

## Зміст

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ</b> .....	8
1.1 Основні відомості та характеристики побутових відходів .....	8
1.2 Загальні положення щодо переробки компонентів з твердих пластикових відходів .....	15
1.3 Теоретичні дані про процеси, що реалізуються в даній технології.....	19
1.4 Вибір та обґрунтування технологічної схеми сортування твердих пластикових відходів .....	22
1.5 Вибір конструкції установки для подрібнення твердих пластикових відходів .....	24
<b>2 ПРОЄКТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ</b> .....	35
2.1 Розрахунок та аналіз сил, що діють на установку .....	35
2.2 Вибір електродвигуна та кінематичний розрахунок приводу. ....	37
2.3 Розрахунок пристрою в середовищі Solidworks Simulation. ....	40
2.4 Вибір конструктивної схеми розроблюваного пристрою .....	42
2.5 Виготовлення та складання розробленої к конструкції установки для подрібнення твердих пластикових відходів .....	54
2.6 Розрахунок графіка ППР.....	57
<b>ВИСНОВОК</b> .....	60
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	62

					БР.0099.00.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розробка та моделювання конструкції пристрою для подрібнення полімерних відходів 3D-друку	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Сьома Б.Л.						
<i>Перевір.</i>		Роп'як Л.Я					4	59
<i>Реценз.</i>						ПМ-21-1		
<i>Н. Контр.</i>		Роп'як Л.Я						
<i>Затверд.</i>		Панчук В.Г.						

## ВСТУП

Однією з найактуальніших екологічних проблем сьогодення є стрімке зростання кількості твердих побутових відходів. Хоча це питання існувало й раніше, з часом його масштаби суттєво збільшилися, і нині воно досягло критичної межі. Надлишок сміття створює серйозну загрозу не лише для навколишнього середовища, але й для здоров'я та безпеки людини.

Головною причиною такої ситуації є безвідповідальне ставлення суспільства до проблеми утилізації. У багатьох країнах світу відсутній належний контроль за поводженням з побутовими відходами, а також ефективна система зменшення їх обсягів. Більше того, брак усвідомлення реальної небезпеки, яку становить забруднення довкілля, лише поглиблює проблему. Впровадження жорсткішого контролю, зокрема системи штрафів за неправильне поводження з відходами, а також формування екологічної свідомості у населення можуть стати ефективними заходами для стабілізації ситуації.

Особливу загрозу становлять відходи, виготовлені з матеріалів, які важко піддаються розкладу або переробці. Їх широке використання в побуті й промисловості сприяє інтенсивному накопиченню сміття, яке залишається в навколишньому середовищі на тривалий час. Природні процеси не встигають знищувати таку кількість відходів, що призводить до масштабного засмічення територій.

Ще одна важлива причина поглиблення проблеми — відсутність ефективної інфраструктури для повторного використання та глибокої переробки відходів. На практиці переробляється лише незначна частина сміття, тоді як основна маса накопичується на звалищах. Такий підхід потребує постійного видобутку нових природних ресурсів, що, у свою чергу, вимагає значних фінансових і енергетичних затрат. Водночас величезні площі землі перетворюються на полігони, втрачаючи свою цінність для сільського господарства чи природоохоронної діяльності.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Таким чином, для подолання проблеми накопичення твердих побутових відходів необхідно вжити комплексних заходів, зокрема: налагодити систему сортування й утилізації, забезпечити переробку більшого обсягу відходів, стимулювати використання екологічно безпечних матеріалів та формувати екологічну культуру серед населення. Лише за таких умов можна зменшити негативний вплив відходів на довкілля та забезпечити сталий розвиток суспільства.

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій адитивного виробництва, зокрема 3D-друку, значно зростає обсяг полімерних відходів, що утворюються як у процесі прототипування, так і під час серійного виготовлення виробів. Ці відходи включають залишки підтримуючих структур, браковані деталі, обрізки нитки (філаменту) тощо. Незважаючи на те, що більшість полімерів, які використовуються у 3D-друці (наприклад, PLA, ABS, PETG), є термопластичними та потенційно придатними до вторинного використання, питання ефективної їх утилізації та повторного залучення до виробничого циклу залишається відкритим.

Проблема поводження з відходами адитивного виробництва є актуальною не лише з екологічної точки зору, але й з економічної — повторне використання переробленого матеріалу дозволяє суттєво знизити собівартість виготовлення виробів, особливо у сфері малосерійного або освітнього виробництва. Водночас ефективне подрібнення таких відходів є першою і ключовою стадією процесу рециклінгу, адже саме від якості подрібнення залежить подальша стабільність екструзії нової нитки або інші методи вторинної переробки.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка та моделювання конструкції пристрою для подрібнення полімерних відходів 3D-друку, який повинен забезпечувати високу ефективність подрібнення, простоту експлуатації та адаптацію до різних типів матеріалів. У ході дослідження будуть проаналізовані існуючі технічні рішення, обґрунтовані принципи дії

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обраного механізму подрібнення, розроблена 3D-модель пристрою, а також виконано розрахунки основних навантажених елементів конструкції.

Отже, дана робота має на меті зробити внесок у вирішення проблеми сталого поводження з відходами 3D-друку шляхом створення технічно обґрунтованого та практично реалізованого пристрою, здатного працювати в умовах майстерень, навчальних закладів або малих підприємств.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ

## 1.1 Основні відомості та характеристики побутових відходів

Унаслідок стрімкого технічного прогресу та зростання обсягів споживання людство зіткнулося з серйозною проблемою – значним уповільненням природного процесу розкладання відходів. З появою нових штучних матеріалів, більшість з яких стійкі до біологічного розпаду, навантаження на навколишнє середовище різко зросло. Відходи, які раніше могли частково перероблятися природними шляхами, нині накопичуються у величезних кількостях і зберігаються в довкіллі десятки, а іноді й сотні років.

Щороку одна людина в середньому продукує від 500 до 800 кілограмів сміття, що призводить до загальносвітового перевантаження екосистем відходами. Основними компонентами твердих побутових відходів (ТПВ) є папір і картон, текстиль, дерево, кістки, шкіра, метали, гума, пластмаси та скло. Ці матеріали надходять у відходи як з побутового сектору, так і з промислового виробництва.

До відходів належать різні за походженням та властивостями речовини і об'єкти. Зокрема, це:

– залишки сировини та матеріалів, які втратили свої споживчі властивості під час виробництва або виконання робіт (виробничі відходи);

– супутні породи, що видобуваються при розробці родовищ (розкриті гірничі відходи);

– побічні продукти первинної обробки сировини, як-от пил, шлам або відсів;

– хімічні сполуки чи суміші, що утворюються не як основна мета процесу (шлак, зола, пастоподібні чи тверді речовини);

– сільськогосподарські залишки, у тому числі з лісового та тваринницького секторів;

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



ефективних методів управління ними. Усвідомлення цього дозволить впровадити більш ефективні системи поводження з відходами, мінімізувати екологічні загрози та забезпечити сталий розвиток суспільства.

Відходи, що утворюються в процесі життєдіяльності людини та функціонування підприємств, класифікуються за різними ознаками, що дозволяє ефективніше керувати ними на всіх етапах їхнього «життєвого циклу». Однією з базових класифікацій є поділ відходів на групи залежно від їх походження та складу.

Першу групу складають відходи з природних матеріалів. До них належать, зокрема, харчові гниючі відходи, які швидко розкладаються та утворюють біомасу. Також до цієї групи входять відходи, що утворюються в медичних, науково-дослідних і ветеринарних установах, зокрема в стоматології та хірургії. Ці відходи є особливо небезпечними через можливість інфікування або хімічного забруднення. Крім того, до цієї групи зараховують полімерні матеріали природного походження — картон, деревину, паперову та обгорткову продукцію.

Другою великою категорією є виробничі відходи, що утворюються під час функціонування промислових об'єктів. Сюди відносять металеві відходи, використані хімічні джерела струму (наприклад, батарейки), бій скла та склопосуду. Важливою підгрупою є відходи з синтетичних полімерів, серед яких — вироби з гуми, гумово-технічні вироби, пластикова тара та пакування з продуктів нафтохімічної промисловості. Особливо небезпечними є радіоактивні відходи, які потребують окремого, суворо регламентованого поводження.

Класифікація відходів не є лише формальністю — вона дає змогу обрати оптимальні шляхи подальшої утилізації та знешкодження. Залежно від типу та небезпеки відходів, вони можуть бути: передані на переробку іншим підприємствам, утилізовані безпосередньо на місці утворення, скинуті в каналізацію (у випадку рідких безпечних відходів), захоронені на спеціалізованих полігонах або спалені на термічних установках. Саме завдяки

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

класифікації вдалося створити генеральну схему централізованого збору, транспортування та переробки промислових відходів, з орієнтацією на їх повторне використання як вторинної сировини, а також із метою мінімізації впливу на довкілля.

Вторинні ресурси, тобто ті, що можуть бути залучені до повторного використання, зручно класифікувати за джерелом утворення (наприклад, побутові чи промислові) та за напрямом подальшого застосування (як сировина, енергоносії тощо).

Водночас, гострою залишається проблема організації роботи з небезпечними та токсичними відходами. Вона охоплює питання зменшення обсягів їх утворення, організацію безпечного збирання, транспортування, зберігання, обробки, знешкодження та остаточного видалення. До цієї категорії відходів належать речовини, які мають шкідливі біологічні, хімічні або фізичні властивості, здатні завдати суттєвої шкоди довкіллю або здоров'ю людини. Їхня утилізація вимагає застосування спеціальних методів, обладнання, а також залучення кваліфікованого персоналу. Такі відходи мають характерні особливості: вони можуть бути токсичними, вибухонебезпечними, радіоактивними, інфекційними, мати агресивні хімічні властивості або містити канцерогенні сполуки.

Запобігання або зменшення негативного впливу цих відходів можливе лише за умови впровадження інноваційних технологій, створення спеціалізованих підприємств для їх переробки та знешкодження, а також постійного контролю за дотриманням санітарно-гігієнічних норм і екологічних вимог.

У промисловості утворення відходів є поетапним процесом, і для кожного етапу можуть бути передбачені різні підходи до їх утилізації — від вторинної переробки до остаточного знешкодження. Саме чітка послідовність та системний підхід дозволяють зменшити навантаження на навколишнє середовище й одночасно ефективно використовувати ресурси, які раніше вважалися непридатними.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



токсичних сполук у ґрунт, воду чи повітря, а також здатність викликати довготривалі чи віддалені наслідки.

Щоб кількісно оцінити небезпеку відходів, використовуються показники шкідливості, зокрема такі нормативи, як гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно допустимі рівні (ОДР). Ці значення встановлюються з урахуванням різних санітарно-гігієнічних критеріїв, наприклад: загальносанітарні, токсикологічні, органолептичні (запах, колір, смак, утворення піни або плівки на воді тощо).

На практиці значну увагу приділяють вилученню з твердих побутових відходів (ТПВ) цінних компонентів – скла, паперу, металів, пластику, харчових залишків. Це дозволяє зменшити загальний об'єм сміття, що потребує утилізації, й збільшити обсяг вторинної сировини, яку можна використовувати повторно. Такий підхід має і економічну, і екологічну вигоду.

Повторне використання окремих компонентів відходів значно скорочує потребу у видобутку первинних ресурсів. З економічної точки зору, матеріали, отримані з вторинної сировини, в 5–15 разів дешевші, ніж ті, що виготовлені з первинної. Крім того, джерела вторинної сировини часто знаходяться поблизу промислових підприємств, що сприяє зниженню витрат на транспортування та мінімізує шкоду від логістичних процесів.

Варто зазначити, що в Україні щороку захоронюється величезна кількість цінної вторинної сировини: понад 3,3 мільйона тонн макулатури, 600 тисяч тонн полімерів, 550 тисяч тонн металу, 770 тисяч тонн скла. У той же час, у таких країнах, як Німеччина, США, Франція та Японія, з перероблених відходів отримують значну частку ресурсів – до 50% свинцю, 44% міді, 33% заліза, 20% алюмінію. Це свідчить про високий рівень розвитку галузі рециклінгу у зазначених країнах.

Втім, ситуація в Україні поступово змінюється в позитивному напрямку. Зростає попит на окремі види вторинної сировини, зокрема ПЕТ-пляшки,

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

алюмінієві банки та макулатуру. Збір і переробка цих матеріалів стають дедалі поширенішими, що дає підстави для оптимізму.

Рециклінг має величезний потенціал. Наприклад, переробка лише однієї тонни макулатури дозволяє зберегти до 60 гектарів лісу. Обробка 120 тонн консервних бляшанок дає можливість отримати 1 тонну олова, уникаючи при цьому видобутку 400 тонн руди. Це демонструє не лише економічну доцільність повторної переробки, але й її екологічну ефективність.

