрацьовані автомобільні шини піддаються попередній механічній підготовці, яка включає їх подрібнення на фрагменти заданих розмірів. Отримані частини завантажують у спеціальні металеві контейнери або кошики, які за допомогою підйомно-транспортного



технологію до конкретних виробничих потреб та отримувати продукти із заданими характеристиками.



Рисунок 1.27 – Схема піролізу автомобільних шин

Переробка автомобільних шин на крихту. Складування та утилізація та поховання відходів є економічно неефективним та екологічно небезпечним, оскільки при тривалому зберіганні вони можуть виділяти у навколишнє середовище речовини, здатні призвести до порушення екологічної рівноваги. До того ж, на момент втрати гумовими виробами їх експлуатаційних властивостей та якостей власне полімерний матеріал зазнає вельми незначних структурних змін, що породжує можливість і навіть необхідність їх вторинної переробки.

Найбільш перспективним видаються способи переробки відходів гумових виробів, пов'язані з їх подрібненням, оскільки хімічні методи, такі як піроліз та спалювання, призводять до знищення полімерної основи матеріалу. До таких способів відноситься бародеструкційний метод переробки автомобільних шин.

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ШИН

### 2.1. Вибір методу переробки автомобільних шин у крихту

Існують такі методи переробки автомобільних шин у крихту:

1. фізико-хімічні (розчинення в органічному розчиннику);
2. мікробіологічні (переробка за допомогою бактерій);
3. термічні (термодеструкційна переробка);
4. Фізико-механічні (бародеструкційна переробка).

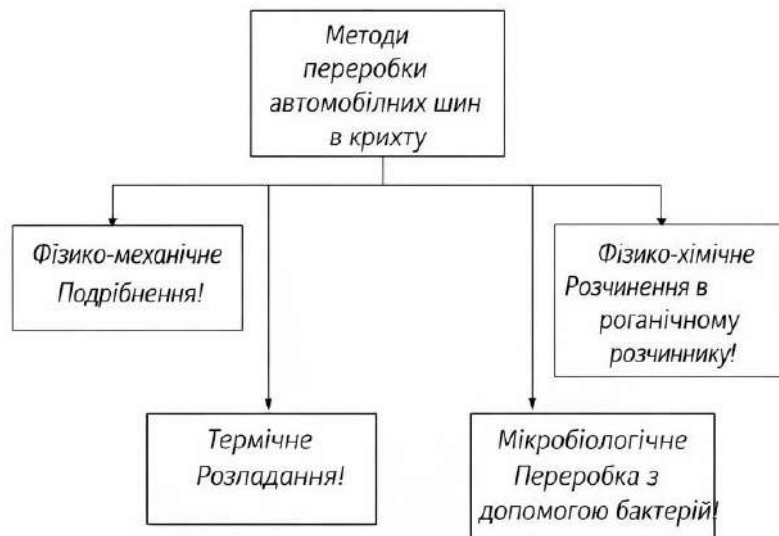


Рисунок 2.1 – Методи переробки автомобільних шин

#### 2.1.1 Фізико-хімічний метод переробки автомобільних шин

До фізико-хімічного методу переробки автомобільних шин у крихту відноситься розчинення в органічному розчиннику. Розчинення в органічному розчиннику - процес термозрідження відходів при запуску в органічному розчиннику при температурі 280-435оС і тиск не менше 6,1 МПа, відділення рідкої фракції на фракцію з температурою кипіння вище 220оС. При цьому рідку фракцію з температурою кипіння до 220о піддають каталітичному реформінгу, і частину рідкої фракції після цього

використовують як цільовий продукт, а частину використовують як розчинник з новою порцією відходів. З однієї тонни гуми виходять такі продукти: бензинова фракція 325 кг, мазут 175 кг, технічний вуглець 300 кг металокорд 200 кг.

Метод розчинення в органічному розчиннику є новим і не має ще промислового застосування. З його переваг слід відзначити відсутність відходів, високу ліквідність продуктів переробки, низькі витрати на органічний розчинник (ціна розчинника для переробки однієї тонни гуми становить 0,11 євро).

