

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” _____ 2025р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Розробка технологічних основ отримання палива з
гуми»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Гут А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Гут А.В. Розробка технологічних основ отримання палива з гуми (Дипломний проект, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 72 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 14 рисунки, 14 таблиць, 17 джерела літератури).

Метою роботи є визначення найбільш раціонального способу переробки гумотехнічних виробів і оцінювання його екологічної та економічної ефективності.

Виходячи з поставленої мети, було реалізовано наступні **завдання**: здійснено огляд наукової літератури з досліджуваної теми; досліджено питання утилізації гумотехнічних виробів; розглянуто наявні способи переробки гумотехнічних виробів; аргументовано вибір найбільш підходящого методу утилізації гумотехнічних виробів; розраховано економічну вигідність проекту з переробки автомобільних шин; проведено розрахунки для оцінки комплексної еколого-економічної ефективності проекту.

Об'єктом дослідження є гумові відходи промислового виробництва.

Предметом дослідження є комплекс еколого-економічних питань, пов'язаних із утилізацією гумотехнічних виробів.

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження виступає діалектичний метод наукового пізнання, що забезпечує всебічний та об'єктивний розгляд явища, а також системний підхід, який дозволяє розглядати об'єкт дослідження як цілісну систему взаємопов'язаних елементів. У процесі аналізу застосовано комплекс загальноекономічних методів, зокрема метод порівняльного аналізу, методи оцінювання економічної результативності проектів, а також методи оцінювання екологічної доцільності.

Ключові слова: ВИРОБИ З ГУМИ, МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ, ЕКОЛОГІЯ, ПЕРЕРОБКА АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН, ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОГО РОЗКЛАДАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ З ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ	8
1.1.Оцінка сучасного стану та виявлення проблем у галузі переробки гумотехнічних виробів.....	8
1.2.Екологічна значущість і економічна вигода утилізації відпрацьованих автомобільних шин	10
1.3.Стан та особливості застосування існуючих технологічних рішень у сфері утилізації автошин	12
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИКОРИСТАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН	22
2.1. Порівняльна оцінка методів утилізації та переробки відпрацьованих шин	22
2.2.Технологічні основи та характеристика процесу піролізу гумотехнічних виробів	35
2.3. Аналіз екологічних наслідків застосування піролізної технології переробки зношених шин.....	37
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
3.1.Виробничі ризики та потенційні небезпеки процесів переробки гумотехнічної сировини.....	40
3.2.Розрахунок і аналіз мікроклімату виробничого середовища під час експлуатації обладнання для переробки гумотехнічної сировини	42
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ ВИРОБНИЦТВА З УТИЛІЗАЦІЇ Й ПЕРЕРОБКИ АВТОШИН	54
4.1Структура, мета та основні етапи реалізації проєкту створення виробництва з переробки зношених шин.....	54
4.2. Технічні та організаційні передумови створення виробництва з переробки гумотехнічних виробів.....	59
4.3. Економічна оцінка результативності впровадження виробництва з переробки відпрацьованих шин.....	64
4.4. Еколого-економічне обґрунтування ефективності реалізації проєкту з утилізації зношених шин	66
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена впливом розвитку промисловості на підвищення рівня життя, розширення асортименту товарів, впровадження новітніх виробничих технологій та загальне зростання ринку, як у кількісному, так і в якісному вимірі. Разом зі збільшенням обсягів виробництва зростає і кількість промислових відходів, що стає серйозною проблемою для України. Зважаючи на значну територію країни, пріоритетним напрямом у сфері поводження з відходами є їх переробка, а не поховання чи складування, як офіційне, так і несанкціоноване. Сміттєзвалища містять різноманітні види відходів, включаючи харчові відходи, скло, текстиль, полімерні матеріали тощо. Особливу увагу серед відходів на звалищах привертають продукти нафтогазової переробки – полімерні вироби, такі як пластикові пакети, пакувальні матеріали, тара, побутові предмети, гумотехнічні вироби та інше.

Гумотехнічні вироби, в тому числі широкий асортимент продукції від ізоляції до шин, є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. Зі збільшенням кількості автомобілів, відповідно, зростає і споживання автомобільних шин.

Актуальність даного питання визначається постійним збільшенням кількості відходів гумотехнічних виробів в Україні та необхідністю їхньої утилізації з використанням екологічно безпечних методів. Велика кількість зношених автомобільних шин накопичується на полігонах, пунктах збору відходів та вздовж доріг, а рівень їхньої переробки залишається відносно низьким, не перевищуючи 20–25%. Відтак, дослідження, націлені на вирішення цієї проблеми, мають важливе значення для забезпечення екологічної безпеки.

Для досягнення мети були виконані наступні **завдання**:

- проаналізовано наукову літературу з даної тематики;
- вивчено проблеми, пов'язані з утилізацією ГТВ;
- проведено аналіз існуючих технологій переробки ГТВ;

- обґрунтовано вибір найбільш підходящого способу переробки ГТВ;
- виконано розрахунки для оцінки економічної доцільності проєкту з переробки автомобільних шин;
- розраховано інтегральну економіко-екологічну ефективність проєкту.

Новизна дослідження. Головна наукова новизна полягає в обґрунтуванні вибору найбільш прийняттого способу переробки гумотехнічних виробів з точки зору мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Практичне значення. Результати дослідження мають значну практичну цінність, враховуючи низький рівень переробки відпрацьованих гумотехнічних виробів в Україні.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ З ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМАТИКИ

1.1. Оцінка сучасного стану та виявлення проблем у галузі переробки гумотехнічних виробів

Гумотехнічні вироби (ГТВ) охоплюють широкий спектр продукції, що знаходить застосування в різних галузях: від ізоляції проводів і гумових рукавичок до шлангів і автомобільних шин. Ці вироби різняться за технологією виготовлення та призначенням. Спільною їх рисою є використання в складі каучуку – гідрофобного та пружного еластомеру, який шляхом вулканізації перетворюється на гуму. Розрізняють природний каучук, що базується на ізопрені, та штучний, в якому мономером може бути, наприклад, бутадієн. Поширеним видом синтетичного каучуку є продукт кополімеризації бутадієну та стиролу. Різні марки цього каучуку, що відрізняються відсотковим вмістом стиролу, характеризуються різними показниками міцності, морозостійкості, еластичності тощо. Крім того, існують інші види синтетичних каучуків, такі як ізопренові, бутадієн-нітрильні, полісульфідні (тіюкол) та інші. Ключовим етапом у виробництві гуми є вулканізація – процес, в ході якого пластичний каучук перетворюється на гуму шляхом утворення вулканізованої сітки з лінійних макромолекул каучуку за допомогою сполук сірки [13].

За методом виробництва ГТВ поділяються на неформовані та формовані. Неформовані вироби виготовляються в два етапи: спочатку відбувається екструзія гумових сумішей у спеціальній прес-формі, а потім – вулканізація отриманого напівфабрикату. Формовані ГТВ отримують шляхом вулканізації гумової суміші або за допомогою лиття під тиском, що є найбільш поширеним способом у багатьох галузях промисловості [19].

Один із найпоширеніших продуктів, що виготовляються з гуми, – це автомобільні покриття. Сучасні гумові суміші для шин складаються з різноманітних інгредієнтів: добавок, наповнювачів, пластифікаторів та інших

спеціальних компонентів. Конкретний кількісний та якісний склад гуми для шин кожної окремої марки є конфіденційною комерційною інформацією, проте можливо визначити основні компоненти:

- еластомір (натуральний або штучний) – основа гумової суміші. Його частка становить приблизно 50% від загального об'єму;
- технічний вуглець або сажа. Цей компонент є пігментом, що надає шині чорного кольору, а також забезпечує необхідну міцність, стійкість до зносу та коливань температури. Його кількість становить приблизно 30% від загального об'єму;
- кремнієві сполуки. Покращують зчеплення шини з мокрою поверхнею. Частка кремнію може досягати приблизно 10% від загального об'єму;
- органічні смоли та масла. Є допоміжними компонентами для підвищення м'якості та гнучкості готового виробу. Загальна кількість смол та масел становить приблизно 15% загального об'єму [30].

Шина – це складний виріб, який складається з багатьох компонентів, що разом утворюють кінцевий продукт. Основними елементами конструкції шини є корд – прошарок тканини з гумовим покриттям, зроблений з текстильних, полімерних або металевих волокон; протектор – зовнішня частина шини, яка контактує з дорогою та являє собою товстий гумовий шар з рельєфним візерунком на каркасі; а також брекер – прошарки корду, що забезпечують надійне з'єднання між протектором та каркасом [31].

Відпрацьовані шини мають значний енергетичний потенціал, оскільки їх теплота згоряння порівнянна з якісним вугіллям або 0,7 т рідкого палива. Це обумовлено їх складом, переважно з продуктів нафтопереробки. Різні види палива мають різну теплотворну здатність, наприклад, газ – 556 ккал/кг, паливо з шин – 8611 ккал/кг, вугілля – 5833 ккал/кг та деревина – 2431 ккал/кг.

Під час спалювання шин, як і інших вуглеводневих матеріалів, утворюються переважно вуглекислий газ, вода та твердий залишок. Запалювання шин ускладнене, оскільки вимагає температури 330-350 °С. Однак, при низькій температурі горіння збільшується ризик утворення шкідливих ароматичних

вуглеводнів. Важливо відзначити, що самозаймання шин неможливе. Повне згоряння відбувається при температурі 650 °С, утворюючи лише золу та шлак.

Відпрацьовані автомобільні шини та інші гумові вироби повинні зберігатися на спеціально обладнаних майданчиках з бетонним або асфальтовим покриттям, що відповідають вимогам пожежної безпеки та забезпечують можливість використання вантажопідйомної техніки для навантажувально-розвантажувальних робіт, перед їх відправкою на переробку.

1.2. Екологічна значущість і економічна вигода утилізації відпрацьованих автомобільних шин

Накопичення зношених шин є глобальною екологічною проблемою. Неконтрольоване спалювання цих шин призводить до забруднення повітря шкідливими речовинами, такими як сажа, монооксид вуглецю, ціаніди та діоксиди. Зважаючи на високу стійкість гуми до природних факторів, великі обсяги зношених покришок створюють значну загрозу для навколишнього середовища. Вирішення цієї проблеми можливе за допомогою сучасних та прогресивних технологій переробки шин. Хоча існує велика кількість способів переробки, їхнє впровадження часто стримується високими фінансовими витратами та необхідністю організації додаткових виробничих процесів, ефективність яких важко забезпечити через складність технологічних процесів.

За підрахунками експертів, щорічно у світі стає непридатними понад 10 мільйонів тонн шин. Обсяги зношених шин будуть зростати паралельно зі збільшенням кількості вантажного та легкового автотранспорту. Продажі легкових та малих комерційних автомобілів у 2021 році досягли 1,4 мільйона одиниць. У 2020 році цей показник становив 1,5 мільйона одиниць, а до 2025 року очікується зростання до 2 мільйонів одиниць [27]. За прогнозами аналітиків, обсяги продажу автомобілів продовжуватимуть збільшуватися. Ріст автомобільного парку оцінюється на рівні 3–7 % щороку, що, відповідно, призведе до збільшення кількості зношених шин.

В Україні накопичення та переробка зношених шин є значною екологічною та господарською проблемою. Відпрацьовані шини часто опиняються на полігонах твердих побутових відходів, пунктах збору сміття, в лісових зонах або вздовж автомобільних шляхів. Це призводить до вилучення земельних ділянок з користування та забруднення ґрунту і водних ресурсів. Зношені шини становлять пожежну небезпеку, їх займання важко ліквідувати, а в процесі горіння в атмосферу виділяються небезпечні речовини, що належать до високих класів небезпеки. Під час горіння однієї тонни відпрацьованих шин в повітря потрапляє велика кількість сажі, токсичних газів та канцерогенних речовин. Хоча за класифікацією відпрацьовані шини належать до малонебезпечних відходів, вони вкрай повільно розкладаються природним шляхом, і час їх розкладання перевищує століття.

Відпрацьовані автомобільні покришки є значним джерелом вторинної сировини, що включає каучук, металеві елементи та текстильний корд. Важливо відзначити, що зазначені компоненти, як правило, зберігають свої первинні характеристики в процесі експлуатації. Переробка автомобільних шин відкриває можливості для виробництва різноманітної продукції, яка може бути використана в різних галузях промисловості. Утилізація відпрацьованих покришок має суттєве соціально-економічне значення.

У багатьох розвинених державах значна частина зношених шин піддається повторній обробці. Зокрема, в Сполучених Штатах Америки коефіцієнт переробки непридатних шин досягає 88,5 %.

Окрім беззаперечної важливості утилізації шин з екологічної точки зору, відпрацьовані покришки представляють собою економічний інтерес. Враховуючи матеріальний склад автомобільних шин, можна стверджувати про наявність у них значного енергетичного потенціалу. Продукти, отримані в результаті переробки шин, користуються стабільним попитом на ринку, починаючи з другої половини XX століття.

1.3. Стан та особливості застосування існуючих технологічних рішень у сфері утилізації автошин

Загальний обсяг накопичених у світі використаних шин становить близько 100 мільйонів тонн. Відсоток утилізації шин значно різниться залежно від країни. В середньому, у світі переробляється (включаючи експорт) приблизно 20-25% шин. Цей показник зумовлений тим, що в розвинених країнах, завдяки державній підтримці, рівень переробки наближається до 100%, особливо в країнах Європи.

Дані про рівень і методи утилізації шин у різних країнах представлені в таблиці 1.1.

Згідно з даними таблиці 1.1, на момент проведення дослідження в європейських країнах майже всі зношені шини піддаються переробці. Хоча в Англії близько 5% шин вивозиться на полігони, що трохи вище, ніж у інших європейських країнах, у Великій Британії ще 20 років тому був запущений завод з утилізації шин потужністю 50 тис. тонн на рік. Процес переробки дозволяє отримати 3-4 тисячі тонн легкого дистилату, 20 тисяч тонн рідкого палива, 17 тисяч тонн твердого палива і 5-7 тисяч тонн металу. Вартість цього заводу склала 12 мільйонів доларів. Термічна переробка шин є найбільш поширеним способом утилізації відпрацьованих шин у Європі. Лідерами в цьому напрямку є Румунія та Польща, де термічній обробці піддається приблизно 70–90% зношених шин. Незважаючи на те, що термічні методи переробки пов'язані з викидами шкідливих речовин, підприємства приділяють особливу увагу обладнанню для очищення газів, щоб відповідати європейським екологічним стандартам.

Згідно з інформацією, отриманою з джерела [32], показники переробки шин у крихту демонструють високі значення в деяких європейських країнах. Зокрема, в Естонії цей показник становить 100%, в Данії – 97%, а у Фінляндії – 82%. Важливо підкреслити, що фінансування утилізації здійснюється за рахунок включення відповідної плати у вартість шин при їх продажу.