З огляду на наведені факти, можна зробити висновок, що рециклінг є найефективнішим та найбезпечнішим шляхом розвитку людства у сфері поводження з відходами. Він не лише сприяє збереженню природних ресурсів, а й дозволяє знизити техногенне навантаження на довкілля, створити нові робочі місця та розвинути замкнені цикли виробництва, орієнтовані на сталий розвиток.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 1.2 Загальні положення щодо переробки компонентів з твердих пластикових відходів

У сучасному світі проблема пластикових відходів набула глобального масштабу, і вона особливо гостро відчувається у високорозвинених країнах. У цих державах спостерігається стійка тенденція до подвоєння кількості пластикових відходів кожні 10 років. Особливо тривожно виглядає той факт, що на частку пластику вже припадає близько 60% усієї упаковки та тари, яка використовується в повсякденному житті — від харчової продукції до побутових товарів.

Втрата такої великої кількості потенційної вторинної сировини є надзвичайно відчутною як з економічної, так і з екологічної точки зору. Якщо ці відходи не переробляються, їх зазвичай захоронюють на полігонах або спалюють, що спричиняє серйозні екологічні наслідки, зокрема забруднення повітря, ґрунтів і водних ресурсів. У зв'язку з цим індустрія переробки пластикових матеріалів сьогодні розвивається швидкими темпами, оскільки це один із найперспективніших напрямів для збереження довкілля та зменшення навантаження на природні ресурси.

Аналізуючи структуру полімерних відходів, можна виділити кілька основних типів пластмас, які становлять основну масу відходів:

– Поліетилен (34%) – широко використовується у вигляді плівок, ящиків для напоїв, побутових відер, піддонів тощо.

– Поліетилентерефталат або ПЕТ (20,4%) – застосовується переважно для виготовлення пластикових пляшок.

– Ламінований папір (17%) – має складну структуру та важко переробляється.

– Полівінілхлорид або ПВХ (13,6%) – використовується у виготовленні труб, оздоблювальних панелей, плівки.

– Полістирол (7,6%) – з нього виготовляється одноразовий посуд, електронні корпуси.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Поліпропілен (7,4%) – використовується у виробництві тари, побутових предметів, корпусів акумуляторів тощо.

На жаль, рівень фактичної переробки цих матеріалів залишається досить низьким: лише близько 20% поліетилену, 17% поліпропілену, 12% полістиролу та ПЕТ, 10% ПВХ піддаються повторній обробці. Це свідчить про високий потенціал для вдосконалення системи збирання, сортування та переробки пластику.

Водночас вторинна пластикова сировина знаходить широке застосування у найрізноманітніших галузях, часто паралельно з первинною. Зокрема, з переробленого пластику виготовляють:

- деталі механізмів і машин,
- меблі та елементи інтер'єру,
- побутовий і кухонний посуд,
- будівельні матеріали (труби, облицювальні елементи),
- пакувальні вироби, тару,
- тротуарну плитку, покрівельну черепицю тощо.

Відходи полімерів утилізуються за трьома основними напрямками, які умовно класифікуються залежно від якості кінцевого продукту.

1. Отримання аналогічної продукції – цей варіант передбачає повторне виготовлення тієї ж самої продукції, з якої пластик був утворений. Проте цей шлях вимагає високого ступеня чистоти початкових відходів, відсутності сторонніх домішок, стабільного складу та об'ємів сировини. Такі умови виконуються рідко, тому цей метод застосовується лише в окремих випадках (переважно для виробничих відходів).

2. Отримання продукції іншої номенклатури або гіршої якості – це найбільш поширений та ефективний спосіб переробки полімерів. У цьому випадку навіть сировина зі змішаним складом або з незначними забрудненнями може бути використана для виготовлення менш технологічно вимогливих виробів.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Енергетична утилізація (у тексті згадується на рисунку, хоч і не описана прямо) – полягає у спалюванні полімерів з отриманням енергії, але пов'язана з ризиками забруднення повітря токсичними речовинами.

Таким чином, галузь переробки полімерних відходів має величезний потенціал, і її розвиток є важливим кроком на шляху до сталого розвитку, економії ресурсів та зменшення техногенного навантаження на довкілля. Перетворення відходів на ресурс — це не лише шлях до екологічного очищення, а й джерело нових можливостей для промисловості, науки та суспільства в цілому.



Рис. 1.2. Основні напрямки переробки полімерних відходів

Переробка полімерних відходів — це багатоступеневий і складний процес, який починається зі сортування матеріалів за видами сировини, що має ключове значення для подальшої обробки. На цьому початковому етапі відходи розділяють за типами полімерів, оскільки кожен вид пластика має власні фізико-хімічні властивості, температуру плавлення, стійкість до хімічних реагентів тощо. Одночасно з цим відбувається видалення сторонніх неpolімерних включень, таких як металеві елементи (скріпки, кнопки), текстильні нитки, етикетки та інші побутові домішки, що можуть порушити технологічний цикл переробки.

Особливий підхід застосовується до ПЕТФ-пляшок (з поліетилентерефталату), які сортуються не тільки за матеріалом, а ще й за кольором, адже домішка навіть незначної кількості кольорового ПЕТ може зіпсувати прозорість або колір готової вторинної продукції. Додатково

проводиться механічне очищення тари – видалення залишків рідин, етикеток, пробок, що значно підвищує ефективність наступних стадій переробки.

Надзвичайно важливим є розділення несумісних між собою полімерів, наприклад, домішка ПВХ до поліетилену високого тиску (ПЕВТ) навіть у концентрації до 5% може призвести до значного погіршення якості отриманого матеріалу та зниження ефективності його переробки. Тому суворе сортування є обов'язковою умовою.

Після сортування пластик передається на подрібнення. Для цього використовують спеціалізовані подрібнювальні машини: шнекові, валкові або роторні дробарки, які подрібнюють великогабаритні відходи до зручних для транспортування й переробки розмірів. Потім маса проходить етап промивання, який дозволяє видалити забруднення, і далі — сушіння.

Цікавим і практичним напрямом є також використання пластикових пляшок без руйнування матеріалу, а саме — зміна їхньої форми. Наприклад, ПЕТФ-пляшки використовуються як будівельний матеріал для формування легких каркасів, покрівель або навіть водопровідних систем. Це дозволяє не тільки уникнути складної переробки, але й повторно використати продукт без додаткових витрат енергії.

Ще один підхід — спалювання полімерних відходів, що, попри енерговіддачу, супроводжується виділенням шкідливих речовин, таких як фурані і діоксини. Тому перед спалюванням матеріал має бути подрібнений, очищений та дозовано введений (до 15%) у спеціальні модифіковані котли. Оскільки при цьому виникає ризик екологічного забруднення, цей метод вимагає особливої уваги до фільтрації та очищення газів.

Таким чином, сучасна система переробки полімерних відходів включає як механічну обробку та вторинне використання, так і термічні методи утилізації, що дає змогу охопити найширший спектр полімерної сировини і мінімізувати її шкідливий вплив на довкілля.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

### 1.3 Теоретичні дані про процеси, що реалізуються в даній технології

Проблема захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) залишається актуальною і критичною для більшості країн світу. Сьогодні основна частина ТПВ утилізується найпростішим, але найменш ефективним способом — шляхом захоронення на спеціально створених полігонах або стихійних сміттєзвалищах. Такий підхід спричиняє численні екологічні, санітарні та соціальні проблеми.

Потрібно відзначити, що для розміщення 1 тонни сміття потрібно щонайменше 3 м<sup>2</sup> площі, а тому полігони займають значні території. Більшість із них (близько 80–90%) працюють із перевищенням встановлених проектних показників, що перевантажує систему утилізації й створює додатковий тиск на навколишнє середовище.

Сміттєзвалища та полігони ТПВ виступають джерелами масштабного забруднення всіх компонентів довкілля — водних ресурсів (гідросфери), ґрунтів (літосфери) та повітря (атмосфери). У товщі полігонів відбуваються складні біохімічні процеси, що супроводжуються виділенням токсичних газів, утворенням небезпечних фільтратів, активним розмноженням мух, гризунів, хвороботворних мікроорганізмів. Фактично, полігони перетворюються на небезпечні "біореактори", які несуть пряму загрозу як екології, так і здоров'ю людей.

Стихійні сміттєзвалища можуть сприяти утворенню галогенових сполук і викидів токсичних газів, таких як діоксини, хлористий водень (HCl), які є надзвичайно небезпечними для живих організмів. Крім побутових відходів, на полігони дозволено звозити до 30% промислових відходів, що лише погіршує ситуацію і ускладнює їх контроль та обробку.

Однією з головних загроз є накопичення фільтрату — це високотоксична, водонасичена маса, яка утворюється внаслідок фільтрації дощової або талої води через шари сміття. Такий фільтрат містить у собі великі концентрації нітратів, сульфатів, розчинних солей важких металів, сполук фосфору, а також канцерогенні органічні речовини та анаеробні патогенні мікроорганізми. Ці речовини просочуються у ґрунтові води й завдають довготривалої шкоди природі.

Для вирішення проблеми відходів, особливо промислового походження, необхідно впроваджувати превентивні заходи на рівні виробництва, тобто зменшувати утворення відходів на ранніх стадіях. Це можливо завдяки використанню найкращих доступних технологій, а також введенню системи комплексних природоохоронних дозволів.

Найефективнішим методом поводження з ТПВ визнано роздільне збирання відходів з подальшим сортуванням, що дозволяє відокремлювати

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19





## 1.4 Вибір та обґрунтування технологічної схеми сортування твердих пластикових відходів

З метою покращення екологічної ситуації в місті Калуш, яке налічує близько 40 000 мешканців, на базі Калуського трубного заводу було ініційовано проєкт розробки та впровадження системи роздільного збору твердих побутових відходів (ТПВ) з подальшою їх переробкою. Такий підхід дозволяє не лише суттєво зменшити екологічне навантаження на довкілля, а й раціонально використовувати відходи, перетворюючи їх на корисні вторинні ресурси.

У результаті реалізації запропонованої технологічної схеми поводження з ТПВ передбачається ефективне вилучення таких цінних матеріалів, як:

- скло,
- чорні та кольорові метали,
- макулатура,
- полімерні матеріали,
- органо-мінеральні добрива,
- біогаз (який може бути використаний як альтернативне джерело енергії).

Під час розробки цього проєкту було дотримано всіх чинних екологічних норм і стандартів, що забезпечує його відповідність вимогам сталого розвитку та охорони довкілля.

Запропонована схема збору і переробки ТПВ передбачає наступні етапи:

1. Роздільне збирання відходів у спеціально призначені контейнери. При цьому враховується поділ на габаритні та негабаритні відходи, що дозволяє ефективніше організувати збір і подальше транспортування.

2. Габаритні відходи поділяються на шість основних категорій, кожна з яких збирається в окремий контейнер:

- перший контейнер — харчові (органічні) відходи;
- другий — скляна тара та вироби зі скла;
- третій — метали (як чорні, так і кольорові);
- четвертий — папір і картон (макулатура);
- п'ятий — полімерні відходи (пластик, пакування тощо);
- шостий — залишкові, неідентифіковані або змішані відходи, які не підлягають сортуванню.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3. Перевезення зібраних і відсортованих відходів до переробного підприємства, розташованого на Калуському трубному заводі або поруч.

4. Переробка відходів, які мають належну якість і придатні для повторного використання. Це дає змогу:

- скоротити кількість сміття, яке потрапляє на полігони;
- зменшити шкідливий вплив на ґрунти, повітря і водні ресурси;
- заощадити кошти на видобуток нових природних ресурсів.

Таким чином, реалізація системи роздільного збору і переробки відходів у місті дає змогу зменшити навантаження на полігони для сміття, підвищити рівень екологічної безпеки, а також створює нові можливості для економічного розвитку шляхом повторного використання цінних компонентів із відходів.

Крім екологічного ефекту, система має й економічну вигоду, адже дозволяє зменшити залежність від первинних ресурсів, знизити витрати на утилізацію, а також створити робочі місця у сфері збору, транспортування та переробки ТПВ.

Важливо також зазначити, що місто Калуш має розвинену інфраструктуру, яка включає:

- заклади освіти,
- установи охорони здоров'я,
- транспортні вузли,
- комунальні служби та інші об'єкти.

Саме ці інфраструктурні елементи є основними джерелами утворення твердих побутових відходів, тому їх облік є важливим у плануванні логістики збору та сортування сміття.

У додатках до проекту (таблиця 1.1 та таблиця 1.2) подано:

- перелік основних джерел утворення відходів;
- середньорічні норми накопичення ТПВ для кожного типу об'єктів;
- розрахунок загального обсягу утворення відходів у місті.

