

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси»

МКР.08-26.003.00.000.ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ПМ-20м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Крикливий В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ТАМ

Піонткевич О.В.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ

Смирнов Є.В.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13-Механічна інженерія
Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «Вольтаж Груп»
В.В. Николаєнко

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г. Козлов

(підпис)

«18» жовтня 2021 р.

(підпис)

«18» жовтня 2021 р.

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Крикливий Валентин Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси»
керівник роботи к.т.н., ст.вик. кафедри ТАМ Піонткевич О.В.
затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 року №277

2. Строк подання студентом роботи 20 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Прототип дробарки, можливість дробіння полівініл хлоридного пластику до 3 мм товщиною, потужність електродвигуна дробарки до 3кВт.

4. Зміст текстової частини: огляд конструкцій та літературних джерел по дослідженню подрібнювачів пластмаси; аналіз конструкції прототипу дробарки пластмаси; розрахунок та удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси; конструювання дробарки пластмаси; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації подрібнювачів пластмаси економічне обґрунтування розробки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація із заявленими основними розрахунками та результатами роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., ст. вик. Піонткевич О. В.		
Економічна частина	к.т.н., проф. Лесько О.Й.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.пед.н., проф. Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 19 жовтня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	21.10.2021	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.2021	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	26.10.2021	
4	Розв'язання поставлених задач	05.11.2021	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	12.11.2021	
6	Виконання розділу «Охорона праці безпека в надзвичайних ситуаціях»	14.11.2021	
7	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11.2021	
8	Перевірка роботи на плагіат	11.12.2021	
9	Попередній захист МКР	13.12.2021	
10	Нормоконтроль МКР	16.12.2021	
11	Рецензування МКР	17.12.2021	
12	Захист МКР	22.12.2021	

Студент

(підпис)

В.В. Крикливий

Керівник роботи

(підпис)

О.В. Піонткевич

АНОТАЦІЯ

Крикливий В. В. Удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси: магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / В. В. Крикливий. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2021.

Метою роботи є удосконалення приводу подрібнювача різних пластмас шляхом дослідження та розробки рекомендацій по вибору фізико-механічних характеристик його елементів.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз існуючих подрібнювачів пластмас; розроблено тривимірну модель прототипу; розроблено схему навантаження на елементи приводу подрібнювача; досліджено вплив різних відходів пластмаси на елементи приводу подрібнювача; розроблено рекомендації по вибору елементів приводу подрібнювача; розроблено конструкторську та технологічну документацію для виготовлення валу приводу подрібнювача.

В науковій частині роботи вперше знайдено залежність фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача малої потужності від параметрів полімерних матеріалів, що дозволяє забезпечити працездатність під час експлуатації.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект.

В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

ABSTRACT

Krikliiv V. V. Improvement of a shredder drive for plastics: master's qualification work for the educational qualification level "Master" in the specialty 131 "Applied mechanics" / V.V. Krikliiv. - Vinnytsia National Technical University. - Vinnytsia, 2021.

The aim of the work is to improve the drive of the grinder of various plastics by researching and developing recommendations for the selection of the physical and mechanical characteristics of its elements.

To achieve the set goals, an analysis of the existing plastic grinders was carried out; a three-dimensional model of the prototype has been developed; a diagram of the load on the elements of the grinder drive has been developed; investigated the influence of various plastic waste on the drive elements of the grinder; recommendations for the selection of grinder drive elements have been developed; the design and technological documentation for the manufacture of the grinder drive shaft has been developed.

In the scientific part of the work, for the first time, the dependence of the physical and mechanical characteristics of the drive elements of a low-power grinder on the parameters of polymer materials was found, which makes it possible to ensure operability during operation.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece of the part, the payback period and the economic effect are calculated.

The work also developed measures for labor protection and safety in emergency situations.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ	7
1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей пластмаси.....	7
1.2 Графіки навантаження на ножі та привод подрібнювача дробарки.....	18
1.3 Огляд моделей та конструкцій подрібнювачів пластмас.....	22
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОТИПУ ДРОБАРКИ ПЛАСТМАСИ	30
2.1 Конструкція та матеріали для прототипу дробарки пластмаси.....	30
2.2 Електродвигун з редуктором та системою керування для дробарки....	36
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ	40
3.1 Підбір ножів для дробарки.....	40
3.2 Кінематичний розрахунок приводу подрібнювача	43
3.3 Аналіз фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача.....	46
3.4 Перевірочний розрахунок інших елементів приводу подрібнювача.....	61
3.4.1 Перевірочний розрахунок втулично-пальцевої муфти.....	61
3.4.2 Перевірочний розрахунок шпонки приводу подрібнювача.....	63
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ДРОБАРКИ ПЛАСТМАСИ	64
4.1 Конструкторська документація для приводу подрібнювача.....	64
4.2 Технологічна документація для валу приводу подрібнювача.....	67
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ	72
5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.....	72
5.1.1 Вимоги безпеки під час роботи.....	72

5.1.2. Електробезпека	73
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	76
5.2.1. Мікроклімат.....	76
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	78
5.2.3. Виробниче освітлення.....	78
5.2.4. Виробничий шум.....	79
5.2.5. Електромагнітні випромінювання.....	80
5.2.6 Психофізіологічні фактори.....	81
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	82
5.3.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей.....	82
5.3.2. Розрахунок режимів радіаційного захисту	83
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	89
6.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи.....	89
6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	91
6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково- дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру.....	101
6.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.....	102
6.5 Висновки.....	107
ВИСНОВКИ.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
ДОДАТКИ.....	113
ДОДАТОК А – ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	
ДОДАТОК Б – ПРОМІЖНІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРИКЛАДНІЙ ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR	
ДОДАТОК В – ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	
ДОДАТОК Г – ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ	
ДОДАТОК Д – КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ	

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасні подрібнювачі пластмаси виготовляються з надзвичайно великим запасом потужності приводу до 44 кВт та високою продуктивністю до 1500 кг/год. Таке обладнання зазвичай встановлено на великих підприємствах полімерних виробів, щоб подрібнювати відходи виробництва. Крім цього, доцільно використовувати потужні подрібнювачі пластмаси для вторинної переробки використаної продукції.

Однак, в Україні існує багато невеликих підприємств полімерних виробів. Їхня продуктивність настільки мала, що вага відходів за півроку може сягати до 500 кг. Для таких підприємств придбати подрібнювач пластмаси вартістю від 500 тис. грн. є недоцільним. Ще більш невдала ідея займатися складування відходів виробництва, що призводить до зменшення виробничої площі.

Розглянуто подрібнювачі пластмас потужністю до 3 кВт, які будуть актуальні для невеликих підприємств. Такі подрібнювачі призначені в основному для переробки пластикових пляшок. Саме тому на сьогоднішній день розробка рекомендацій з удосконалення приводу подрібнювача до 3 кВт для різних пластмас є актуальною задачею.

Мета та задачі роботи дослідження.

Метою роботи є удосконалення приводу подрібнювача різних пластмас шляхом дослідження та розробки рекомендацій по вибору фізико-механічних характеристик його елементів.

Для досягнення мети планується розв'язати такі *задачі*:

- провести аналіз існуючих подрібнювачів пластмас;
- розробити тривимірну модель прототипу;
- розробити схему навантаження на елементи приводу подрібнювача;
- дослідити вплив різних відходів пластмаси на елементи приводу подрібнювача;
- розробити рекомендації по вибору елементів приводу подрібнювача;

– розробити конструкторську та технологічну документацію для виготовлення валу приводу подрібнювача.

Об'єкт дослідження – фізико-механічні процеси в приводі подрібнювача пластмаси.

Предмет дослідження – привод подрібнювача пластмаси.

Методи дослідження. Імітація та кінцево-елементне моделювання фізико-механічних процесів в приводі подрібнювача пластмаси за допомогою програмного пакету Autodesk “Inventor”.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше знайдено залежність фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача малої потужності від параметрів полімерних матеріалів, що дозволяє забезпечити працездатність під час експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані при налагодженні серійного випуску подрібнювачів пластмаси малої потужності. Такі подрібнювачі пластмаси будуть мати надійні елементи приводу.

Розроблено рекомендації по вибору фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача малої потужності для удосконалення його та забезпечення працездатність.

Особистий внесок магістранта. Основні результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ

1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей пластмаси

В сучасному сільському господарстві чи машинобудуванні обійтися без пластмасових виробів дуже важко. Лівову частку пластмасових виробів займає харчова промисловість, а лиш пару років назад почали вводити замітники для них. Основними позитивними характеристиками пластмаси є їх легкість, відносно велика міцність, стійкість до стирання та зносу, водо- та газонепроникність, а також діелектричні властивості. Однак є суттєвий мінус, це може бути низька теплостійкість.

Пластикові матеріали прийнято поділяти на тверді з модулем пружності $E = 1-10$ ГПа (пластмаси, волокна, плівки тощо) і м'які високоеластичні матеріали з модулем пружності $E = 1-10$ МПа (наприклад, гуми). Механізми і закономірність руйнування тих і інших суттєво відрізняються. Для пластмасових виробів характерні яскраво виражені анізотропні властивості, невисока міцність і наявність повзучості при тривалому дії навантаження. Разом з тим пластмасові вироби мають високий опір втоми. Для них характерно дуже різко виражена температурна складова залежності від механічних властивостей в порівнянні з майже усіма металами.

Варто звернути увагу на таку характеристику пластмас як деформованість. Різні фізичні стану пластмаси спостерігаються при зміні його деформації із дією температури. Графічні залежності деформацій, що розвивається за деякий час при заданій напрузі, від температур прийнято називати термомеханічна крива (див. рис. 1.1) [1].

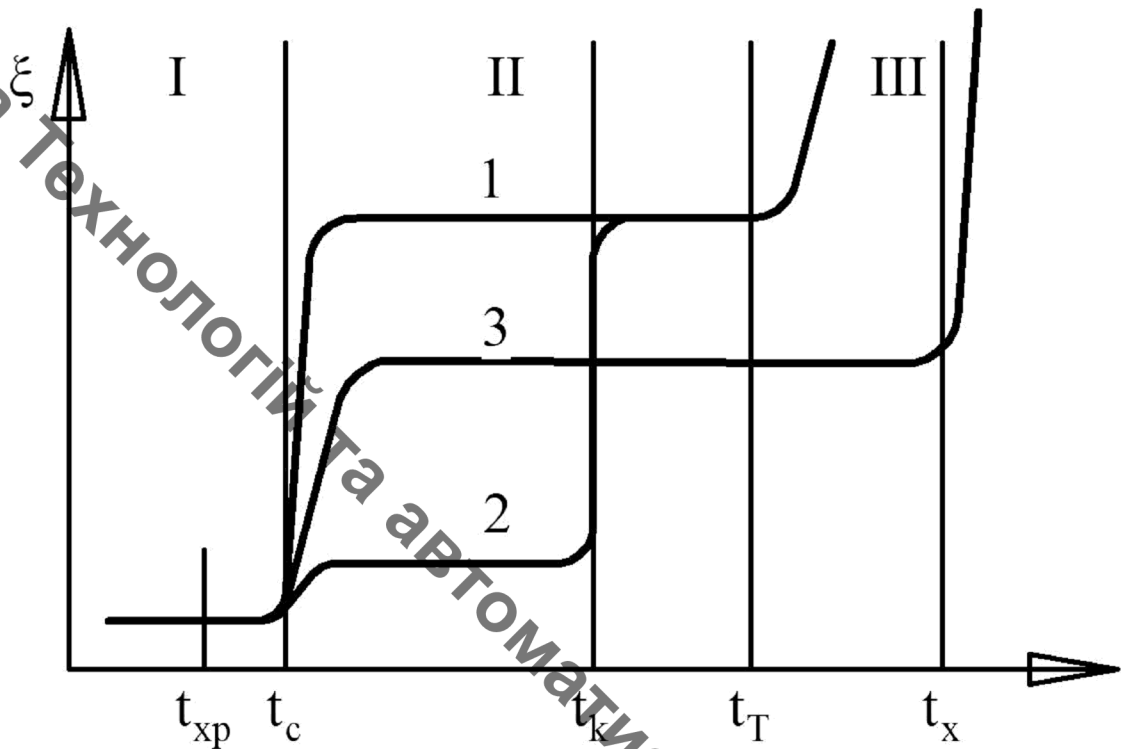


Рисунок 1.1 – Термомеханічні криві некристалічного лінійного (1), кристалічного (2) і рідкосітчатого (3) полімерів (t_c , t_k , t_T , t_x - температури склування, кристалізації, початку в'язкої течії і початку хімічного розкладання відповідно), I-III – ділянки склоподібного, високоеластичного і в'язкотекучого станів

У склоподібного стану при незначних напруженнях спостерігається лише пружна деформація з наявним високим модулем пружності ($E = 2,2 - 5$ ГПа). Склоподібний стан це одна з форм твердого стану для високомолекулярної речовини. Ще вище температур склування пластику до цієї деформації зазвичай додається високоеластична складова, яка дуже перевершує пружну складову і характеризується модулем високоеластичного пластику $E=0,1 - 1$ МПа. Вище температури плинності пластику маємо прояв ще однієї складової деформації, яка веде до поступового накопичення залишкової деформації цього зразка пластику. Механічна характеристика міцності пластику зазвичай може підвищуватися шляхом додавання наповнювачів, це може бути наприклад сажа і крейда, армувальні волокна, наприклад

скловолокном. Механічні властивості різних матеріалів представлено на рисунку 1.2.

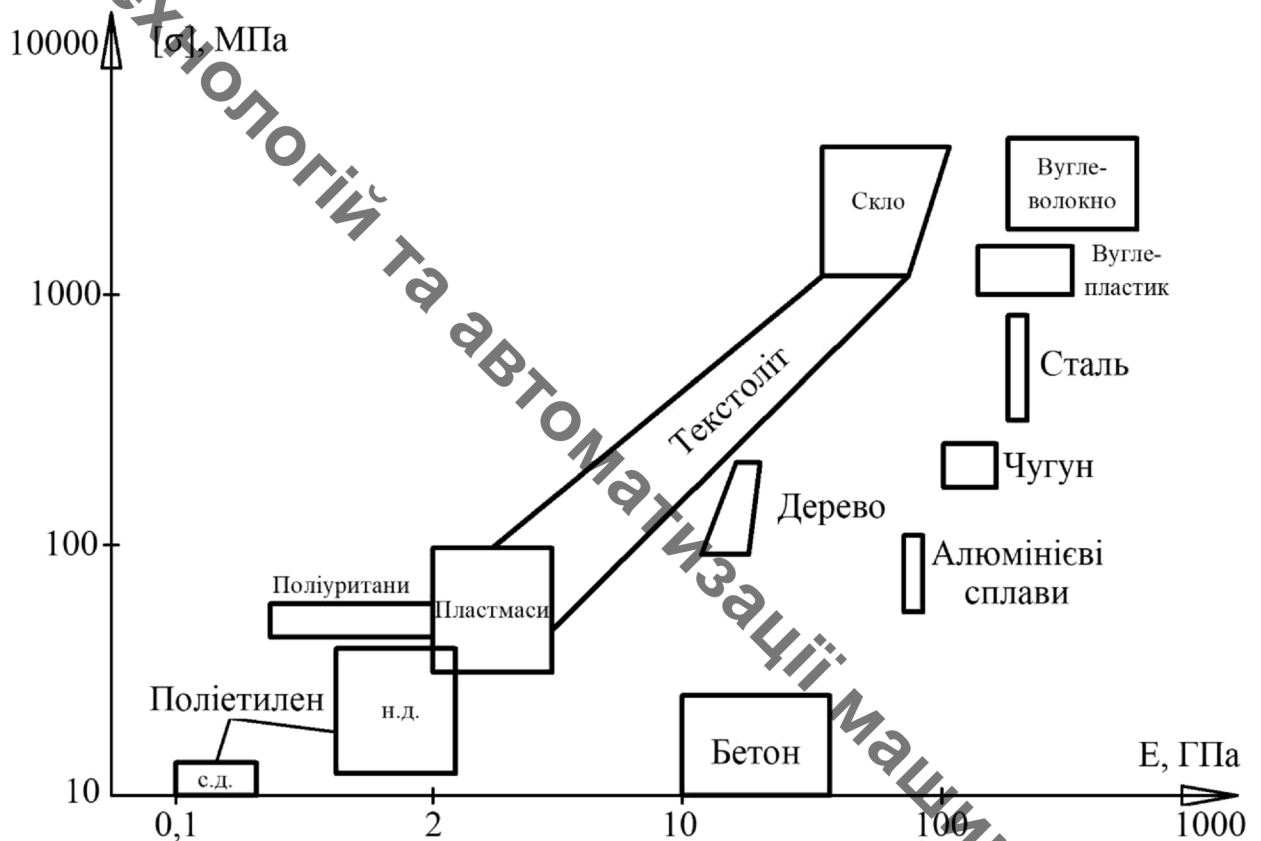


Рисунок 1.2 – Механічні властивості різних матеріалів

Всі полімерні матеріали зазвичай піддаються процесу старіння у часі. Старінням полімерних матеріалів називають мимовільна необоротна зміна їх найважливіших технічних характеристик, які відбуваються в результаті складних хімічних і фізичних процесів. Це старіння розвиваються зазвичай в матеріалах при експлуатації і навіть при зберіганні.