Таблиця 1.1

Оцінка та зіставлення методів поводження з відходами гумотехнічних виробів у різних національних юрисдикціях

держава	Утилізація на полігонах, %	Відновлення протектора, %	Загальний обсяг відходів шин, тис. одиниць (щорічно)	Інші способи утилізації, %	Використання для виробництва енергії, %	Виробництво гумової крихти, %	Експорт, %
Франція	0	7,7	457	4,4	49,7	27,4	10,9
Англія	4,6	7,4	527	7,6	35,5	39,5	5,5
Італія	0	6,7	421	5,2	55,6	28,5	4,0
Японія	7,8	5,6	1000	0,3	64,3	10,5	11,5
США	12,1	н/д	4039	н/д	47,6	32,1	2,5
Німеччина	0	12,9	582	1,7	36,4	34,5	14,4

У Сполучених Штатах Америки 12,1% використаних шин утилізується на спеціалізованих полігонах, тоді як решта піддається рециклінгу. З огляду на те, що загальний обсяг сформованих зношених шин з різних джерел становить 3,5-4 млн метричних тонн на рік, слід зазначити, що приблизно 3,1-3,5 млн метричних тонн піддаються переробці. У порівнянні з іншими країнами, за відсотковим показником рециклінгу, США демонструють нижчі результати. Однак, необхідно враховувати значно більший обсяг утворених відпрацьованих шин у Сполучених Штатах. Відповідно, можна констатувати, що США, станом на 2019 рік, займали провідну позицію за абсолютною кількістю перероблених шин. Компанія Energy Research International Inc, використовуючи свої потужності в США, спроможна переробляти до 1 мільйона (приблизно 10 тисяч тонн) легкових шин щорічно [12].

Зважаючи на високу залежність Японії від імпорту сировинних ресурсів та енергоносіїв, впродовж останніх 9 років (з 2010 по 2019 рік) рівень рециклінгу шин підтримується на високому рівні. Як наслідок, Японія ініціювала активну

діяльність у цій сфері, що дозволило досягти 92% рівня переробки вже у 2014 році.

У всесвітньому масштабі, стратегії поводження з відпрацьованими шинами та їх рециклінгу принципово поділяються на два ключові напрями: фізико-механічні та термічні методи переробки. Фізико-механічна обробка включає подрібнення шин у гумову крихту, регенерацію для повторного застосування, імпульсне руйнування та бародеструкцію. До термічних методів належать спалювання відпрацьованих шин, газифікація, мікрохвильовий піроліз та традиційний піроліз.

Найбільш розповсюджений на сьогодні спосіб утилізації старих шин – їх подрібнення на гумову крихту. Основні етапи цього процесу описані нижче (рис. 1.1) на прикладі підприємства «Корд-екс» з міста Перм. Шина за допомогою конвеєра подається до преса для різання. Потім розрізані шматки гуми потрапляють до завантажувальних пристроїв високого тиску. Тут гума проходить процес екструзії, перетворюючись на шматки розміром 20–80 мм. Далі суміш гуми, текстилю та металевго корду надходить до апарату для очищення брикетів, де відбувається їх розділення. Металевий корд відокремлюється за допомогою магнітного сепаратора і збирається в контейнер. Залишки металу подрібнюються в дробарці до розміру 10 мм, після чого вся суміш подається до кордовідділювача, де гумова крихта розділяється на дві фракції: до 3 мм і від 3 до 10 мм. Текстильний корд збирається в окремий контейнер. Додаткове вилучення металу з гумової крихти фракції 3-10 мм відбувається у магнітному сепараторі, звідки вилучений метал також потрапляє у контейнер. Після проходження магнітного сепаратора, подрібнена гума транспортується до бункера-накопичувача, звідки надходить до екструдера-подрібнювача. Якщо розмір частинок гумової крихти перевищує 3 мм і необхідна її реалізація, вона скеровується до накопичувальної ємності через дозувальний пристрій.

В іншому разі, попередньо подрібнений матеріал переміщується до магнітного сепаратора, куди також подається дрібна фракція (розміром до 3 мм)

з циклону, що розташований після пристрою для відокремлення корду. Вилучені металеві залишки збираються у відповідну тару, а гумова крихта з домішками текстилю транспортується до кордоотделителя. Відокремлений текстильний корд збирається в окрему ємність, тоді як гумова крихта перенаправляється на вібраційний просіювач. Призначення вібросита полягає у фракційному розділенні отриманої крихти на три класи розмірів:

- I. від 0,3 до 1,0 мм;
- II. від 1,0 до 3,0 (4,0) мм;
- III. понад 3,0 (4,0) мм.

Гумова крихта, що перевищує розмір 3,0 мм, підлягає рециркуляції до екструдера-подрібнювача. Гумова крихта фракцій I та II за допомогою транспортера подається до накопичувальних бункерів, звідки за допомогою дозаторів переміщується у паперові мішки. Зважування забезпечує контроль обсягу відвантажуваного матеріалу. Заповнені товарною крихтою мішки зашиваються за допомогою спеціалізованого обладнання [12].

Відновлення шин з метою повторного застосування є доволі поширеною практикою. Як правило, цей процес передбачає заміну зношеного протекторного шару матеріалом, ідентичним за своїми властивостями оригінальному. Регенерація гуми відбувається послідовно, у декілька фаз.

Первинна інспекція: кожна шина ретельно оглядається для ідентифікації будь-яких наявних дефектів.

Абразивна обробка: здійснюється видалення залишків зношеного протекторного шару шляхом шорсткування поверхні.

Реставрація: на даному етапі проводиться усунення дефектів як з зовнішньої, так і з внутрішньої поверхонь шини. У разі наявності перфорацій, виконується їх армування для відновлення цілісності.

Підготовка до вулканізації: поверхня шини обробляється адгезійним шаром сирової гумової суміші, після чого відбувається процес термічної обробки протягом визначеного проміжку часу.

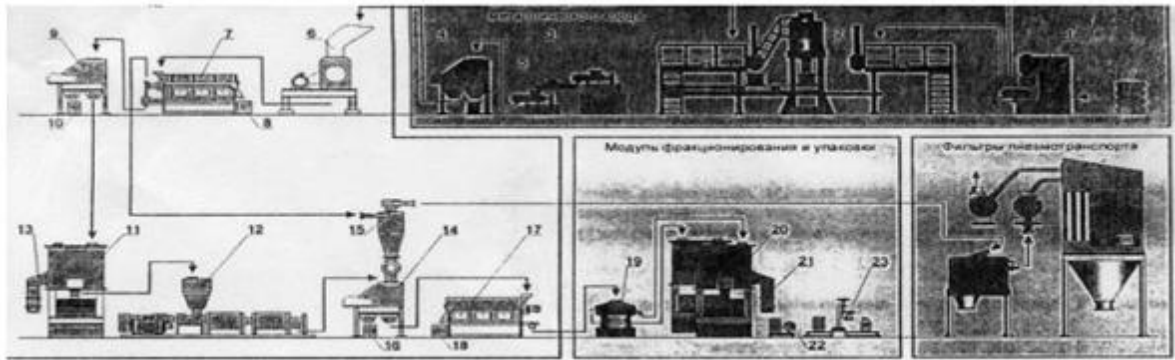


Рис.1.1. Схема процесу подрібнення гуми

1. прес для різання: пристрій для попереднього розрізання матеріалу;
2. система подачі під високим тиском: обладнання для завантаження матеріалу в систему під високим тиском;
3. очисник брикетів апарат для видалення забруднень з брикетованого матеріалу;
4. сепараційний пристрій: обладнання для розділення компонентів суміші;
5. ємність для металевих волокон: контейнер для збору металевих волокон;
6. подрібнювальна машина: механізм для зменшення розміру частинок матеріалу;
7. система відділення корду: обладнання для відокремлення корду від гумової маси;
8. ємність для текстильного волокна;
10. ємність для металу: контейнер для збору металевих відходів;
11. накопичувальний бункер: резервуар для тимчасового зберігання матеріалу;
12. подрібнювальний екструдер: екструдер, призначений для додаткового подрібнення матеріалу;
13. дозувальний пристрій: обладнання для точного відмірювання кількості матеріалу;
14. магнітний роздільник: пристрій для відділення феромагнітних матеріалів;
15. циклонний сепаратор: апарат для розділення частинок з використанням відцентрової сили;
16. контейнер для відходів;
17. система відділення корду: обладнання для відокремлення корду від гумової маси;
18. ємність для текстильного корду: контейнер для збору текстильного корду;
19. вібраційний класифікатор: пристрій для сортування матеріалу за розміром частинок;
20. накопичувальний пристрій: обладнання для акумулювання матеріалу;
21. дозатори фракцій і та ii: обладнання для точного відмірювання двох різних фракцій матеріалу;
22. ваговий пристрій: обладнання для визначення маси матеріалу;
23. прошивні агрегати.

Відновлення шин:

1. підготовка каркаса: спочатку на оброблений ґрунтовкою каркас накладається шар невулканізованої гуми.
2. нанесення протектора: на підготовлений каркас встановлюється новий протектор.
3. вулканізація: шина поміщається в автоклав, де за певних умов (час, температура, тиск) відбувається вулканізація гуми.
4. фінальна перевірка: перед охолодженням шина ретельно перевіряється на наявність дефектів.

Відновлені шини хоч і не мають тієї ж міцності, що й нові, але спеціальні технології дозволяють суттєво збільшити час їхньої експлуатації.

Дроблення вибухом: цей спосіб передбачає розміщення шин (до 500 кг) в контейнер, де їх охолоджують до -60°C . Потім шини поміщають у камеру з вибухівкою, де відбувається детонація, і заморожена гума розпадається на невеликі фрагменти [10].

Бародеструкція: цей метод вимагає великих затрат енергії. Він полягає у подрібненні шин за допомогою гідравлічного преса. Гума під значним тиском видавлюється з шини, відокремлюючись від корду. В результаті отримують гумову крихту розміром до 0,8 мм і металевий корд [11]. Текстильний корд, отриманий в процесі переробки, може бути використаний для виробництва тепло- та звукоізоляційних матеріалів, для тампонування свердловин при бурінні, а також як армуючий компонент у виробництві композиційних еластомерних матеріалів [16].

Використання зношених шин як палива в цементних печах і теплоелектроцентралях (ТЕЦ) є варіантом, однак його економічна ефективність залишається обмеженою. У цементній промисловості обсяги шин, що використовуються для енергетичних цілей, регламентовані через негативний вплив на якість кінцевого продукту. Процес спалювання шин супроводжується утворенням значної кількості газоподібних забруднювачів, зокрема діоксиду вуглецю (CO_2), сірковмісних сполук, сажі та різноманітних канцерогенних

речовин, таких як фенантрен та антрацен [20]. Це обумовлює необхідність значних інвестицій в системи очищення відхідних газів та подальшу утилізацію зібраних шкідливих компонентів. Додатково, застосування шин як палива на ТЕЦ характеризується відносно низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД) [16].

Альтернативним методом переробки вуглеводневих матеріалів, зокрема зношених шин, є газифікація. Цей процес передбачає перетворення водню та вуглецю з твердої фази вихідної сировини в газоподібний стан у вигляді монооксиду вуглецю (CO) та молекулярного водню (H₂). Отриманий синтез-газ є цінною та затребуваною хімічною сировиною для здійснення органічного синтезу.

Організація газифікації (високотемпературного перетворення) з використанням низькотемпературної плазми, що досягає температур 2500–1000 K (2220–9720 °C), є одним із сучасних підходів. Ключові переваги даного методу включають:

- високі температури реакційного середовища, що сприяють прискоренню хімічних перетворень;
- розширені можливості керування процесом;
- підвищений питомий вихід хімічної енергії;
- зменшення концентрації негорючих компонентів у синтез-газі [14].

НВЧ-піроліз розглядається як інноваційний та перспективний метод рециклінгу зношених шин. Він являє собою новітній напрям у сфері переробки шинних відходів. Застосування мікрохвильового випромінювання забезпечує рівномірний розподіл енергії по всьому об'єму оброблюваного матеріалу, що зумовлює більш інтенсивне нагрівання, ніж при традиційному піролізі (з конвекційним нагріванням). Принципова відмінність механізму нагрівання в НВЧ-полі впливає на склад продуктів газової та рідкої фаз. Завдяки об'ємному нагріванню, дана технологія дозволяє скоротити тривалість процесу та досягти більш глибокої переробки, у порівнянні з традиційними методами піролізу. На відміну від конвекційного нагрівання, де тепло передається від поверхні до внутрішніх шарів матеріалу, мікрохвильовий піроліз забезпечує одночасний

нагрів усього об'єму до температури деструкції. За умови оптимального вибору параметрів НВЧ-установки, мікрохвильовий піроліз дозволяє здійснювати практично безвідходну переробку різноманітних гумотехнічних виробів з мінімальними енергетичними та часовими витратами. Крім того, даний метод піролізу є екологічно більш прийнятним, у порівнянні з традиційними термічними процесами, де для нагрівання гуми використовується спалювання частини піролізних газів або інших горючих субстанцій [21].

Попри наявні переваги, технологія НВЧ-піролізу шин має певні важливі аспекти, які стримують її ширше впровадження.

По-перше, під час НВЧ-піролізу утворюються вуглеводні, котрі характеризуються схильністю до реполімеризації, формуючи високомолекулярні смолисті сполуки. Хоча оптимізація параметрів процесу може сприяти отриманню продукту з мінімальним вмістом високомолекулярних вуглеводнів і сполук сірки, дослідження вказують на необхідність використання додаткових реагентів, зокрема гідроксиду калію (KOH) [22].

По-друге, практичне застосування НВЧ-піролізу поки що обмежується лабораторними дослідженнями. Впровадження цієї технології у промислових масштабах ускладнюється значними фінансовими витратами, пов'язаними з придбанням генератора надвисоких частот, порівняно з традиційними піролізними печами. У Російській Федерації подібні дослідження проводилися на експериментальній лабораторній НВЧ-установці. Подрібнений матеріал (розміром 5x5 мм) поміщали в кювету та піддавали піролізу під дією НВЧ-випромінювання з частотою 2.45 ГГц і потужністю 1 кВт. Під впливом НВЧ-випромінювання зразок нагрівався до 450-500°C, що призводило до термічної деструкції [21]. Високі витрати зумовлюють зростання собівартості кінцевого продукту. Крім того, сама технологія вимагає глибоких міждисциплінарних знань у галузі фізики та хімії, що може ускладнювати пошук кваліфікованих спеціалістів.

НВЧ-піроліз, хоча й демонструє потенціал для отримання цінних продуктів піролізу, вимагає подальшої оптимізації економічної ефективності та

поглиблених досліджень перед широкомасштабним промисловим впровадженням.

Традиційний піроліз, який використовує конвекційний метод нагрівання, передбачає завантаження зношених автомобільних шин у герметичну реторту. Надалі відбувається термічна обробка матеріалу в анаеробних умовах. На відміну від НВЧ-піролізу, нагрівання в даному випадку відбувається менш однорідно, однак апаратурне забезпечення для конвекційного нагріву характеризується значно нижчою вартістю. Ініціація процесу деструкції здійснюється за допомогою зовнішнього джерела нагріву тигля – ємності, що містить відпрацьовані шини. Згодом, після початку деградації молекулярних зв'язків, газ, що утворюється в процесі піролізу, слугує паливом для подальшого нагріву, мінімізуючи потребу в безперервному зовнішньому теплопостачанні.