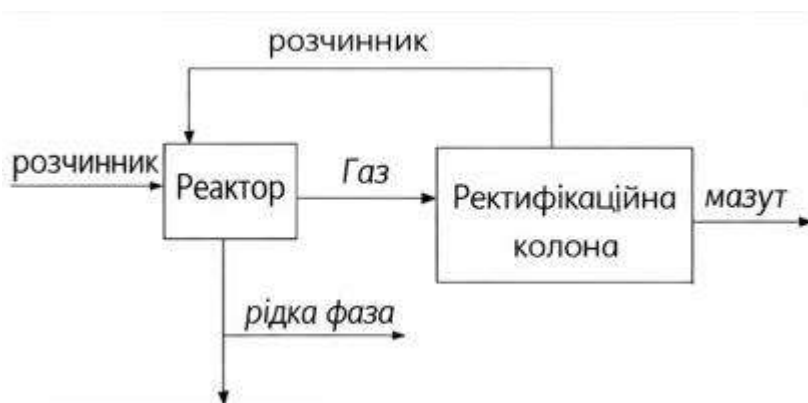


Рисунок 2.2 – Схема розчинення автомобільних шин в органічному розчиннику

### 2.1.2 Мікробіологічний метод переробки автомобільних шин

Мікробіологічний метод переробки відпрацьованих автомобільних шин базується на використанні спеціалізованих мікроорганізмів, здатних частково руйнувати полімерну структуру гуми. Суть даного підходу полягає у біодеструкції гумових матеріалів під дією бактерій або грибків, які активують процеси розкладу високомолекулярних сполук.

Перед початком біологічної обробки шини піддаються попередньому подрібненню до дрібних фрагментів, що дозволяє збільшити площу контакту матеріалу з біологічним середовищем і підвищити ефективність