На старіння впливає світло, прискорюючи його. Також це може бути часта зміна циклів нагрівання - охолодження, вплив кисню, озону та інші фактори. Старіння також прискорюється при багаторазових різних деформаціях, а менш істотний вплив на старіння впливає волога. При старінні пластику підвищується його твердість та крихкість, а також в результаті втрачається еластичність. При високих температурах (200-250°C) відбувається

термічна деструкція – це розкладання органічних полімерних матеріалів, що веде до випаровуванням летких речовин в них.

Тривалість роботи під час експлуатації «стабілізованих» полімерних матеріалів значно зростає. Час настання крихкості поліетилену, що стабілізований сажою, становить аж понад 5 років. А наприклад труби з матеріалу полівінілхлориду можуть працювати 10 - 25 років [2].

Порівняльні характеристики найважливіших полімерів представлені на таблиця. 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості деяких полімерів

Полімери	Густина, г/см ³	E(20°C), ГПа	[α], МПа	Триценостійкість (20°C) К, МПа·м ^{0,5}	Повне видовження ϵ , %	T _c , °C
Термопластичні						
Поліетилен (низької густини)	0,92	0,15-0,24	7-17	1-2	90-800	0
Поліетилен (високої густини)	0,96	0,55-1,0	20-37	2-5	15-100	30
Полівінілхлорид	1,39	2,4-3,0	40-60	2,4	2-30	80
Поліпропілен	0,9	1,2-1,7	50-70	3,5	10-700	-20
Полістирол	1,06	3,0-3,3	35-68	2	1-2	100
Поліамід	1,14	2,0-3,5	60- 110	3-5	60	70
Термоактивні						
Феноло- формальдегідна смала	1,4	8	35-55	-	0	-
Поліестер	-	1,3-4,5	45-85	0,5	0	70
Епоксидна смола	1,6	2,1-5,5	40-85	0,6-1,0	0	80

Полімери - це штучні матеріали. Вони згідно до міжнародного стандарту (ISO) позначають умовними позначеннями, які полегшують маркування різних

виробів. Нижче (див. рис. 1.3) показано основну підбірку полімерних матеріалів з міжнародним позначенням, які часто застосовуються в техніці.

CAB	ацетатобутират целюлози	PUR	поліуретан
EP	епоксидна смола	PVAC	полівінілацетат
FP	фенопласти	PCV	полівінілхлорид
PA	поліаміди	SAN	сополімер стирол - акрилонитрил
PC	полікарбонат	SB	сополімер стирол - бутадієн
PE	поліетилен	SI	сілкони
PTFE	політетрафторетилен	TS	штучний матеріал
PI	полііміди	UP	ненасичений поліестр
PMM	поліметилметакрилат	POM	поліформальдегід

Рисунок 1.3 – Абrevіатура полімерів за міжнародним стандартом ISO

Для пластмас характерні наступні властивості:

- їх низька щільність або густина (1,0 - 1,8 г/см³, а в деяких випадках до 0,02 - 0,04 г/см³);
- дуже висока стійкість до корозії. Пластмаси взагалі не схильні до електрохімічної корозії, а ще на них не впливають слабкі кислоти і луги. Крім цього є полімерні матеріали, які стійкі до дії концентрованих кислот і лугів. Основна більшість полімерних матеріалів нешкідливі в санітарному відношенні;
 - пластик є хорошим діелектриком;
 - хороше прилягання фарби в будь-які кольори. Деякі полімерні матеріали можуть бути взагалі виготовлені прозорими, і вони не поступаються за своїми оптичними властивостями склу;
 - пластики мають механічні властивості в широкому діапазоні. Залежно від виду обраних полімерних матеріалів і стабілізаторів вони можуть бути як твердими і міцними або ж бути гнучкими і пружними. Ряд полімерних матеріалів за своїми механічними властивостями міцності перевершують чавуни і бронзу. А при одній і тій же вазі пластмасових конструкцій вони можуть за міцністю відповідати сталевим конструкціям;

- гарні антифрикційні властивості. Пластмасові вироби можуть бути як повноцінні замітники антифрикційних сплавів (таких як оловяністі бронзи, бабіти та ін.). Наприклад, поліамідні підшипники ковзання дуже тривалий час можуть працювати без змащування;
- пластик має високі теплоізоляційні властивості. Вони всі, як правило, дуже погано проводять тепло. Теплопровідність утеплювачів з них (наприклад, піно і поропласти), майже в 10 разів менше проводять тепло, ніж звичайні пластмаси;
- наявні високі адгезійні властивості пластиків;
- а також пластики мають хороші технологічні властивості. Їхні вироби виготовляють шляхом безвідходної технології (тобто без зняття стружки). Зазвичай виготовляють вироби литтям, пресуванням, формуванням із застосуванням невисоких тисків або ж в вакуумі.

Основним недоліком більшості полімерних матеріалів є їх невисока теплостійкість (до 100 - 120°C). Зараз верхня температурна межа деяких видів пластмас піднята до 300 - 400°C. Однак, пластмаси можуть працювати при значно низьких температурах (до -70 ° C), а в індивідуальних випадках вони можуть працювати при криогенних температурах (див. табл. 1.2). Недоліком полімерних матеріалів також є їх невисока твердість. Вони схильні до старіння, повзучості, нестійкості до великих статичних і динамічних навантажень. Проте позитивні властивості полімерних матеріалів значно перевершують їх недоліки, це зумовлює високі темпи підвищення щорічного виготовлення пластмас та значно потребує налагодження шляхів утилізації або вторинної переробки.

Пластмаси — це матеріали, які легко піддаються переробці. Перероблена пластмаса може використовуватись у другому циклі без втрати основних властивостей. Таким чином, якщо переробляти пластмасу, то кількість пластикового сміття в світі практично не зростатиме. А це безперечно та позитивно позначиться на стані навколишнього середовища та його мешканців.

Переробка пластику відбувається у кілька етапів: збирання сировини; сортування відходів; пресування; переробка: подрібнення, очищення; виробництво нового продукту.

Таблиця 1.2 – Сфера застосування деяких пластмас

Пластмасові матеріали	Інтервал робочої температури, °С	Сфера застосування
Поліетилен високого тиску	-70...+70	Пакування, ненавантажені деталі машин і обладнання, футляри, покриття, фольга
Поліетилен низького тиску	-70...+80	Теж саме що вище
Полістирол	-40...+65	Обладнання радіотехніки і фотографії, електроізоляція
Поліпропілен	-20...+130	Труби, деталі автомобілів, елементи холодильників, упаковка, ємності
Поліамід	-60...+100	Деталі машин, канати, шнури, одяг
Поіметилметакрилат (органічне скло)	-60...+100	Деталі освітлення і оптики, скло для літаків, автомобілів та інше
Полікарбонати	-100...+135	Точні деталі машин і апаратури, радіо- і електротехніка, фотографічна плівка
Поілтетрафторетилен (тефлон)	-269...+260	Хімічна, електротехнічна і машинобудівна галузь

Щоб відсортувати пластмасу розроблено інтернаціональну систему маркування. Така система має вигляд піктограми трикутника, що утворений стрілками з цифрою всередині. Під трикутником разом із цифрою, або замість неї може бути зазначений літерний код пластмаси. На рис. 1.4 показано позначення піктограми інтернаціональної системи маркування пластмаси.



Рисунок 1.4 – Піктограми інтернаціональної системи маркування пластмаси

Будь-який пластмасовий виріб містить одне з позначень, що зображені на рис. 1.4. Характеристики пластмаси наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Типи пластмас та їхні характеристики

Пластмаси: аббревіатура і тип		Температурні властивості				Напруження руйнування		Густина г/см ³
		Т _{плав.}	Т _{склв.}	Т _{деф.}	К _{теп.розшир.}	σ _{розтяг}	σ _{стиск}	
		°C	°C	°C	ppm/°C	МПа	МПа	
PET - поліетиленові терефталат		245	73	21	65	48	75	1,29
		265	80	38	65	72	103	1,40
HDPE - високо щільність поліетиленові		130	-	79	59	22	18	0,952
		137	-	91	110	31	25	0,965
PVC - полівініл хлорид			75	57	50	41	55	1,3
			105	82	100	52	90	1,58
LDPE - низької щільності поліетиленові		98	-25	40	100	8	-	0,917
		115	-25	44	220	31	-	0,932
PP - поліпропілен		168	-20	107	81	31	38	0,9
		175	-20	121	100	41	55	0,91
PS - полістирол		-	74	68	50	35	83	1,04
		-	105	96	83	52	90	1,05

Поліетилентерефталат PET (E) або ПЕТ використовують для виробництва одноразової тари для:

- води;
- молочних продуктів;
- газованої води і пива;
- косметичної продукції;
- рослинних олій.

ПЕТ – тип пластмаси, що найчастіше зустрічається у світі. Потрібно пам'ятати, що ПЕТ зазначений тільки для одноразового використання. Така тара під час довгого використання може бути розсадником великої кількості бактерій та деяких лужних елементів.

Поліетилен високого тиску PEHD (HDPE) або ПВТ застосовують для виготовлення:

- пляшок та пакетів для молока та води;
- виготовлення іграшок;
- флаконів для шампунів;
- контейнерів для їжі;
- одноразового посуду;
- господарських сумок та фасувальних пакетів.

Особливістю упаковки з такого типу пластмаси є її стійкість до різних масел, кислот, лугів, а також до інших агресивних речовин. Крім цього HDPE-тара забезпечує достатньо високий діапазон температурний експлуатації. HDPE не виділяє ніяких шкідливих речовин і цим займає позитивну роль в харчовій промисловості. Спеціалісти рекомендують закупляти воду в пляшках HDPE. Вони є безпечними та корисними для екології, адже всю таку пластмасу можна переробити.

Полівінілхлорид V, PVC або ПВХ застосовують для виготовлення:

- лінолеуму;
- взуття;
- віконних профілів;

- упаковки побутової техніки;
- меблів;
- штучної шкіри;
- труб, ізоляції проводів та кабелів;
- плівки для натяжних стель, сайдингу;
- пляшок для рослинних олій;
- обгортки для сиру та м'яса;
- дитячих іграшок;
- медичної продукції.

Особливістю цієї пластмаси, це її фізико-механічні властивості. Він достатньо м'який та гнучкий. Для цього пластику застосовують велику кількість додатків, які є дуже токсичними для людини, а саме: фталати, важкі метали і т.д.

Також варто зазначити, що цей тип пластмаси не піддається повторній переробці. Під час спалюванні полівінілхлориду виділяються високотоксичні хлорорганічні сполуки. А відслуживши 10 років в експлуатації вироби з ПВХ починають токсичні сполуки самостійно виділяти.

Поліетилен низького тиску PELD (LDPE) або ПНТ використовують для виготовлення:

- пакувальних матеріалів;
- виготовлення CD, DVD дисків;
- пакетів для магазинів та супермаркетів;
- пляшок для миючих засобів.

Офіційні джерела цей вид пластмаси вважають нешкідливим. Також варто зазначити, що цей тип пластмаси йде на вторинну переробку.

Поліпропілен PP або ПП застосовують для виготовлення:

- склянок і баночок;
- контейнерів для продуктів;
- медичної продукції;

- пакувальної харчової плівки;
- посуду для гарячих страв;
- для сиропів та йогурту.

Поліпропілени можуть виділяти у навколишнє середовище формальдегід (хімічна сполука з формулою H_2CO). Поліпропілен – це пластмаса білого коліру або має напівпрозорий тони. Такий вид пластику цінують за його хорошу термостійкість. Однак, поліпропілен чутливий до світла та кисню, він старіє швидше, ніж пластмаса із поліетилену. Поліпропілен можна використовувати при вторинній переробці.

Полістирол PS або ПС використовують для виготовлення: • стаканів для надто гарячих напоїв (вони схожі на пінопласт); • лоточків для продуктів (схожі на пінопласт); • столових приборів (виделок і ложок); • стаканчиків для молочних продуктів; • електроізоляційної плівки; • контейнерів для їжі; • фасувальних коробок для яєць.

Цей матеріал використовують для вторинної переробки. Однак полістирол є хімічно нестійким. Полістирол отримують в результаті реакції полімеризації стиролу, що в свою чергу є канцерогеном.

Полікарбонат та інші пластмаси O, OTHER або ІНШЕ, використовують для виробництва: • комбінованого пластику; • багатошарової упаковки; • посуду для їжі та води.

Серед усіх видів пластмаси це найнебезпечніший вид через його взаємодію з гарячими рідинами. В характеристиках цієї пластмаси обов'язково має бути вказано при яких температурах його слід використовувати. Якщо позначки температури для цього пластику немає, то краще його не купляти. Під час контакту з гарячою рідиною може виділятися бісфенол А – токсична речовина, що руйнує нашу ендокринну систему. Варто зазначити, що цей вид пластмаси не піддається вторинній переробці.

1.2 Графіки навантаження на ножі та привод подрібнювача дробарки

В цьому підрозділі проаналізовано як впливає вид пластмаси на привод подрібнювача дробарки. Особливістю матеріалів з пластмаси є їхня відносно не велика міцність на зріз. В залежності від виду пластмаси вона змінюється від 22 до 72 МПа (див. табл. 1.3). Чим міцніше матеріал тим тонші вироби виготовляють з нього.

Під час різання пластмаси ножі діють на її поверхню та створюються силу різання для її подрібнення. Розрахунок необхідної сили для подрібнення різних зразків пластмаси виконуємо за формулою:

$$F = l \times t \times \sigma, [\text{H}] \quad (1.1)$$

де l – довжина розрізаного шару пластмаси в мм;

t – товщина розрізаного шару пластмаси в мм;

σ – міцність на зріз в Н/мм².

В якості прототипу ножа на який буде діяти сила різання використаємо ніж з 2-ма лезами (див рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Ніж подрібнювача дробарки з 2-ма лезами

Для таких ножів (див. рис. 1.5) приймаємо ширину леза ножа $s=5$ мм, а довжина розрізаного шару буде залежати від товщини пластмасових виробів які переробляються. Для пластикової пляшки ПЕТ для слабо газованих напоїв товщина стінки $k=0,25$ мм. Варто зазначити, що лезо ножа має 3 сторони, які приймають участь в процесі розрізання. Тобто мінімальна довжина розрізаного шару складає 5 мм, що напряду залежить від ширини леза ножа. Інші 2 сторони леза ножа напряду залежать від товщини розрізаного шару пластмаси. Отже, напишемо формулу для розрахунку довжини розрізаного шару:

$$l=s+k \cdot 2 \cdot m, [\text{мм}] \quad (1.2)$$

де m – це кількість одночасно розрізуваних шарів. Наприклад, для однієї пляшки ПЕТ $m=2$, однак якщо під ніж попадуть дві пляшки ПЕТ, тоді цей показник дорівнює 4 і так далі.

Приймаємо товщину розрізаного шару пластмаси від 0,25 до 8 мм, кількість одночасно розрізуваних шарів дорівнює 1 та побудуємо графічну залежність сумарної сили для розрізування пластмаси ПЕТ (див. рис 1.6).

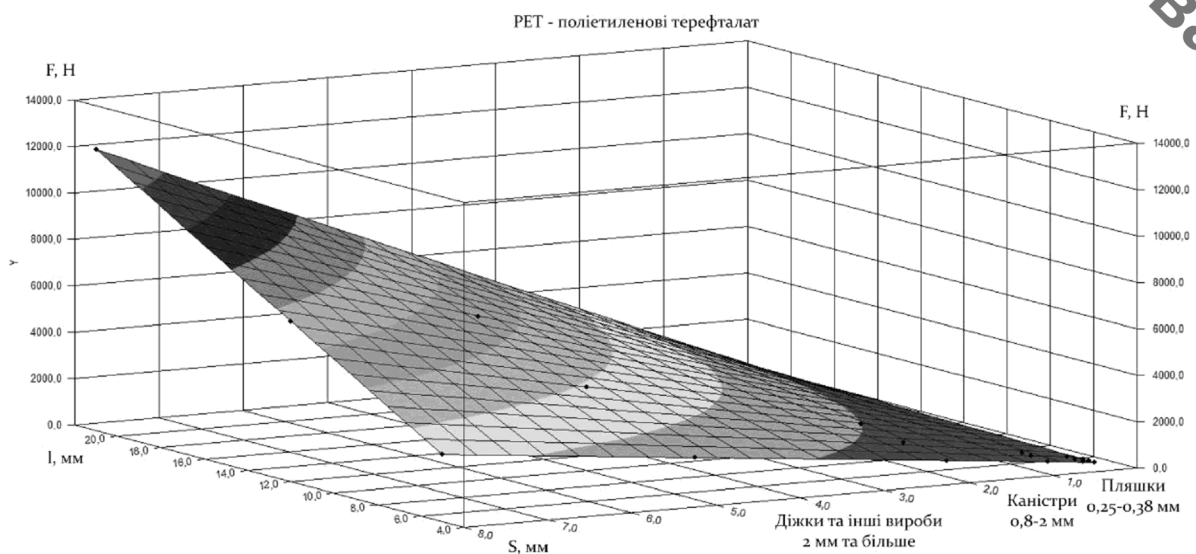


Рисунок 1.6 – Графічна залежність сумарної сили різання від довжини та товщини розрізаного шару для пластмаси ПЕТ

Із рисунку 1.6 видно, що для пляшок із товщиною стінки 0,25-0,38 мм сила різання буде не значною (від 90 Н до 158 Н). Однак, якби каністри виготовляли з пластмаси ПЕТ, то для їх подрібнення потрібно прикласти силу ножа від 288 Н до 1296 Н, що майже в 10 разів більше. Виготовлення діжок та інших виробів, наприклад, частини басейну, збільшить затрати сили на подрібнення від 720 Н до 12096 Н, що ж не доцільно. У зв'язку з цим, вироби з пластмаси ПЕТ мають незначну товщину, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості продукції.