Однією з ключових переваг піролізу відпрацьованих автомобільних шин як способу переробки (утилізації) є його відносна екологічна безпека. Цей процес, що відбувається в умовах обмеженого доступу атмосферного повітря, призводить до утворення знижених концентрацій шкідливих сполук, таких як діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO). Утворення твердого вуглецевого залишку є суттєвим аргументом на користь застосування піролізу для переробки зношених шин. Твердий вуглецевий залишок, або технічний вуглець, представлений фрагментами та частинками різного гранулометричного складу, становить значний інтерес як вторинна сировина для численних сфер застосування, зокрема у дорожньому будівництві, виробництві лакофарбових матеріалів, гумовій промисловості та інших секторах хімічної промисловості, хоча часто потребує додаткової переробки.

Непрореагований газ, що не був використаний для підтримки піролізного процесу, підлягає або термічному окисненню, або направляється до котла-утилізатора, або піддається компресії (або зрідженню). Твердий залишок обробляється за допомогою магнітної сепарації (або вібраційного просіювання) для відокремлення металевих компонентів корду.

Рідкі фракції характеризуються різноманітним складом та містять суміш бензинових, дизельних та мазутних фракцій. Можливе їх застосування як палива для котельних установок без попередньої обробки, проте для підвищення якості кінцевих продуктів піролізу рекомендується їх подальша обробка шляхом ректифікації.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ВИКОРИСТАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

2.1. Порівняльна оцінка методів утилізації та переробки відпрацьованих шин

Незалежно від обраних методів переробки старих автомобільних шин та інших гумових відходів, основна мета підприємців та дослідників, які працюють у цій сфері, - отримати корисні матеріали, які можна вигідно продати. У таблиці 2.1 представлено перелік основних продуктів, що отримуються з перероблених зношених шин і мають попит на ринку. Для аналізу різних технологій переробки старих автомобільних шин, розглянемо ключові продукти, які є результатом цих процесів.

Таблиця 2.1

Основні матеріали, отримані в результаті утилізації використаних шин

Матеріал після обробки	Загальна характеристика зовнішніх ознак
Зріджені вуглеводневі суміші	Синтетична нафта, маючи спільні риси з нафтою природного походження, не є її абсолютною копією. Її фракційний склад може варіюватися, залежно від специфіки застосованих технологічних параметрів. Фізична характеристика рідких вуглеводневих сумішей.

продовження табл.2.1

Матеріал після обробки	Загальна характеристика зовнішніх ознак
Технічний вуглець	Чорний порошкоподібний матеріал з частинками, що мають діаметр менше 1 мм.  Технічний вуглець
Піролізний газ	Безбарвний газ має склад, представлений вуглеводнями з довжиною ланцюга, що досягає C4-C5.
Подрібнений гумовий матеріал	Продукт подрібнення вулканізованих гумотехнічних виробів, що характеризується дисперсним складом, де розмір елементарних частинок коливається в діапазоні від 0,02 до 3 мм. Даний розподіл за розмірами визначається технологічними особливостями процесу переробки.  Фізичний вигляд гумової крихти

Регенерат зношених автомобільних покришок являє собою пластичний матеріал, отриманий внаслідок переробки гуми, який зберігає здатність до повторної вулканізації. Процедура отримання регенерату охоплює етапи підготовки вихідної сировини, регенерації та механічної обробки. На етапі

підготовки сировини здійснюється відокремлення гуми від сторонніх домішок, зокрема текстильних компонентів та металевих включень. Наступним кроком є подрібнення гуми до стану крихти з розміром частинок приблизно 0,5 мм. Регенерація подрібненої крихти відбувається під впливом температурного режиму, хімічних реагентів та механічного впливу за участі активаторів регенерації та пластифікаторів.

Метою операції регенерації є деструкція попередньо сформованої вулканізаційної сітки та формування нових міжмолекулярних зв'язків. Включення регенерату до складу гумових композицій полегшує абсорбцію порошкоподібних компонентів, які додаються до гумової суміші, сприяє економії каучуку, наповнювачів, пластифікаторів і, як наслідок, знижує загальну вартість виробництва. Регенерат знаходить застосування у виготовленні гумового взуття, спортивного обладнання, різноманітних гумотехнічних виробів та автомобільних покришок. Залежно від специфіки кінцевого виробу, кількість регенерату, що вводиться в процесі виробництва, підлягає обмеженням.

Процес відновлення гуми передбачає попереднє подрібнення гумових відходів до стану крихти. Далі відбувається відокремлення текстильних та металевих включень. Отриману крихту змішують з пластифікаторами та активаторами девулканізації, що полегшують перехід гуми у більш еластичний стан. У якості пластифікаторів застосовують органічні речовини (наприклад, соснові, газогенераторні та сланцеві смоли, каніфоль, технічні масла тощо) з високою точкою кипіння (понад 300°C), що значно перевищує температуру самого процесу девулканізації. (Таблиця 2.2 містить порівняння переваг та недоліків використання регенерату.)

Пластифікатори сприяють набухання гуми, проникаючи між молекулами каучуку, збільшуючи міжмолекулярні відстані та послаблюючи міжмолекулярні зв'язки. Це знижує ймовірність зворотної структуризації каучуку. Крім того, пластифікатори стають компонентом регенерату, підвищуючи його гнучкість. Їхня концентрація становить від 10 до 30% (іноді до 50%) від маси гуми. Активатори, що сприяють окисній деструкції, представлені, наприклад,

дисульфідом пента-хлортіофенолу, дисульфідом трихлортіофенолу, їхніми цинковими солями та іншими хімічними пластифікаторами. Їхнє використання дозволяє значно (на 40-50%) зменшити тривалість та температуру девулканізації. Додають їх у кількості 0,15-3,0%, в залежності від композиції гуми.

Процес регенерації гуми починається з девулканізації, яка є ключовим етапом у створенні регенерату. У цьому процесі подрібнена гума нагрівається з певними компонентами протягом певного часу при підвищеній температурі (до 190°C). Одночасно відбуваються два основні процеси: руйнування та вулканізація каучуку, що призводить до часткового руйнування його тривимірної структури.

Отриманий продукт, девулканізатор, характеризується значною кількістю ненасичених подвійних зв'язків, що забезпечує можливість його подальшої вулканізації при створенні регенерату. Незалежно від обраного методу регенерації, гумові вироби (переважно автомобільні шини) спочатку піддаються попередній обробці, яка є схожою для різних методів. Ця обробка включає сортування за типами, видами та вмістом каучуку, видалення металевих елементів на спеціальних верстатах, розрізання на частини та подрібнення до стану гумової крихти. Для цього використовуються різні дробильні та розмелювальні механізми, такі як вальці, молоткові дробарки та дискові млини, часто в поєднанні з віброситами. Отримана гумова крихта, з розміром частинок 1-2 мм і вмістом текстильних волокон від 2 до 10%, є проміжним продуктом для виробництва регенерату.

Розглянемо, наприклад, процес регенерації гуми за допомогою водонейтрального методу. Періодичне змішування покращує процес набухання гуми в розм'якшувачах. Додатково, використання смол хвойних дерев як розм'якшувачів сприяє руйнуванню залишків текстильних волокон завдяки водорозчинним кислотам (аналогічний результат досягається при застосуванні хлоридів цинку та кальцію). Ці етапи позитивно впливають на якість регенерату. В цілому, термомеханічний метод є найбільш ефективним способом регенерації гуми, оскільки він значно пришвидшує процес, робить його безперервним та

дозволяє знизити вартість регенерату завдяки широкій механізації та автоматизації виробництва.

При термомеханічному виробництві регенерату (див. малюнок 2) гумову крихту, з якої видалено більшість волокон (залишковий вміст 2%), постійно змішують з розм'якшувачами і пропускають через шнековий девулканізатор (шнековий прес) з подовженою зоною стиснення протягом 4–12 хвилин. Девулканізований матеріал, що виходить з преса, обробляють на рафінувальних вальцях, отримуючи регенерат. Регенерат, вироблений таким чином, відрізняється більшою однорідністю та пластичністю порівняно з регенератом, отриманим водонейтральним методом [23].

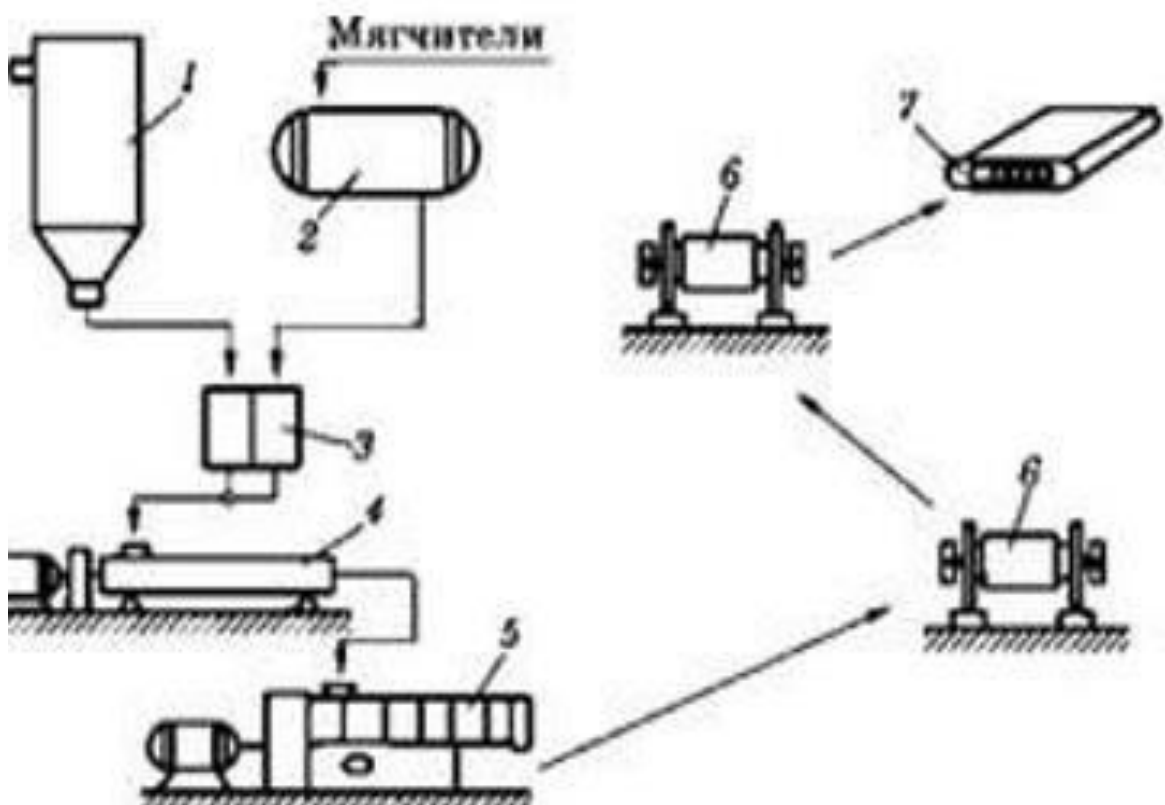


Рис. 2.2. Термомеханічний процес виробництва регенерату:
 1 - резервуар для подрібненої гумової крихти; 2 - контейнер для пластифікаторів; 3 - пристрої дозування; 4 - мішалка; 5 - шнековий девулканізатор; 6 - вальці для очищення; 7 - кінцевий продукт.

Таблиця 2.2

**Плюси та мінуси повторного застосування відпрацьованих шин для
отримання гумової крихти**

Плюси	Мінуси
Не потребує дорогого обладнання.	Обов'язковою є переробка відпрацьованих виробів, виготовлених з відновленої сировини.
Оптимізує витрати за рахунок повторного використання в якості компонента основної сировини.	Потреба в додаткових компонентах для виготовлення продукції.
Оптимальна кількість співробітників (5-6 осіб).	Виробничі відходи, зокрема пил гумової крихти, викиди хімічних реагентів (таких як прискорювачі вулканізації та пластифікатори), а також шумове та вібраційне забруднення.
Узагальнена здатність повторного застосування відновленої гуми у виробництві гумотехнічних виробів.	Збільшення вмісту регенерату в початковій сировині, що використовується для виготовлення гумотехнічних виробів, призводить до зменшення показників міцності готової продукції.
	Для отримання пластичного продукту важливо забезпечити високу міру однорідності відновленого матеріалу.

Отримання гумової крихти детально розглянуто в розділі про методи утилізації зношених шин. Для аналізу можливостей переробки, розглянемо основні сфери застосування гумової крихти в промисловості та повсякденному житті.

Гумова крихта використовується для створення безшовних покриттів на дитячих і спортивних майданчиках, бігових доріжках та інших спортивних об'єктах. Найбільш придатна для цих цілей фракція гумової крихти становить 2-4 мм. Важливою вимогою є чистота крихти, відсутність гумового пилу та текстильних волокон. Наявність забруднень збільшує необхідну кількість сполучного клею, що впливає на кінцеву вартість продукції. Незважаючи на це, саме фракція 2-4 мм є найпоширенішою на ринку.

Оскільки основним ринком збуту є відкриті спортивні майданчики, попит на гумову крихту має сезонний характер, а саме в теплу пору року. Це

пояснюється тим, що гумові покриття з крихти зазвичай виготовляються безпосередньо на об'єкті просто неба, тому активне використання шинної крихти відбувається лише в теплий період.

Подрібнена гума, з розміром частинок від 1,5 до 3 мм, використовується у штучних трав'яних покриттях. Для прикладу, одне звичайне футбольне поле потребує приблизно 80 тонн такої гумової крихти.

В теорії, гумову крихту можливо використовувати для поглинання нафтових забруднень на водних та наземних поверхнях, однак цей спосіб використання не є широко розповсюдженим [29].

На сьогоднішній день, утилізація зношених шин шляхом їх переробки в гумову крихту є найбільш поширеним методом. Нижче розглянемо сильні та слабкі сторони цього способу переробки (Таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Переваги та недоліки переробки старих шин на гумову крихту

№	Переваги	Недоліки
1	Невелика кількість необхідних працівників (4–5 осіб)	Висока конкуренція на ринку з боку інших методів.
2	Розвиток більш широкого спектру товарів	Простій обладнання часто виникає через швидкий знос компонентів, які зазнають механічного впливу.
3	Можливість адаптації виробництва до зростаючих потреб.	Загальний збір дрібних відходів текстильного корду є проблематичним, що призводить до забруднення навколишнього середовища через їх розповсюдження.
4	Оснащення не є надто складним у технологічному плані та не потребує особливої специфіки.	Необхідність утилізації зношених продуктів, вироблених з гумової крихти
5	Отримано значний досвід переробки цим методом як в Україні, так і за її межами.	Сезонність впливає на діяльність підприємства, яке використовує даний підхід

Переробка зношених автомобільних шин методом НВЧ-піролізу дозволяє отримувати цінні продукти: суміш рідких вуглеводнів, піролізний газ і технічний вуглець. Під час цього процесу, який базується на термічній або термохімічній

обробці, приблизно 50% вихідної маси перетворюється на рідкі вуглеводні, близько 41% становить твердий залишок, а решта 9% – піролізний газ.