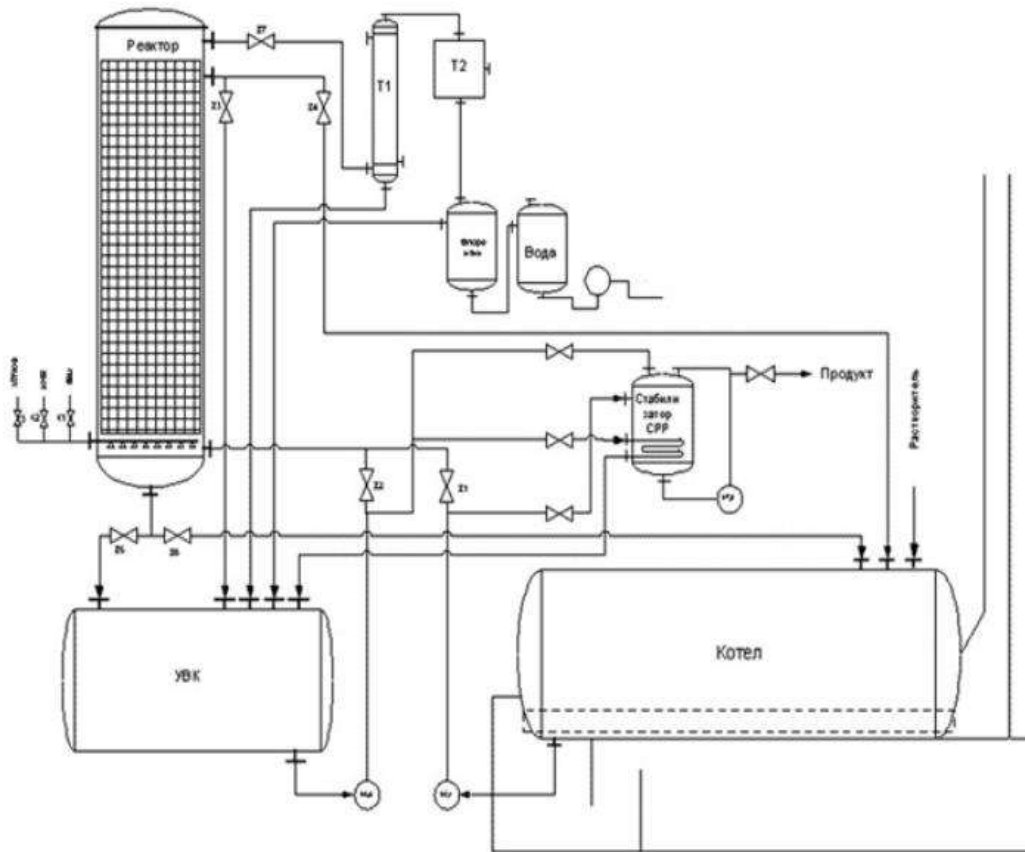


Рисунок 2.3 – Метод термодеструкційної переробки шин

#### 2.1.4 Фізико-механічний метод переробки автомобільних шин

Технологію бародеструкційної переробки використаних автомобільних шин було придумано компанією ТОВ «Астор». Технологія заснована на явищі "псевдозрідження" гуми при високих тисках та закінченні її через отвори спеціальної камери. Одержання гумового порошку із зношених шин здійснюють шляхом їх поетапного подрібнення, фракціонування, магнітної сепарації та виділення текстильного корду. Попередньо автомобільні шини за допомогою тиску продавлюють через решітки отвори з утворенням суміші гумових джгутів розмірами 20-80 мм, металобрикетів, текстильного і металевий корду. З суміші за допомогою магнітної сепарації виділяють металобрикету та металевий корд. Маса, що залишилася, подається в роторну дробарку, де гума подрібнюється з утворенням гумового порошку розміром до 10 мм. З нього виділяють

текстильний корд. Одночасно з виділенням текстильного корда здійснюють поділ гумового порошку на дрібну фракцію менше 3мм та велику від 3-10 мм. Якщо гума крихта фракцією більше 3 мм цікавить споживача як товарна продукція, то вона фасується в паперові мішки, якщо ні, то вона потрапляє в екструдер-подрібнювач. Велику фракцію доподрібнюють і отриманого гумового порошку виділяють залишки металевих і текстильного корда шляхом зволочування і видалення. Технологічна лінія для отримання гумового порошку із зношених шин включає дробарку, перший магнітний сепаратор, тонкодисперсний подрібнювач і транспортні зв'язки між пристроями, що складають лінію. Лінія забезпечена бародеструкційною установкою для руйнування автомобільних шин на гумові джгути та металобрикетки. Лінія має другий магнітний сепаратор, перше та друге барабанні пристрої для виділення текстильного корда та фракціонування гумового порошку. Винахід дозволяє збільшити вихід товарного гумового порошку підвищеної чистоти з великою активною поверхнею за рахунок двоступінчастого принципу очищення порошку текстильного корда.