Підберемо товщину шару пластмаси згідно з їх практичним застосуванням та кількість шарів що одночасно піддаються різанню для розрахунку довжини розрізуваного шару. Згідно формули 1.2 розрахуємо довжину розрізуваного шару різних пластмас для подальших розрахунків. Дані занесено до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – довжина розрізуваного шару для зірних пластмас під час розрахунків

Матеріал	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS
Товщина одного шару пластмаси s , мм	0,25	2	3	2	2	1,5
Кількість шарів що одночасно піддаються різанню t	4	2	1	2	2	2
Довжина розрізуваного шару l , мм	1	4	3	4	4	3

Таким чином згідно розрахунків в таблиці 1.4 та формули 1.1 знайдемо сили, які будуть діяти на один ніж під час різання різних пластмас. Результати розрахунків зображено на рис. 1.7.

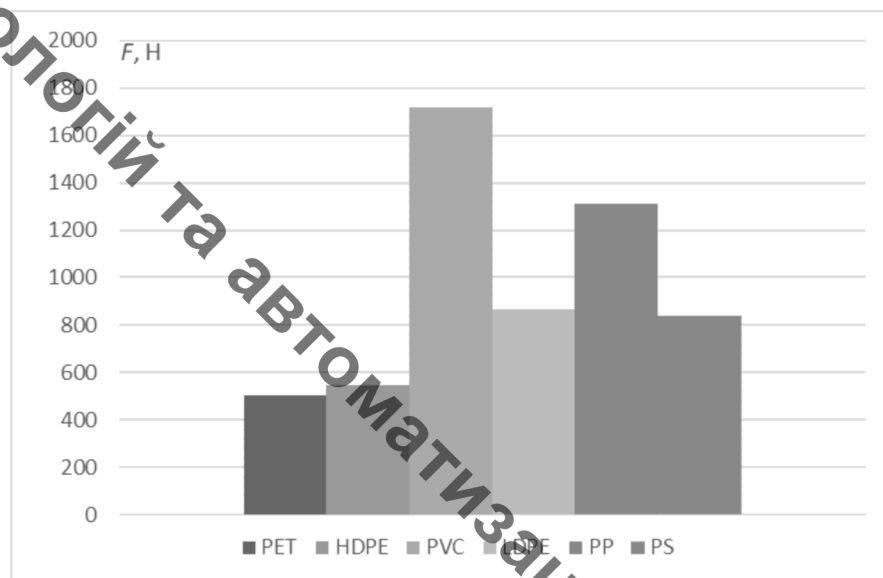


Рисунок 1.7 – Порівняння сумарної сили різання для різних видів пластику, що враховує особливість застосування (вироби)

Отже, отримані дані сумарної сили різання для різних видів пластику дозволяють проводити теоретичні розрахунки під час розробки приводу подрібнювача дробарки.

1.3 Огляд моделей та конструкцій подрібнювачів пластмас

Ми щодня користуємося великою кількістю пластикових виробів, і на звалища надходять пляшки, предмети побуту, іграшки та багато іншого. Полімерні матеріали мають властивість успішно піддаватися вторинній обробці, тому багато підприємств не закупають нову сировину, а переробляють використаний пластик. Для того, щоб відправляти його в термопластавтомати і переплавляти в нові вироби, спочатку його потрібно подрібнити.

Тому початковим етапом є дроблення полімерних виробів. Робиться це в спеціальних агрегатах. Одні підприємства використовують дробарки, інші - шредери. Ці два типи обладнання розрізняються, в основному, розміром подрібнених частинок.

Основна особливість роботи шредера полягає в наступному. У великій приймальній бункер завантажуються відходи: плівка, пластикові пляшки і т. Д. На них тисне потужний прес, просуваючи до ротора, який обертає великі ножі. Вони обертаються на великій швидкості і характеризуються надзвичайною гостротою, тому вторсировину будь-якої товщини швидко перетворюється в маленькі шматочки. Внизу знаходиться сито з осередками певного розміру, необхідного виробнику. Подрібнене сировину просіюється, і з цього моменту воно стає придатним для подальшого використання у виробництві пластмасових товарів.

Основна відмінність роботи дробарки полягає в наступному. У цьому агрегаті працюють ножі з зазубреним лезом і ріжучі кромки різних форм, завдяки чому пластмаса ріжеться ще дрібніше, ніж у шредері. При цьому вони здатні подрібнювати навіть товстостінні вироби на зразок пластмасових бочок. Як правило, дане обладнання працює на електроприводі, і існують моделі, ефективно заощаджують електроенергію. Таким чином можна досягти найбільшої прибутковості в сфері вторинної переробки пластмаси.

Вибір між шредером і дробаркою роблять на підставі того, якого розміру фракції допустимі у виробництві майбутніх виробів. Також необхідно врахувати продуктивність, потужність, тип вторсировини. Після цього вибирається підходяща модель, здатна в стислі терміни окупити придбання спеціального обладнання в процесі вторинної переробки полімерних матеріалів.

Іншими словами, необхідно орієнтуватися на товщину пластика (для подрібнення плівки і пластикової толстостенної тари підходять різні установки), на допустимий розмір фракцій. А також на обсяги щоденної переробки і здатність техніки працювати в цілодобовому режимі. Тоді можна зробити економічно обґрунтований вибір подрібнюючого обладнання, здатного приносити прибуток підприємствам, зайнятим у сфері переробки пластмаси.

Шредери для пластику призначені для подрібнення матеріалів різної щільності. Для переробки м'яких або твердих полімерів застосовуються верстати з відповідними для кожного сировини характеристиками. Наприклад, одновальний шредер частіше використовується для твердих полімерів. Існує ще кілька різновидів обладнання з різною кількістю валів і типом ножів. Залежно від конструкції ножі можуть бути ромбовидними або дископодібні. Вдало підібраний шредер для певного пластику на виході дає якісну сировину, що позитивно впливає на ціну товару.

Шредери по пластику відносяться до низькошвидкісного обладнання - подрібнення відбувається за рахунок відносно повільного обертання роторів і продавлювання через них пластмаси за допомогою ножів. Принцип роботи промислових шредерів сприяє меншому зносу робочих частин і більш ефективно подрібнює щільні типи пластикових виробів. Додатковою перевагою шредерів є наявність реверсу, що дозволяє, при подрібненні жорстких полімерів, обертати вали в зворотну сторону, якщо вони застряють між ножами і не здатні подрібнити матеріал відразу.

Важливим критерієм для шредера по пластику є продуктивність на годину, який впливає на переробку всієї лінії, від чого залежить і ціна на обладнання. Продуктивність представлених шредерів [3] для пластику

варіюється від 300 до 1200 кілограм на годину. Приймальні бункери, які одночасно є камерами подрібнення, де встановлені ротори з ножами, мають розміри 80 - 150 сантиметрів і дозволяють завантажувати великі обсяги.



Рисунок 1.6 – Шредер VS-2260 фірми «Мировое оборудование»

Загальні характеристики:

Продуктивність – 350 кг / год

Тип відходів: тверді.

Призначення: подрібнення.

Матеріал: Пп, абс, пс, пластик, пластмаса, полімери, вторсировина, картон, макулатура, сміття

Габарити: Загальні розміри (ДхШхВ) 1780x1350x1754 мм

Завантаження сировини і характеристики робочої камери:

Завантажувальний бункер (ДхШ) 1200x680 мм

Робоча камера (ДхШ) 600x450 мм

Характеристики двигуна:

робоча напруга– 380 В

потужність двигуна – 22 кВт.

Вартість – 630 тис. грн.



Рисунок 1.7 – Шредер PZO SHR 1300 e110 фірми «Мировое оборудование»

Загальні характеристики:

Продуктивність – 1600 кг / год

Тип відходів: тверді.

Призначення: подрібнення.

Матеріал: Пш, абс, пс, пластик, пластмаса, полімери, вторсировина, картон, макулатура, сміття

Габарити: Загальні розміри (ДхШхВ) 2800х2500х2130 мм

Вага – 5500 кг.

Завантаження сировини і характеристики робочої камери:

Завантажувальний бункер (ДхШ) 1900х1430 мм

Характеристики двигуна:

робоча напруга– 380 В

потужність двигуна – 44 кВт.

Вартість – 2300 тис. грн.

У сучасному світі все частіше використовується продукція з пластика. В результаті чого утворюється велика кількість відходів, які в природі не розкладаються. Тому важливо правильно його утилізувати, щоб не завдати шкоди навколишньому середовищу. Якісне та зручне рішення цієї проблеми - дробарка полімерів [4].

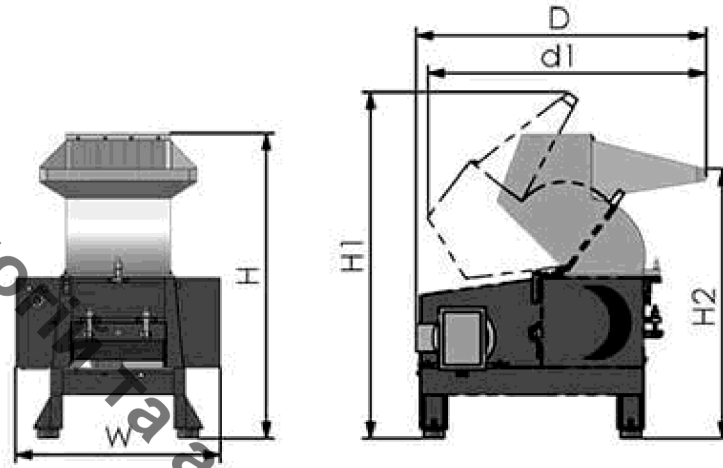
Подрібнення матеріалу відбувається до стану дрібної фракції. Перероблений пластик можна використовувати в якості повторного сировини. Це дозволить заощадити ресурси підприємства і знизити собівартість продукції, що випускається.

Дробарка пластика - ідеальний варіант для подрібнення широкого ряду залишкового матеріалу після виробництва полімерної продукції, а також вийшли з ладу деталей. Подрібнювач пластмас є вигідним капіталовкладенням, швидко окупається і в подальшому може принести прибуток.

На сьогодні існує широкий вибір сучасних, якісних дробарок для подрібнення пластмас різної потужності і продуктивності в залежно від виду поліпропілену.



a)



б)

Рисунок 1.8 – Дробарка HSS230 фірми «Huare»

Загальні характеристики:

Продуктивність – 100-200 кг / год

Тип відходів: тверді.

Призначення: подрібнення.

Матеріал: пластмаса, полімери, вторсировина, картон, макулатура, сміття

Габарити: Загальні розміри (ДхШхВ) 960х645х1060 мм

Вага – 270 кг.

Завантаження сировини і характеристики робочої камери:

Завантажувальний бункер (ДхШ) 160х230 мм

Характеристики двигуна:

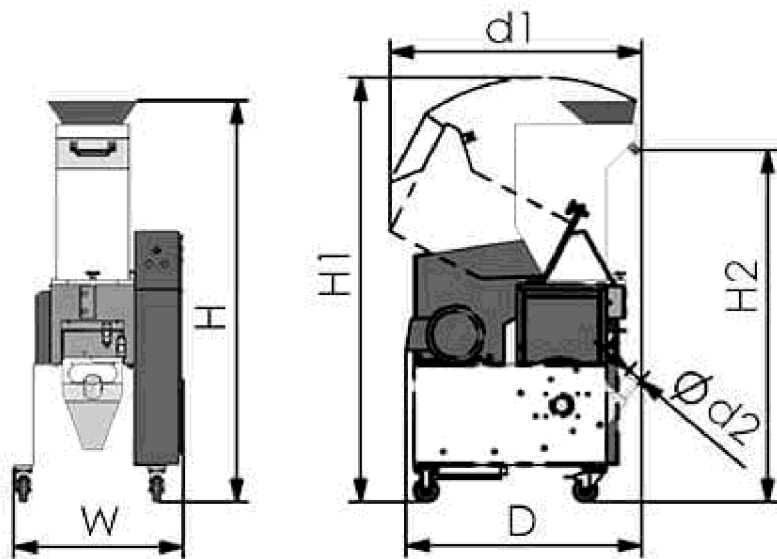
робоча напруга – 380 В

потужність двигуна – 4 кВт.

Вартість – 200 тис. грн.



а)



б)

Рисунок 1.9 – Дробарка HSS180 фірми «Huare»

Загальні характеристики:

Продуктивність – 70-150 кг / год

Тип відходів: тверді.

Призначення: подрібнення.

Матеріал: пластмаса, полімери, вторсировина, картон, макулатура, сміття

Габарити: Загальні розміри (ДхШхВ) 710x530x1250 мм

Вага – 200 кг.

Завантаження сировини і характеристики робочої камери:

Завантажувальний бункер (ДхШ) 140x180 мм

Характеристики двигуна:

робоча напруга– 380 В

потужність двигуна – 2,2 кВт.

Вартість – 90 тис. грн.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОТИПУ ДРОБАРКИ ПЛАСТМАСИ

2.1 Конструкція та матеріали для прототипу дробарки пластмаси

В якості прототипу дробарки для пластмаси обрано експериментальну модель із мережі інтернету [5]. Такий варіант виготовлення дробарки прийнятий через її дешевизну в порівнянні із готовою продукцією. Так наприклад для виготовлення дробарки потрібно закупки матеріалів:

- Лист з Ст. 3 кп 3 мм, 5 мм і 6 мм;
- Шестигранний стержень 27 мм;
- Круглий стрижень 25 мм;
- Подушка підшипника ID 20 мм;
- 10 мм різьбовий стрижень;
- Сітка;
- Металевий лист для бункера 1 мм;
- 3-фазний двигун потужністю 2 к.с, 1400 об / хв.;
- 70 об / хв коробка передач 2 к.с з передавальним відношенням 1:20.;
- 1,25-дюймова квадратна труба для основи;
- Кут розмірами 1,25 дюйма x 4 мм;
- Перемикач прямого і зворотного ходу.

Загалом вартість таких матеріалів і напівфабрикатів становить до 20 тис. грн., що з урахуванням електродвигуна з редуктором приблизно дорівнює затратам на дробарки HSS230 фірми «Huare» за 90 тис. грн. Затрати на виготовлення дробарки будуть пораховані в економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи.

Продуктивність та особливість роботи прототипу дробарки подана виробником у вигляді рис. 2.1, де в залежності від виду сита отримують різну фракцію сировини. Позиції 1 на рисунку 2.1 це сировина не подроблена,

позиція 2 – сировина подроблена без сита, позиція 3 – сировина подроблена з використанням сита 5 мм.