У підсумку, проект, що реалізовується на базі Калуського трубного заводу, є прикладом екологічно відповідального та економічно доцільного підходу до управління ТПВ у межах невеликого міста. Його реалізація може стати зразковою моделлю для впровадження в інших регіонах України.

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

## 1.5 Вибір конструкції установки для подрібнення твердих пластикових відходів

Пластикові відходи – це неорганічні відходи, які неможливо компостувати природним шляхом, і які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища, якщо їх неправильно контролювати, наприклад: забруднювати повітря, воду та ґрунт, порушувати харчовий ланцюг, вбивати тварин та багато іншого. Щоб вирішити цю проблему, буде створено машину для переробки пластику, яка допоможе в процесі переробки, перетворюючи пластик на інші продукти, такі як вази, тротуарна плитка тощо.

Машина для подрібнення пластику складається з кількох функціональних частин, які працюють одночасно для переробки пластику, що перетворюється на дрібні частинки пластику. Машина для подрібнення пластику складається з різаків, валів, шестерень, муфти, двигуна та бункера.

Процес проектування машини можна розпочати з визначення того, що необхідно для роботи або використання машини, і він буде розвинений у деякі функціональні блоки, що описують шлях входу та виходу. Кроки розробки методу Паля та Бейтца складаються з 4 фаз, які поділені на кілька кроків у кожній фазі (рис. 1.4), а саме:

- a. Розробка та опис роботи;
- b. Розробка концепції продукту;
- c. Проектування втілення продукту;
- d. Детальний дизайн.

Далі концепція продукту використовується для того, щоб переконатися, що ця концепція краща за інші (рис. 1.5).

Альтернатива 1 = A1 (2) – B1 (2) – C1 (15) – D2 (13) – E2 (15) – F1 (7) – G1 (4) – H2 (7) – I1 (2) = 67

Альтернатива 2 = A1 (2) – B1 (2) – C2 (14) – D1 (20) – E1 (17) – F2 (6) – G1 (4) – H1 (6) – I2 (3) = 74

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Альтернатива 3 = A1 (2) – B1 (2) – C3 (11) – D3 (12) – E3 (8) – F3 (5) – G2 (2) – H1 (6) – I2 (3) = 51

Альтернатива 4 = A1 (2) – B1 (2) – C2 (14) – D2 (13) – E2 (15) – F2 (6) – G1 (4) – H2 (7) – I2 (3) = 65

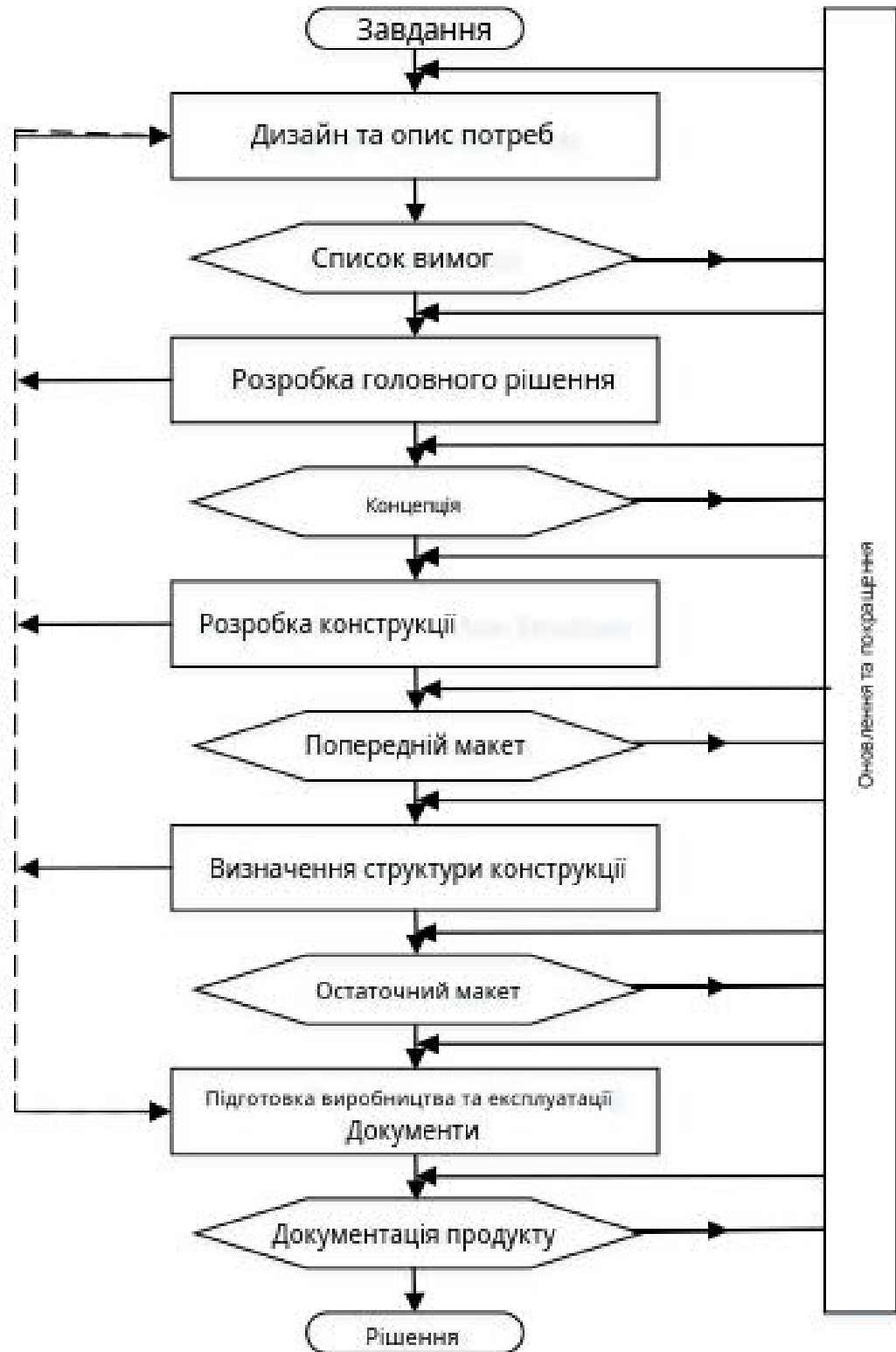


Рисунок 1.4. Процес проектування блок-схеми.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

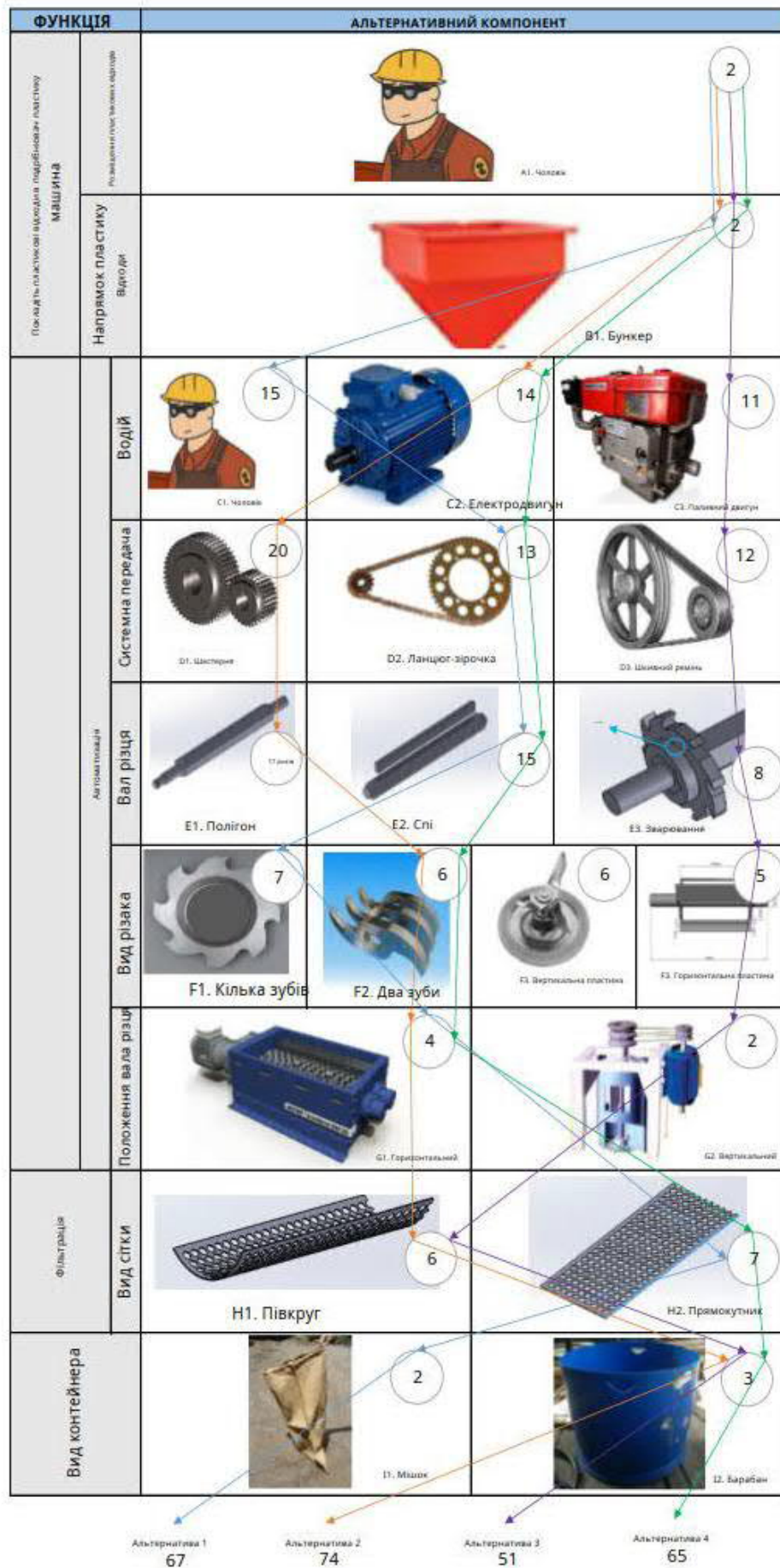


Рисунок 1.5. Альтернативні варіанти компонентів.

Виходячи з альтернативної концепції продукту, одну альтернативу було обрано як альтернативу 2 зі значенням 74. Потім вона розгортається до повної концепції продукту.

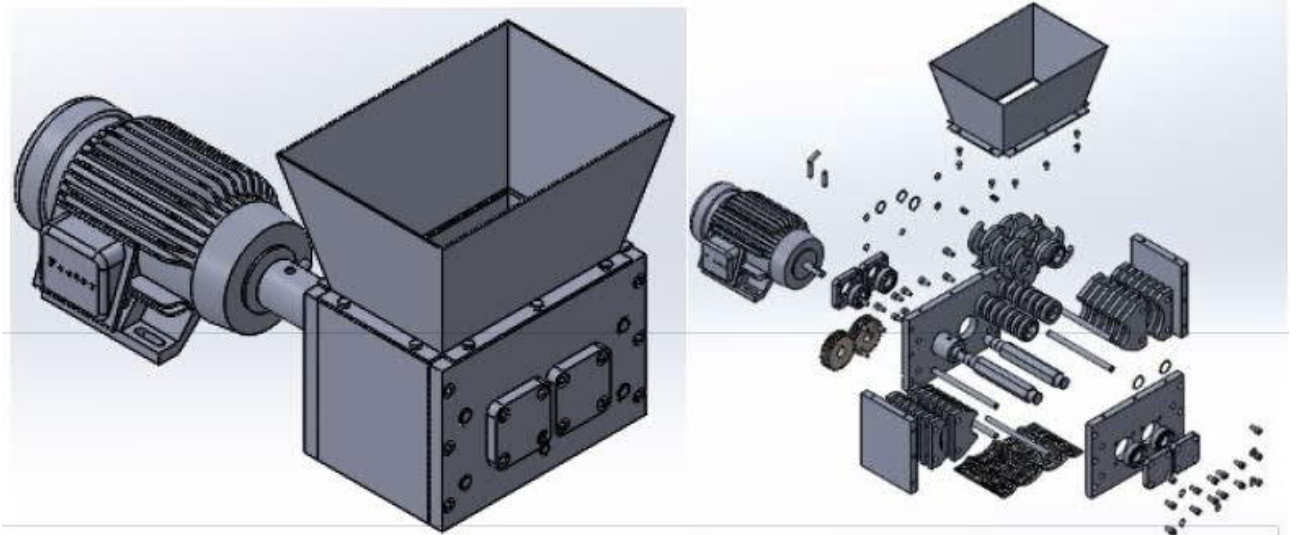


Рисунок 1.6. Альтернативний концептуальний продукт:

а – збірка концептуального продукту;

б – рознесений вигляд концептуального продукту

Вал у шредері оснащений набором лез та ножів для різання. Для потужного або великого шредера може знадобитися більше одного вала, щоб збільшити продуктивність різання та пришвидшити процес. Однак для шредера малого та середнього масштабу достатньо мати один або два вали. Було задокументовано кілька конструкцій шредерів малого та середнього масштабу. Наприклад, кожне лезо може мати 3 зубці з кутом різання  $56^\circ$ . Два вали обертаються в протилежних напрямках один до одного. До бокової частини корпусу шредера прикріплено трикутне виступаюче пристосування, щоб закрити зазор між лезами та проштовхнути пластиковий матеріал у зазор між обертовими лезами.