Згідно з літературними даними, газоподібні продукти НВЧ-піролізу містять водень, вуглекислий газ, чадний газ, сірководень, а також насичені (C1-C4) та ненасичені (C2-C4) вуглеводні, причому водень є основним компонентом (до 60% за об'ємом). Твердий залишок являє собою крихкий пористий порошок з вмістом вуглецю 85-90%. Іноді технічний вуглець, отриманий в процесі піролізу, може мати високу чистоту (92-99%), що робить його перспективним для виробництва вуглець-вуглецевих матеріалів (ВВМ). ВВМ – це новий клас пористих композитів, які поєднують властивості графіту та активованого вугілля.

Ключовою перевагою НВЧ-піролізу є більш рівномірне нагрівання шин порівняно з традиційними методами. Це забезпечує більш швидкий процес піролізу та підвищує вихід рідких і твердих компонентів, які мають комерційну цінність.

Оскільки технологія НВЧ-піролізу ще не отримала широкого промислового застосування, необхідні подальші дослідження для її вдосконалення. Ці дослідження повинні бути спрямовані на підвищення ефективності процесу, зменшення екологічного впливу та розробку більш ефективної технології переробки зношених шин. Зокрема, використання надвисокочастотного нагріву, замість зовнішнього джерела тепла, дозволяє знизити екологічне навантаження, оскільки немає потреби у постійному підігріві реактора.

У таблиці 2.4 представлено порівняльний аналіз переваг і недоліків використання НВЧ-піролізу для переробки зношених шин.

На відміну від НВЧ-піролізу, традиційний піроліз передбачає нагрівання реактора (або тигля) зовнішнім способом. Процес може відбуватися в умовах обмеженого доступу кисню, у вакуумі, в атмосфері водню, з використанням каталізаторів або без них, а також у реакторах періодичної або безперервної дії.

Таблиця 2.4

**Переваги і проблемні аспекти застосування НВЧ-піролізу для утилізації
автомобільних шин**

Переваги	Проблеми
Більш однорідний нагрів призводить до збільшення швидкості та завершеності процесу піролізу.	Відсутність практичного досвіду.
Перероблені матеріали не вимагають подальшої переробки, як у випадках з переробкою шин на відновлену гуму або гумову крихту.	Висока вартість обладнання для виробництва.
Більша кількість рідкого продукту порівняно зі звичайним піролізом.	Дієновий синтез - це хімічна реакція між ненасиченими вуглеводнями, яка відбувається без потреби в каталізаторах або інших додаткових реагентах.
Висока ефективність виробництва	Значна вартість продуктів піролізу.
Найменший можливий вплив на навколишнє середовище під час піролізу.	

Вибір відповідної технології переробки зношених шин визначається бажаними характеристиками кінцевого продукту. Піролізне обладнання, хоч і може мати певні недоліки щодо однорідності нагріву, є економічно вигіднішим варіантом порівняно з технологіями, що використовують надвисокі частоти. Згідно з інформацією, отриманою з джерела [10], піроліз шин призводить до наступних виходів продукції: газоподібні речовини складають 4,8-7,9%, рідкі продукти – 41,7-59,2%, технічний вуглець – 18,9-39,5%, а металокард – 12%. Важливо враховувати, що термічне розкладання гуми під час піролізу супроводжується виділенням шкідливих газів. Для мінімізації негативного впливу на екологію в технологічний процес інтегруються системи очищення газів, які сприяють підвищенню екологічності процесу. Рідкі продукти, отримані в результаті піролізу, можуть бути використані як паливо для печей. Крім того, для отримання чистих фракцій рідку вуглеводневу суміш можна піддати додатковій обробці, зокрема, розділенню на окремі компоненти за допомогою ректифікаційної колони. Переваги та недоліки піролізу як методу переробки відпрацьованих шин представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Позитивні та негативні аспекти піролізної переробки автомобільних шин

№	Позитив	Негатив
1	На відміну від переробки шин у відновлену гуму або гумову крихту, ця переробка не потребує подальшої утилізації.	Потенційна можливість вибухів у виробничих умовах
2	Відкрита конкуренція для конкретного способу обробки	Необхідність видалення викидів газів.
3	Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище до найнижчого можливого рівня.	Висока вартість устаткування (проте значно нижча, ніж вартість обладнання для мікрохвильового піролізу).
4	Процес може підтримуватися без використання преміальної сировини	Повільний процес
5	Дослідження процесу піролізу відходів за кордоном.	Складність печей

Газифікація зношених шин є одним з термічних методів переробки. На відміну від піролізу, процеси газифікації поділяються на два основні типи залежно від способу забезпечення теплом:

а) Автотермічна газифікація: необхідна для процесу енергія генерується шляхом спалювання частини вихідної сировини.

б) Алотермічна газифікація: тепло подається від зовнішніх джерел, аналогічно класичному піролізу.

Сучасним підходом до організації газифікації є використання низькотемпературної плазми. Наприклад, у дослідженні [20] як плазмоутворююче середовище використовувалося повітря з наступним складом (у масових відсотках): азот (N₂) – 74,43; кисень (O₂) - 22,81; аргон (Ar) - 1,27; діоксид вуглецю (CO₂) – 0,04; вода (H₂O) – 1,45. Варто зазначити, що для досягнення високих температур, потрібних для газифікації зношених шин, потрібне значне споживання енергії. Переваги та недоліки переробки зношених шин методом газифікації представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Аналіз переваг і недоліків переробки шин методом газифікації

№	Переваги піролізу шин	Недоліки піролізу шин
1	Висока швидкість технологічного процесу	Складнощі з промисловим масштабуванням
2	Низький екологічний вплив під час переробки	Висока вартість та технічна складність обладнання
3	Великий вихід газоподібних продуктів	Необхідність забезпечення високих температур і значних енерговитрат Висока собівартість отриманих продуктів
4	Відносно низькі енергетичні витрати завдяки високому ККД	
5	Продукти піролізу не потребують додаткової утилізації, на відміну від регенерату чи гумової крихти	Високі вимоги до кваліфікації персоналу для контролю технологічного процесу

На додаток до вже згаданих і розглянутих способів утилізації, існує ще варіант відновлення протекторного шару використаних шин. Проте, цей процес не входить до спектру аналізу наявних методів переробки, оскільки після завершення терміну служби відновленої шини, її утилізація буде потрібна на загальних підставах, як і для інших зношених шин.

У таблиці 8 представлено зіставлення різних способів утилізації відпрацьованих шин. В якості параметрів для оцінки було обрано наступні пункти:

- потреба в додатковій обробці матеріалів, отриманих в процесі переробки, для їх збуту. Цей параметр вказує на необхідність виконання наступних дій з переробленими матеріалами, щоб їх можна було продати на ринку. Наприклад, при переробці шин на гумову крихту, вона є проміжним етапом між початком утилізації та кінцевим виробом, таким як покриття для дитячих майданчиків. У випадку переробки шин на регенерат, отримана сировина використовується при виготовленні нових шин, гумованих покриттів та інших виробів з гуми, але не є готовим продуктом. При газифікації шин отриманий газ є основою для органічного синтезу, але також не є кінцевим виробом. При піролізі шин всі отримані компоненти: газ, рідке паливо та

металевий корд можуть бути реалізовані на ринку, однак, при необхідності, піролізна рідина та технічний вуглець можуть бути піддані подальшій обробці для отримання більш якісних матеріалів. При спалюванні шин вони є джерелом для виробництва енергії;

- необхідність переробки відходів: Продукти, отримані в результаті переробки шин (наприклад, регенована гума або гумова крихта), також мають обмежений термін служби. Після його закінчення, вироби з переробленої гуми потребують утилізації;

- практичний досвід використання: Більшість методів переробки, за винятком НВЧ-піролізу, вже застосовуються в промислових масштабах. Відсутність такого досвіду для НВЧ-піролізу є суттєвим недоліком;

- продуктивність переробки: При оцінці швидкості переробки враховуються сезонні коливання виробництва, ефективність нагріву (для термічних методів) та потенційні поломки обладнання. Оцінка базується на встановлених параметрах та доступній інформації:

Ось більш стандартне формулювання наданої інформації про швидкість переробки шин різними методами:

- а) у процесі переробки шин на регенерат утворюється гумовий пил, який складно повністю усунути. Це призводить до негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема забруднення водних об'єктів та можливе потрапляння в організми тварин, що мешкають поблизу виробництва. Крім того, використання органічних смол та неорганічних солей у виробництві регенерату також може мати значний екологічний вплив;

- б) переробка шин на гумову крихту має подібний вплив на екологію, як і переробка на регенерат. Основним фактором впливу на навколишнє середовище є пил, що утворюється під час виробництва гумової крихти;

- в) під час піролізу або газифікації головним екологічним ризиком є викиди шкідливих газів, таких як CO, H₂S або CO₂. Однак сучасні установки піролізу обладнані ефективними системами очищення газів, що дозволяє мінімізувати екологічний вплив. При правильному виборі обладнання,

незначним екологічним наслідком може бути використання запобіжного факела для регулювання тиску;

г) Спалювання шин, хоча вони й відносяться до IV класу небезпеки, призводить до утворення токсичних та канцерогенних речовин, що належать до I-II класу небезпеки. Серед них, наприклад, оксиди сірки, ароматичні вуглеводні, конденсовані ароматичні вуглеводні, хлорпохідні та інші шкідливі сполуки.

Таблиця 2.6

Порівняння різних підходів до утилізації використаних автомобільних шин

Критерій	Переробка шин у регенерат	Переробка шин у гумову крихту	НВЧ-піроліз	Класичний піроліз	Газифікація
Швидкість переробки	Низька	Низька	Висока	Середня	Висока
Екологічний вплив	Пил, органічні олії, неорганічні солі	Пил	Викиди CO ₂	Викиди CO ₂	Викиди CO ₂ і CO
Необхідність утилізації продуктів після завершення терміну експлуатації	Так	Так	Ні	Ні	Ні
Досвід промислового застосування	Так	Так	Обмежений	Так	Так
Потреба подальшої обробки продуктів для реалізації	Так	Так	За потреби	За потреби	Так

У рамках виконаного дослідження різних технологій утилізації відпрацьованих шин, як пріоритетний та базовий спосіб було обрано піроліз. Це обумовлено тим, що, по-перше, у багатьох розвинених державах (Великобританія, Франція, Німеччина, Сполучені Штати Америки, Японія та інші) цей метод є значущим серед альтернативних підходів. По-друге, продукти,

отримані в результаті піролізу, не вимагають додаткової обробки, на відміну від гумової крихти або регенерату. По-третє, сучасний рівень технологій у сфері переробки відходів є достатньо високим; у деяких країнах переробляється практично 100% використаних шин, і значна частина (до 60%) припадає на піроліз. Це свідчить про значний досвід зарубіжних країн у цій галузі, а також про незначний негативний вплив на екологію порівняно з іншими способами.

2.2. Технологічні основи та характеристика процесу піролізу гумотехнічних виробів

Розглянемо технологічний процес переробки шин методом піролізу на прикладі установки "Піротекс" від групи компаній "Залізно". Цей вибір обґрунтований прозорістю компанії у демонстрації технологічного процесу та конструкції обладнання. Крім того, за даними [28], компанія має значний досвід у постачанні піролізних установок у понад 20 міст, включаючи зарубіжні країни.

Піроліз – це термічний розклад вуглеводневих макромолекул на більш дрібні компоненти для отримання газоподібних (з довжиною ланцюга приблизно C1-C5), рідких (приблизно C5-C13) і твердих (вуглець) продуктів. Спочатку відпрацьовані автомобільні шини, які є сировиною для піролізу, необхідно підсушити, щоб максимально зменшити вміст вологи. Це потрібно для запобігання небажаним реакціям і зменшення кількості хімічно зв'язаної «піролізної води» в кінцевих продуктах, оскільки це впливає на їхню якість.

Основний елемент установки – трисекційна піролізна піч, де відбувається термічна деструкція вуглеводневих ланцюжків відпрацьованих шин. Переробка відбувається наступним чином: тиглі завантажуються сировиною (можна використовувати як цілісні, так і подрібнені шини) і за допомогою підйомних механізмів поміщаються в піч. Для ініціювання процесу піролізу тиглі нагріваються рідкопаливними або газопальниковими пристроями. Нагрів відбувається поступово: коли перший тигель нагрівається до 200 °C, у другому тиглі температура становить приблизно 60 °C, а в третьому – 30 °C. Такий

принцип нагрівання дозволяє ефективно заощаджувати енергію. Приблизно через 40 хвилин починається реакція піролізу, і установка переходить на автономне забезпечення газоподібним паливом.

Гарячий піролізний газ (температура 260-560°C) з реактора, куди завантажена гума, по газопроводу переміщується в систему очищення. Спочатку він потрапляє в скруббер для вологого очищення, де охолоджується та частково конденсується під впливом зрошення охолоджуючою рідиною. Потім газ проходить через трубу Вентурі, з'єднану з протиточним адсорбером з насадкою. Тут залишки нафтових компонентів пірогазу остаточно охолоджуються, конденсуються і перетворюються на синтетичне паливо. Для видалення вологи з пірогазу використовується відцентровий сепаратор. Очищений газ далі використовується для підтримки процесу піролізу в повному обсязі.

Описана система забезпечує майже повне вилучення рідкої фракції з пірогазу без втрат. Під час піролізу, під впливом зовнішнього нагріву, в реакторі з гумою (наприклад, автомобільними шинами) протягом часу утворюється різна кількість пірогазу. Газовий вентилятор відводить газ із зони реакції. Розрідження в реакторі контролюється датчиками тиску, які регулюють обороти газового вентилятора за допомогою частотного перетворювача. Швидке видалення газів із зони реакції дозволяє отримати до 60% рідкої фракції. Занадто тривале перебування парів піролізної рідини в зоні високих температур може призвести до вторинного крекінгу (розщеплення вуглеводнів), коли пари рідини розкладаються на гази, які не конденсуються за звичайних умов.

Піролізна установка обробляє до 1,5 тонн сировини за цикл, тривалість якого становить 5-6 годин. Застосування системи попереднього нагріву гуми дозволяє заощадити до 20% палива на початковому етапі процесу. Для безпеки, система може бути обладнана байпасним факелом для аварійного скидання надлишкового тиску.

Після завершення піролізу, твердий залишок, що складається з вуглецю та металевих кордів, має температуру 400–500°C. Охолодження природним

шляхом триває до 14 годин. Альтернативно, використання перегрітої пари скорочує час охолодження до 4–5 годин.