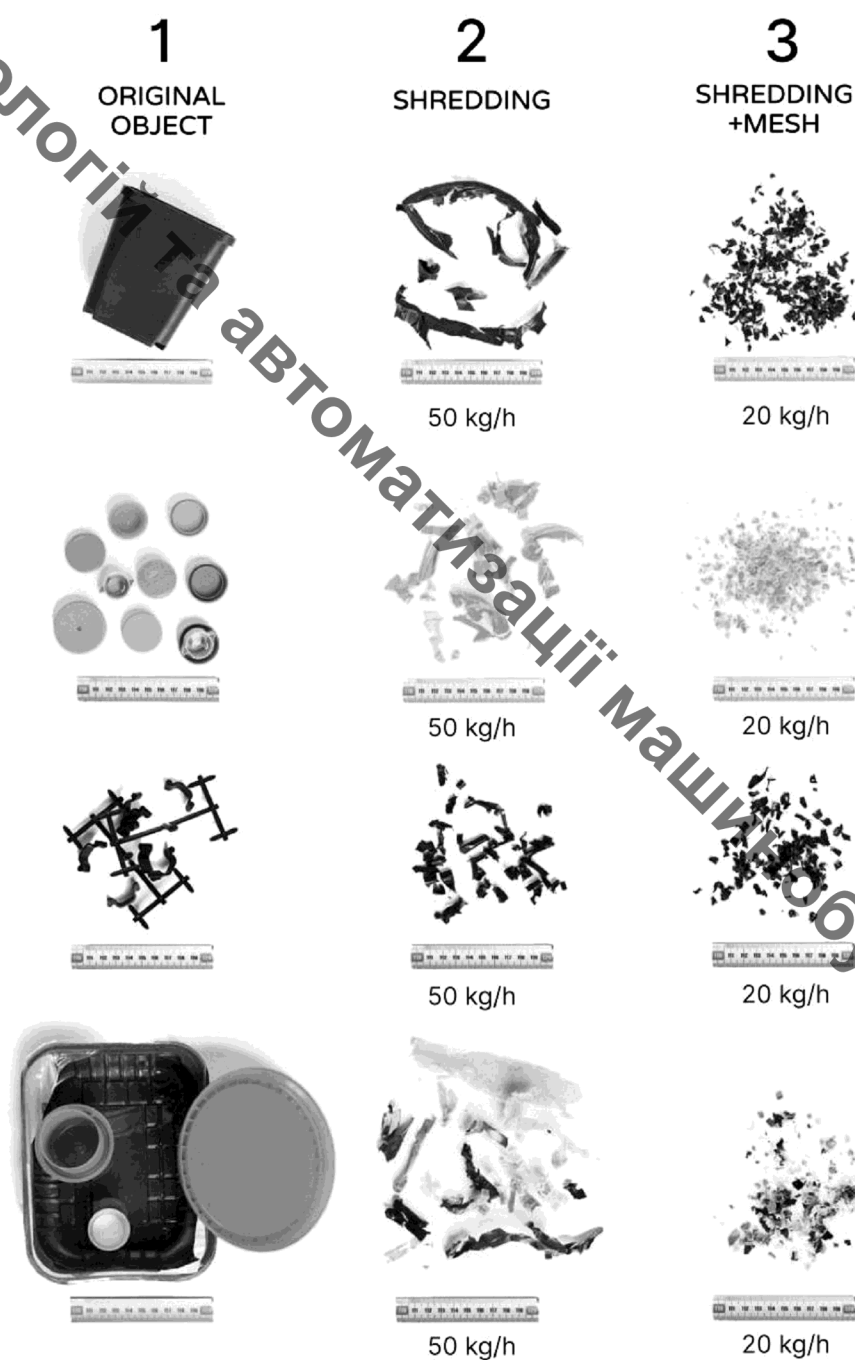


Рисунок 2.1 – Продуктивність дробіння сировини з пластмаси

На рис. 2.2 показано складальне креслення дробарки для пластмаси а на рис. 2.3 розписано основні вузли. Основні затрати для виготовлення дробарки будуть йти на лазерну різку матеріалів та зварювальні роботи. Переважна

більшість з'єднань в конструкції є роз'ємні різьбові, що дозволяє замінити та модернізувати зношені частини.

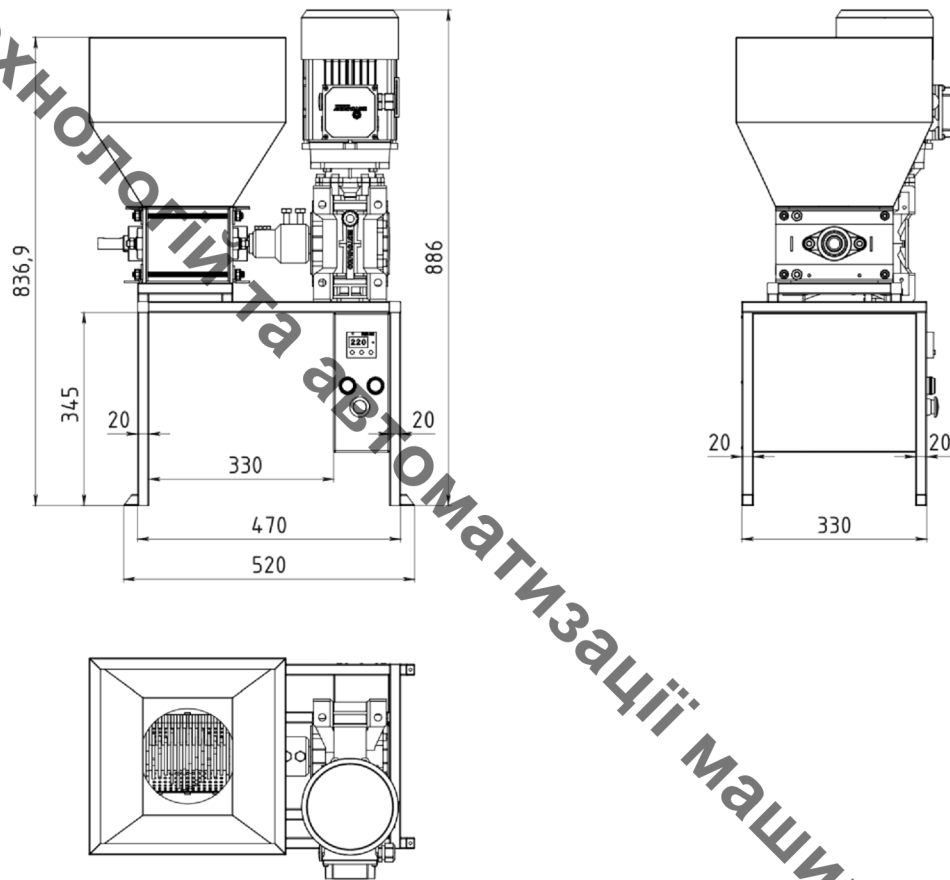
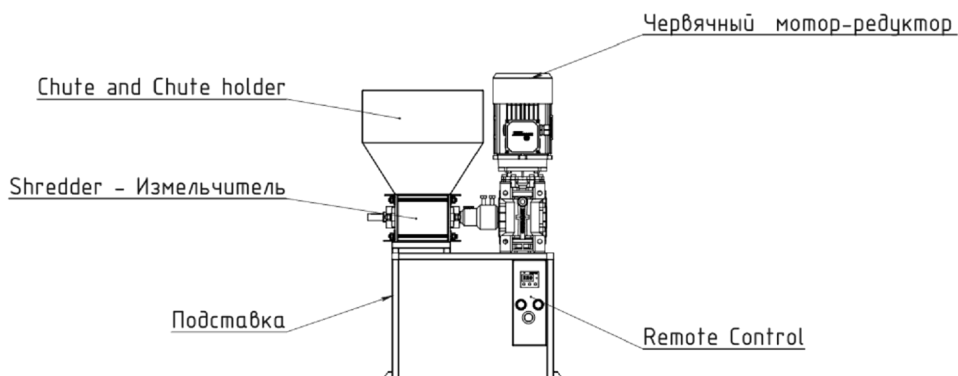


Рисунок 2.2 – Складальне креслення прототипу дробарки



Поз	Обозначение	Наименование	К-ВО	Масса шт.кг	Описание	Прим
1	Shredder v. 1.9.9	Shredder - Измельчитель	1	16.7		
2	Shredder v. 1.9.9	Червячний мотор-редуктор	1	10.7		
3	Shredder v. 1.9.9	Подставка	1	3.2		
4	Box v. 1.1	Remote Control	1	5.2		
5	Chute and H v. 1.1	Chute and Chute holder	1	2.9		

Рисунок 2.3 – Основні вузли прототипу дробарки

Прототип приводу подрібнювача дробарки із ключовими його елементами показано на рис. 2.4.

Основні подрібнювальні функції дробарки виконують рухомі та нерухомі ножі. Нерухомі ножі в цій моделі дробарки класифікують на малі та великі. Вони закріплені на стінці корпусу подрібнювача дробарки з упором в буртик та на 2 шпильки. Рухомі ножі розміщені на основному валу приводу подрібнювача дробарки з упорними шайбами. Основний вал приводу подрібнювача дробарки встановлений на підшипниках кочення шарикових. В низу подрібнювача розміщено сито для відсіювання подрібнених частинок та забезпечення постійної величини фракції переробки.

З'єднання основного валу приводу подрібнювача дробарки з валом редуктора виконано через муфту. Кріплення дробарки до рами відбувається 4-ма болтами M10x40.

Загальні характеристики прототипу дробарки:

Продуктивність – 20-50 кг/год

Тип відходів: тверді.

Призначення: подрібнення.

Матеріал: пластмаса, полімери, вторсировина, картон, макулатура, сміття

Габарити: Загальні розміри (ДхШхВ) 520x330x886 мм

Вага – 38,7 кг.

Завантаження сировини і характеристики робочої камери:

Завантажувальний бункер (ДхШ) 350x350 мм

Характеристики двигуна:

робоча напруга– 380 В

потужність двигуна – 2,2 кВт.

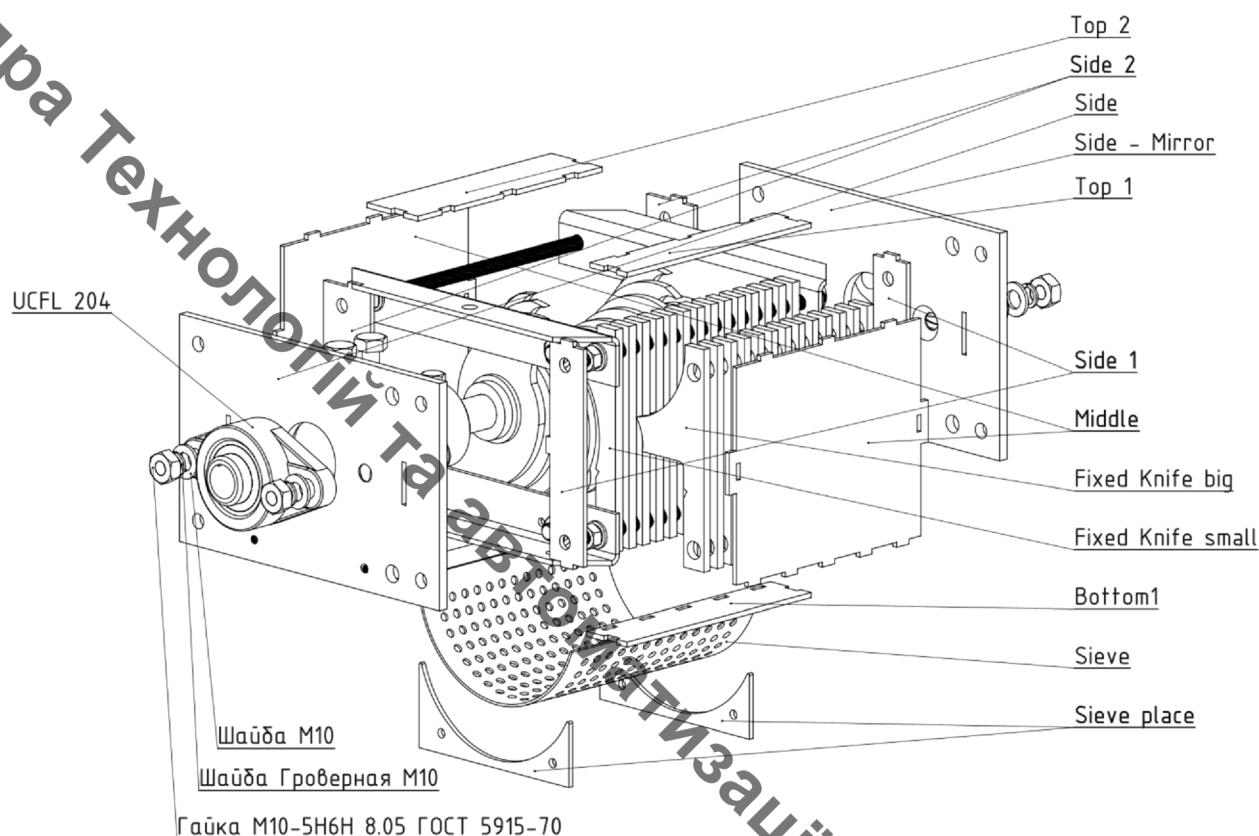


Рисунок 2.4 – Основні деталі подрібнювача дробарки

Основними елементами які сприймають динамічні навантаження під час дробіння пластмаси є його ножі, вали, муфта із шпонками. Ці елементи мають бути підібрані та сконструйовані відносно потреб користувача дробарки. Редуктор та двигун можуть бути вибрані відносно нормативів із запасом в 1,5-2 рази, щоб боротися із піковим перевантаженням під час дробіння пластмаси.

Основний вал приводу подрібнювача дробарки є дуже відповідальним елементом вузла. Його креслення показано на рис. 2.5. Однак, дане креслення не містить про технологічні вимоги до валу, точність його обробки, якість його поверхонь.

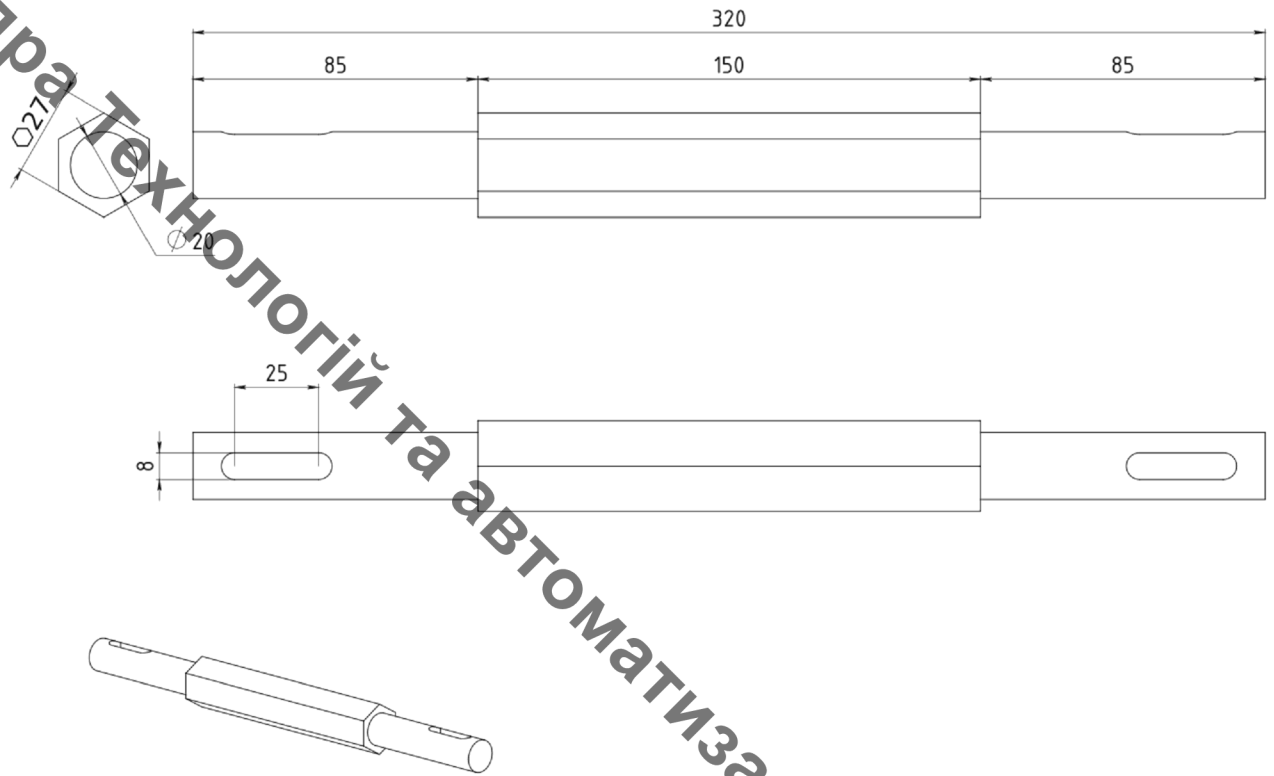


Рисунок 2.5 – Основний вал приводу подрібнювача дробарки

Обраний матеріал AISI 304 – нержавіюча сталь, призначався для харчової промисловості. Тому для розробки такого валу потрібно провести додаткові розрахунки та розробити рекомендації по вибору його параметрів. А також розробити конструкторську та технологічну документацію.

2.2 Електродвигун з редуктором та їх системою керування для дробарки

Згідно із прототипом запропоновано два види електродвигуна з редуктором турецького виробництва фірми YILMAZ REDÜKTÖR. На рисунку 2.6 показано тривимірну модель комплектації електродвигун – редуктор.