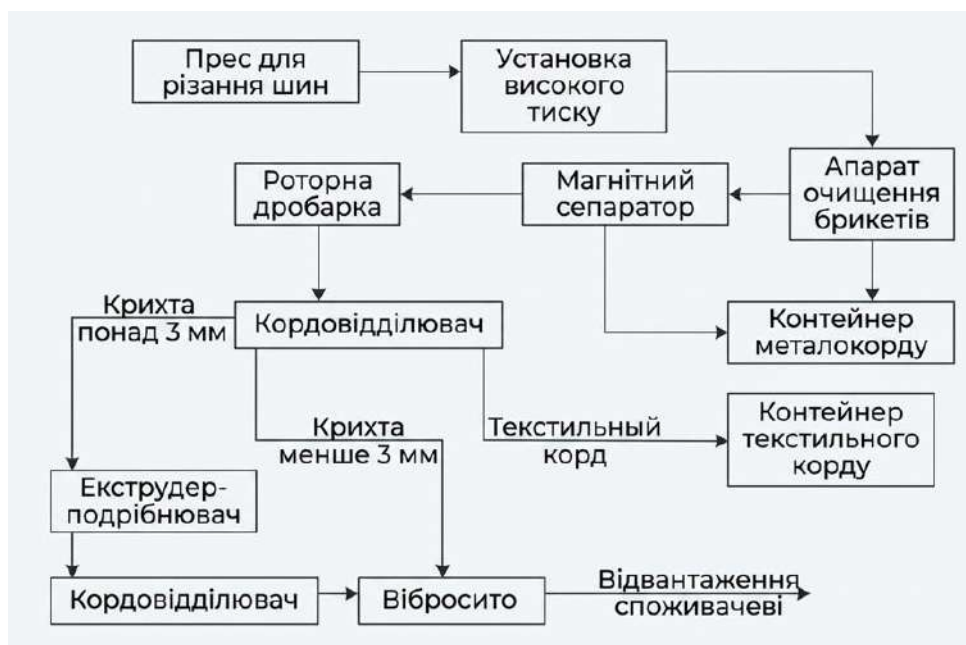


Рисунок 2.4 – Метод бародеструкційної переробки за технологією

## 2.2 Експертна оцінка методів переробки автомобільних шин

Таблиця 2.2 - Експертна оцінка методів переробки шин

Технологія Критерії	Баро деструкційн а переробка	Термо деструкційн а переробка	Переробка за допомогою бактерій	Розчинення в органічному розчині
Безпека персоналу	5	3	3	2
Безпека обладнання	5	3	3	2
Кількість шкідливих речовин в атмосферу	5	2	3	5
Кількість стічних вод	5	3	5	5
Кількість твердих відходів	5	3	3	5
Отримання Вторинної сировини	5	1	3	5
Капітальні витрати	5	3	3	2
Витрати на експлуатацію	3	5	3	3

### Оцінка ефективності методів переробки шин

Для визначення найбільш доцільної технології переробки автомобільних шин використано метод експертної оцінки з урахуванням трьох основних критеріїв: технологічної, екологічної та економічної складових. З урахуванням їх значущості прийнято такі вагові коефіцієнти:

$K_1 = 0,4$  — технологічна безпека;

$K_2 = 0,35$  — екологічна безпека;

$K_3 = 0,25$  — економічна ефективність.

На основі експертних даних виконано розрахунок інтегрального показника ефективності для кожного методу переробки.

#### Результати оцінки:

- Бародеструкційний метод переробки шин:
- $9 \cdot 0,4 + 17 \cdot 0,35 + 8 \cdot 0,25 = 11,55$

- **Термодеструкційний метод:**
- $7 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,35 + 7 \cdot 0,25 = 8,05$
- **Мікробіологічний метод (біопереробка):**
- $6 \cdot 0,4 + 12 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,25 = 7,95$
- **Фізико-хімічний метод (розчинення):**
- $5 \cdot 0,4 + 14 \cdot 0,35 + 7 \cdot 0,25 = 8,65$

**Таблиця 2.3 – Узагальнені результати експертної оцінки**

Метод переробки	Бародеструкційн ий	Термодеструкційн ий	Біологічн ий	Фізико- хімічни й
Загальн ий бал	11,55	8,05	7,95	8,65

За результатами проведеної експертної оцінки найбільше значення інтегрального показника отримано для бародеструкційного методу (11,55), що свідчить про його перевагу за сукупністю технологічних, екологічних та економічних критеріїв. Це дозволяє вважати дану технологію найбільш раціональною для впровадження в умовах сучасного виробництва.



Рисунок 2.5 – Технологічна лінія бародеструкційного процесу переробки автомобільних шин

### 2.3 Техніко-економічне обґрунтування застосування бародеструкційної технології

Сучасна бародеструкційна технологія переробки зношених автомобільних шин із металокордом характеризується високою ефективністю та дозволяє отримувати цінну вторинну сировину з мінімальними витратами. У процесі переробки формується гумова крихта необхідних фракцій, а також здійснюється відокремлення текстильного та металевго корду, які можуть бути використані повторно. Важливою перевагою є те, що вже на початковому

етапі технологічного процесу відбувається відділення до 90 % металокорду, що значно спрощує подальшу обробку матеріалу.

При організації виробництва в тризмінному режимі експлуатації максимальна продуктивність технологічної лінії може досягати близько 5500–5800 тонн шин на рік. У результаті переробки утворюється приблизно 3600–3700 тонн гумової крихти, близько 900–1000 тонн текстильного корду та до 900–1000 тонн металевго корду. Виробнича діляниця, необхідна для розміщення обладнання, займає площу орієнтовно 650–750 м<sup>2</sup> при висоті приміщення не менше 7 м, що свідчить про компактність технологічної лінії.

Отримані продукти переробки мають стабільний попит на ринку, оскільки гумова крихта широко використовується у дорожньому будівництві, виробництві покриттів і гумотехнічних виробів, а металевий та текстильний корд можуть бути реалізовані як вторинна сировина. Водночас вартість бародеструкційного обладнання є нижчою порівняно з більшістю імпортних аналогів, що робить впровадження цієї технології економічно доцільним.