Після охолодження до 120–140 °С, матеріал вивантажується та розділяється. Великі металеві фрагменти відділяються за допомогою вібросита. Далі, вуглецевий залишок остаточно очищається від металевих домішок стрічковими конвеєрами, оснащеними магнітними сепараторами. Для зменшення ручної праці рекомендується використання гідравлічного перекидача. Згідно з наведеними даними, для виходу піролізної установки на робочий режим потрібно від 15 до 25% виробленого палива. Отже, при завантаженні 500 кг гуми в один тигель, можна отримати до 300 літрів піролізного палива, з яких 75 літрів використовуються для попереднього нагріву сировини. Після переходу з рідкого палива на піролізний газ, реакція триває ще 4,5 години. Відпрацьований тигель з залишком замінюється на попередньо нагрітий до 80–120°C тигель із завантаженою гумою. Завдяки попередньому підігріву тигля газами від пальників, витрата палива на запуск реакції зменшується на 20% порівняно з холодним запуском.

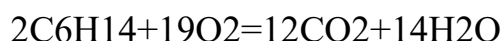
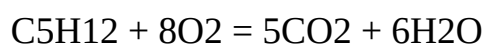
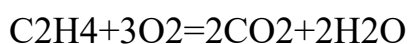
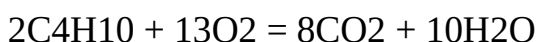
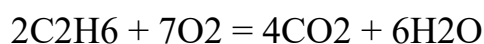
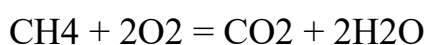
2.3. Аналіз екологічних наслідків застосування піролізної технології переробки зношених шин

Аналізуючи склад шин та процес піролізу, можна стверджувати, що основним фактором впливу на екологію під час піролізу є викиди вуглекислого газу, що утворюються при нагріванні тиглів.

Згідно з дослідженнями, переробка 2 тонн автомобільних шин дає до 0,3 тонни газоподібних продуктів. Відповідно, переробка 1 тонни шин продукує 0,15 тонни газу. Цей газ використовується для нагріву тиглів та підтримки горіння байпасного факелу. Враховуючи повне спалювання газу, що утворюється під час піролізу, можна розрахувати рівень забруднення атмосфери від спалювання 150 кілограмів газу.

Згідно з даними джерела [10], компонентний склад піролізного газу характеризується наступним вмістом: метан (приблизно 32,2%), етан (близько 2,5%), бутан (біля 1,4%), етилен (орієнтовно 11,2%), суміш пентану та гептану (близько 10%), монооксид вуглецю (приблизно 12,2%), діоксид вуглецю (близько 6,8%), а також водень і нітровмісні сполуки (близько 25%).

На основі зазначених даних було проведено обчислення об'єму діоксиду вуглецю (CO₂) та монооксиду вуглецю (CO), що утворилися. Припускаючи, що газ та рідке паливо піддаються повному окисненню (до CO₂ та H₂O), реакції горіння описуються наступними стехіометричними рівняннями:



Для встановлення кількості діоксиду вуглецю, що виділився, визначається кількість речовини окисленого вуглеводню за формулою (1):

$$n = m/M, (1)$$

де m – маса вуглеводню;

M – молярна маса вуглеводню.

З урахуванням стехіометричних коефіцієнтів розраховується маса діоксиду вуглецю, що виділяється. Наприклад, маса CO₂, що утворюється при згорянні метану, становить: $(150 * 0,322 / 16) * 44 = 132$ кг.

Аналогічні обчислення для інших складових піролізного газу дозволили оцінити сумарне виділення CO₂ від згорання на рівні приблизно 250 кг. З огляду на припущення про повне окиснення монооксиду вуглецю (CO) до діоксиду вуглецю, його кількість додається до значення CO₂, що первинно містився в піролізному газі. За результатами аналізу, в процесі підігріву тиглів для

здійснення реакції піролізу в навколишнє середовище викидається 278,5 кг діоксиду вуглецю.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Виробничі ризики та потенційні небезпеки процесів переробки гумотехнічної сировини

Заводи з переробки гумотехнічних виробів використовують багато шкідливих речовин та технічного обладнання [18], що може бути небезпечним для здоров'я людей та стану довкілля [19]. Найчастіше працівники страждають від професійних захворювань, пов'язаних з опорно-руховим апаратом та нервовою системою. Також, через неправильне харчування, існує ризик виникнення проблем з травленням. Це призводить до погіршення здоров'я працездатного населення, зменшення часу продуктивної роботи, збільшення випадків захворювань, інвалідності та навіть передчасної смерті, викликаних умовами праці.

Дослідники часто відзначають, що сучасна промисловість характеризується впливом слабких, але шкідливих факторів на організм. Це може спричинити не лише хронічні професійні захворювання, а й різні неспецифічні симптоми. Багато досліджень показують, що умови праці на нафтових підприємствах залишаються несприятливими, що негативно впливає на розвиток "прихованих" хвороб, які можна виявити лише за допомогою ретельного медичного обстеження [30].

У процесі виробництва працівники можуть піддаватися впливу несприятливих та шкідливих виробничих факторів. Це може бути спричинено недоліками та збоями в системі безпеки праці, що охоплюють організаційні, технологічні, юридичні, соціально-економічні, запобіжні та захисні аспекти [51].

Стандарт «ГОСТ 12.0.003-74» класифікує несприятливі та шкідливі фактори на основі їх характеристик, поділяючи їх на хімічні, фізичні, психофізіологічні та біологічні групи. Відповідно до цього стандарту, ці фактори

можуть проявлятися двояко: як об'єкти, що є джерелом небезпеки, або як властивості конкретних об'єктів [43].

Розглянемо роботу з обладнанням, що перебуває під тиском. До систем, які працюють під тиском, належать:

- водогрійні та парові котли, теплообмінні апарати, пристрої тощо;
- різні ємності, що працюють під тиском;
- трубопроводи для транспортування пари та гарячої води.

Експлуатація систем під тиском пов'язана з ризиком розгерметизації та вибуху. Витік може призвести до займання та інтоксикації. Вибух може викликати виробничий травматизм (механічні ушкодження, отруєння, термічні опіки), руйнування будівель та споруд, а також пожежу.

Система тиску може виходити з ладу з різних причин. Серед них – порушення технічних регламентів, що проявляється у експлуатації при тиску або температурі вище допустимого рівня; несправність контрольно-вимірювальних приладів; витончення стінок обладнання через корозію; неточне проектування установки, яке включає помилки при розрахунку, виготовленні або монтажі; а також невідповідність умовам експлуатації, коли обладнання використовується у середовищі, на яке воно не розраховане.

Посудина під тиском - це замкнута ємність, спроектована для проведення хімічних і теплових процесів, а також для перевезення та зберігання газів під тиском, у рідкому стані, зріджених газів або розчинів газів. Основні вимоги до безпеки при конструюванні, спорудженні, відновленні, модифікації, виробництві, встановленні, введенні в дію та використанні посудин під тиском визначаються нормативним актом «ДНАОП 0.00-1.07-94» та «Правилами облаштування й безпечного використання посудин, що працюють під тиском» (з поправками від 11 липня 1997 року) [50].

Вимоги цих правил поширюються на барокамери, балони зі стисненими, скрапленими або розчиненими газами при тиску понад 0,07 МПа, цистерни та інші контейнери для транспортування або зберігання газів, рідин чи сипучих матеріалів із тиском спорожнення більше 0,07 МПа, а також на посудини, в яких

створюється тиск понад 0,07 МПа для спорожнення. Крім того, правила стосуються посудин для роботи під тиском води при температурі понад 115°C або інших рідин з температурою, що перевищує їхню температуру кипіння, а також парових або газових посудин при тиску більше 0,07 МПа.

Водночас, дія цих правил не поширюється на певні категорії обладнання. Це включає посудини, що використовуються на морських та повітряних суднах, військові об'єкти спеціального призначення, системи парового та водяного обігріву, трубчасті печі, обладнання атомних електростанцій, а також вироби з труб з внутрішнім діаметром до 150 мм або об'ємом до 0,025 м³, призначені для наукових досліджень, за умови, що відношення допустимого тиску до об'єму не перевищує 0,02 МПа/м³ [50].

Проектування посудин, на які поширюються ці правила, повинно виконуватися організаціями, що мають ліцензію Держгірпромнагляду. Конструкція посудин повинна забезпечувати надійність, працездатність, безпеку та довговічність протягом очікуваного терміну служби відповідно до паспортних даних, а також передбачати можливість технічних оглядів, продування, повного спорожнення, очищення, миття, ремонту та контролю стану металу й з'єднань. Важливою умовою безпечної експлуатації є дотримання вимог до будівельних матеріалів, технології виготовлення та контролю якості. Лише за наявності позитивного висновку експертно-технічного центру організація, що отримала ліцензію Держгірпромнагляду, може здійснювати виготовлення, переобладнання, ремонт, налагодження та монтаж посудин, дотримуючись затвердженої технології робіт [50].

3.2. Розрахунок і аналіз мікроклімату виробничого середовища під час експлуатації обладнання для переробки гумотехнічної сировини

Спочатку необхідно визначити об'єм повітря, який потрібно подати в приміщення. Це робиться для того, щоб утримувати концентрацію шкідливих речовин у повітрі на рівні, що не перевищує встановлену гранично допустиму

концентрацію (ГДК). Далі розраховується кратність обміну повітря. У розрахунках враховується, що концентрація шкідливих речовин у свіжому повітрі, яке надходить у приміщення, становить не більше 0,1 ГДК. Необхідні для розрахунку вихідні дані представлені в таблиці 5.1 і були отримані [48] з відповідного документа.

Таблиця 3.1

Параметри для розрахунку

Небезпечні речовини	ГДК,мг/м3	Обсяг шкідливих викидів, г/год
Загальний об'єм приміщення	-	250
Монооксид вуглецю	0,2	0,170
Бутан	200/-	0,243
Метан	-/50	0,064
Оксид азоту	0,04	0,257
Гексан	60/-	0,051

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1$$

оксид азоту=0,257/0,4 = 0,62;

Метан=0,064/50=0,0022;

Гексан=0,051/60=0,0009;

Окис вуглецю=0,170/0,2=0,85;

Бутан=0,243/200=0,0012;

$$L_z = \frac{M}{C_{p.z} - C_n}$$

L(Оксид азоту)=257/(0,04-0,004)= 7 138,8;

L(Метан)=640/(50-0,5)=12,9;

L(Гексан)=510/(60-0,6)=8,9;

$$L(\text{Окис вуглецю})=170/(0,2-0,02)=944,4;$$

$$L(\text{Бутан})=243/(200-20)=1,35.$$

Визначаємо об'єм повітря, який потрібен для зменшення концентрації забруднюючих речовин у приміщенні до гранично допустимих концентрацій (ГДК), а також розраховуємо необхідну кратність повітрообміну. У випадку, коли в повітря робочої зони одночасно виділяється декілька шкідливих речовин, розрахунок повітрообміну базується на речовині, для якої вимагається найбільший об'єм повітря для розведення. В даному випадку, це оксид азоту.

На основі отриманих даних розраховується кратність повітрообміну, що вимірюється в обернених годинах (год-1):

$$K = L / V_v; (3.1)$$

де L – об'єм повітря, м³/год;

V_v – внутрішній корисний об'єм приміщення, $V_v \approx 0,8V$, де V – об'єм приміщення, м³;

$$K=7\,138,8/(0,8 \cdot 250)=35,7.$$

Наступним кроком є розрахунок необхідного об'єму повітря для підтримки концентрації оксиду азоту на рівні, що не перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) у 0,04 мг/м³. Після цього визначається кратність повітрообміну.

Обчислення

$$L=257/(0,04-0,04 \cdot 0,1)=7138,8 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$K=257/(0,8 \cdot 250)=1,28 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Виходячи з наданої інформації, обчислимо сумарну площу витяжних отворів, необхідних для здійснення аерації. В розрахунках використаємо значення прискорення вільного падіння, що дорівнює 10 м/с², коефіцієнт, що враховує зниження тиску повітря в отворах (ψ), рівний 0,5, та відстань по вертикалі між центрами верхніх і нижніх отворів, що становить 2,5 м. Решта вихідних даних для обчислень міститься у таблиці 2.2.

Параметри приміщення (довжина/ширина/висота): 10/5/5 м

Температура повітря всередині (в робочій зоні) та зовні: 20/4 °С

Кількість теплової енергії, що виділяється в приміщенні за годину: 500000
кДж

Зміна температури по висоті приміщення (Δt): 3 °C/м

Розрахунок загальної площі витяжних отворів проводиться за наступною формулою:

$$S_{\text{заг}} = \frac{L}{360 \cdot v}; \quad (3.2)$$

де L – об'єм повітря, м³/год;

v – швидкість повітряного потоку у отворах/щілинах (м/с):

$$v = 142 \cdot \psi \cdot \sqrt{\Delta P_T / P_{\text{зовн.}}}, \quad (3.3)$$

де ψ – коефіцієнт, який враховує швидкість повітря в отворах (зазвичай приймається як 0,5 м/с); ρ – густина повітря, кг/м³; ΔP – різниця тиску повітря, що виникає через різницю температур зовнішнього і внутрішнього повітря.

Різниця тиску повітря (ΔP) обчислюється за формулою:

$$\Delta P_T = g \cdot h \cdot (\rho_{\text{зовн.}} - \rho_{\text{внутр.}}), \quad (3.4)$$

де h – відстань між центрами верхніх і нижніх отворів для вентиляції;

g – прискорення вільного падіння (10 м/с²);

$$\rho_{\text{зовн.}} = \frac{353}{(273 + t_{\text{зовн.}})}$$

$$\rho_{\text{внутр.}} = \frac{353}{(273 + t_{\text{сер.}})}$$

$$t_{\text{сер.}} = (20 + 4) / 2 = 12^\circ \text{C};$$

$$\rho_{\text{зовн.}} = 353 / (273 + 4) = 1,29 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{внутр.}} = 353 / (273 + 12) = 1,24 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Delta P = 9,8 \cdot 2,5 \cdot (1,29 - 1,24) = 1,23 \text{ кг/м}^3$$

$$v = 1,42 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{1,23} / 1,29 = 0,69 \text{ м/с}$$

Потрібний повітрообмін розраховуємо за формулою:

$$L = L + \frac{Q}{\rho_{\text{з.}} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{\text{вуд.}} - t_{\text{зовн.}})}, \quad (3.7)$$

де Q – теплонадходження в приміщення за годину, кДж;

c – питома теплоємність повітря, кДж/кг (у діапазоні температур від 0°C до 100°C становить $1,01 \cdot 10^3$ Дж/кг);

ρ – щільність повітря, кг/м³ к (дорівнює щільності внутрішнього повітря $\rho_{\text{внт}}$);

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря, що відводиться:

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t \cdot (H - 2),$$

$$t_{\text{вид}} = 20 + 16 \cdot (2,5 - 2) = 18^{\circ}\text{C}$$

$$L = 500000 / (1,01 \cdot 1000 \cdot 1,24 \cdot (18 - 4)) = 28,52 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$S_{\text{заг}} = 28,52 / (3600 \cdot 0,69) = 0,01 \text{ м}^2.$$

Забезпечення безпеки під час нештатних ситуацій на підприємствах нафтогазової галузі є критично важливим. Нафтопереробна промисловість, маючи велике значення для сучасного суспільства, характеризується підвищеним ризиком виникнення пожеж. Керівництво та персонал нафтових підприємств зобов'язані неухильно дотримуватися численних норм і правил технологічних процесів на нафтопереробних заводах. Важливим є виконання вимог основних документів підприємства, спрямованих на попередження надзвичайних ситуацій. Серед них слід зазначити:

- ДБН В.1.1-7-2002 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва";
- НАПБ В.07.003-88/112 — ВУПП-88 — Рекомендації з протипожежного проектування будівель, підприємств і споруд нафтохімічної та нафтопереробної промисловості;
- ДБ ДБН 2.09.03-85 — Будівлі промислових підприємств;
- ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.