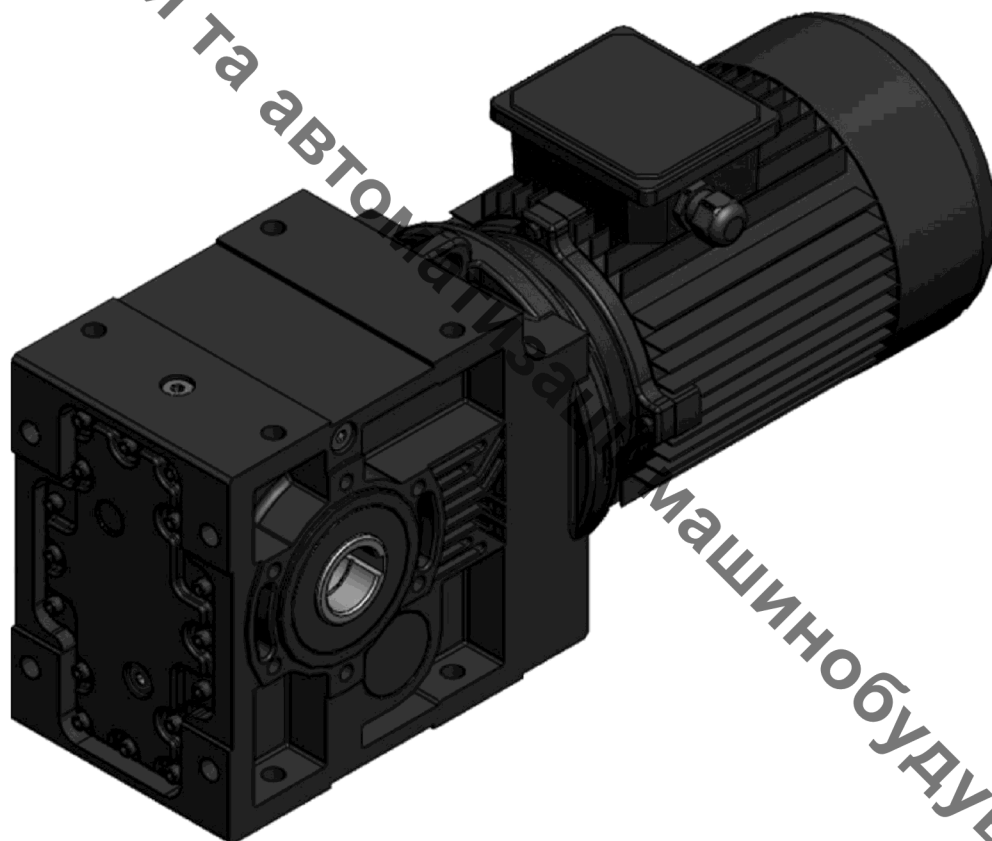


Рисунок 2.6 – Тривимірна модель електродвигуна з редуктором, що використовується на прототипі

Виробник прототипу пропонує використовувати електродвигун потужністю 2,2 кВт та 3 кВт з маркування KR273-2E100L/4B. Особливістю цієї комплектації є універсальність, якість та ціна вузла. Так як серійно або масово виготовлений продукт набагато дешевше чим розроблений, спроектований та виготовлений одиничний продукт у вигляді редуктора.

На 2021 рік вартість електродвигуна 2.2 кВт з редуктором складає 27600 грн, а електродвигуна 3 кВт з редуктором – 39000 грн. Різниця між ними по вартості не суттєва, але є можливість зекономити. Однак все ж таки слід опертися на технічні характеристики електродвигунів з редукторами від виробника. Слід звернути увагу на крутний момент на вихідному валу редуктора, енергоефективність електродвигуна, частоту обертання валу на виході, коефіцієнт корисної дії вузла загалом. Технічні характеристики електродвигунів з редукторами від виробника подано в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електродвигуна з редуктором потужність 2,2 кВт

Тип входу:	з прямим підключенням
Напруга і частота:	50 Гц - 400 В
Клас ефективності двигуна:	IE2
Потужність двигуна [кВт]:	2,2
Частота обертання валу на виході n_2 [об/хв]:	76
Вихідний крутний момент [Нм]:	262
Передаточне число:	19,08
Радіальні навантаження на вихідний вал F_{qam} [N]:	13365
Коефіцієнт обслуговування:	1,5
Вихідні підшипники:	стандартні
Поточний IE2 [A]:	4,75
$\cos \phi_i$ IE2:	0,79
ККД двигуна (4/4) IE2:	84,6
Кількість масла [л]:	0,8
Вага [кг]:	38

Клас енергоефективності для електродвигуна дорівнює ІЕ2. Що розшифровується як «International Energy Efficiency Class» та відповідає високим показникам міжнародний клас енергоефективності. Показник 2 означає високий ступінь енергоефективності в порівнянні із стандартними показниками.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна з редуктором потужність 3 кВт

Тип входу:	з прямим підключенням
Напруга і частота:	50 Гц - 400 В
Клас ефективності двигуна:	ІЕ2
Потужність двигуна [кВт]:	3
Частота обертання валу на виході n_2 [об/хв]:	76
Вихідний крутний момент [Нм]:	358
Передаточне число:	19,08
Радіальні навантаження на вихідний вал F_{qam} [N]:	12892
Коефіцієнт обслуговування:	1,1
Вихідні підшипники:	стандартні
Поточний ІЕ2 [А]:	6,3
$\cos \phi_i$ ІЕ2:	0,8
ККД двигуна (4/4) ІЕ2:	85,6
Кількість масла [л]:	0,8
Вага [кг]:	42

Для подальших розрахунків нам потрібні дані вихідного крутного моменту 262 Нм та 358 Нм на валах редукторів, вихідна частота обертання валу 76 об/хв, потужність їх електродвигунів 2,2 кВт та 3 кВт.

Система керування електродвигуном знаходиться в спеціальному захисному корпусі, який показано на рис. 2.7, а.

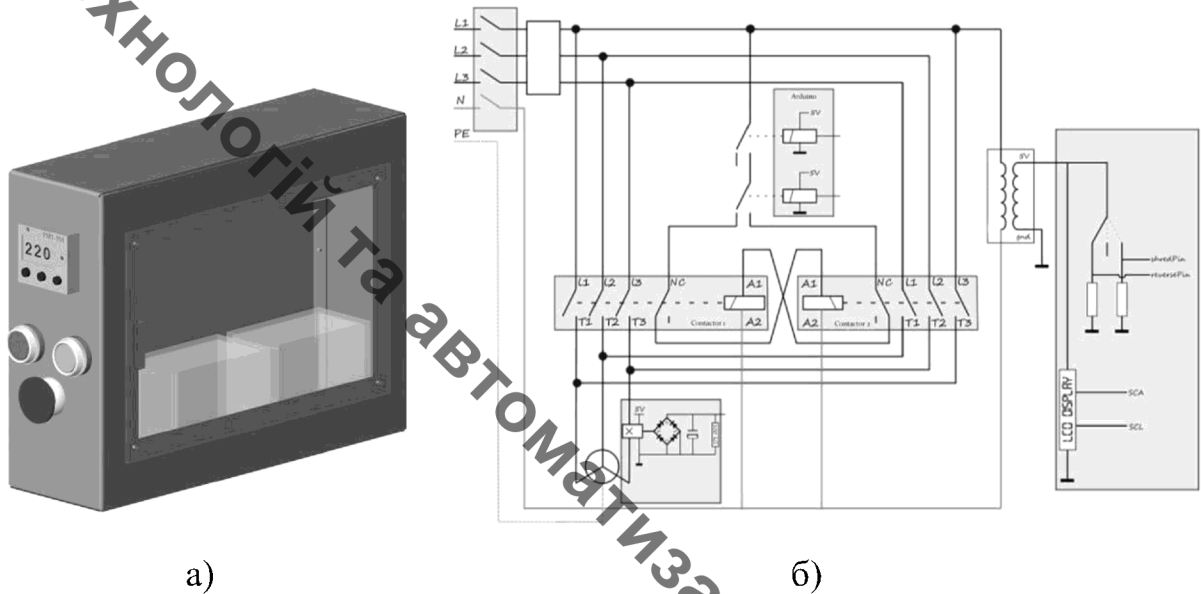


Рисунок 2.7 – Блок керування електродвигуном а) та електрична схема підключення електродвигуна з блоком живлення для прототипу б)

В блок керування входить корпус, кнопки керування, реле максимального струму РМТ-101, контрольна панель на основі Arduino, пускач на основі конденсаторів. Електрична схема підключення елементів блоку керування прототипу показана на рис. 2.7, б.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

В даному розділі представлено проектні розрахунки приводу подрібнювача для пластмаси шляхом удосконалення прототипу. Основні результати отримано за допомогою програмного продукту Autodesk «Inventor» шляхом динамічного аналізу рухів елементів приводу подрібнювача та розрахунком їх на міцність.

3.1 Підбір ножів для дробарки

Ножі для дробарки чи шредера - найважливіші елементи дробильного обладнання, які розрізають сировину з пластмаси до необхідних розмірів. Крім цього сировиною може бути, залежно від типів виробництв: макулатура, папір, картон, різні види пластмаси, ПЕТ-відходи, а також, поліетилен, поліетиленова плівка, дерево, гума, металеві відходи (зокрема труби, арматура та листовий прокат) тощо. В залежності від цього вибирається потужність приводу, продуктивність його роботи та режими завантаження.

Під час експлуатації ножів виникають значні динамічні зусилля різання, які створюють ряд вимог до них:

- 1) Висока зносостійкість. Ножі подрібнювача повинні витримувати циклічний ритм роботи із високими навантаженнями на робоче лезо.
- 2) Якісний матеріал, з якого виготовлено ножі. Ріжуче лезо не повинно гнутися або деформуватися у процесі роботи та виконувати свої функції.
- 3) Легке заточення. Під час роботи ножі можуть затуплюватися і тому потрібно легко здійснюватися заточення, не змінюючи напрямки леза.
- 4) Високі ріжучі здібності. Цей показник також забезпечується властивостями матеріалів з яких виготовляються ножі.

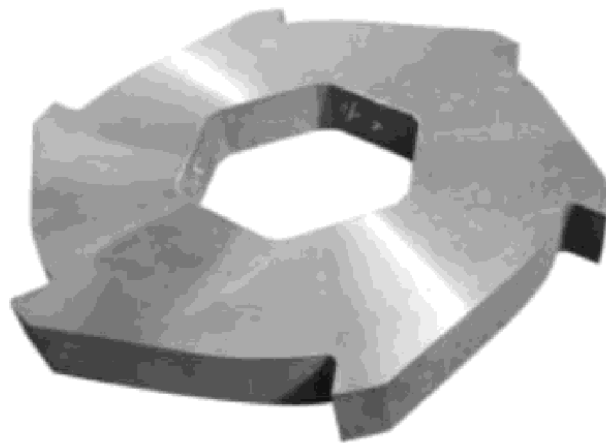
Найбільш часто використовують ножі із сталі. При цьому марки стала для ножів: Сталь 9ХС, сталь У8, сталь 6ХВ2С, сталь 38Х2М10А, сталь SKD11 та їх

аналоги. Це в основному інструментальні сталі з легуванням. Особливістю таких сталей це витримування ударних навантажень. Крім цього, вказані сталі загартовують та добиваються твердості поверхні леза ножів 65 HRC.

Розрізняють ножі подрібнювача за кількістю лез. Так найбільш розповсюджені промислові шредери мають вставні пластини або ножі з мінімум 6 лезами (див. рис. 3.1).



а)



б)

Рисунко 3.1 – Леза для ножів а) та шести лезовий ніж б) приводу подрібнювача

Така кількість лез на ножеві збільшує продуктивність машини. Це відбувається за рахунок того, що збільшується кількість зубів яка одночасно врізається в сировину. Однак, збільшення продуктивності веде до зменшення можливої товщини матеріалу яку може захватити лезо ножа, а також до збільшення потрібної потужності приводу подрібнювача та його комплектуючих для забезпечення міцності.

Для дробарок невеликої потужності зазвичай використовують ножі із двома чи трьома (див. рис. 3.2) лезами. Ніж із 2-ма лезами представлено на рисунку 1.5, який використано в прототипі.



Рисунко 3.2 – Три лезовий ніж приводу подрібнювача

В нашому випадку не планується суттєвих змін в приводі подрібнювача дробарки з метою значного збільшення продуктивності. Тому приймаємо двох лезові ножі приводу подрібнювача дробарки. А згідно конструкції прототипу, одночасно під час різання може приймати участь максимум 2 леза ножа. Тому результати графіку на рис. 1.7 потрібно подвоювати, щоб забезпечити можливість розрізання сировини з різної пластмаси.

3.2 Кінематичний розрахунок приводу подрібнювача

Розрахуємо можливості приводу подрібнювача дробарки згідно прототипу. На рис. 3.3 показано кінематичну схему приводу подрібнювача дробарки: позиція 1 – електродвигун (KR273-2E100L/4B), поз. 2 – втулкова муфта, поз. 3 – редуктор циліндричний, поз. 4 – пружня втулково-пальцева муфта, поз. 5 – підшипник, поз. 6 – дробарка.

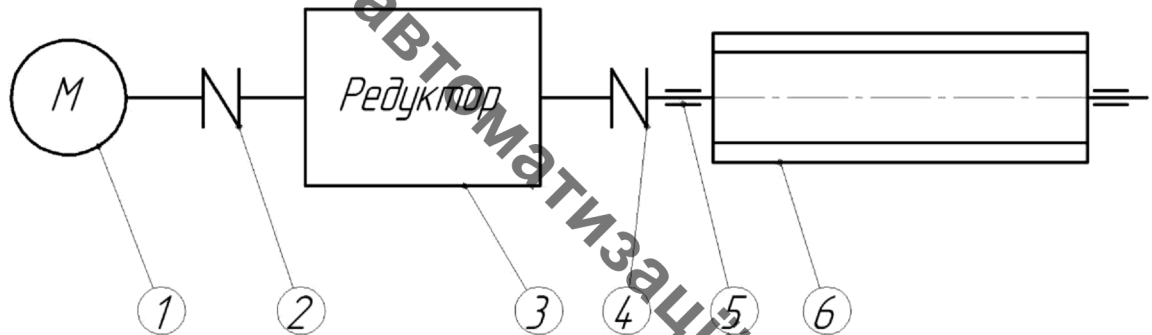


Рисунок 3.3 – Кінематична схема приводу подрібнювача дробарки

Вихідні дані:

Напруга і частота електрики: 400 В та 50 Гц;

Потужність електродвигуна: 2,2 кВт;

Частота обертання на виході редуктора: 76 об/хв;

Вихідний крутний момент: 262 Нм;

ККД електродвигуна: 0,846;

ККД електродвигуна та редуктора: 0,79;

Вага електродвигуна з редуктором: 38 кг;

ККД підшипників: 0,99;

ККД пружної втулково-пальцевої муфти: 0,96.

Вихідні дані дозволяють розрахувати максимальну силу врізання ножів дробарки. Знайдемо потужність на валу дробарки:

$$P_{5,i} = P_{1,i} \cdot \eta_{ep,i} \cdot \eta_{m} \cdot \eta_{M}, \text{ [кВт]} \quad (3.1)$$

де η_{ep} – коефіцієнт корисної дії електродвигуна з редуктором;

η_{m1} – коефіцієнт корисної дії пари підшипників дробарки;

η_m – коефіцієнт корисної дії пружної втулково-пальцевої муфти;

i – індекс використаного електродвигуна, відповідно 2,2 кВт та 3 кВт.

Тоді

$$P_{5,2,2} = 2,2 \cdot 0,79 \cdot 0,99 \cdot 0,96 = 1,65 \text{ (кВт)}.$$

Знайдемо максимальну силу врізання ножів дробарки:

$$F_{t,i} = \frac{P_{5,i} \cdot 60 \cdot 1000}{n_5 \cdot d \cdot \pi}, \text{ [кН]} \quad (3.2)$$

де n_5 – частота обертання вала дробарки;

d – діаметр вершини леза ножа дробарки.

Тоді

$$F_{t,2,2} = \frac{1,65 \cdot 60 \cdot 1000}{76 \cdot 120 \cdot 3,14} = 3,46 \text{ (кН)}.$$

Також виконаємо розрахунки для електродвигуна 3 кВт, а вихідні дані візьмемо із таблиці 2.2. Результати розрахунку:

$$P_{5,3} = 3 \cdot 0,8 \cdot 0,99 \cdot 0,96 = 2,28 \text{ (кВт)};$$

$$F_{t,3} = \frac{2,28 \cdot 60 \cdot 1000}{76 \cdot 120 \cdot 3,14} = 4,78 \text{ (кН)}.$$

Отже, згідно розрахунків маємо можливості приводу дробарки видавати силу різання в 3,46 кН для електродвигуна потужністю 2,2 кВт та 4,78 кН для електродвигуна потужністю 3 кВт.

Якщо аналізувати графік потрібної сили для розрізання сировини пластмаси (див. рис. 1.7), то навіть з подвоєними витратами – коли працюють одночасно два ножа, найбільші затрати для подрібнення будуть йти на PVC пластмаси. Цей показник дорівнює 3,43 кН та впритул наближається до можливостей дробарки із потужністю 2,2 кВт. Саме тому приймаємо рішення одразу використовувати електродвигун KR273-2E100L/4В потужністю 3 кВт, щоб забезпечити запас потужності 1,4 рази.

Для виробників, які не планують переробляти PVC пластмаси в рамках економії буде достатньо встановити електродвигун 2,2 кВт. Наприклад під час переробки PP пластмаси виникатимуть сили різання рівні 2,62 кН на двох ножах. Електродвигуна з потужністю 2,2 кВт в такому випадку буде достатньо, і привод подрібнювача буде мати запас потужності 1,32 рази.

Розрахункове значення кінематичних характеристик на приводі подрібнювача знайдемо за формулами:

- розрахунковий крутний момент на приводному валу подрібнювача

$$T_s = F_n \cdot b \cdot \frac{d}{2}, [\text{Нм}] \quad (3.3)$$

де F_n – розрахункова сила, що діє на один ніж дробарки;

b – кількість зубів дробарки, що одночасно приймають в процесі дробіння.

$$T_s = 1715 \cdot 2 \cdot \frac{0,12}{2} = 205,8 \text{ (Нм)}.$$

- розрахункова потужність на приводному валу подрібнювача

$$P_s = \frac{T_s \cdot n_s \cdot \pi}{30 \cdot 1000}, [\text{кВт}] \quad (3.4)$$

$$P_s = \frac{205,8 \cdot 76 \cdot \pi}{30 \cdot 1000} = 1,64 \text{ (кВт)}.$$

3.3 Аналіз фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача

Для аналізу фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача будемо використовувати тривимірну модель прототипу дробарки в програмному пакеті Autodesk Inventor. Print scrin з робочого столу показано на рисунку 3.4.