Бародеструкційний метод переробки шин вирізняється високим рівнем екологічної безпеки, оскільки не супроводжується утворенням значних шкідливих викидів у навколишнє середовище. Процес характеризується практично безвідходним циклом, а отримана гумова крихта зберігає фізико-механічні властивості вихідного матеріалу. Важливою технологічною особливістю є можливість відокремлення металевих компонентів за одну операцію, що підвищує ефективність процесу. Крім того, сформована крихта має розвинену поверхню, що підвищує її адгезійні властивості при подальшому використанні. Технологія також відзначається помірною енергоємністю та незначним споживанням води завдяки використанню замкнених систем.

#### **2.4 Опис процесу виконання робіт на ділянці переробки шин**

Технологічний процес переробки автомобільних шин починається з подачі відпрацьованих покришок до установки первинного різання, де вони



слюсарем четвертого розряду, з урахуванням встановлених норм часу та вимог техніки безпеки.

**Таблиця переробки шин**

Номер операції	Найменування операції	Пристрої, інструменти	Норма часу, год	Технічні вимоги й вказівки на виконання робіт
1	Порізати автомобільну шину на фрагменти	Прес для різки шин	0.8	Фрагменти не більше 20 кг
2	Провести екструзіза гум з фрагментів відокремити гуму	Установка високого тиску	0.8	Куски розміром 20–80 мм
3	Відокремити металокард від гуми й текстильного корда	Апарат очистки брекера	0.3	Роботи в брезентових рукавицях і захисних окулярах
4	Видалити основну частину брекера металокарда	Апарат очистки брекера	0.5	Роботи в брезентових рукавицях і захисних окулярах
5	Зменшити гуму	Роторна дробарка	0.4	Куски розміром до 10 мм До 110 мм
6	Відокремити гуму від текстильного корда	Кордовідділювач	0.7	Розділення крихки на частинки: - 10–30 мм - до 10 мм
7	Розділити гумову крихту на фракції	Вібросито	0.9	Розділення крихти на фракції: - 10–30 мм - 2,8–30 мм - 1,0–1,4 мм
8	Упакувати крихту в мішки	Спеціальні мішки й мішкозашивач	0.2	Розділення крихти на фракції: - 10–30 мм - 1,0–1,4 мм

### 3. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙ І РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ШИН

#### 3.1 Аналіз обладнання для різання шин

Ножиці для різання шин діляться на алігаторні та дискові.



Рисунок 3.1 – Класифікація ножиць для різання шин

Гідравлічні алігаторні ножиці для різання шин серії «НС» призначені для первинного подрібнення відпрацьованих автомобільних покриттів шляхом їх розділення на окремі сегменти заданих розмірів. Обладнання забезпечує ефективне різання як цілих шин різних типорозмірів, так і попередньо підготовлених фрагментів, що дозволяє використовувати його на різних етапах технологічного процесу переробки. Конструкція ножиць базується на використанні гідравлічного приводу, який створює значне зусилля різання, достатнє для руйнування багатошарової структури шин, включаючи металевий та текстильний корд.

Відмінною особливістю даного обладнання є його масивна та жорстка рама, виготовлена зі сталевих елементів підвищеної міцності, що забезпечує стабільність роботи навіть при обробці великогабаритних і жорстких шин. Робочі ножі мають спеціальну геометрію ріжучих кромek, що сприяє зниженню енерговитрат та підвищенню ефективності різання. Завдяки значному запасу міцності вузлів і деталей, ножиці здатні працювати в інтенсивному режимі без





для стандартних легкових шин і до 500 мм для великогабаритних виробів, а маса оброблюваних покришок варіюється від 80 до 250–280 кг залежно від їх конструкції.

Робочий орган верстата здійснює обертальний рух із частотою близько 20 обертів за хвилину, що забезпечує достатню силу різання при відносно низькому рівні вібрацій і шуму. Потужність електродвигуна знаходиться в межах 2,2–3,0 кВт, що дозволяє поєднати продуктивність і економічність експлуатації. Габаритні розміри установки становлять приблизно 1400 мм у довжину, 900 мм у ширину та 1300 мм у висоту, а маса — близько 550–650 кг, що свідчить про її відносну компактність і можливість розміщення навіть у обмежених виробничих приміщеннях.