Приклад двовального шредера показано на рисунку 1.6 а.

						БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			27

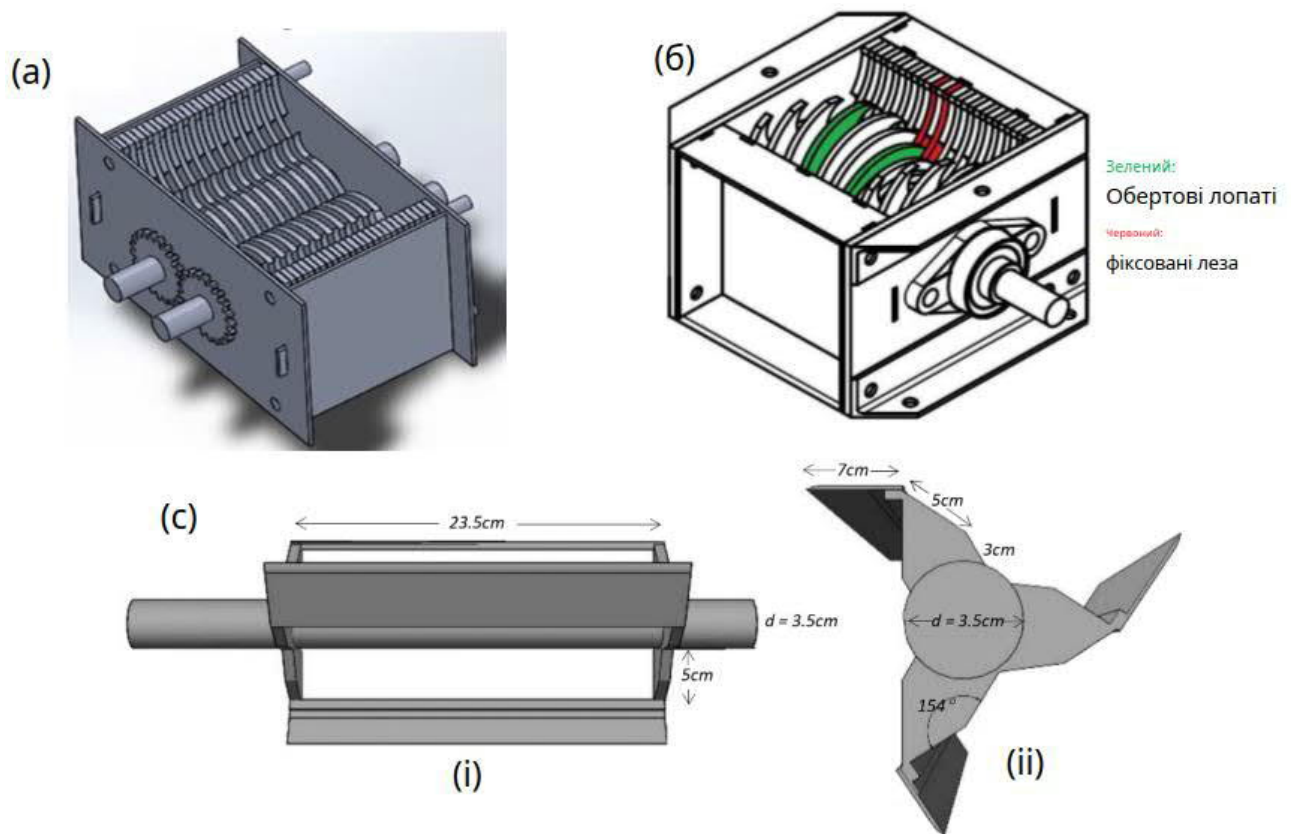


Рисунок 1.6. а – Два вали, б – одинарний вал та с – Одинарний вал з горизонтальною лопаттю; і – вигляд збоку та іі – вигляд спереду

Леза, що використовуються в шредерах, мають різну геометрію. Якщо леза не підходять, шредер може не подрібнювати твердіші предмети, або ж може статися засмічення машини, що призведе до зміни напрямку обертання.

Кількість ріжучих крайок або зубів змінює точку контакту під час різання та розподіл сил вздовж деталі, що безпосередньо впливає на продуктивність машини. Збільшена кількість зубів збільшує швидкість різання, проте також може збільшити ризик проскакування матеріалу на верхню частину леза.

Комплекти шестилезних лез (рис. 1.7 а) використовують в двовалових подрібнювачах. Більша кількість крайок не забезпечує кращої продуктивності подрібнення, але збільшує ймовірність проскакування та намотування предметів на верхню частину ріжучого леза.

						БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			28

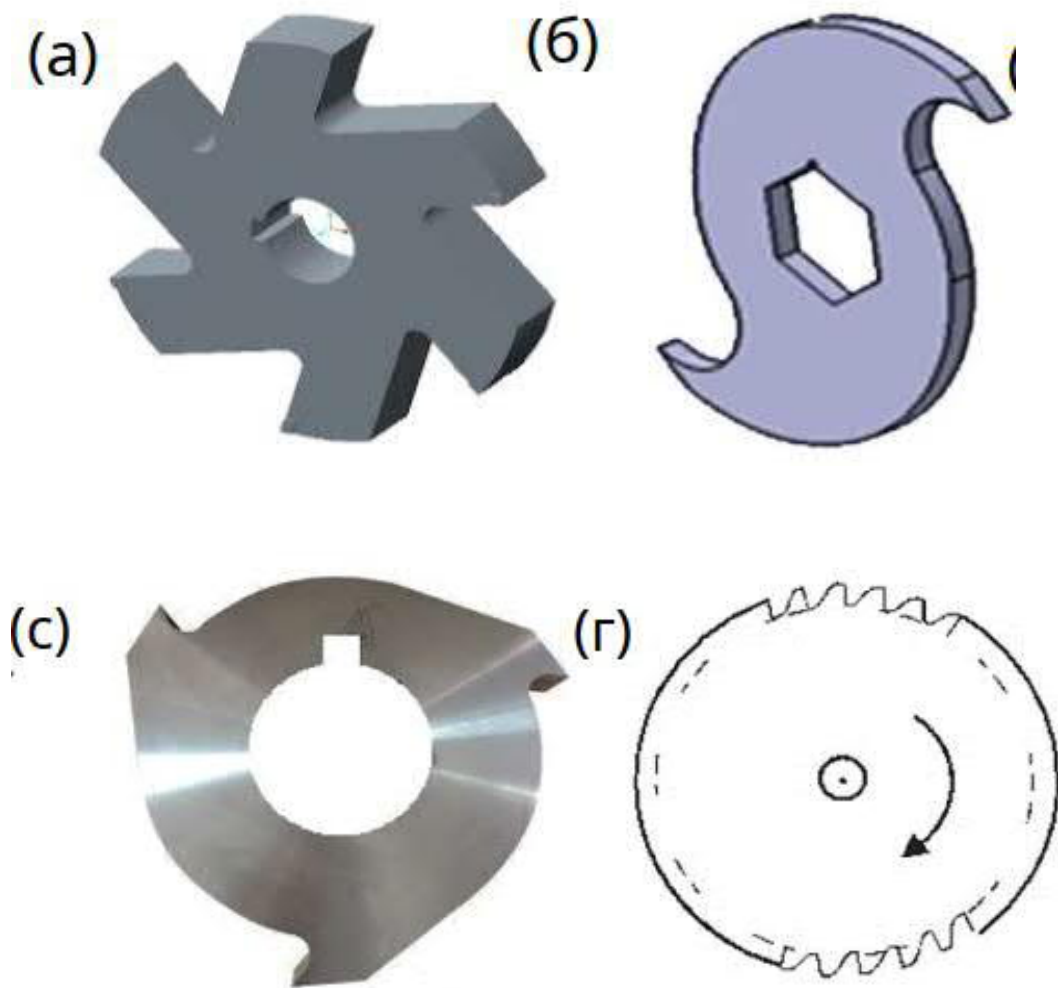


Рисунок 1.7. а – Ніж з шістьма лезами, б – Ніж з двома лезами, с – Ніж з трьома лезами та d – Леза з пилкоподібними зубцями

Використання багатолезових ножів має недолік, оскільки леза не ріжуть, а ігнорують матеріал, не розрізаючи. Більше того, під час подрібнення твердого матеріалу леза мають тенденцію повертатися проти обертання вала, перш ніж обертатися та знову вдаряти по тій самій поверхні. Дволезові ножі працюють ефективно, зі скороченим робочим часом. Трилезійні леза також добре працюють і можуть подрібнювати пластик.

Цікавий дизайн ножа може містити замість лез із певною кількістю кромки, натомість кожне лезо має зубці у формі PV (рис. 1.7d). Леза були встановлені на подвійному валу, який обертається в будь-якому напрямку. Випробування з подрібнення пластикових матеріалів показали задовільну продуктивність різання для матеріалів типу HDPE, PVC та PET, але нижчу

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

ефективність різання для матеріалів типу LDPE через низьку міцність на вигин та модуль згину LDPE. Збільшення швидкості обертання валу ще більше знижує ефективність.

Ще однією важливою характеристикою леза є кут різання, який визначається як кут між гачком/зубцями та основною конструкцією леза, як показано на рисунку 1.8.

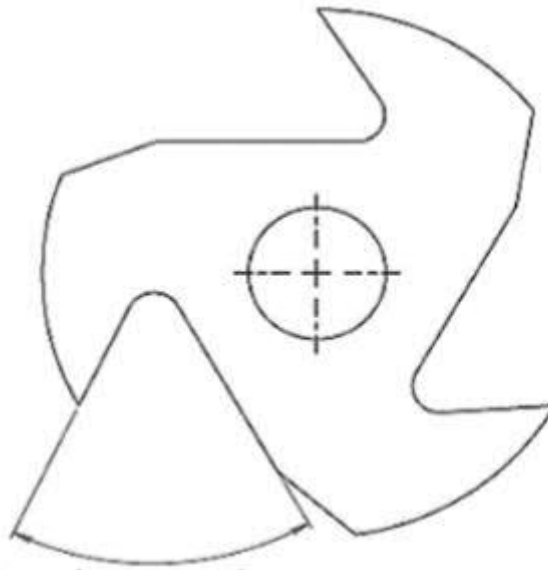


Рисунок 1.8. Принципова схема потрійного ножа, що показує кут різання.

Більший кут різання забезпечує більшу площу захоплення, що забезпечує кращу продуктивність різання при більшій силі подрібнення. Кут різання в діапазоні від  $50^{\circ}$  до  $80^{\circ}$  широко використовується для лез подрібнювачів.

Поверхня захоплення важлива для забезпечення достатньої площі захоплення матеріалу, що подрібнюється, щоб уникнути нерозрізаного матеріалу. Існує два типи поверхні захоплення: криволінійна та плоска поверхня захоплення, як показано на рисунку 1.9 а та 1.9 б відповідно.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



плоскій поверхні захоплення, як показано на рисунку 1.9 d. Отже, очікується, що ці ділянки з часом зношуватимуться та потребуватимуть заміни.

Під час проектування відповідного леза для використання в подрібнювачі слід враховувати товщину лез. Товщина лез впливає на силу подрібнення, концентрацію напружень на ріжучих кромках та коефіцієнт запасу міцності лез. Крім того, вона також впливає на питому енергію різання та ефективність подрібнення шредера. Товстіші леза міцніші та забезпечують більший вихід пластівців. Для розрахунку напружень та деформацій по всій структурі лез застосовують метод скінченних елементів за допомогою ANSYS або програм аналогів. Детальні конструктивні особливості лез та структурний аналіз, включаючи деформацію, напруження зсуву (еквівалентне напруженню фон Мізеса) та деформацію зсуву для різної товщини та конструкції лез, товщини та розміру леза залежатимуть від розміру подрібнювача та типу матеріалу, що подрібнюється. Необхідно проводити систематичні дослідження, щоб визначити вплив товщини леза на продуктивність подрібнювачів та термін придатності леза.