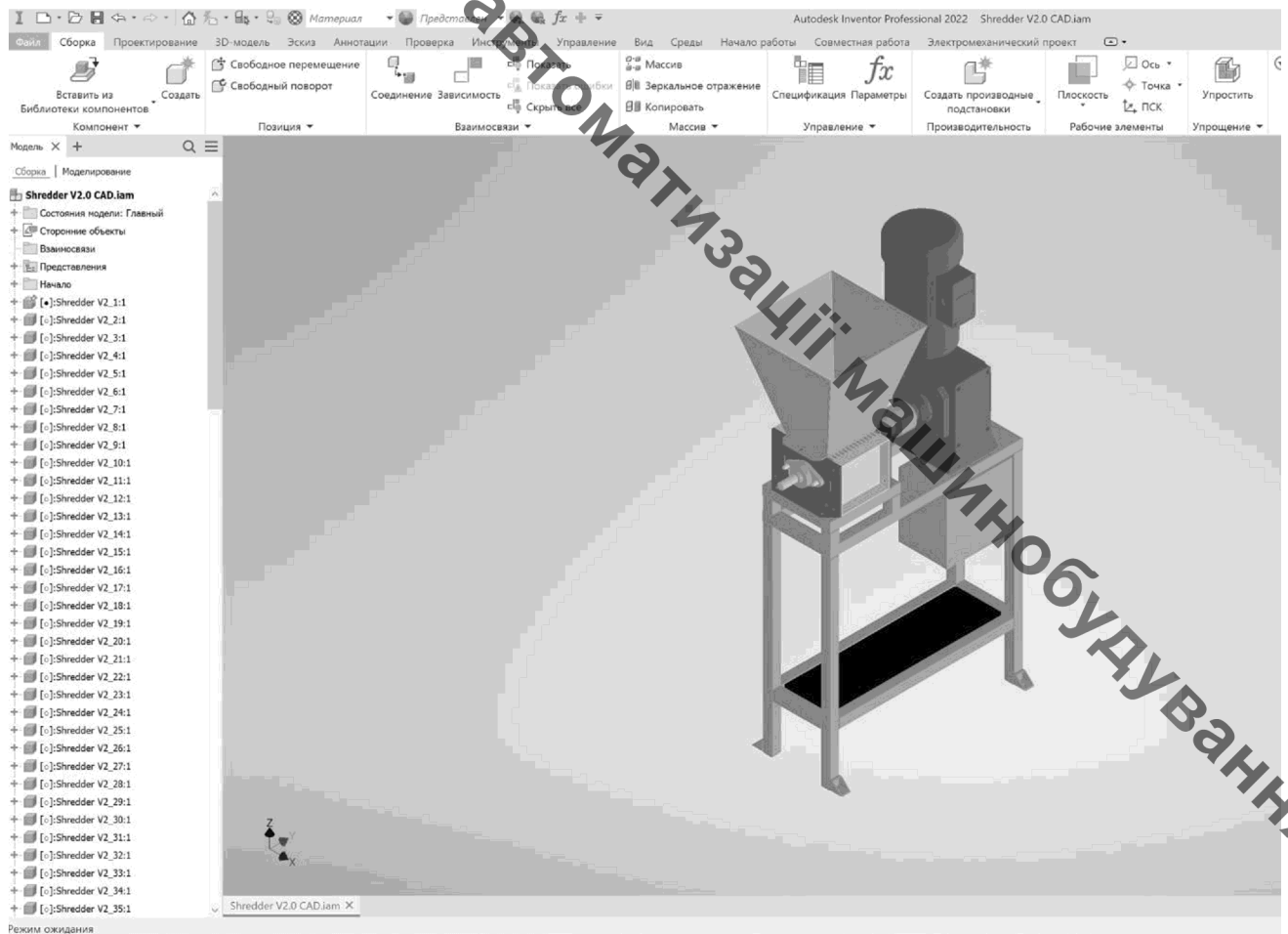


Рисунок 3.4 – Тривимірна модель прототипу дробарки в програмному пакеті Autodesk Inventor

Привод прототипу подрібнювача дробарки досить простий. Виконання зборки тривимірної моделі дозволяє вирішити багато задач під час його удосконалення:

- враховано особливості зборки вузла;

- можливість виділити тільки компоненти, що приймають участь в моделюванні;

- спрощення зборки;

- ізолювання важливих деталей;

- побудова нормалей векторів.

На рисунку 3.5 показано привод прототипу дробарки з близька. Так деталізація для розрахунків не потрібна, тому в програмному продукті Ascon «Компас-3D» проведемо спрощення зборки.

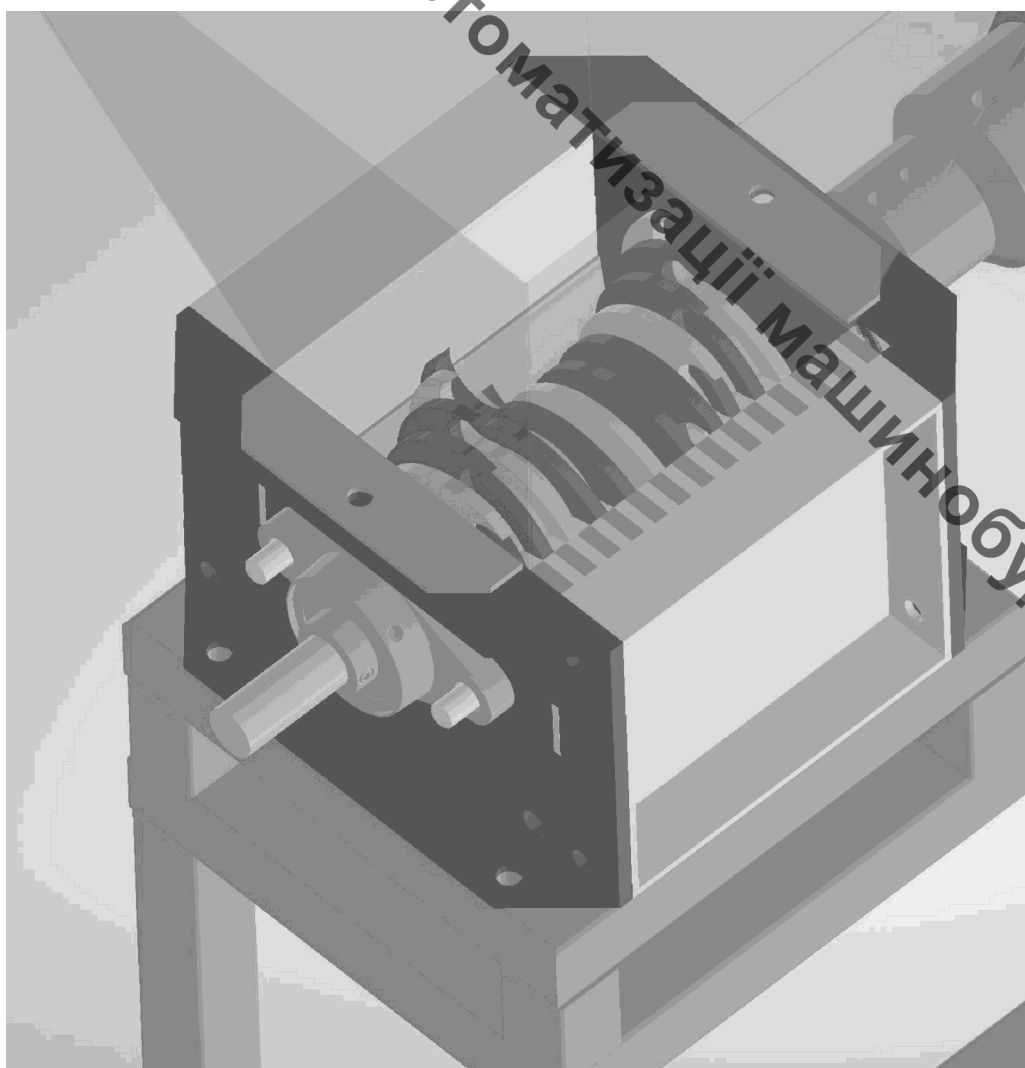


Рисунок 3.5 – Привод прототипу подрібнювача дробарки

Таким чином отримуємо вал із робочими ножами та шпонкою на підшипниках кочення (див. рис. 3.6).

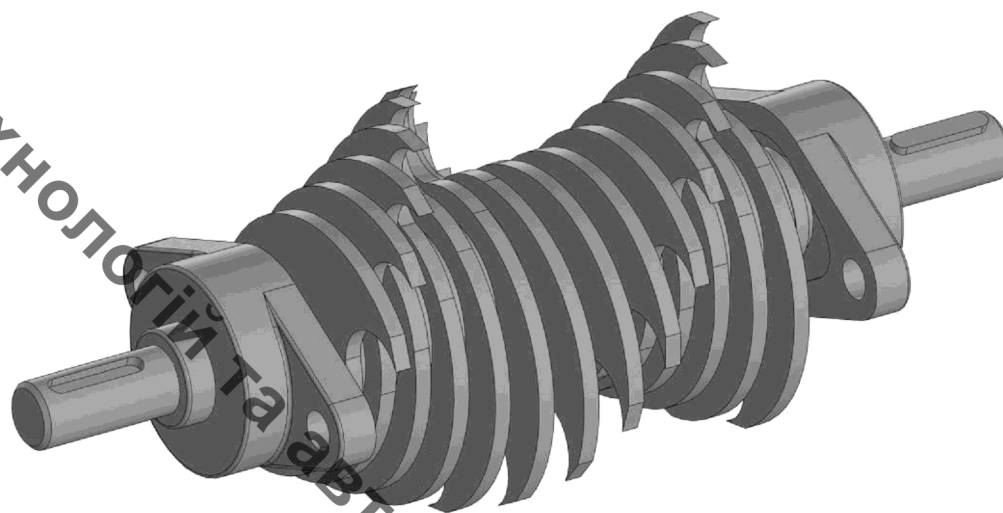


Рисунок 3.6 – Елементи приводу прототипу дробарки

Після такого спрощення варто врахувати лише ті ножі приводу подрібнювача, які беруть безпосередню роботу в цій операції, а інші елементи також спрощуємо. В результаті отримуємо конструкцію елементів приводу подрібнювача для розрахунку (див. рис. 3.7).

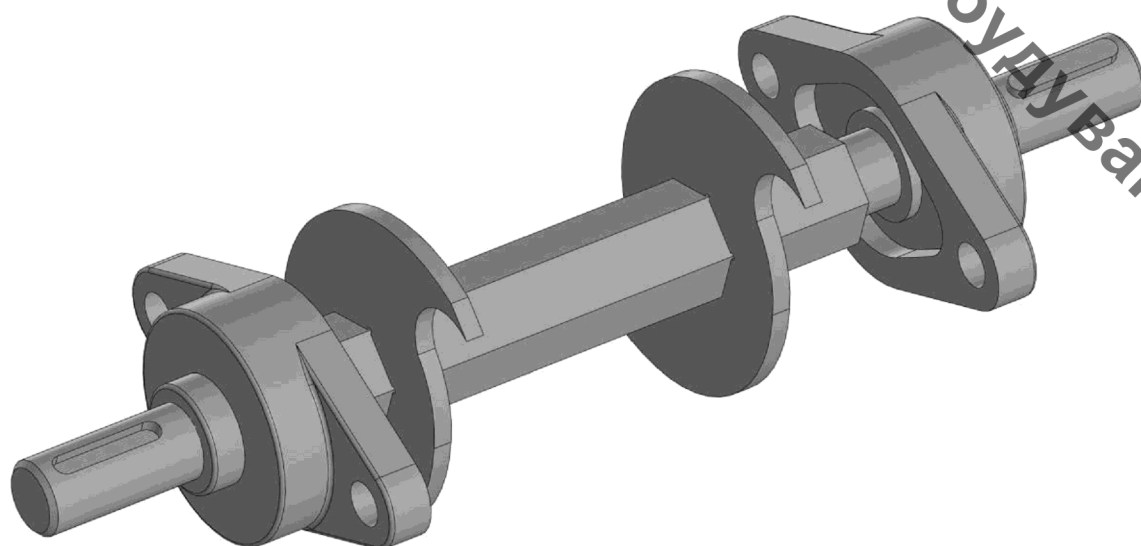


Рисунок 3.7 – Спрощена конструкція елементів приводу прототипу дробарки для розрахунків

Далі переходимо до безпосереднього динамічного аналізу руху спрощеної конструкції приводу прототипу дробарки. Використаємо такі обмеження під час моделювання:

- фізичні особливості деталей (маса, інерційні властивості та їх розміщення);
- моделювання тільки активних елементів приводу;
- автоматично створені залежності для деталей зборки;
- відповідність розмірам та точному моделюванню.

Першим кроком для динамічного аналізу – це вибираємо матеріал деталей. Для ножів та валу ми обрали леговану сталь, а для шпонки – конструкційну сталь (див. рис. 3.8).

Панель	Матеріал	Теплопроводность	Удельная теплоемкость	Коэффициент расширения	Поведение	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига	Плотность	Предел текучести	Предел прочности	Термообработка
а)	Сталь, легированная	4,500E+01 Вт/(м·К)	0,480 Дж/(г·°C)	12,000 мкм/(м·°C)	Изотропный	205,000 ГПа	0,30	80000,000 МПа	7,730 г/см³	250,000 МПа	400,000 МПа	<input checked="" type="checkbox"/>
б)	Сталь	5,600E+01 Вт/(м·К)	0,480 Дж/(г·°C)	12,000 мкм/(м·°C)	Изотропный	210,000 ГПа	0,30	80000,000 МПа	7,850 г/см³	207,000 МПа	345,000 МПа	<input type="checkbox"/>

а)

б)

Рисунок 3.8 – Вибір матеріалів для елементів приводу

Другий крок – це забезпечити правильні взаємозв'язки деталей із вказанням обов'язково валу з можливістю обертатися (див. рис. 3.9).

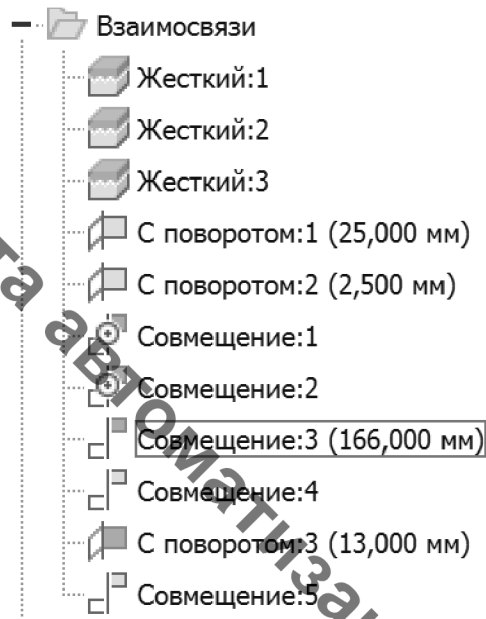


Рисунок 3.9 – Розставлення взаємозв'язків між деталями

Третій крок – задаємо силу тяжіння, що діє на компоненти об'єкта моделювання (див. рис. 3.10)

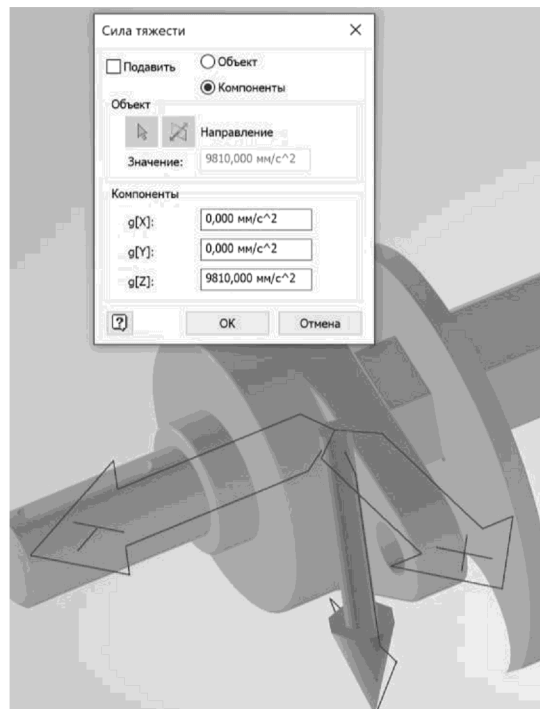


Рисунок 3.10 – Сила тяжіння що діє на компоненти об'єкта моделювання

В четвертому кроку задаємо частоту обертання валу привода подрібнювача. Потрібно перевести частоту обертання валу 76 об/хв в рад/с, і це буде становити 477,52 рад/с (див. рис. 3.11). Знак «мінус» визначає напрямок обертання валу.