Застосування ножиць НД-10 та верстата ДН0 у комплексі забезпечує ефективну підготовку автомобільних шин до подальших стадій переробки. Це дозволяє підвищити продуктивність технологічної лінії, знизити навантаження на наступне обладнання та забезпечити рівномірність подачі матеріалу, що є важливим фактором для досягнення високої якості кінцевої продукції.

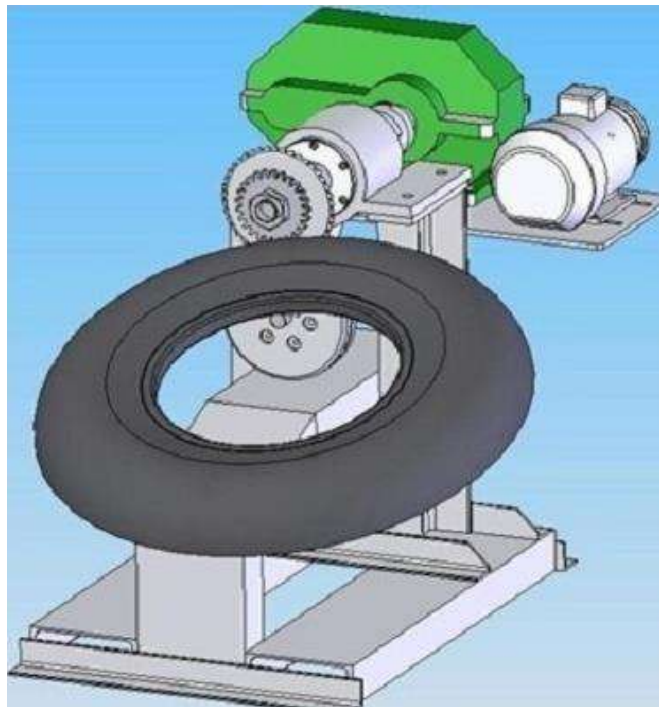


Рисунок 3.3 – Однодискові ножиці




Конструктивні особливості ножиць серії «НС», зокрема моделей НС-400, НС-500 та НС-600, дозволяють виконувати різання шин у декілька прийомів із високою швидкістю. Як правило, для розділення стандартної автомобільної шини достатньо двох циклів опускання ножа, у результаті чого вона розподіляється на декілька частин, що позитивно впливає на загальну продуктивність процесу. Обладнання здатне ефективно обробляти як цілі шини, так і їх фрагменти різної форми та розмірів.

Кожна з модифікацій ножиць має свої конструктивні та експлуатаційні особливості, що дозволяє обирати оптимальний варіант залежно від умов виробництва, типу оброблюваної сировини та необхідної продуктивності. У сукупності зазначені характеристики забезпечують високу ефективність, надійність і універсальність застосування гідравлічних алігаторних ножиць у технологічних процесах переробки автомобільних шин.