У шредера леза встановлені на обертових одно- або двовалових валах, з проміжками між лезами. Під час роботи шредер зазвичай спрямовує матеріал, що подрібнюється, між двома наборами лез, розташованими вздовж двох паралельних осей. Кожен набір лез переплітається з перекириваючими радіусами протилежних осей. Різання виконується на межі двох протилежних наборів лез. Леза можуть бути розташовані в певній орієнтації, приклади показано на рисунку 1.10.

Лопаті зі спіральною орієнтацією, як правило, пропускають матеріал у верхній частині лопатей. Пластикові відходи плавляться через тепло, що накопичується внаслідок стиснення, коли матеріал зміщується в один бік через спіральну орієнтацію лопатей. Однак, зміна орієнтації лопатей вирішує цю проблему. На рисунку 1.11 показано орієнтацію двох лопатей в оновальній подрібнювальній машині. У ситуації (а) лопаті торкаються

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

пластику та не дають наступній лопаті його захопити, проте в ситуації (b) наступні лопаті можуть захопити матеріал.

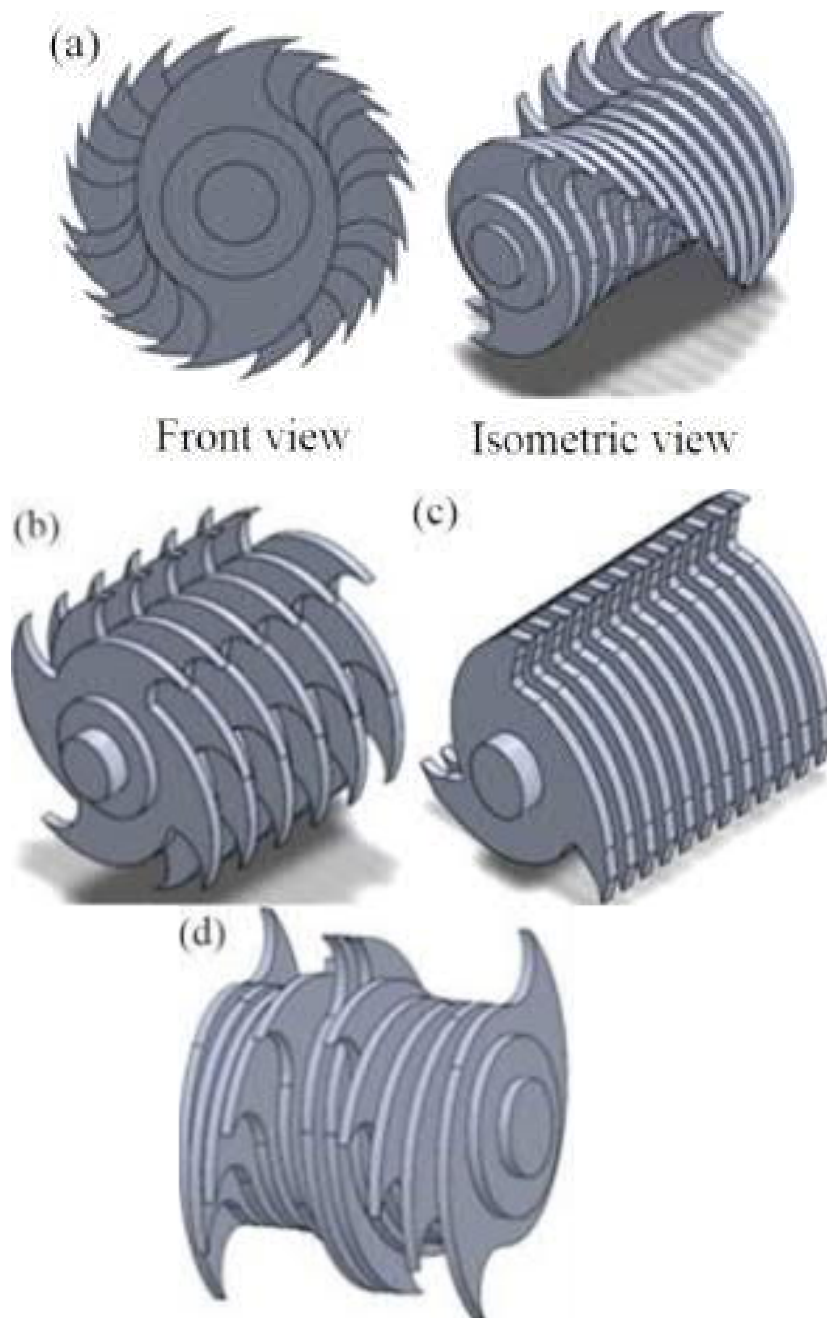


Рисунок 1.10.Обертвий вал з:

а – Двореберною спіраллю, б – Чотиристороннім зигзагом,  
 в – Триреберним рядом, та d – V-подібна орієнтація з двох ребер.

Розмір подрібнених частинок залежить від відстані між різачками або від зазору між перекриваючимися лезами. Таким чином, для двовалових

						БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			33

подрібнювачів зазор різака – це зазор між різаком двох обертових валів, тоді як в одноваловому подрібнювачі зазор різака – це зазор між обертовим валом і нерухомим різаком. Зазор між перекриваючимися лезами встановлюється оптимально для досягнення найефективнішого зсуву. Якщо зазор занадто великий, пластиковий матеріал має тенденцію застрягати між лезами та прокладками, що призводить до тертя. Таким чином, для отримання потрібного розміру пластикової гранули після подрібнення основними параметрами, що потребують регулювання, є відстань між лезами та прокладками.

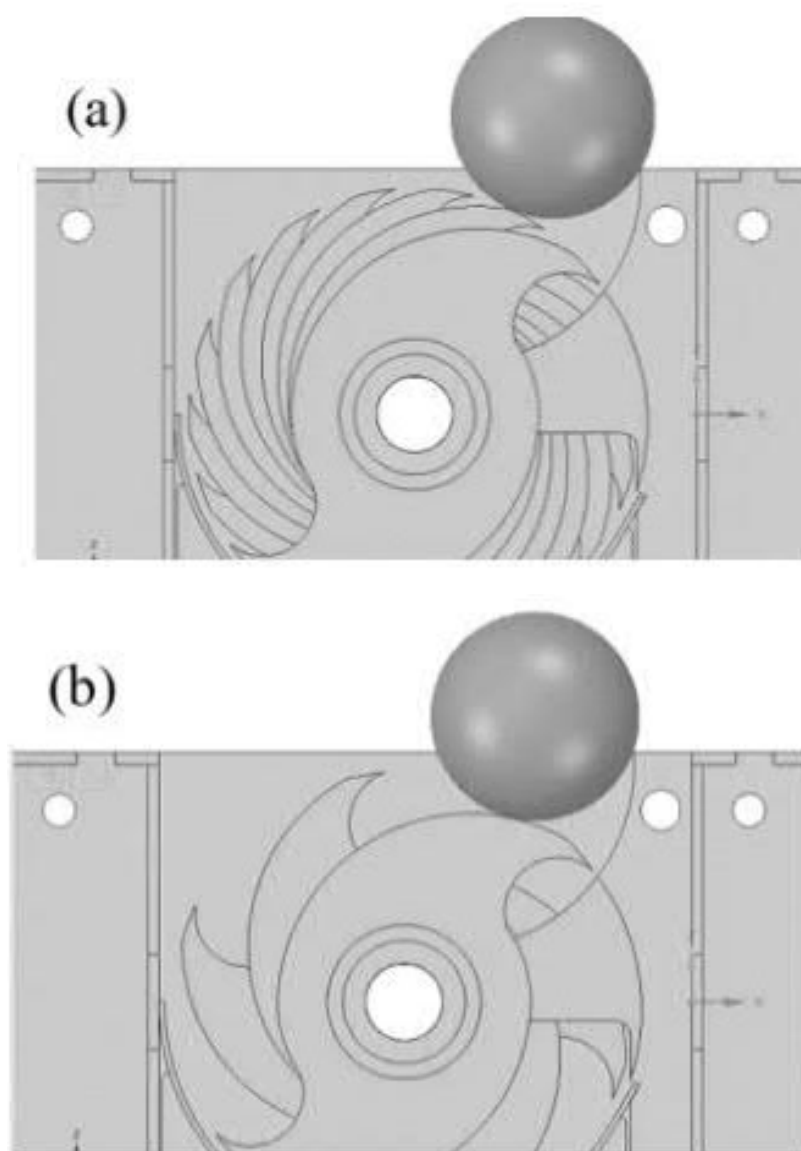


Рисунок 1.11. Подрібнювач з розташуванням лез:

a – Спіраль; b – Неспіральний

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

### 2.1 Розрахунок та аналіз сил, що діють на установку

Сила.

Вибрана конструкція має два види сили: силу натягу та силу зсуву.

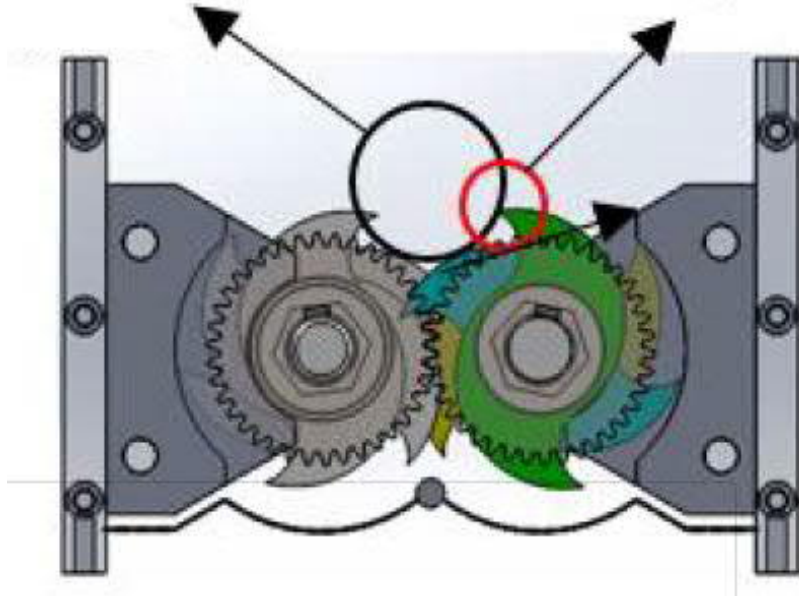


Рисунок 2.1. Сила натягу

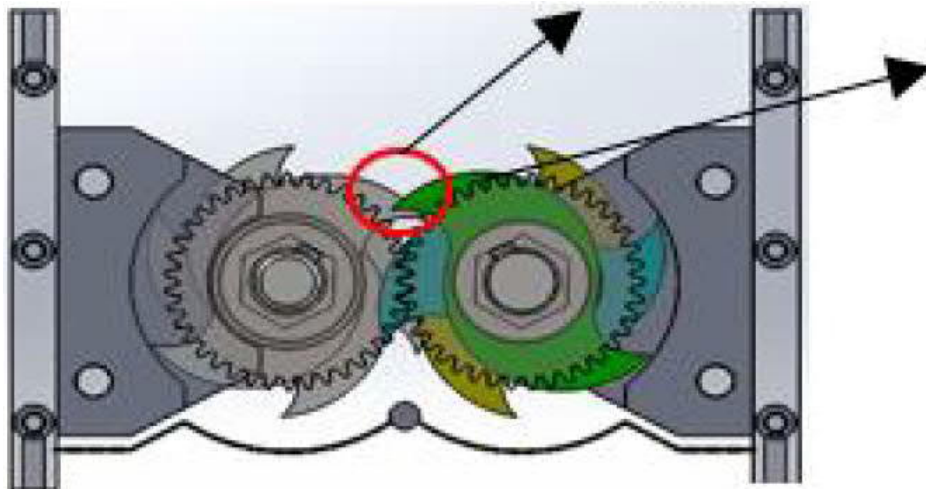


Рисунок 2.2. Сила зсуву

Формула зсувної сили для лопатей, що використовується, така:

$$F = 0.6 \times UTS \times \epsilon \sigma \frac{\tau^2}{2 \times \tan \varphi}$$

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Крім того, формула сили натягу для використовуваних лопатей становить

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Сила зсуву становить 1,732 [Н] на зуб, а сила натягу  $P (F_t) = 177,675$  [Н] на зуб.