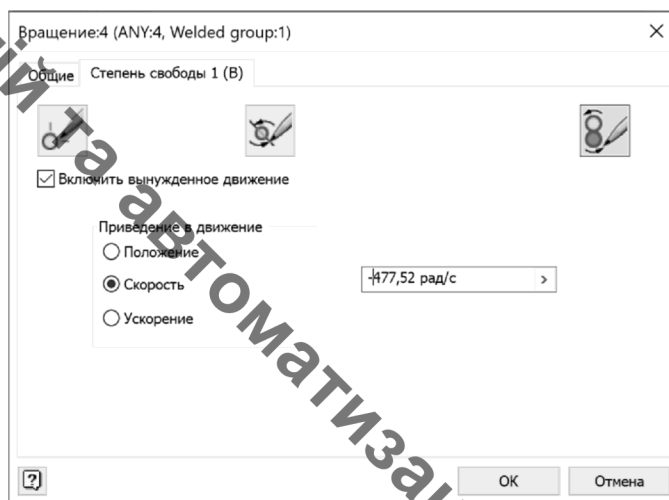


Рисунок – 3.11 – Встановлення частоти обертання валу привода подрібнювача

В п'ятому кроці прикладаємо сили, що діють на леза ножів згідно попередніх розрахунків (див. рис. 1.7) так само як показано на рисунку 3.12.

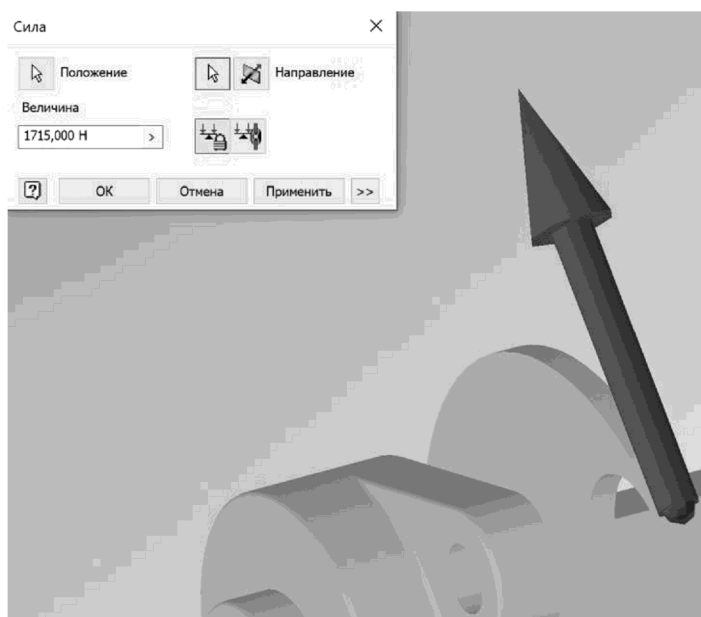


Рисунок 3.12 – Сили, що діють на леза ножів привода

Наступним етапом проводим динамічний аналіз приводу (див. рис. 3.13). Вибраємо початкову точку відліку 0 с та для цієї точки виберемо деталі для аналізу на міцність. Проаналізуємо напруження, що виникають в ножеві та на валу приводу подрібнювача.

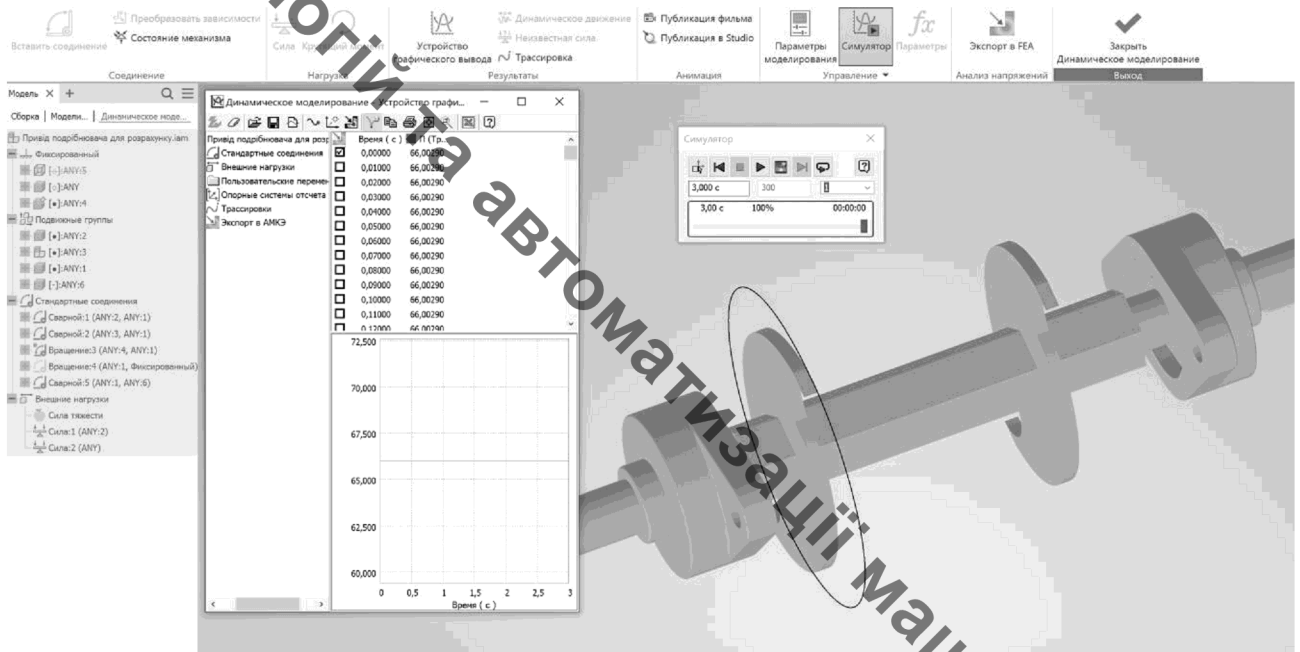


Рисунок 3.13 – Динамічний аналіз приводу подрібнювача

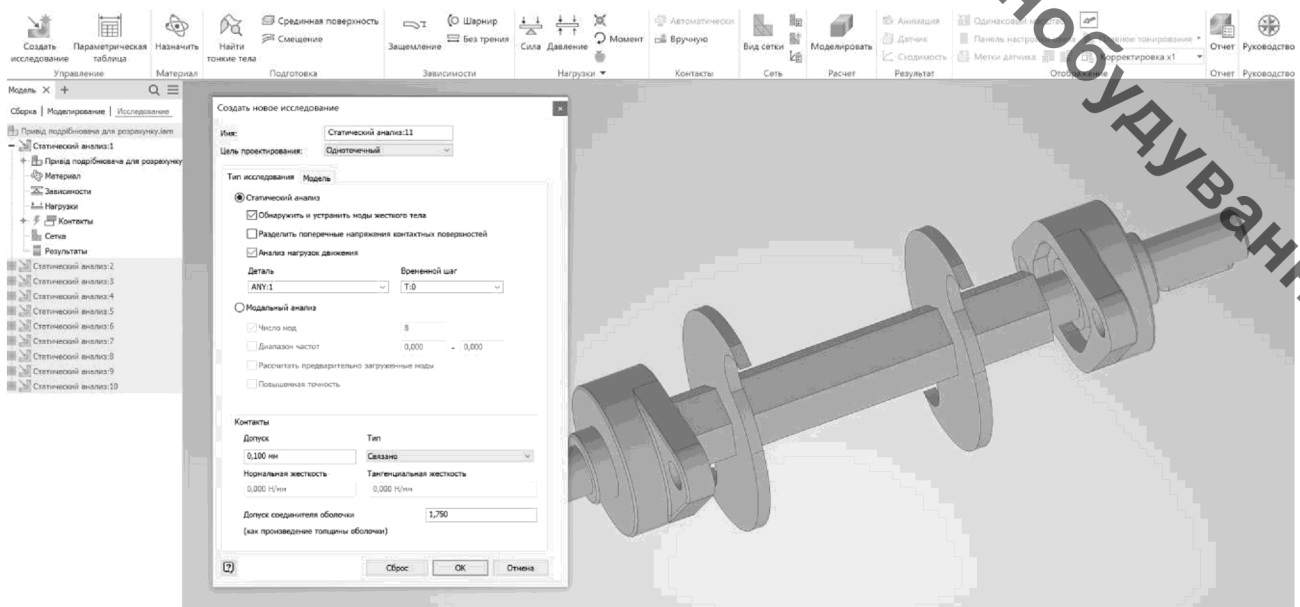
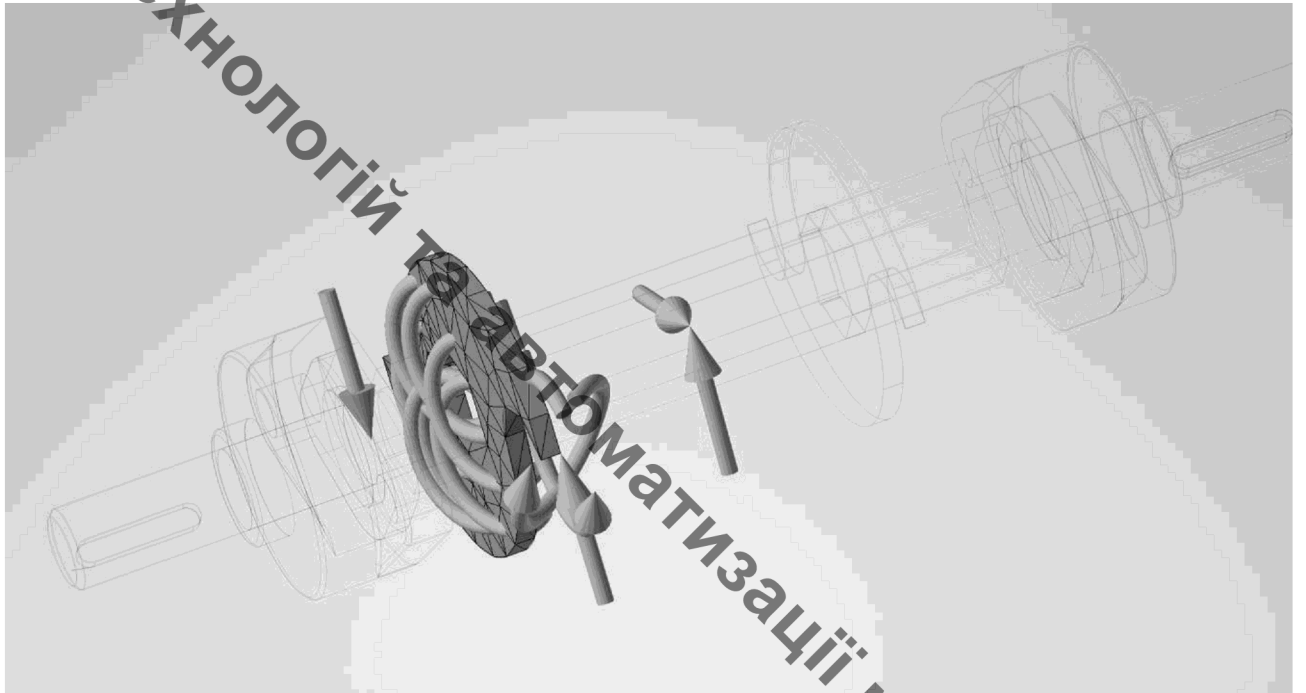


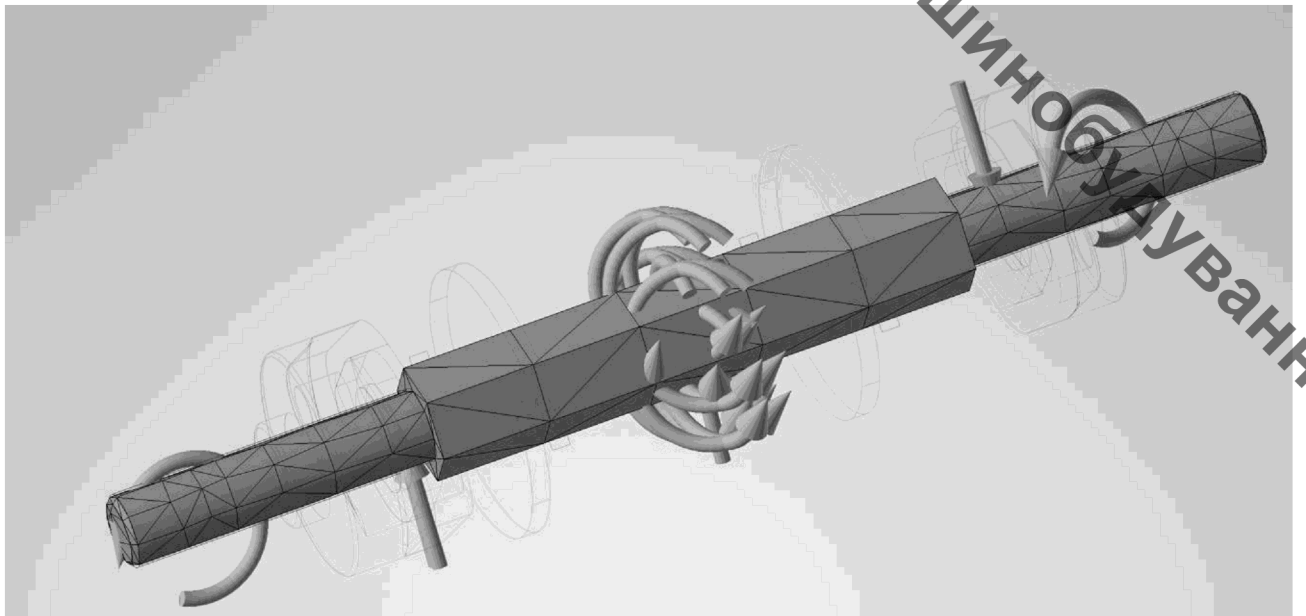
Рисунок 3.14 – Аналіз на міцні приводу подрібнювача під час його руху

Програмою Autodesk Inventor під час руху в збірці приводу подрібнювача були пораховані реакції в опорах та накладені на 3D моделі елементів приводу.

На рис. 3.15 а та б показано 3D моделі елементів приводу. Вони розбиті на кінцево-елементні частинки, що дозволяє проводити розрахунки на мінцисть.



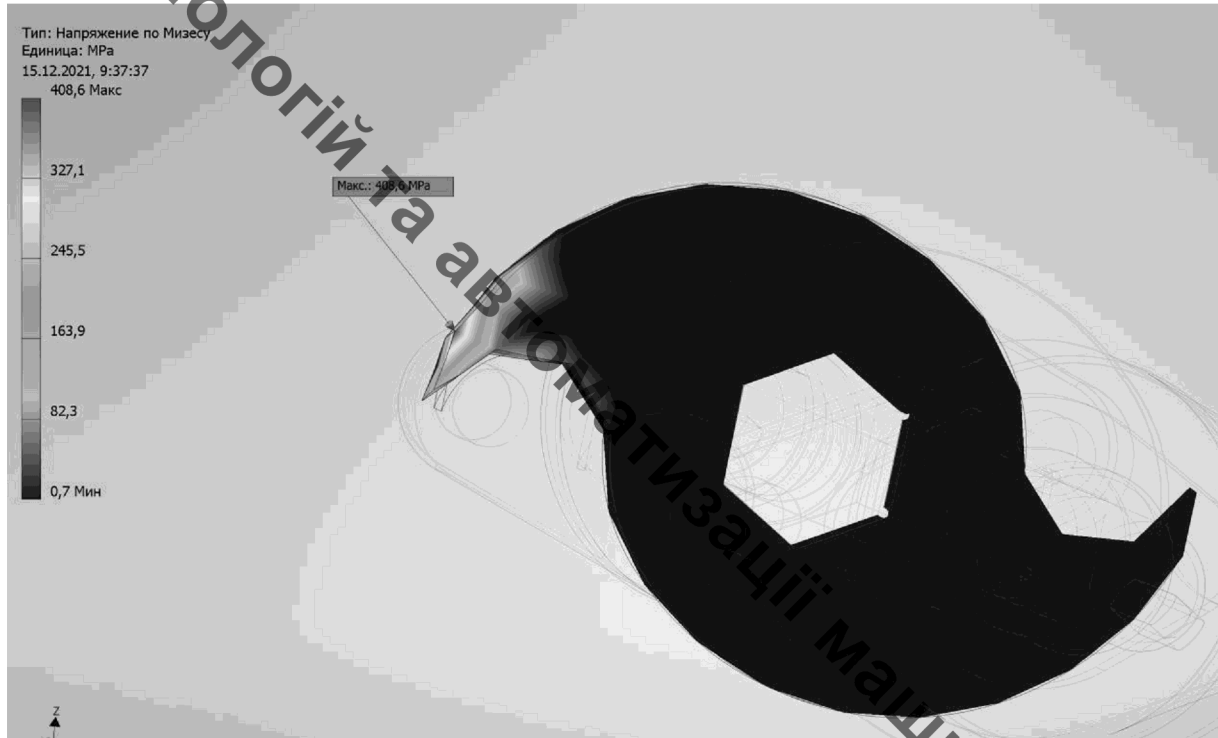
а)