### **3.2 Пристрій та принцип роботи алігаторних ножиць для різання корду шин**

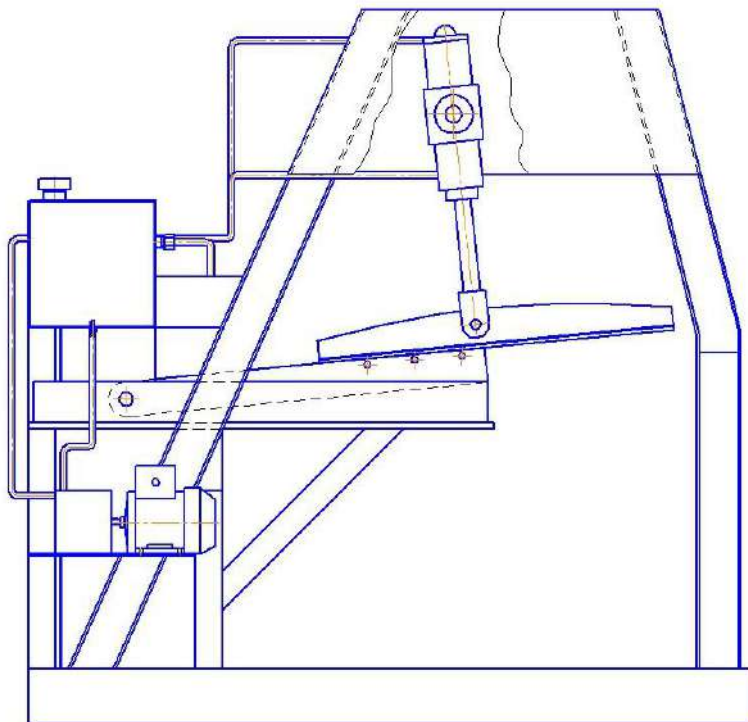


Рисунок 3.4 – Проектований стенд для різання шин



### 3.3 Опис принципової гідравлічної схеми

Сучасний розвиток машинобудування характеризується широким впровадженням гідравлічних приводів, які забезпечують ефективну передачу енергії та керування робочими органами різноманітних механізмів. Об'ємні гідроприводи набули значного поширення завдяки своїм технічним і експлуатаційним перевагам, серед яких варто відзначити високу питому потужність, можливість реалізації значних зусиль при компактних габаритах, плавне регулювання швидкості руху виконавчих механізмів, а також надійний захист від перевантажень.

Принципова гідравлічна схема стенда для різання шин включає основні функціональні елементи, які забезпечують циркуляцію робочої рідини та керування виконавчим механізмом. Джерелом робочої рідини є масляний бак, який виконує функцію накопичення, охолодження та часткового очищення гідравлічного масла. З бака рідина через всмоктувальний трубопровід подається до гідронасоса, який створює необхідний тиск і забезпечує її подальший рух по системі.

Під дією насоса робоча рідина надходить у напірний трубопровід і спрямовується до розподільника, який є основним керуючим елементом гідросистеми. За допомогою розподільника здійснюється зміна напрямку потоку рідини, що дозволяє керувати рухом гідроциліндра, зокрема опусканням і підніманням верхнього ножа. Таким чином забезпечується виконання робочого циклу різання.

Для захисту гідросистеми від перевантажень передбачено встановлення переливного (запобіжного) клапана. У разі перевищення допустимого тиску клапан відкривається та скидає надлишок робочої рідини назад у масляний бак, що запобігає пошкодженню елементів системи та підвищує її надійність.

Після виконання роботи рідина відводиться від гідроциліндра через зливальний трубопровід і проходить через фільтр, де очищується від механічних домішок. Очищена рідина повертається до масляного бака, що забезпечує замкнений цикл циркуляції. Для запобігання руйнуванню фільтрувального

елемента у разі його засмічення в систему введено додатковий перепускний клапан, який дозволяє рідині обходити фільтр при досягненні критичного тиску. Як правило, фільтр і запобіжний клапан конструктивно об'єднані в один функціональний блок.

Таким чином, запропонована гідравлічна схема забезпечує ефективну, надійну та безпечну роботу станда для різання шин, дозволяючи реалізувати необхідні технологічні параметри процесу та забезпечити стабільність функціонування обладнання в умовах експлуатації.

### **3.4 Розрахунок об'ємного гідроприводу**

Розрахунок об'ємного гідроприводу виконується з метою визначення основних параметрів гідравлічної системи, що забезпечують стабільну та ефективну роботу станда для різання шин. До вихідних даних належать номінальний тиск у системі, зусилля, яке має розвиватися на штоку гідроциліндра, величина його робочого ходу, швидкість переміщення виконавчого органа, а також параметри трубопроводів і кількість місцевих гідравлічних опорів. Зокрема, у розрахунку прийнято номінальний тиск 15 МПа, зусилля на штоку 12 000 Н, хід поршня 1,2 м і швидкість його переміщення 0,35 м/с. Довжини трубопроводів у системі змінюються в межах 0,5–1,2 м залежно від ділянки, а кількість місцевих опорів враховує елементи типу штуцерів, кутників, муфт і каналів, що впливають на втрати тиску.