Для попередження нештатних ситуацій на нафтопереробних заводах розробляється комплекс організаційно-технічних заходів, що охоплюють:

1. Забезпечення протипожежної охорони об'єкта, включно з організацією відповідних відомчих підрозділів.
2. Обов'язкову сертифікацію речовин, технологій, матеріалів, продукції, будівель та інфраструктури об'єктів щодо їхньої пожежної безпеки.

3. Проведення обов'язкового навчання персоналу з питань пожежної безпеки, мінімальних вимог протипожежного захисту та необхідних дій у випадку пожежі.

4. Розробку та впровадження правил пожежної безпеки, включаючи нормативно-правові акти, інструкції з безпечного поводження з горючими речовинами та матеріалами, а також контроль за ефективністю систем протипожежного захисту та діями персоналу під час пожежі.

5. Використання знаків безпеки у відповідності до вимог чинного стандарту ДСТУ ISO 6309:2007.

6. Визначення чіткого порядку дій керівництва, працівників та службовців у разі виникнення пожежі, включно з розробкою планів евакуації. Дотримання зазначених та інших відповідних документів, норм і стандартів сприяє значному зменшенню ризику виникнення надзвичайних ситуацій у виробничому процесі будь-якого підприємства.

Основними причинами виникнення пожеж на підприємствах є технічні несправності електрообладнання та мереж, порушення встановлених норм протипожежного захисту, недотримання правил безпеки при поводженні з відкритим вогнем, куріння у заборонених місцях або використання несправних пристроїв. До головних факторів ризику пожеж належать теплове випромінювання, підвищена температура, токсичний вплив продуктів горіння (зокрема чадного газу) та зниження видимості через сильне задимлення. У разі вибуху небезпеку становлять повітряна ударна хвиля, уламки пошкоджених конструкцій, технічного обладнання чи вибухових пристроїв.

Якщо існує загроза вибуху, працівникам рекомендується негайно лягти на живіт, прикрити голову руками, уникати перебування біля вікон, скляних дверей, проходів і сходів. Після вибуху необхідно вжити заходів для запобігання подальшому поширенню пожежі, не допустити паніки та надати першу допомогу постраждалим.

У випадку виявлення осередку займання або ознак пожежі (поява диму, запах гару, підвищення температури), працівник повинен негайно повідомити

про подію до пожежної служби за номером 101, вказавши назву підприємства, місце загоряння та свої контактні дані. Паралельно необхідно організувати евакуацію людей, за можливості – розпочати гасіння пожежі наявними засобами та забезпечити охорону майна.

Після прибуття на місце події керівники, відповідальні за пожежну безпеку, або уповноважені особи повинні повторно повідомити пожежну службу, поінформувати керівництво підприємства та відповідні служби. Якщо існує загроза для життя людей, слід негайно організувати рятувальні дії, перевірити роботу автоматичних систем пожежогасіння, подати сигнал тривоги, активувати системи протидимного захисту. У разі необхідності потрібно вимкнути електропостачання (крім систем, що забезпечують гасіння пожежі), зупинити вентиляцію в небезпечних і прилеглих приміщеннях, а також вжити заходів для запобігання подальшому поширенню вогню.

Всі роботи, не пов'язані з ліквідацією пожежі, мають бути припинені. Евакуацію людей слід проводити згідно з розробленим планом та інструкціями, виводячи персонал, не задіяний у гасінні, за межі небезпечної зони. До прибуття пожежно-рятувальних підрозділів керівник об'єкта забезпечує загальне керівництво діями з ліквідації займання, контролює дотримання інструкцій, координує евакуацію майна та допомагає у спрямуванні пожежних до місця загоряння найкоротшим шляхом.

Крім того, відповідальні особи повинні повідомити пожежні підрозділи про наявність на території підприємства небезпечних, вибухових або токсичних речовин, що можуть створювати додаткову загрозу під час гасіння пожежі чи проведення аварійно-рятувальних робіт.

Під час проведення евакуації необхідно діяти швидко, зберігаючи спокій і чітко дотримуючись правил безпеки. Якщо шлях евакуації проходить через зони із задимленням або підвищеною температурою, слід рухатися швидко, затримавши дихання та прикривши ніс і рот вологою тканиною. У задимленому приміщенні краще пересуватися, пригинаючись або повзаючи, оскільки біля підлоги повітря залишається відносно чистим і придатним для дихання довше.

У випадку загоряння одягу на людині потрібно негайно допомогти їй загасити полум'я — накрити ковдрою, щільно притиснувши її до тіла, щоб перекрити доступ кисню. Не можна дозволяти постраждалому бігти, адже це лише посилює горіння. Якщо одяг можна швидко зняти — це потрібно зробити, дотримуючись обережності, щоб уникнути опіків.

Після прибуття пожежно-рятувального підрозділу керівник підприємства або особа, що виконує його обов'язки, повинна надати начальнику пожежної охорони необхідну інформацію про технічні характеристики об'єкта, а також про розташування прилеглих будівель і споруд. Одночасно організовується залучення працівників та наявних ресурсів до участі у гасінні пожежі та запобіганні її поширенню. Після ліквідації вогнища загоряння керівник приймає рішення щодо подальшого функціонування об'єкта, оцінює стан приміщень і повідомляє працівників або студентів про можливість повернення.

Для ліквідації загорянь застосовуються різні типи вогнегасників, залежно від виду пожежі. Пінні вогнегасники використовуються для гасіння загорянь деревини, паперу, тканин, фарб, палива та інших речовин, проте їх заборонено застосовувати до електрообладнання, що перебуває під напругою. Активною речовиною таких вогнегасників є спеціальний розчин піноутворювача, який ізолює полум'я від повітря.

Вуглекислотні вогнегасники призначені для ліквідації загорянь більшості горючих матеріалів, у тому числі електрообладнання з напругою до 1000 В. Вогнегасним засобом у них виступає вуглекислий газ, який витісняє кисень і охолоджує полум'я. Для правильного використання вогнегасника необхідно направити розтруб у бік джерела вогню, зняти пломбу, висмикнути запобіжний пристрій і натиснути на важіль. Під час роботи вогнегасник слід тримати у вертикальному положенні, не перевертати та не торкатися оголеними руками металевих частин, щоб уникнути обмороження. При гасінні електрообладнання важливо дотримуватись безпечної дистанції — не ближче ніж один метр від джерела займання.

Порошкові вогнегасники підходять для гасіння палаючих нафтопродуктів

та транспортних засобів. Для використання порошкового вогнегасника потрібно зняти пломбу, вийняти запобіжник, натиснути на важіль та направити струмінь порошку на осередок вогню.

Внутрішні пожежні крани (ПК) є важливим елементом системи протипожежного захисту будівлі. Вони призначені для подачі води з метою гасіння загорянь твердих матеріалів та легкозаймистих рідин у початковій стадії пожежі. Для приведення внутрішнього пожежного крана в дію необхідно залучити двох працівників: один із них розмотує пожежний рукав, готує його до подачі води та спрямовує струмінь у зону займання, тоді як інший перевіряє герметичність з'єднань і відкриває вентиль крана для подачі води.

Для локалізації невеликих загорянь можуть застосовуватись допоміжні засоби гасіння. Азбестова тканина або повсть (кошма) використовується для ізоляції осередку вогню — вона перекриває доступ кисню, внаслідок чого полум'я згасає. Такий метод ефективний для гасіння речовин, які не здатні горіти без участі повітря. Іншим універсальним засобом є пісок, який застосовується для механічного збивання полум'я або ізоляції палаючих матеріалів. Його насипають за допомогою лопати чи совка безпосередньо на осередок вогню, що дозволяє швидко зменшити інтенсивність горіння.

У разі виникнення хімічної аварії необхідно діяти швидко та чітко, дотримуючись правил безпеки. Подібні аварії становлять значну небезпеку для здоров'я людей і тварин, оскільки можуть спричинити серйозні порушення функцій організму, хімічні опіки, інтоксикації чи навіть генетичні наслідки. Потрапляння небезпечних хімічних речовин (НХР) в організм можливе через органи дихання, шкіру, слизові оболонки, відкриті рани або разом із їжею.

Отримавши повідомлення про хімічну небезпеку, слід негайно увімкнути радіо або інші засоби оповіщення для отримання офіційної інформації та подальших інструкцій. У приміщенні необхідно щільно зачинити вікна, двері, вентиляційні отвори та вимкнути електроприлади, щоб уникнути іскроутворення. Для захисту органів дихання варто використовувати ватно-марлеву пов'язку або будь-який інший тканинний фільтр, попередньо змочений

у воді. Якщо в повітрі присутній хлор, слід застосувати слабкий розчин питної соди, а при наявності аміаку — розчин лимонної чи оцтової кислоти, що нейтралізує дію шкідливих парів.

Такі дії допомагають мінімізувати ризик ураження токсичними речовинами та забезпечити базовий рівень безпеки до прибуття аварійно-рятувальних служб.

Дії у разі перебування у зараженій зоні. Якщо неможливо залишити заражену територію:

- щільно закрийте двері, вікна, вентиляційні отвори та димоходи; заклейте щілини скотчем або папером;
- не ховайтеся на першому поверсі, у підвалах чи напівпідвалах — там концентрація шкідливих речовин найвища;
- на залізницях і автошляхах поблизу місця аварії з небезпечними хімічними речовинами (АХНР) небезпечна зона становить радіус 200 метрів — не заходьте в неї;
- у разі підозри на потрапляння АХНР до організму припиніть фізичну активність, пийте багато рідини (вода, чай, молоко) та негайно зверніться до медиків;
- не використовуйте водопровідну воду до офіційного підтвердження її безпеки;
- якщо на шкірі чи одязі з'явилися краплі невідомих речовин, видаліть їх серветкою, ганчіркою або папером.

Після виходу із зараженої зони:

- зніміть верхній одяг і залиште його на вулиці;
- прийміть душ (або проведіть дезактивацію), промийте очі та прополощіть рот;
- виперіть або утилізуйте забруднений одяг;
- ретельно приберіть житло після офіційного дозволу на повернення.

Дії у випадку руйнування будівель і споруд. Руйнування будівель може бути спричинене:

- помилками проєктування або будівництва;
- порушенням правил монтажу чи експлуатації;
- вибухами, пожежами, терористичними актами, аваріями газових мереж тощо.

Такі події супроводжуються пожежами, завалами, травмами, загибеллю людей і руйнуванням інфраструктури.

Якщо ви почули вибух або відчули, що будівля втрачає стійкість:

- негайно покиньте приміщення, використовуючи сходи (не ліфт!);
- не створюйте паніку, не тисніть на двері під час евакуації;
- утримайте людей від стрибків із вікон чи балконів;
- у разі пожежі спробуйте її загасити, якщо це безпечно.

Якщо неможливо залишити будівлю:

- знайдіть безпечне місце: кути внутрішніх несучих стін, простір під балконом або в отворах між стінами;
- відкрийте двері, щоб запобігти їх блокуванню;
- не наближайтеся до вікон і електроприладів;
- не користуйтеся відкритим вогнем — можливий витік газу.

Після виходу на вулицю:

- не стійте біля стін будівлі, щоб уникнути падіння уламків;
- телефонуйте екстреним службам лише за потреби (пожежна, поліція, швидка).

Дії у разі потрапляння під завал:

- зберігайте спокій, не панікуйте;
- дихайте повільно й економно витрачайте сили;
- якщо можливо, надайте собі першу допомогу;
- спробуйте зорієнтуватися у просторі, визначити наявність інших людей;
- подайте звуковий сигнал — стукайте металевими предметами об труби, батареї чи стіни;

- використовуйте будь-які наявні засоби для подачі світлового або звукового сигналу (ліхтарик, свисток тощо);
- вірте у швидку допомогу рятувальників

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ ВИРОБНИЦТВА З УТИЛІЗАЦІЇ Й ПЕРЕРОБКИ АВТОШИН

4.1 Структура, мета та основні етапи реалізації проєкту створення виробництва з переробки зношених шин

Основна мета цього проєкту полягає у розробці сучасного технологічного комплексу для утилізації відпрацьованих гумотехнічних виробів (ГТВ), насамперед автомобільних шин. Реалізація проєкту спрямована на ефективне вирішення екологічної проблеми накопичення відходів шинної промисловості, зменшення негативного впливу на довкілля, а також раціональне використання вторинних ресурсів.

Передбачається створення технологічної системи, яка дозволить отримувати з відпрацьованих шин корисні продукти (такі як піролізна олія, технічний вуглець, металевий корд, газоподібне паливо), що зможуть бути повторно використані у промисловому виробництві.

У перспективі впровадження комплексу сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки регіону, зменшенню обсягів полігонного захоронення відходів та створенню умов для розвитку циркулярної економіки в Україні.

Прогнозовані результати реалізації проєкту:

- збільшення обсягів переробки ГТВ в Україні;
- щорічне зменшення кількості автомобільних шин, що потрапляють на полігони, на 650 тонн;
- отримання фінансових вигод.