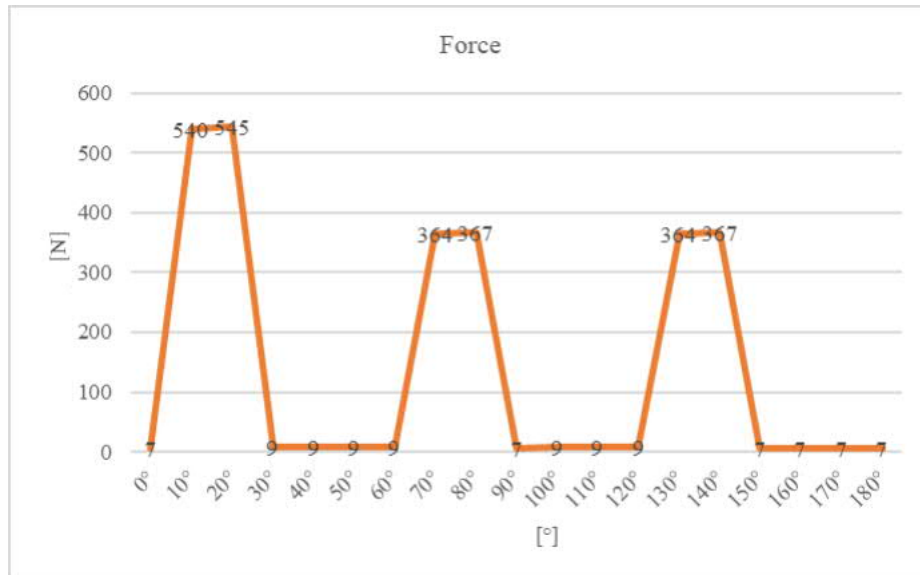


Рисунок 2.3. Сила на валу

Найбільша сила, що виникає в положенні 20°, становить 545,149 [Н].

Крутний момент машини.

Сила, що діє на різець, створює крутний момент, а діаметр становить 100 [мм].

Використана формула крутного моменту така:

$$T = F d$$

У цьому випадку крутний момент машини становить 27,257 [Нм]. Коли двигун обертається, що призводить до тертя, нагрівання тощо, отриманий крутний момент додається до втрат у розмірі 25% від попередніх результатів крутного моменту, що становить 34,07125 [Нм].

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

## 2.2 Вибір електродвигуна та кінематичний розрахунок приводу.

Джерелом енергії приводу є електродвигун.

Коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4^2 = 0,99 \cdot 0,96 \cdot 0,95 \cdot 0,99^2 = 0,88. \quad ([1],$$

с.271)

де  $\eta_1$  - ККД муфти (табл.2.1, див.розд.2);

$\eta_2$  - ККД закритої циліндричної косозубої передачі;

$\eta_3$  - ККД відкритої конічної передачі;

$\eta_4$  - ККД пари підшипників.

Розрахункова потужність двигуна

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta} = \frac{960}{0,88} = 1090 \text{ Вт} \quad ([1],$$

с.271)

де  $P_{\text{вих}}$  – потужність на вихідному валі приводу, Вт.

В табл.А.1 (додаток А) вибираємо за розрахунковою потужністю  $P_{\text{дв.р}}$  двигун асинхронний короткозамкнутий серії 4А71В2, закритий продувний потужністю  $P_{\text{дв}} = 1,1$  кВт з синхронною частотою обертання вала  $n_c = 3000$  хв<sup>-1</sup> і ковзанням  $s = 6,3\%$ .

Визначаємо передаточне число приводу та його ступенів.

Передаточне число приводу

$$u = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{3000}{118} = 25.3 \quad ([1], \text{ с.271})$$

З іншого боку

$$u = u_1 \cdot u_2 \quad ([1], \text{ с.271})$$

де  $u_1$  - передаточне число циліндричної передачі,

$u_2$  - передаточне число конічної передачі.

Призначаємо передаточні числа двоступеневого редуктора, з стандартного ряду (табл. 2.2, див. розд. 2)  $u_1 = 6,3$ , а конічної призначаємо 4.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u = u_1 \cdot u_2 = 6.3 \cdot 4 = 25.2$$

Кутова швидкість і крутний момент на валу двигуна

$$n_{\text{дв}} = 3000 \text{ об/хв}$$

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с} \quad ([1],$$

с.271)

$$P_{\text{дв}} = 1100 \text{ Вт}$$

$$T_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{1100}{314} = 3.5 \text{ Нм} \quad ([1],$$

с.271)

Перший вал (швидкохідний вал редуктора)

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 3000 \text{ об/хв};$$

$$\omega_1 = \omega_{\text{дв}} = 314 \text{ рад/с};$$

$$\eta_1 = \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{підш}} \cdot \eta_{\text{ред}} = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.96 = 0.94$$

$$\eta_1 = \frac{P_1}{P_{\text{дв}}}; \quad P_1 = \eta_1 \cdot P_{\text{дв}} = 0.94 \cdot 1100 = 1034 \text{ Вт} \quad ([1],$$

с.271)

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{1034}{314} = 3.29 \text{ Нм} \quad ([1],$$

с.271)

Другий вал (тихохідний вал редуктора)

$$n_2 = \frac{n_1}{u_1} = \frac{3000}{6.3} = 476 \text{ об/хв}; \quad \omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3.14 \cdot 476}{30} = 49.84 \text{ рад/с};$$

$$\eta_2 = \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{підш}}^2 \cdot \eta_{\text{кон}} = 0.99 \cdot 0.96 \cdot 0.99^2 \cdot 0.95 = 0.9$$

$$P_2 = P_{\text{дв}} \cdot \eta_2 = 1100 \cdot 0.9 = 990 \text{ Вт} \quad ([1],$$

с.272)

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{990}{49.84} = 19.86 \text{ Нм}. \quad ([1],$$

с.272)

Третій вал (вихідний вал приводу)

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$n_3 = n_{\text{вих}} = 118 \text{ об/хв}; \quad \omega_3 = \frac{\pi \cdot n_3}{30} = \frac{3,14 \cdot 118}{30} = 12,35 \text{ рад/с};$$

$$\eta_3 = \eta = 0,88$$

$$P_3 = P_{\text{ое}} \cdot \eta_3 = 1100 \cdot 0,88 = 968 \text{ Вт} \quad ([1],$$

с.272)

$$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{968}{12,35} = 78,38 \text{ Нм} \quad ([1],$$

с.272)

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## 2.3 Розрахунок пристрою в середовищі Solidworks Simulation.

SolidWorks Simulation (COSMOSWorks) – універсальний інструмент для аналізу методом кінцевих елементів. SolidWorks Simulation існує в трьох конфігураціях: власне SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation Professional та SolidWorks Simulation Premium. Однак, навіть в мінімальній конфігурації модуля міцнісного аналізу забезпечується повноцінний статичний аналіз, як деталі, так і збірки з використанням кінцевих елементів твердого тіла, поверхонь і балок. Реалізовано різноманітні контактні умови і всілякі віртуальні з'єднувачі.

Модуль SolidWorks Simulation дозволяє проводити інженерні розрахунки і моделювати різних впливи навколишнього середовища на виріб.

Основними особливостями SolidWorks Simulation є: лінійний аналіз, втомний аналіз металу, нелінійний аналіз, теплової аналіз, частотний аналіз, аналіз виробів з пластмаси і гуми, динамічний аналіз і ін.

Лінійний аналіз напружень дозволяє Solidworks-дизайнерам і інженерам швидко і ефективно перевірити якість, продуктивність і безпеку ще при створенні їх дизайну [14, 15].

Лінійний аналіз напружень за допомогою SolidWorks Simulation може бути невід'ємною частиною процесу розробки, що знижує потребу в дорогих прототипах, виключає доопрацювання і затримки, а також економить часу і витрати на розробку. За допомогою такого аналізу можливо обчислювати напруги і деформації геометрії, такі як: деталь або збірка під навантаженням, яка деформується з невеликими поворотами і переміщеннями, статичні навантаження виробу (не враховуючи інерції) і постійні навантаження, матеріал під постійною напругою деформації (закон Гука).

Так як промислові компоненти виконуються переважно з металу, аналіз металевих компонентів може бути виконано за допомогою лінійного або нелінійного аналізу напружень. Аналіз неметалічних компонентів (наприклад, пластмаси або гумових деталей) повинен здійснюватися з використанням

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

методів нелінійного аналізу напружень, через їх складний взаємозв'язок деформації і навантаження.

Нанесемо робочі умови на дану рижучу пластину Після отримання результатів ми можемо оцінити в яких місцях та де саме знаходяться найбільші напруження. Вал та рижуча пластина на даному етапі не піддаються деформації

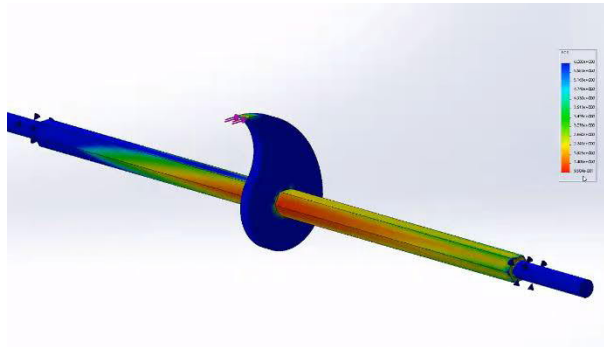


Рисунок 2.4 – Стан ріжучої пластини при оптимальних режимах різання для пластику в Solidworks simulation [15]

Для порівняння поставимо твердість та швидкість обертання в 10 раз більше за робочі умови.

Після отриманих напружень ми можемо порівняти результати. Побачити що стається з ріжучою пластиною та самим з'єднанням на ваді під дією високої твердості подрібнюючого матеріалу та швидкості, де саме і в яких місцях піддаються найбільші деформації.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 2.4 Вибір конструктивної схеми розроблюваного пристрою

Відома валкова дробарка з валково-зубчастим механізмом ламання, що містить рознімний корпус з приймальним вузлом, привідний механізм та валковий механізм, який змонтований з можливістю зустрічного обертання на підшипникових опорах і виконаний у вигляді двох однакових валів із нерухомо встановленими на них наборами дисків зі вставними зубами на периферії, причому регулювання зазору здійснюється за рахунок регулювання міжосьової віддалі між валами і за рахунок зубчастої передачі привідного механізму з великим модулем зубів [16].

Конструкція цього пристрою має обмежений кут захвату матеріалу, який подрібнюють зубчастими дисками, а така схема розташування зубчастих дисків не забезпечує можливості ефективного подрібнення полімерних матеріалів.

Відомий також пристрій для подрібнення великогабаритних гумових відходів, що містить корпус з встановленими в одній горизонтальній площині, з можливістю зустрічного обертання валів з дисковими ножами, між якими встановлені розпірні втулки, периферійна поверхня дискових ножів виконана із зубчастою нарізкою, привод обертання валів одного рівня забезпечує можливість їх обертання з різними кутовими швидкостями, в одному корпусі розташовані два або більше комплектів валів з дисковими ножами, при цьому верхня частина зуба кожного наступного дискового ножа на тому ж валу зміщена відносно верхньої частини зуба попереднього диска на величину  $2\delta/K$ , де  $\delta$  - крок зубчастої нарізки;  $K$  - загальна кількість дискових ножів на кожному валу [17].