### **3.5 Визначення потужності гідроприводу та насоса**

Потужність гідродвигуна, яким у даному випадку є гідроциліндр зворотно-поступальної дії, визначається як добуток сили, що розвивається на штоку, та швидкості його переміщення. Таким чином, при зусиллі 12 кН і швидкості 0,35 м/с корисна потужність становить:

$$N_{\text{гдв}} = 12 \cdot 0,35 = \mathbf{4,2 \text{ кВт}}$$

Отримане значення характеризує мінімально необхідну потужність, яка має бути забезпечена гідросистемою для виконання робочого процесу. Однак при

передачі енергії від насоса до виконавчого механізму виникають втрати, пов'язані з гідравлічним опором, витоками та тертям. Для їх урахування вводяться коефіцієнти запасу за зусиллям і швидкістю. У даному випадку прийнято значення  $k_{(зу)} = 1,15$  та  $k_{(зс)} = 1,1$ .

З урахуванням зазначених коефіцієнтів потужність насоса визначається як:

$$N_n = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 4,2 = \mathbf{5,31 \text{ кВт}}$$

Це значення використовується як базове при виборі насосного обладнання.

### **3.3.2 Визначення подачі та вибір насоса**

Подача насоса визначається залежно від необхідної потужності та номінального тиску системи. При тиску 15 МПа розрахункова подача становить:

$$Q_n = 5,31 / 15 = \mathbf{0,354 \text{ дм}^3/\text{с}}$$

Для подальших розрахунків приймається частота обертання валу насоса на рівні 20 об/с. Тоді робочий об'єм насоса визначається за формулою:

$$q_n = 5,31 / (15 \cdot 20) = \mathbf{0,0177 \text{ дм}^3 \approx 17,7 \text{ см}^3}$$

Отримані значення свідчать про необхідність використання насоса середньої продуктивності. З урахуванням стандартного ряду гідромашин доцільно обрати шестерний насос із більшим робочим об'ємом для забезпечення надійної роботи системи з запасом.

Як оптимальний варіант прийнято насос типу НШ-40У, який відповідає вимогам за тиском, подачею та надійністю експлуатації. Його робочий об'єм становить близько 40 см<sup>3</sup>, номінальний тиск досягає 20 МПа, а коефіцієнт корисної дії перевищує 0,9. Такий насос забезпечує стабільну подачу робочої рідини та дозволяє компенсувати можливі втрати в системі.

### **Висновки щодо вибору гідрообладнання**

У процесі розрахунку гідроприводу стенда для різання шин було визначено основні параметри системи та обґрунтовано вибір її елементів. Як виконавчий механізм використовується гідроциліндр, що забезпечує необхідне зусилля різання. Для створення потоку робочої рідини обрано шестерний насос, який відповідає розрахунковим характеристикам і забезпечує стабільну роботу системи.







10. Яковлєва І. В. Економічна доцільність створення підприємств із переробки вторинної гумової сировини. *Економіка та держава*. 2021. № 3. С. 115–121.
11. Antunes M. L., Couchinho I. R. Sustainable Management of Waste Tires: A Global Perspective. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 291. P. 112–125.
12. Bockstal L., Berchem T. Quo Vadis, Tyre Recycling? A Review of Current and Future Trends in Europe. *Waste Management*. 2019. Vol. 92. P. 104–118.
13. Czajczyńska D., Jouhara H. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2017. Vol. 3. P. 171–197.
14. Fazli A., Rodrigue D. Waste Rubber Recycling: A Review on the Use of Waste Tire Rubber in Polymeric Matrices. *Materials*. 2020. Vol. 13, no. 14. P. 31–45.
15. Lo Presti D. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A review. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 49. P. 863–881.
16. Machin E. B., Pedroso D. T. Energetic valuation of waste tire by pyrolysis and gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 74. P. 477–486.
17. Myhre M., MacKillop D. A. Rubber Recycling. *Rubber Chemistry and Technology*. 2002. Vol. 75, no. 3. P. 429–474.
18. Sienkiewicz M., Janik H. Progress in methods of pyrolysis and utilization of waste tire rubber. *Progress in Polymer Science*. 2012. Vol. 37, no. 12. P. 1590–1604.
19. Thomas B. S., Gupta R. C. A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. P. 1323–1333.
20. Williams P. T. Pyrolysis of waste tyres: A review. *Waste Management*. 2013. Vol. 33, no. 8. P. 1714–1728.