Кінцевим результатом даного проєкту є продукти, отримані шляхом переробки відпрацьованих автомобільних шин. За даними дослідження, для утилізації цих шин планується застосувати метод піролізу, детально розібраний у другій частині роботи. Цей метод переробки розглядається як один з найбільш багатообіцяючих, оскільки отримані в результаті піролізу компоненти

характеризуються енергетичною та комерційною привабливістю. В процесі піролізу буде вироблено технічний вуглець (сажа), металевий корд, піролізна олива (рідке паливо) та піролізний газ. Властивості кінцевих продуктів та їх потенційне використання представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристики вироблених товарів

Продукт	Характеристика	Застосування
Піролізна рідина	Опис параметрів піролізної рідини: - Початкова температура кипіння становить приблизно 75 °С. - Вміст сірки за масою не перевищує 1%. - Теплотворна здатність складає близько 39 МДж/кг.	Сира нафта переробляється на НПЗ з метою отримання бензину, дизельного палива та мазуту, який згодом реалізується як пічне паливо
Сталь	Технічні вимоги до металобрухту високої якості	Переробка напряду
Технічний вуглець	Технічний вуглець може піддаватися додатковій обробці, наприклад, флотації, для зменшення вмісту сірки або продаватися як кінцевий продукт.	1. Шинна та автомобільна промисловість 2. Виробництво лакофарбових матеріалів 3. Відновлення шин шляхом заміни протекторного шару 4. Попередня обробка промислових стічних вод з високим рівнем забруднення 5. Виготовлення добавок та наповнювачів для асфальтобетонних сумішей
Газ	Орієнтовний склад піролізного газу: - Насичені вуглеводні: до 40% - Ненасичені вуглеводні (олефіни): до 20-25% - Водень: 15-20% - Азот: до 20% - Оксиди вуглецю: не більше 12%	Основне призначення – нагрівання піролізного устаткування, а також застосування у процесах зневоднення та стиснення у циліндри для реалізації.

Відходи переробки мають значний потенціал для подальшого застосування. Удосконалена переробка технічного вуглецю дозволить перетворювати його на активоване вугілля, що є найбільш економічно вигідним варіантом з огляду на його високу ринкову вартість. Крім того, технічний вуглець із високим вмістом чистого вуглецю може бути використаний як вуглець-вуглецевий матеріал (BBM). BBM – це сучасний тип пористих композитних матеріалів, який поєднує в собі переваги графіту та активованого

вугілля. Його можна розглядати як аналог «Карбостилу» - вуглецевого гранульованого матеріалу, який застосовується у виробництві високоякісної сталі.

При переробці піролізної рідини за допомогою ректифікаційної колони можливо розділення отриманого рідкого продукту на різні фракції. Цю технологію можна впроваджувати на малих нафтопереробних заводах.

Зацікавлених у здійсненні цього проєкту можна поділити на три основні групи – державні органи, підприємства та громада. Кожна з цих груп має власні цілі під час реалізації проєкту. Детальний опис взаємних інтересів усіх зацікавлених сторін представлено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Загальні учасники проєкту

Зацікавлена сторона	Рівень впливу на проєкт	Основні інтереси, цілі та завдання	Очікувані результати від реалізації проєкту
Підприємства хімічної промисловості	Низький	Використання продуктів переробки шин (вуглець, олія, газ) як вторинної сировини	Зниження собівартості виробництва за рахунок використання дешевшої сировини
Комітет з питань природних ресурсів, власності та земельних відносин	Високий	Контроль за раціональним використанням і відтворенням природних ресурсів	Забезпечення сталого використання земельних і природних ресурсів при впровадженні виробництва
Шиномонтажні майстерні та автосервіси	Середній	Можливість централізованої передачі відпрацьованих шин	Спрощення процесу утилізації шин і зниження витрат на їх самостійне зберігання чи вивіз
Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України	Високий	Реалізація державної політики у сфері поводження з відходами виробництва та споживання	Зменшення кількості шинних відходів, що потрапляють на полігони, шляхом їх переробки та повторного використання

Продовж. табл. 4.2

Регіональні оператори з поводження з відходами	Середній	Оптимізація системи збору, зберігання та утилізації шин	Зменшення навантаження на полігони, підвищення ефективності регіональної системи утилізації
Підприємства шинної промисловості	Середній	Забезпечення доступом до вторинної сировини для виробництва нових гумових виробів	Отримання якісної переробленої сировини для виготовлення нової продукції
Ініціатори проєкту (інвестори, розробники)	Високий	Зменшення негативного екологічного впливу, впровадження інноваційних технологій утилізації	Успішна реалізація проєкту, отримання прибутку від діяльності комплексу та підвищення екологічного іміджу
Спонсори та фінансові партнери	Високий	Інвестування з метою отримання фінансового прибутку	Повернення інвестицій і отримання стабільного прибутку від експлуатації комплексу
Комітет з питань екології та охорони навколишнього середовища	Високий	Забезпечення екологічної безпеки, зменшення рівня забруднення довкілля, державне регулювання процесів утилізації відходів	Підвищення ефективності використання природних ресурсів, розвиток екологічно безпечних технологій та «зеленої» енергетики

Як продемонстровано в таблиці 4.2, кожна із зацікавлених сторін має обґрунтування та вимоги щодо впровадження запропонованого проєкту з переробки твердих побутових відходів, включаючи використані автомобільні шини.

Попри значну зацікавленість у даному проєкті, існують певні обмеження, які необхідно врахувати під час його реалізації. На кожному етапі проєкту існує ймовірність виникнення різноманітних ризиків, що зумовлює потребу у впровадженні відповідних запобіжних заходів. Перелік ризиків проєкту представлений у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

**Потенційні загрози та невизначеності, пов'язані з реалізацією проекту
утилізації використаних автомобільних покришок шляхом термічного
розкладання**

Стадія проекту	Потенційна шкода	Результати	Превентивні заходи
Початкова	Дефіцит первинного капіталовкладення.	Відхилення фактичного прогресу проекту від запланованого графіку	Акумуляція фінансових ресурсів
	Спроби залучення інвестицій не мали успіху	Зсув термінів або зупинка реалізації проекту	Створення добре продуманого бізнес-плану для залучення фінансування від інвесторів
	Зміна пріоритетів і цілей розвитку підприємства, а також можлива втрата підтримки з боку керівництва.	Закінчення проекту	Узгодження цілей з керівництвом та пошук компромісів для вирішення розбіжностей.
	Невірно підібрана команда	Ослаблення кадрової безпеки, затримка виконання проекту.	Забезпечення участі в команді досвідчених професіоналів, що поділяють бачення проекту
Створення проекту	Можливі проблеми через недоліки в плануванні та розробці	Очікується, що прогнозовані доходи від проекту дозволять покрити всі витрати.	Захист підприємницьких ризиків
	Проектна документація містить недоліки або помилки	Ризик незавершення будівництва заводу	Остаточне доопрацювання та внесення змін до документації
	Неточна оцінка обсягу продажів, суперників та вартості товарів проекту.	Низький потенціал реалізації продукції та відсутність економічної доцільності проекту	Організація маркетингових досліджень та спостереження за ринком.

продовження табл. 4.3

Стадія проєкту	Потенційна шкода	Результати	Превентивні заходи
Спорудження	Неспроможність будівельних та інженерних компаній	Відхилення від графіку виконання будівельних робіт на заводі	Укладання угод з перевіченими організаціями
	Ризики у виробничо-технологічній системі (інциденти, вихід з ладу устаткування, дефекти продукції тощо)	Невиконання запланованих робіт з будівництва заводу.	Врахувати потенційні затримки у графіку будівництва та закласти їх у план.
	Ризик зриву робіт	Зрив термінів виробництва, зменшення прибутків.	Укладення угод з контрагентами із зазначенням конкретних термінів, страхування комерційних ризиків.
Експлуатація	Ускладнення доступу до матеріалів та зростання їхньої ціни.	Порушення виробничого процесу на підприємстві, затримка виробництва товарів, заборгованість із виплати заробітної плати працівникам, зменшення прибутків.	Оформлення угод з постачальниками на визначених заздалегідь умовах, які встановлюють зобов'язання постачальника щодо дотримання умов угоди та відшкодування збитків у разі їх порушення.
	Ризики у виробничо-технологічній системі включають надзвичайні події (аварії), вихід з ладу устаткування, виникнення дефектів продукції та інші подібні проблеми.	Зрив виробництва, фінансові втрати, негативний вплив на здоров'я та безпеку людей, репутаційні ризики для організації.	Створення системи захисту, організація на підприємстві.
	Можливість порушення графіку робіт	Затримка виробництва та, як наслідок, втрата прибутку.	Ефективне планування діяльності компанії та страхування комерційних ризиків.
	Оцінка ризику, пов'язаного з тим, що наявні методи продажу можуть не відповідати потребам	Низький рівень продажів продукції.	Укладання угод із клієнтами на заздалегідь узгоджених умовах.

продовження табл. 4.3

	Управлінські ризики в маркетингу	Попит на продукцію падає	Забезпечення безперервного відстеження ринкової ситуації та адаптація до її коливань
	Скорочення долі ринку	Ліквідація підприємства	Постійний аналіз ринку та конкурентів

На додаток до ризиків, зазначених у таблиці 4.3, протягом усього життєвого циклу проекту можуть проявитися наступні загальні ризики:

- політичні чинники (трансформація політичного середовища);
- зміни в законодавчому та регуляторному полі;
- недостатня підтримка підприємств малого та середнього бізнесу;
- економічні рецесії та інфляційні процеси;
- негативні тенденції в економічному середовищі (активізація конкуренції);
- екологічні фактори (природні катаклізми та надзвичайні ситуації);
- соціальні ризики (протести, терористичні загрози);
- коливання ринкової кон'юнктури.

Отже, при впровадженні проекту з утилізації гумотехнічних виробів важливо передбачати потенційні ризики та вживати заходів для їх мінімізації.

4.2. Технічні та організаційні передумови створення виробництва з переробки гумотехнічних виробів

При реалізації подібних проєктів важливо брати до уваги специфіку виробничого процесу. Оскільки основною сировиною для підприємства є використані автомобільні шини, виробництво має відповідати загальним вимогам щодо збирання, ведення обліку, зберігання та утилізації відпрацьованих шин. Керівник виробництва та персонал повинні мати відповідну кваліфікацію в сфері інженерії для забезпечення технічно правильної та безпечної організації виробництва.

Важливим аспектом діяльності є наявність необхідних комунікацій та інфраструктури для здійснення проєкту. Розміри виробничого приміщення повинні становити не менше 700 квадратних метрів, з висотою не менше 7 метрів. Розмір шини, що переробляється, не повинен перевищувати 3 метри в діаметрі; у випадку більшого розміру потрібне попереднє подрібнення шини на дрібніші частини.

Окрім зазначеного, потрібно враховувати потужність обладнання, яка сягає до 3,6 тонн шин на день.

За встановленого обсягу сировини очікується отримання таких видів готової продукції: приблизно 1,3 тонни рідкого палива, 1,6 тонни технічного вуглецю, 0,4 тонни металокорду та 0,4 тонни газу. Такий вихід свідчить про високий рівень утилізації відходів і дозволяє забезпечити комплексне використання сировини без утворення невикористаних залишків.

Для оцінки ефективності реалізації проєкту визначено низку ключових критеріїв. До них належать: тривалість виконання проєкту, екологічність технологічних процесів, відповідність витрат запланованому бюджету, досягнення встановленої виробничої потужності, а також наявність потенціалу для подальшого розширення виробництва.

Проєкт вважається успішно реалізованим за таких умов: якщо перехід до стадії повноцінної експлуатації відбувається у межах 2,3 року, діяльність підприємства сприяє покращенню екологічного стану довкілля, зменшенню кількості звалищ автомобільних шин, а продукти переробки можуть бути повторно використані у промисловості. Важливою умовою є також відсутність збільшення обсягу шкідливих викидів в атмосферу, дотримання запланованого бюджету та досягнення заданих виробничих показників. Після завершення реалізації проєкту завод повинен мати ресурс для подальшого масштабування виробництва.

Одним із визначальних чинників успішної реалізації проєкту є професійна команда, до складу якої входять ключові фахівці: менеджер проєкту, який здійснює загальне керівництво; інженер-координатор, що відповідає за

технічну узгодженість процесів; технолог, який контролює якість виробничих рішень; менеджер із будівництва; фахівець із закупівель та постачання; адміністративний керівник контрактів, а також координатор з експлуатаційних випробувань, який забезпечує успішний запуск комплексу в роботу.

Для зменшення можливості виникнення неочікуваних обставин важливо чітко визначити межі плану реалізації проєкту. Особливу увагу слід приділити ресурсному забезпеченню проєкту (табл. 4.4), що зробить проєкт більш відкритим і зрозумілим.

Таблиця 4.4

Забезпечення проєкту ресурсами

Типологія ресурсу	Сутність
Фінансові	Загальний обсяг інвестицій склав 7,7 мільйона гривень.
Матеріально-технічні	Виробнича споруда; устаткування для пожежної безпеки; щомісячне енергопостачання об'ємом 9000 кВт; надходження технологічної води з продуктивністю 1 м3/год або резервуар технологічної води місткістю 20 м3; сховище для зберігання пневматичних шин; піролізна система (механізм перекидання, вібраційний просіювач, стрічковий транспортер, шнековий транспортер, монорейкова система або вантажопідйомне обладнання, фільтр рукавного типу, завантажувальні контейнери, обладнання для подрібнення шин, конвеєрна стрічка для подачі сировини); місце зберігання гуми, місце зберігання технічного вуглецю, місце зберігання металокорду, резервуари для зберігання піролізного палива, пристрій охолодження контейнерів, компресорна установка з накопичувачем, пункт управління, приміщення для переодягання персоналу, службове приміщення.
Правові	Згода на здійснення будівельних робіт, специфічні технічні вимоги, легітимізовані згідно з встановленою процедурою; дозволи на управління відходами; приписи щодо пожежної безпеки.
Кадрові	Кадровий склад заводу, що характеризується відповідною професійною підготовкою; наявністю досвіду у сфері логістики та матеріально-технічного постачання; досвідом реалізації будівельних проєктів промислового призначення; досвідом експлуатації промислового хіміко-технологічного обладнання.
Інтелектуальний ресурс	Спеціаліст, який поєднує управлінські компетенції з глибокими знаннями в галузі проєктного менеджменту. Володіє розширеними знаннями технології піролізу, включаючи розуміння механізмів деструкції полімерних ланцюгів та потенційних ризиків, пов'язаних з виробничим процесом. Демонструє адаптивність та ефективність у роботі в умовах змін.

Для забезпечення ефективного прогресу кожного напрямку проекту важливо закріпити за кожним учасником конкретну сферу відповідальності (див. таблицю 4.5). Це необхідно, оскільки спільна відповідальність може призвести до неналежної реалізації окремих напрямів роботи, що матиме серйозні наслідки. Наприклад, недостатньо опрацьована концепція проекту може призвести до проблем, які проявляться на завершальному етапі, коли виправлення вже буде неможливим.