Однак даний пристрій має істотний недолік - утруднена подача пластикових пляшок у зону різання внаслідок малого кута їх захвату дисковими ножами і, як наслідок цього, низька продуктивність подрібнення полімерних матеріалів. Крім цього зазначений пристрій не забезпечує можливості регулювання розмірів фрагментів, одержаних із пластикових пляшок у процесі їх подрібнення.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42





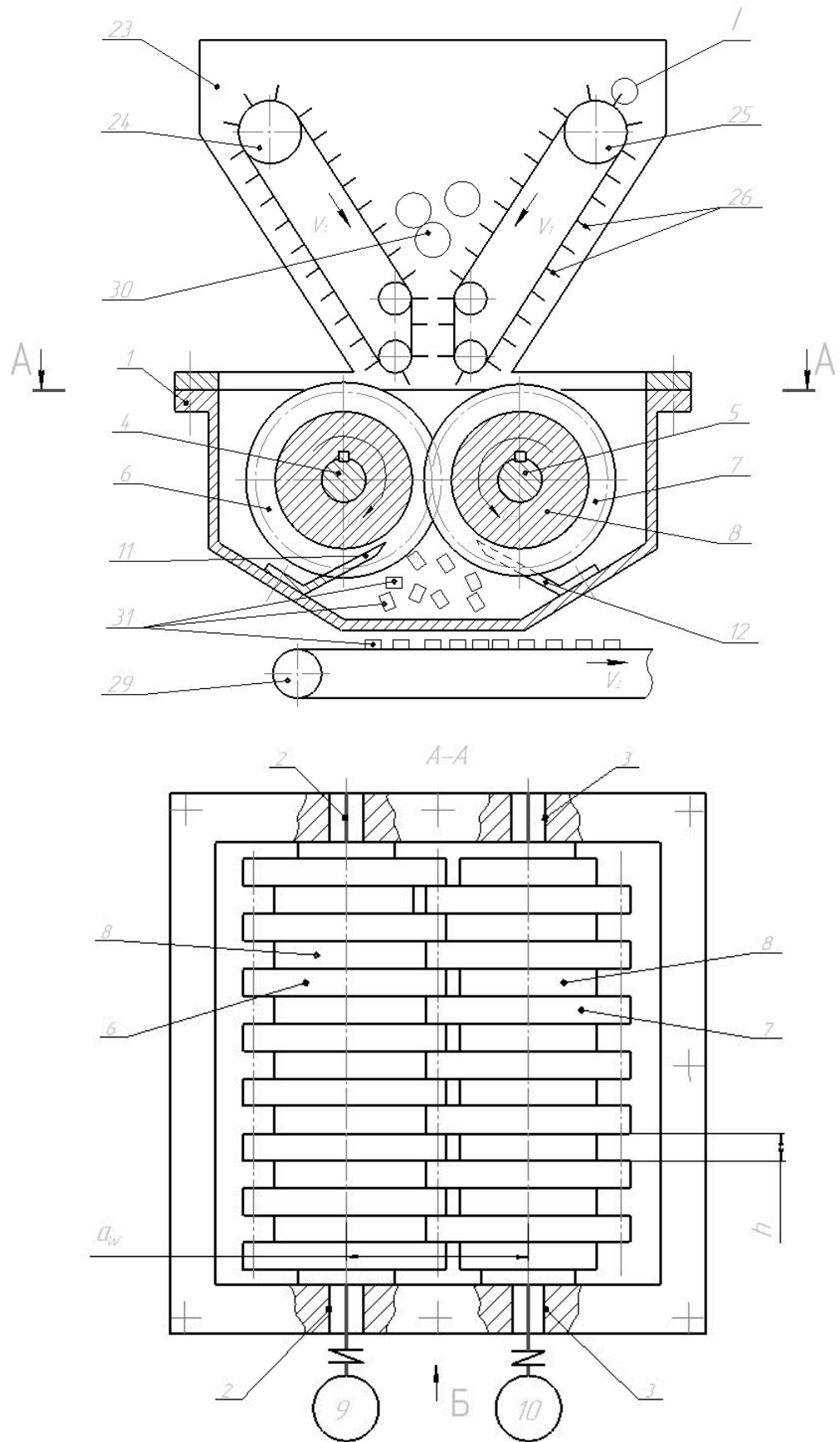


Рисунок 2.5 – Загальна схема пристрою [19]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.0099.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

Для покращення умов захвату пластикових пляшок на двох ланцюгових транспортерах 24 і 25 у радіальному напрямку до більших бокових поверхонь їх металевих пластин 26 нерухомо прикріплені ряди металевих стержнів із загостреннями пірамідальної форми 27 і 28 відповідно. Ряди цих металевих стержнів із загостреннями пірамідальної форми 27 і 28, які закріплені на протилежних більших бокових поверхнях металевих пластин 26, зміщені один відносно іншого на половину їх кроку розташування  $p/2$  (рис. 2.4). На передній стороні більших бокових поверхонь металевих пластин 26 ряди цих металевих стержнів мають загострення тригранної пірамідальної форми 27, а на задній стороні більших бокових поверхонь металевих пластин ряди металевих стержнів мають загострення чотиригранної пірамідальної форми 28 (за напрямком переміщення робочих органів ланцюгових транспортерів 24 і 25, які рухаються назустріч один одному із лінійними швидкостями  $V_1$ ) (рис. 2.4).

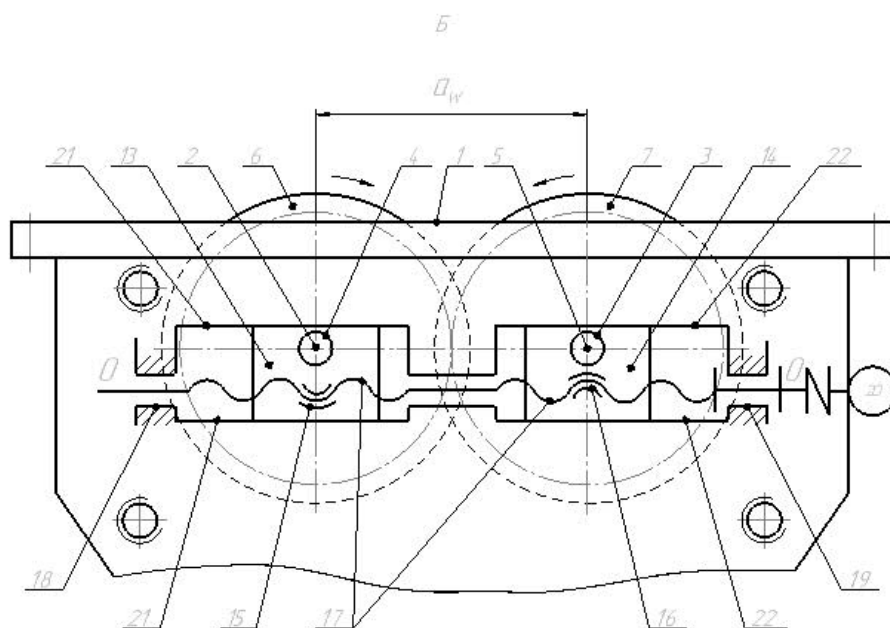


Рисунок 2.6 – Засіб регулювання міжосьової віддалі дискових ножів [19]

Кріплення металевих стержнів із загостреннями пірамідальної форми 27 і 28 на протилежних бокових поверхнях металевих пластин 26 здійснюють будь-яким відомим способом, наприклад паянням, зварюванням, різьбовими з'єднаннями тощо. Для виготовлення металевих стержнів із загостреннями пірамідальної форми 27 і 28 доцільно використовувати зносостійку

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

інструментальну сталь або тверді сплави. Робочу ріжучу частину стержнів із конструкційної сталі слід наплавляти, наприклад, із використанням високотемпературного синтезу, котрий самопоширюється.

Пристрій також може споряджатися, наприклад, стрічковим транспортером 29 або контейнером, вузлом пакування тощо для видалення, отриманих із пластикових пляшок 30 після їх подрібнення, фрагментів полімерного матеріалу 31.

Пристрій для подрібнення пластикових пляшок на фрагменти заданих розмірів працює таким чином.

При вмиканні електричного живлення пристрою забезпечується

– обертання ножових валів 4 і 5 із заданими за величиною та напрямком кутовими швидкостями №1 і № від електроприводів 9 і 10;

- переміщення робочих органів ланцюгових транспортерів 24 і 25, які рухаються назустріч один одному із лінійними швидкостями VI (електроприводи ланцюгових транспортерів 24 та 25).

Для встановлення необхідної міжосьової віддалі а» дискових ножів 6 і 7 вмикають електричне живлення приводів 20, які мають синхронізований обертовий рух, що передається на ходові гвинти 17 із лівою та правою різьбами, встановленими на підшипникових опорах 18 і 19 на корпусі 1. У результаті взаємодії вказаних ходових гвинтів 17 із внутрішніми лівими 15 та правими різьбами 16, виконаними на повзунах 13 і 14, відбувається переміщення останніх по напрямних 21 і 22 у протилежних напрямках разом із підшипниковими опорами валів 4, 5 із дисковими ножами 6 і 7. При обертанні ходових гвинтів 17 навколо горизонтальної осі О - О (коли дивитись зі сторони приводу 20):

- за годинниковою стрілкою - міжосьова віддаль а» дискових ножів 6 і 7 збільшується;

- проти годинникової стрілки - міжосьова віддаль а» дискових ножів 6 і 7 зменшується.

Пластикові пляшки 30 завантажують у механізм подачі 23, що виконаний

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



робочий орган якого рухається із лінійною швидкістю  $V_2$  або в контейнер, і подаються на склад готової продукції або на наступні етапи технологічного процесу переробки.

Можлива інша модифікація пристрою. У пристрої для подрібнення пластикових пляшок, що містить корпус із розташованими в одній горизонтальній площині з можливістю зустрічного обертання валами з дисковими ножами, між якими встановлені розпірні втулки, периферійна поверхня дискових ножів виконана у вигляді зубчастої нарізки, а привод валів одного рівня виконаний з можливістю їхнього обертання із різними кутовими швидкостями, вершина зуба кожного наступного дискового ножа на тому ж валу зміщена відносно вершини зуба попереднього дискового ножа на величину  $28/K$ , де 8 - крок зубчастої нарізки;  $K$  – загальна кількість дискових ножів на кожному валу, знімачі подрібнених фрагментів, що встановлені між дисковими ножами на внутрішній поверхні стінок корпусам, а також оснащений механізмом вертикальної подачі пластикових пляшок у зону різання дисковими ножами, що виконаний у вигляді двох ланцюгових транспортерів, які утворюють бункер-накопичувач, до ланцюгів котрих прикріплені металеві пластини. Відповідно до винаходу знімачі подрібнених фрагментів виконані підпружинними, встановлені на шарнірних опорах, які закріплені на внутрішній поверхні стінок корпусу та мають осі обертання, паралельні до осей обертання валів з дисковими ножами, і взаємодіють ці знімачі подрібнених фрагментів із зовнішньою циліндричною поверхнею розпірних втулок, що розташовані між дисковими ножами на вказаних валах, при цьому до обох більших бокових поверхонь металевих пластин ланцюгових транспортерів нерухомо прикріплені металеві накладки із насічками трикутної форми, які зміщені одна відносно іншої на половину кроку цих насічок трикутної форми, причому бункер-накопичувач додатково оснащений шибером із приводом, зазначений шибер встановлений з можливістю вертикального переміщення по напрямних, котрі нерухомо закріплені на внутрішній поверхні плоских бокових стінок бункера-

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

накопичувача, та розташований у вертикальній площині, яка проходить через вертикальну вісь симетрії цього бункера-накопичувача та перпендикулярна до його плоских бокових стінок, а на вертикальному торці шибера виконана зубчаста рейка, яка через отвір у плоскій боковій стінці бункера-накопичувача взаємодіє із зубчастим колесом приводу, встановленого на зовнішній поверхні стінки вказаного бункера-накопичувача (рис. 2.5– 2,7).

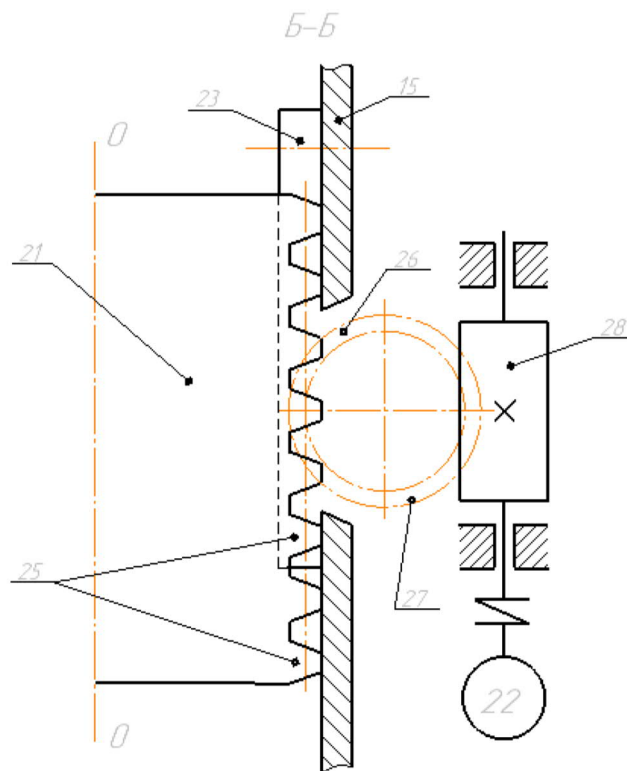


Рисунок 2.6 – Система подачі [20]

Виконання знімачів подрібнених фрагментів підпружинними та їх встановлення на шарнірних опорах, які закріплені на внутрішній поверхні стінок корпусу пристрою, забезпечує постійну їх взаємодію із зовнішньою циліндричною поверхнею розпірних втулок, якісне очищення цих розпірних втулок від залишків полімерних матеріалів, а також і самозаточування вказаних знімачів подрібнених фрагментів.

Оснащення металевих пластин ланцюгових транспортерів металевими накладками із насічками трикутної форми та зміщення цих металевих

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

накладок із насічками трикутної форми, які нерухомо закріплені на протилежних більших бокових поверхнях металевих пластин, одна відносно іншої на половину кроку нарізання насічок трикутної форми  $p/2$  забезпечує надійне захоплення і переміщення пластикових пляшок та інших полімерних відходів ланцюговими транспортерами із бункера-накопичувача у зону різання дисковими ножами.