Таблиця 4.5

Таблиця розподілу ролей і обов'язків

Функціональні напрямки	Команда проекту										
	Менеджер проекту	Команда проекту	Проектна компанія	Підрядна організація	Сторонні фахівці	Організатори проекту	Оцінювач	Органи влади	Замовник	Постачальник	Ліцензіар
Установка обладнання	3	3	-	-	-	-	-	-	4	1	-
Розробка ТЕО проекту	4	3	1	-	-	3	2	-	-	-	-
Експертиза проекту	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Формування команди проекту	1	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-
Навчання персоналу	4	3	-	-	-	-	-	-	2	1	-
Організація переговорів та укладення угод	2	-	2	2	-	-	-	-	1	2	-
Формування ідеї проекту	-	-	-	-	-	1	2	-	2	-	-
Виділення земельної ділянки під забудову	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
Загальнобудівельні роботи	3	3	-	1	-	-	-	-	4	-	-
Розробка проектно-кошторисної документації	3	2	1	-	-	-	-	-	4	-	-
Роботи з будівництва та монтажу	3	3	-	1	-	-	-	-	4	-	-
Придбання та доставка обладнання	3	3	-	-	-	-	-	-	4	1	-
Отримання дозволу на будівництво	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
Здача об'єкту	3	3	-	1	-	-	-	-	2	-	-
Отримання ліцензії на роботу з	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1
Експлуатація	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Умовні позначення: 1 – головний виконавець; 2 – співробітник; 3 – контроль виконання; 4 – погодження

Для забезпечення належного виконання обов'язків кожним учасником проекту в межах його компетенції, визначено наступні етапи контролю:

- * Підготовка техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) проекту;
- * Створення проектної команди;
- * Підписання договорів;
- * Отримання дозволу на будівельні роботи;
- * Отримання необхідної ліцензії на поводження з відходами;
- * Завершення будівельних робіт на заводі;
- * Встановлення обладнання;
- * Передача об'єкта в експлуатацію;
- * Початок експлуатації об'єкта.

З метою чіткого визначення необхідних для реалізації проекту операцій, пропонується використовувати метод послідовної ієрархічної структури робіт. Цей метод дозволяє розділити великі завдання на менші, більш керовані частини, що значно полегшує управління проектом. Розбиття завдань відображає їх взаємозв'язок між собою та з проектом в цілому. Ієрархічна структура проекту має графічну основу, що допомагає прогнозувати результати на основі різних сценаріїв.

Розбиття на складові використовується для впорядкування та поділу проекту на більш прості в управлінні компоненти.

4.3. Економічна оцінка результативності впровадження виробництва з переробки відпрацьованих шин

Виробнича потужність підприємства – це граничний річний обсяг випуску продукції визначеної якості, переліку видів та найменувань виробів, який може бути досягнутий за умови повної експлуатації доступного робочого часу та номінальної продуктивності устаткування. При цьому враховуються впровадження сучасних технологій та передових підходів до організації та управління виробничим процесом. Спосіб розрахунку виробничої потужності

(М) має відповідати особливостям конкретного виробництва. У даному проєкті, що характеризується періодичним типом виробництва, річна продуктивність визначається за відповідною формулою:

$$M = n * T$$

де n – обсяг виробництва продукції за зміну, зазначений виробником обладнання;

T – кількість робочих днів на виробництві (180) з урахуванням запланованих ремонтів, вихідних та свят.

Інформацію щодо продуктивності обладнання наведено в табл. 4.5 та 4.6.

Таблиця 4.5

Змінна продуктивність протягом доби

Продукція	Продуктивність, т/добу
По газу:	0,4
За технічним вуглецю:	1,6
По металокорду:	0,4
По рідкому паливі:	1,3

Таблиця 4.6

Щорічний обсяг випуску

Період реалізації проєкту (рік)	1	2	3	4	5	Сума
Скрап, т.	36	57,60	72,00	72,00	72,00	309,60
Ступінь завантаженості виробничих потужностей, %	50	80	100	100	100	—
Тех. вуглець, т.	144	230,40	288,00	288,00	288,00	1 238,40
Перетворення піролізу в паливо, т.	117	187,20	234,00	234,00	234,00	1 006,20

Загальний обсяг необхідних капіталовкладень оцінюється у 8,3 млн. грн. Фінансування всього обсягу виробництва планується виключно за рахунок власних коштів, без використання банківського кредитування. Будівництво будівель та споруд включає в себе ремонт орендованого цеху та забезпечення його необхідними комунікаціями.

4.4. Еколого-економічне обґрунтування ефективності реалізації проєкту з утилізації зношених шин

Для оцінки еколого-економічної ефективності проєкту застосовується показник інтегральної еколого-економічної ефективності (ІЕЕ). Цей показник дозволяє комплексно врахувати не лише економічні результати впровадження проєкту, але й екологічний ефект, отриманий завдяки зниженню негативного впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище.

Інтегральна еколого-економічна ефективність характеризує узагальнений результат реалізації проєкту з точки зору досягнення оптимального співвідношення між отриманим еколого-економічним ефектом та витратами, необхідними для його впровадження.

Вона визначається як відношення еколого-економічного ефекту проєкту (Р), який включає економію ресурсів, підвищення продуктивності, зменшення екологічних платежів і покращення екологічних показників, до сукупності всіх витрат (В), пов'язаних із реалізацією проєкту:

$$ІЕЕ = P/V \quad (1)$$

де: ІЕЕ – інтегральна еколого-економічна ефективність;

Р – еколого-економічний ефект від реалізації проєкту;

В – сукупні витрати на здійснення проєкту.

Інтегральний еколого-економічний ефект, у загальному вигляді, може бути розрахований за формулою (2) як різниця між перевагами, отриманими від впровадження проєкту, сукупними витратами І та амортизаційними відрахуваннями обладнання (А), пов'язаними з досягненням цих переваг:

$$P = B - I - A, \text{ грн.} \quad (2)$$

Загальні переваги від реалізації проєкту представляють собою сукупність позитивних наслідків як економічного (Вен), так і екологічного плану (Вел), виміряних у грошовому еквіваленті та обчислених за формулою (3):

$$B = \text{Вен} + \text{Вел}, \text{ грн.} \quad (3)$$

Вен: економічний результат реалізації проєкту у вигляді чистого прибутку за п'ятирічний період. Вел: сукупний обсяг платежів, що здійснюються підприємствами-виробниками шин у рахунок екологічного збору та компенсації збитків, завданих ґрунтам, протягом 5 років. Обчислюється згідно з формулою (4):

$$\text{Вел} = \text{ЕС} + \text{УЩ}, \text{ грн.} \quad (4)$$

Підприємства, що виробляють або ввозять продукцію, несуть відповідальність за переробку відходів, які утворюються після використання їхніх товарів, відповідно до встановлених вимог. Якщо імпортери не організовують самостійну утилізацію відходів, вони сплачують екологічний платіж. Вартісна оцінка збитків, завданих нелегальним розміщенням виробничих та споживчих відходів, розраховується за формулою (5):

$$\text{УЩ} = M * T * \text{Кисх}, \text{ грн.} \quad (5)$$

Де M – маса відходів одного класу небезпеки, накопичених протягом п'ятирічного періоду, виражена в тоннах;

$T_{отх}$ – норматив для оцінки збитків, завданих ґрунтам як компоненту довкілля, у випадках їх деградації внаслідок несанкціонованого розміщення промислових та побутових відходів. Значення визначається відповідно до нормативно-правового акту [4] і виражається у гривнях за тонну. В даному випадку, $T_{отх}$ припускається рівним 5000 грн/тонну, оскільки використані шини класифікуються як відходи IV класу небезпеки;

$K_{исх}$ – коефіцієнт, що враховує категорію земель та їх цільове призначення ділянки, на якій виявлено забруднення, розраховується згідно з пунктом 8 відповідної Методики. Для цих обчислень $K_{исх}$ приймається рівним

1,3, враховуючи розташування несанкціонованих звалищ шин на землях, що належать до категорії земель населених пунктів.

Згідно з інформацією, отриманою з джерела [26], станом на 2019 рік в Україні було акумульовано приблизно 1 мільйон тонн зношених автомобільних шин. Зважаючи на те, що річний приріст використаних шин досягає 400 тисяч тонн, а коефіцієнт їхньої рециркуляції не перевищує 17%, загальна кількість відпрацьованих шин на межі 2018-2019 років оцінюється приблизно в 2,3 мільйони тонн. За інформацією аналітичного агентства «Автостат» [24], в Україні зареєстровано 20 мільйонів одиниць автотранспорту. Обсяг невикористаних відпрацьованих шин становить 27 600 тисяч тонн. Беручи до уваги тривалість реалізації проєкту в 5 років, прогнозується збільшення обсягу відпрацьованих шин на 24 000 тисяч тонн. Зважаючи на те, що лише 17% цих шин буде піддано переробці, очікується приріст у 19 920 тисяч тонн шин, що призведе до певного рівня негативного впливу на ґрунт:

$$УЩ = (27600 + 19920) * 5000 * 1,3 = 308880 \text{ тис. грн.}$$

З огляду на річну продуктивність підприємства з переробки шин, що становить 650 тонн, необхідно розрахувати суму екологічного податку, який буде сплачено протягом п'ятирічного періоду у разі недотримання встановлених нормативів утилізації:

$$ЕС = 7109 * (13300 - 650) * 0,2 * 5 = 89930 \text{ тис. грн.}$$

Екологічні переваги в такому випадку будуть становити:

$$\text{Вел} = 308\,880 + 89\,930 = 398\,810 \text{ тис. грн.}$$

Загальний прибуток підприємства за п'ятирічний період становить 34 604 тис. грн., очікувані вигоди від впровадження проєкту становитимуть:

$$\text{Вен} = 34005 + 420 * 5 - 8300 = 27805 \text{ тис. грн.}$$

Зважаючи на виробничі витрати, що дорівнюють 10088 тис. грн, амортизаційні відрахування обладнання за п'ятирічний період у розмірі 420 тис. грн та сукупні капітальні інвестиції обсягом 8300 тис. грн, величина сумарного еколого-економічного ефекту становитиме:

$$P = 398\,810 + 27\,805 = 426\,615 \text{ тис. грн.}$$

Враховуючи сукупний обсяг інвестицій у проєкт з переробки, що становить 8300 тис. грн, індекс інтегральної еколого-економічної результативності буде наступним:

$$EEE = 426615 / 8300 = 51,4 \text{ грн.}$$

Згідно з результатами аналізу еколого-економічної результативності проєкту, висновки свідчать про те, що при порівняно незначних витратах на його впровадження, у грошовому еквіваленті досягається суттєвий екологічний ефект. Отже, в екологічному плані проєкт характеризується високою ефективністю.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного теоретичного аналізу спеціальної літератури встановлено, що раціональний вибір методу переробки гумотехнічних виробів дає змогу не лише отримати відчутну економічну вигоду, а й істотно покращити екологічний стан довкілля. Автомобільні шини, як окремий вид гумотехнічних виробів, характеризуються значним енергетичним потенціалом, який доцільно використовувати шляхом їх глибокої переробки. З огляду на це, як основний метод утилізації було обрано піроліз, що забезпечує ефективне перетворення відпрацьованих шин у корисні продукти без потреби їх подальшої утилізації.

У процесі дослідження проведено порівняльний аналіз існуючих методів переробки гумотехнічних виробів, визначено їх переваги, недоліки та проблеми практичного впровадження. Особливу увагу приділено оцінці економічної та інтегральної еколого-економічної ефективності проєкту, що дало можливість обґрунтувати його доцільність з точки зору як фінансових, так і екологічних показників.

На сьогоднішній день в Україні, на жаль, переробляється лише близько 20% використаних автомобільних шин. Це підкреслює нагальну необхідність у розвитку галузі та створенні нових потужностей з їх утилізації. Цей проєкт показує, що навіть з невеликими інвестиціями можна досягти значного позитивного впливу на екологію та зменшити негативний тиск на природу. Отже, застосування піролізної технології виглядає як екологічно розумне та економічно вигідне рішення, що допоможе збільшити обсяги переробки шин по всій країні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пиш'єв, С., Липко, Ю., Демчук, Ю., Кухар, О., Корчак, Б., Почапська, І., Житнецький, І. *Характеристика та застосування продуктів піролізу відпрацьованих автомобільних шин: огляд*. JCCT, 2024, **18**(2), с. 244–257. [Наукові журнали та конференції+1](#)
2. Han, W., Han, D., Chen, H. *Pyrolysis of Waste Tires: A Review*. Polymers, 2023, **15**, 1604. [ResearchGate+1](#)
3. Borkar, D. S., Satputaley, S., Alone, S., Dudek, M. *Comprehensive Review of Hydrogen and Tyre Pyrolysis Oil as Sustainable Fuels for HCCI Engines*. Energies, 2025, **18**(16), 4448. [MDPI](#)
4. Pawar, D., Ahirwar, B. K., Nikam, S. K., Singh, D. *Application of tire pyrolysis oil as alternative fuel in diesel engines: a review*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2025, **150**, 12017–12044. [SpringerLink](#)
5. Dick, D. T., Agboola, O., Ayeni, A. O. *Pyrolysis of waste tyre for high-quality fuel products: A review*. AIMS Energy, 2020, **8**(5), 869–895. [aimspress.com](#)
6. Toteva, V. *Waste tires pyrolysis oil as a source of energy: Methods for purification and upgrading*. Journal of Waste Management, 2020. (абстракт) [SAGE Journals](#)
7. Ore, O. T., Adebisi, F. M. *Modelling, optimization and characterization of carbon black derived from waste tyre pyrolysis*. Discover Materials, 2025, **5**, арт. 13. [SpringerLink](#)
8. Laithong, T. та ін. *Quality improvement of recycled carbon black from waste tires pyrolysis by chemical-thermal treatment*. Scientific Reports, 2025. [Nature](#)
9. Rikmann, E. та ін. *Recycling of Low-Quality Carbon Black Produced by Tire Pyrolysis*. Applied Sciences, 2024, **14**(5), 2192. [MDPI](#)
10. Маркіна, Л. М. *Дослідження технологічних параметрів піролізу автомобільних шин*. Науковий журнал, 2018. [scinn.org.ua](#)

- 11.Куля, А.В., Лога, А.О. *Використання рідинних продуктів піролізу зношених шин для отримання альтернативного дизельного палива.* Матеріали 86-ї Міжнародної наукової конференції студентів, Харків, 2024. dspace.khadi.kharkov.ua
- 12.Пасічник, К. *Контроль викидів піролізної установки при переробці гумових відходів.* Магістерська робота, КПІ, Київ, 2021 (або інший рік — залежно від джерела). [Електронна бібліотека КПІ](#)
- 13.Юр'єв, О. А. *Розробка та дослідження технології піролізу автомобільних шин для отримання палива.* Дипломна робота магістра, Тернопільський національний технічний університет, 2019. elartu.tntu.edu.ua
- 14.Докшина, С. Ю., Бойченко, С. В., Розен, В. П. *Концепція підвищення енергетичної та екологічної безпеки через утилізацію зношених шин.* Енергетика: економіка, технології, екологія, №..., (журнал). energy.kpi.ua
- 15.Шльончак, І. А., Батраченко, О. В. *Утилізація автомобільних шин в українській перспективі.* Центральнотернопільський науковий вісник, Технічні науки, 2024, **10**(41), с. 221–227. mapiea.kntu.kr.ua
- 16.Huang, J. S., ... *Energy-Efficient Design for a Commercial-Scale Waste Tire Pyrolysis Plant.* Energy & Fuels, ACS, (року). pubs.acs.org
- 17.Wu, Y., та ін. *On the Potential of Waste Tire Pyrolysis in Carbon Mitigation: Life Cycle Assessment Perspective.* MDPI, 2025. [MDPI](https://www.mdpi.com/)