Оснащення пристрою шибером із приводом дозволяє підвищити ефективність захвату пластикових пляшок металевими пластинами ланцюгових транспортерів, регулювати вертикальну подачу пластикових пляшок у зону різання дисковими ножами, в залежності від розміру перероблюваних пластикових пляшок та інших полімерних відходів, збільшити кут між забірними частинами ланцюгових транспортерів; що в кінцевому результаті забезпечить зростання об'єму бункера-накопичувача та продуктивності переробки полімерних відходів, а також відпадає потреба в синхронізації руху двох ланцюгових транспортерів

Запропонована конструкція пристрою забезпечує покращення умов очищення знімачами подрібнених фрагментів зовнішньої циліндричної поверхні розпірних втулок, захоплення пластикових пляшок металевими пластинами, оснащеними металевими накладками із насічками трикутної форми та заповнення цими пластиковими пляшками робочого простору між вказаними металевими пластинами ланцюгових транспортерів, регулювання вертикальної подачі пластикових пляшок у зону різання дисковими ножами, а також збільшення об'єму бункера-накопичувача. При цьому збільшиться стабільність вертикальної подачі пластикових пляшок у зону різання дисковими ножами, що позитивно вплине на умови роботи та продуктивність пристрою для подрібнення пластикових пляшок та його економічність.

Як показує практика, близько 75 % деталей після розбирання агрегатів, що надійшли до капітального ремонту, мають великий залишковий ресурс і можуть бути використані повторно після відновлення з витратами, що не перевищують 40-60 % вартості нових деталей. Отже, проблема підвищення

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

зносостійкості деталей машинобудування, які працюють в умовах абразивного зношування в агресивних середовищах в цілому є актуальною і вимагає системного підходу та ґрунтовного вивчення [21].

Сучасні підходи до розробки нових безвольфрамкових матеріалів для модифікування поверхневого шару деталей і конструкцій базуються головним чином на розширенні системи легування із використанням 5-10 хімічних елементів, як це має місце для високоентропійних сплавів або застосування високоенергетичних електрофізичних методів впливу на поверхневий шар. Це дозволяє отримувати поверхневі шари із високим рівнем фізико-механічних властивостей, які можуть змінюватися у широкому діапазоні. Тому було прийнято рішення наплавити робочі поверхні ножів для їх зміцнення.

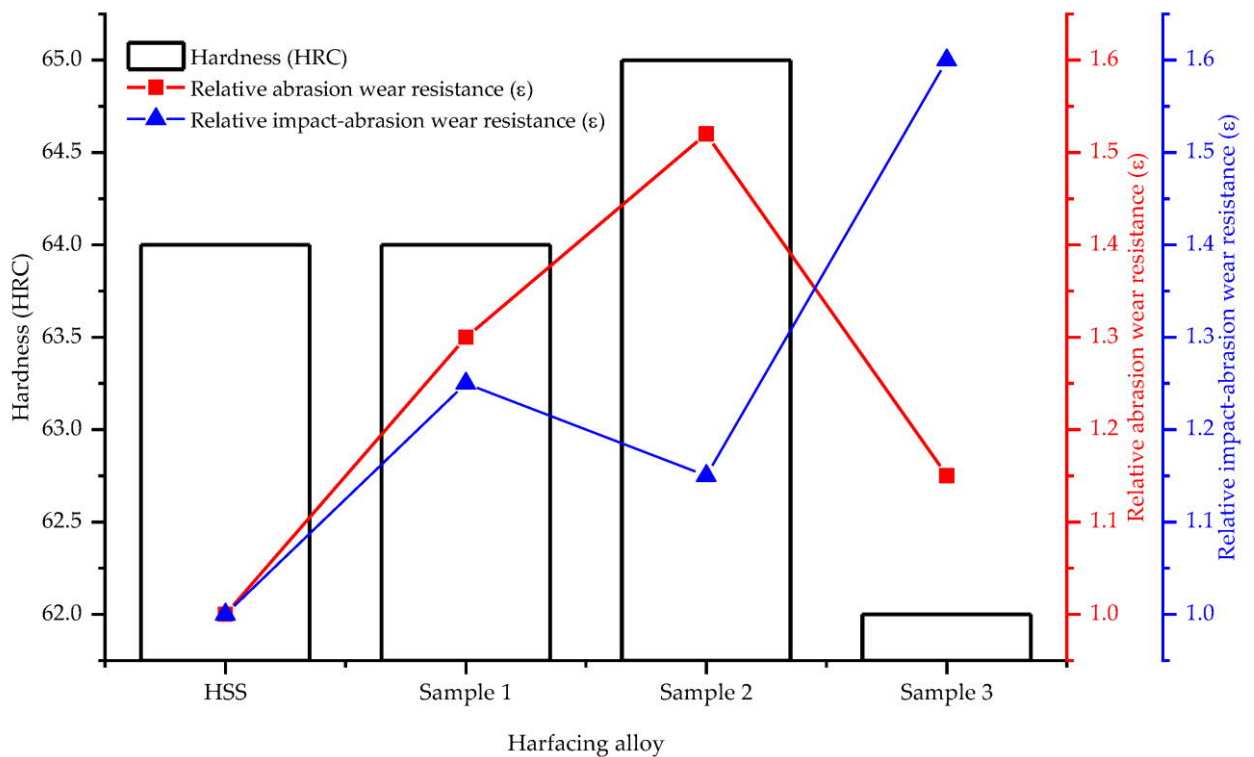


Рисунок 2.7. – Порівняльна таблиця твердості та зносостійкості експериментальних наплавлених сплавів [22].

Застосування пристрою для подрібнення пластикових пляшок на фрагменти заданих розмірів забезпечує значне покращення умов захоплення пластикових пляшок ланцюговими транспортерами, завдяки проколюванню

рядами металевих стержнів із загостреннями пірамідальної форми, якими оснащені металеві пластини. Проколювання забезпечує витікання повітря із пластикових пляшок завдяки чому деформаційно ущільнюються пляшки, що дозволяє покращити заповнення перероблюваними пляшками робочого простору між металевими пластинами і, як наслідок, більш стабільну вертикальну подачу пляшок у зону різання дисковими ножами. Окрім цього забезпечується підвищення продуктивності подрібнення пластикових відходів на фрагменти заданих розмірів із одночасним збільшенням їх питомої поверхні та розширенням асортименту подрібнених фрагментів, а також зниження споживання електричної енергії та затрат на переробку відходів полімерних матеріалів. Крім цього, використання розробленого пристрою, для подрібнення пляшок із пластику, дозволить скоротити кількість джерел забруднення навколишнього природного середовища, очистити і захистити довкілля від полімерних відходів.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## 2.5 Виготовлення та складання розробленої конструкції установки для подрібнення твердих пластикових відходів

Матеріали з полімерів досить давно присутні в нашому житті, і тепер їх можна знайти у будь-якій галузі. Але за рахунок того, що пластик не розкладається звичайним чином, він приносить величезної шкоди навколишньому середовищу.

Позитивним же фактором вважається можливість його вторинної переробки. Для цього пластик спочатку готується і приводиться в потрібне для нього стан, потім його починають подрібнювати. Щоб це здійснити, були створені спеціальні прилади - дробарки (шредери, верстати, спеціальні подрібнювачі). Зробити будь-який з них можна і самостійно.

Зовнішній вигляд конструкції нагадує незвичайні леза на ножицях, вона підходить для роботи з такими різновидами пластика, як акрил, плівка і нейлон, застосовується найчастіше на заводах, де роблять пластмасу, а також на комбінатах по переробці старого матеріалу.

Лазерна різка, на сьогоднішній день представляє собою найбільш передову технологію розкрою листового металу.

Сфокусоване лазерне випромінювання здатне передавати велику кількість енергії в локальну область обробки і нагрівати її до досить високих температур, що дозволяє проводити розкрій з підвищеною продуктивністю і точністю.

Подрібнювач твердих пластикових відходів [15] являє собою набір деталей з листового металу різної товщини, виготовлялись за допомогою лазерної різки.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд шредера

Всі деталі виготовлялись із Сталі 20 – вуглецевої конструкційно сталі, вміст вуглецю 0.2 %.

Для опор та забезпечення обертового руху вала використовуємо покупні корпусні підшипники SKFL 204.

Для вала вибираємо сталь 45 – вуглецеву конструкційну сталь, з вмістом вуглецю 0.45 %. Оскільки ріжучі пластини кріпляться на валі за допомогою профільного з'єднання у вигляді шестигранника, то нам необхідно на токарно-гвинторізному верстаті зточити ступені під підшипника.

Для виготовлення шпоночного пазу на вихідному кінці вала використовуємо інструмент, пальцеву фрезу та закріплюємо на вертикально-фрезерному верстаті.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Після фрезерування необхідно здійснити шліфування ступеней під підшипник, для подальшого їхнього встановлення. Забезпечуємо необхідну шорсткість  $\sqrt{R_a} 1.25$ .

Для з'єднання підкладки підшипникових вузлів і стінки корпусу використовуємо операцію зварювання. Напівавтоматичне зварювання - це вид дугового зварювання, при якому зварювання відбувається завдяки автоматично подаваному в зону зварювання електродного дроту з одночасною подачею в ту ж зону захисного газу.

Створюємо 3D-модель та повну візуалізацію в програмі CINEMA 4D



Рисунок 2.8 – 3D-модель в CINEMA 4D

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## 2.6 Розрахунок графіка ППР

Загальне число робочих годин в нормативах умовно прийнято:

- а) в рік – 8640 год.
- б) в місяць – 720 год.

Таблиця 2.1 - Нормативи на ремонт устаткування машини

№ п/п	Назва обладнання і коротка характеристика	Ресурс роботи між ремонтами, год (Ц)			Тривалість простою в ТО і ремонті г. (Т)			Трудоємність ТО і ремонту людино-годин (Н)		
		КР	ПР	ТО	КР	ПР	ТО	КР	ПР	ТО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Подрібнювач (шредер)	17280	8640	1140	110	50	16	112	18	8

Для побудови графіку ППР розраховують періодичність ТО і ремонтів для неперервного виробництва по формулах:

а) Періодичність ТО і ремонтів визначається по формулі:

$$P_k = \frac{Ц_k}{720} = \frac{17280}{720} = 24 \text{ міс. (2 р.)}$$

де:  $P_k$  – періодичність проведення капітального ремонту;

$Ц_k$  – ресурс роботи між двома кап. ремонтами;

720 – місячний фонд робочого часу.

$$P_{\Pi} = \frac{Ц_{\Pi}}{720} = \frac{8640}{720} = 12 \text{ міс.}$$

де:  $P_{\Pi}$  – періодичність поточних ремонтів;

$Ц_{\Pi}$  – ресурс роботи між двома кап. ремонтами.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57





## ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської роботи було досліджено конструктивні особливості апаратів для подрібнення твердих пластикових відходів, зокрема тих, що утворюються під час 3D-друку. На основі вивчених аналогів та аналізу типових технічних рішень запропоновано власну конструкцію подрібнювача (шредера), адаптованого до потреб малих виробництв, навчальних майстерень та лабораторій, де активно використовуються адитивні технології.

В межах проєкту було:

1. Розроблено функціональну схему переробки твердих пластикових відходів, яка включає стадії збору, подрібнення, сортування та підготовки матеріалу до вторинної переробки або екструзії нової нитки;

2. Обґрунтовано вибір типу механізму подрібнення та його геометричних параметрів на основі аналізу навантажень і властивостей оброблюваного матеріалу;

3. Сконструйовано подрібнювач для полімерів з урахуванням вимог міцності, надійності та простоти виготовлення;

4. Змодельовано 3D-конструкцію пристрою в середовищі SolidWorks, що дозволило візуалізувати всі складові вузли та забезпечити коректну збірку елементів у вигляді єдиного натурального технічного об'єкта;

5. Проведено перевіірочні розрахунки на міцність за допомогою модуля SolidWorks Simulation, що дало змогу визначити критичні зони конструкції, зокрема деформацію ріжучих пластин під дією робочого навантаження, а також навантаження на вал, що обертає ріжучі елементи.

6. Виконано опис системи обслуговування та ремонту подрібнювача, з урахуванням практичної доступності його основних елементів для профілактики та заміни;

Результати моделювання підтверджують працездатність запропонованої конструкції в умовах заданих експлуатаційних режимів. Отримані дані можуть бути використані для виготовлення прототипу пристрою і

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

подальшого експериментального дослідженнями його ефективності та адаптацією до різних типів полімерів.

Таким чином, виконана робота є актуальною з точки зору впровадження замкнутого циклу використання полімерних матеріалів, в тому числі і у сфері 3D-друку та робить практичний внесок у розв'язання проблеми екологічно безпечного рециклінгу.

					БР.0099.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61