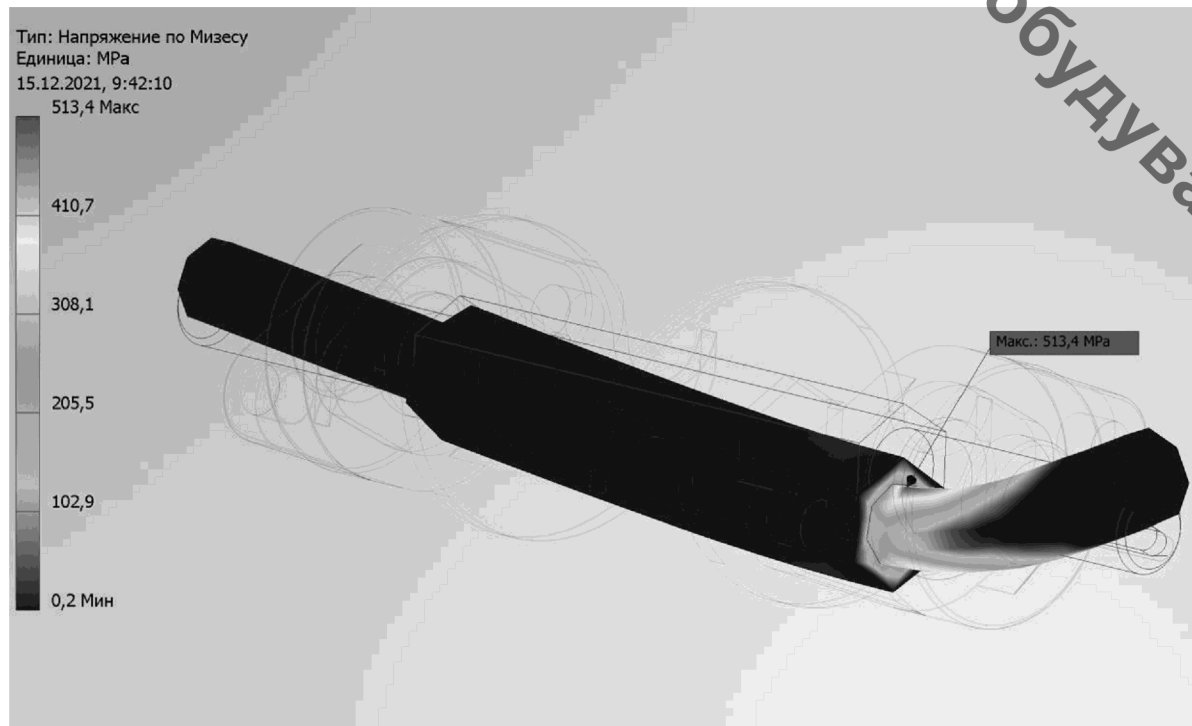
б)

Рисунок 3.15 – Елементи приводу під дією сил, що виникають під час динамічного аналізу: а) – ніж, б) - вал

Результати розрахунків показано в напруженнях по Мізесу, що є еквівалентними напруженнями на елемент. На рис. 3.16 а та б показано також зони з максимальним напруженням.



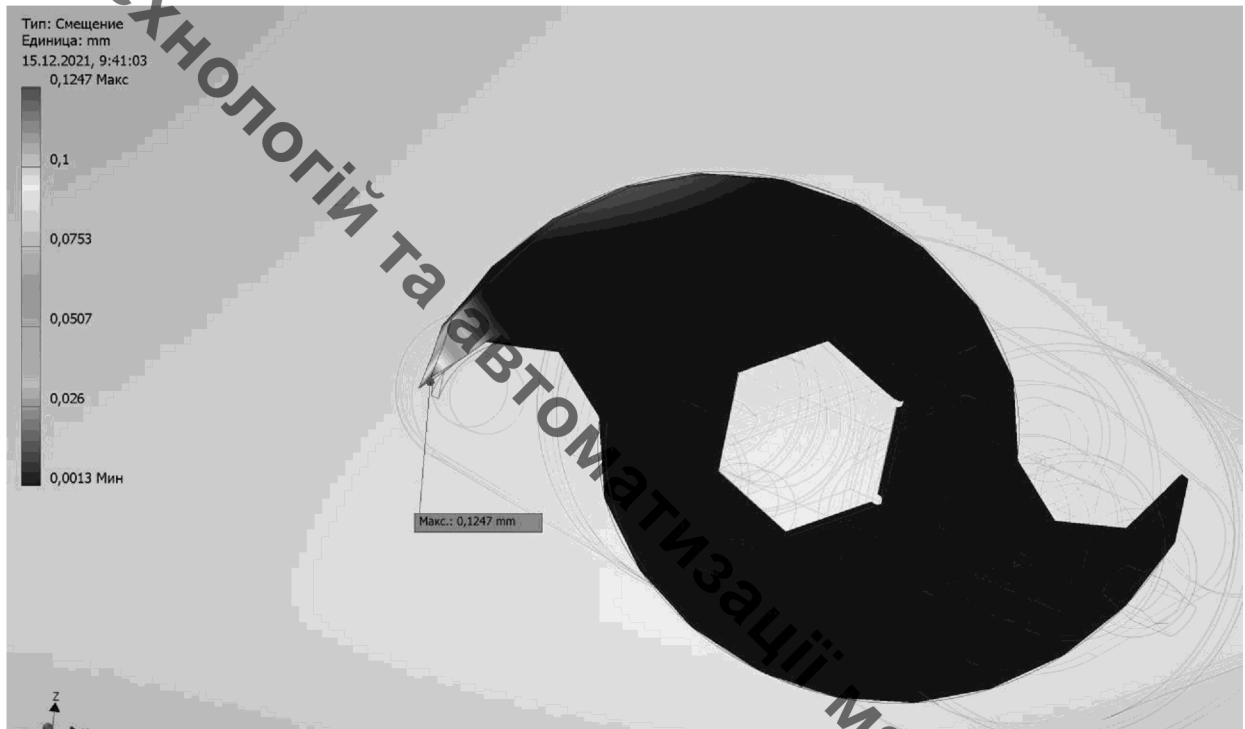
а)



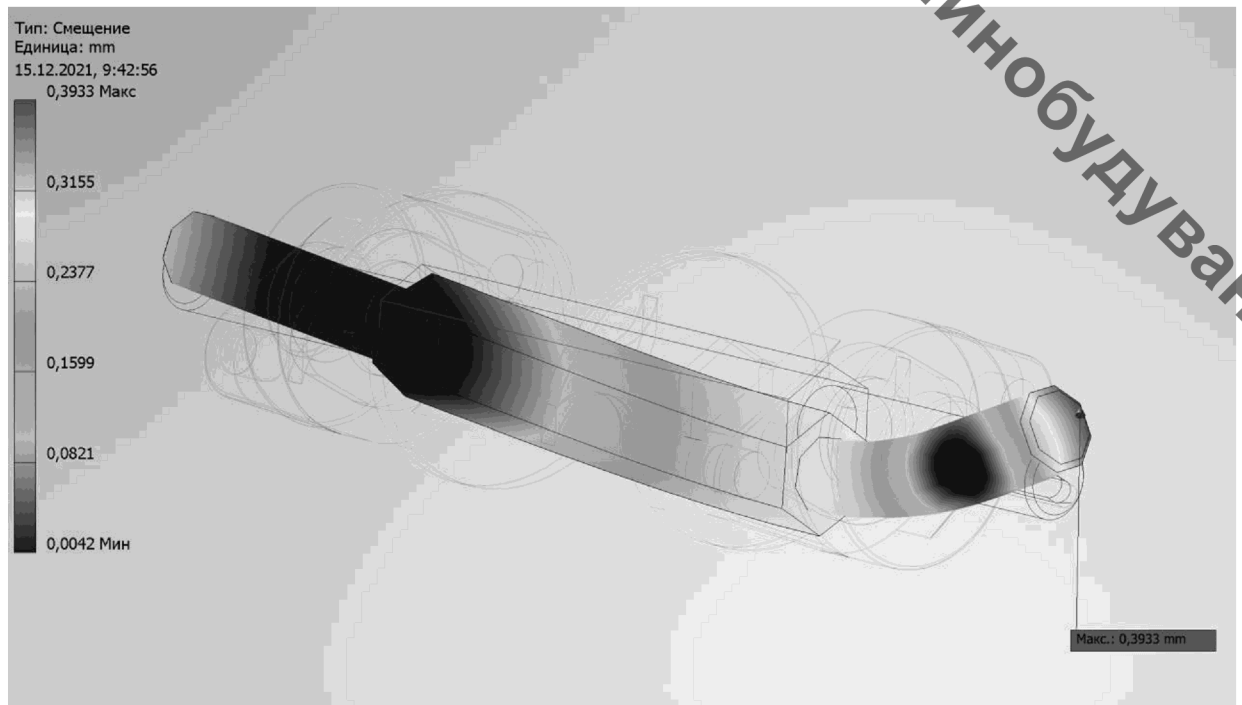
б)

Рисунок 3.16 – Напруження в елементах приводу по Мізесу

На рисунках 3.17 а та б показано максимальне зміщення частин елементів приводу.



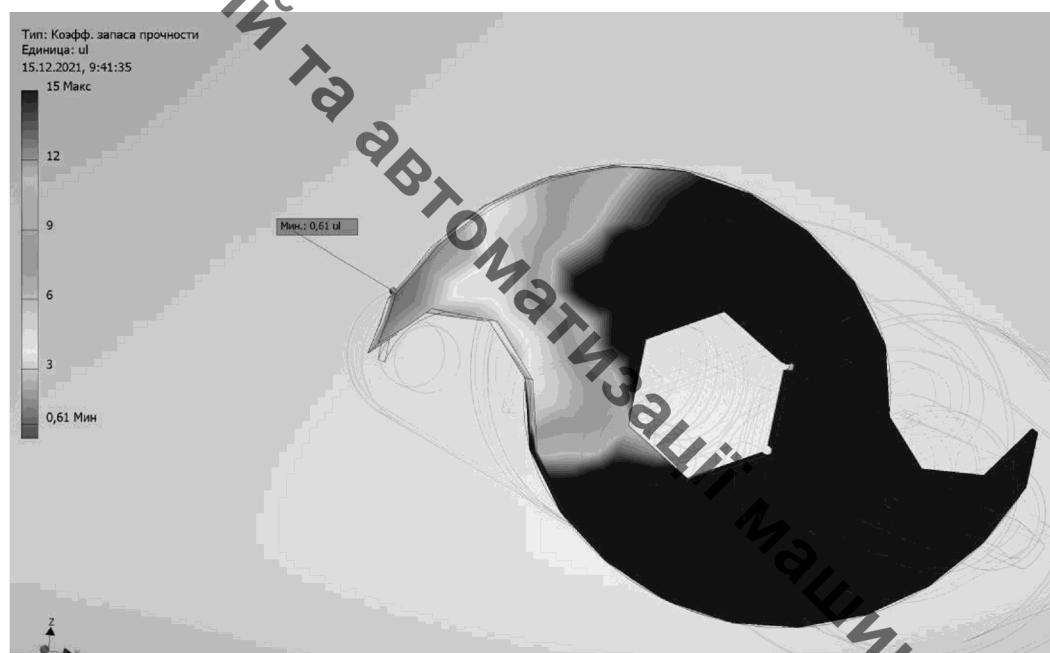
а)



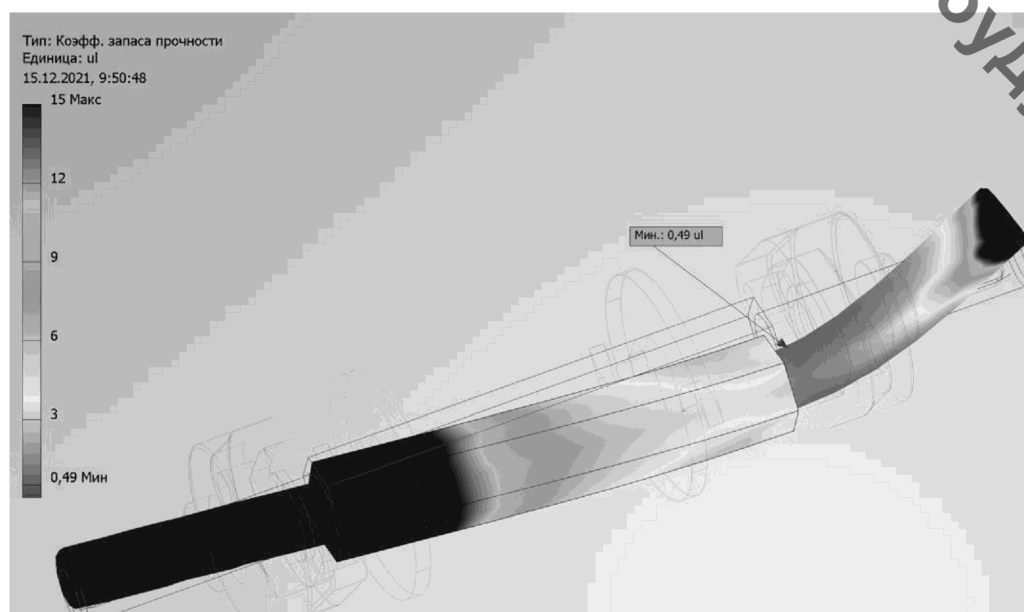
б)

Рисунок 3.17 – Максимальне зміщення елементів приводу під дією навантаження

На рисунках 3.18 а та б показано мінімальний коефіцієнт запасу міцності для елементів приводу. Показник в 0,61 та 0,49 означає, що під час роботи такого приводу ці елементи не зможуть працювати та зламаються. Потрібно змінити конструкцію даних елементів, щоб коефіцієнт запасу міцності був більше 1, а ще краще в межах 1,3-1,5.



а)



б)

Рисунок 3.18 – Значення коефіцієнту запасу міцності для елементів приводу подрібнювача

Щоб вирішити поставлену задачу було прийнято рішення підсилювати робочі елементи приводу подрібнювача до тих пір поки коефіцієнт запасу міцності не буде більше 1.5. Зупинилися на варіанті валу з 36 шестигранника, та виготовлення ножів із листа сталі товщиною 7 мм (див. рис. 3.19).

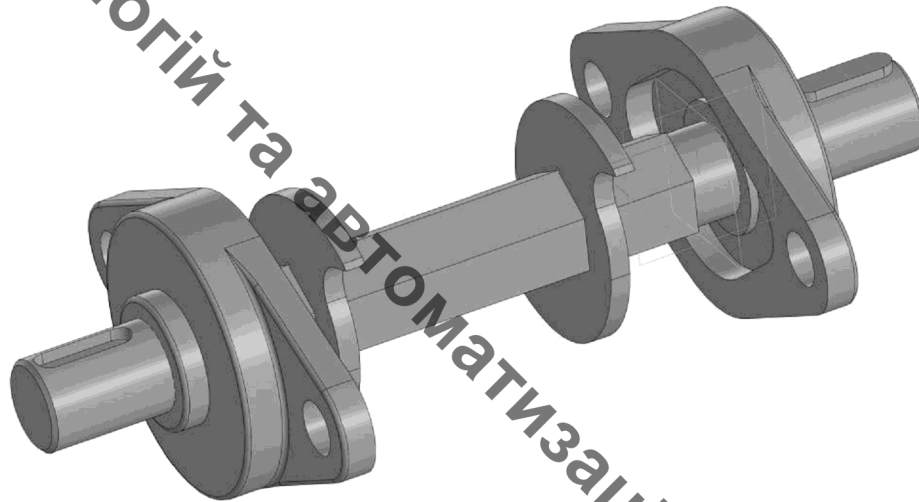
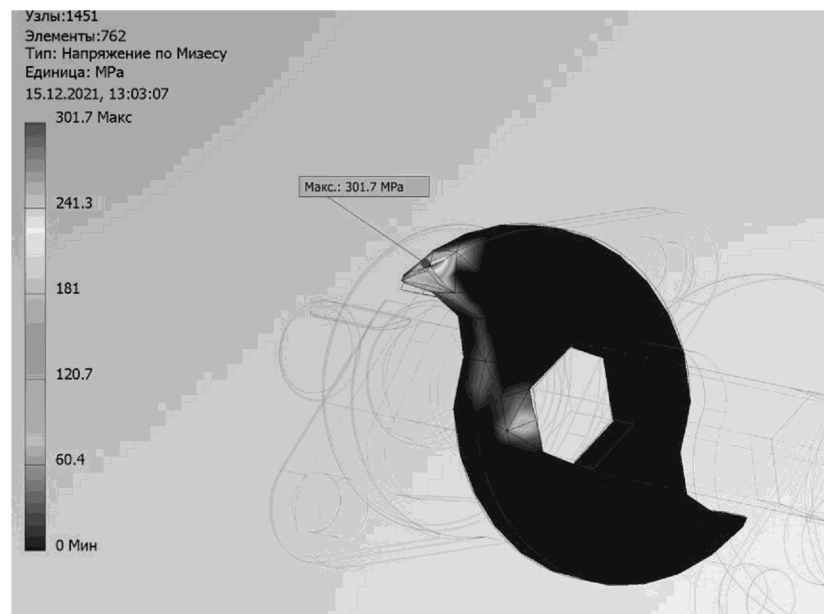
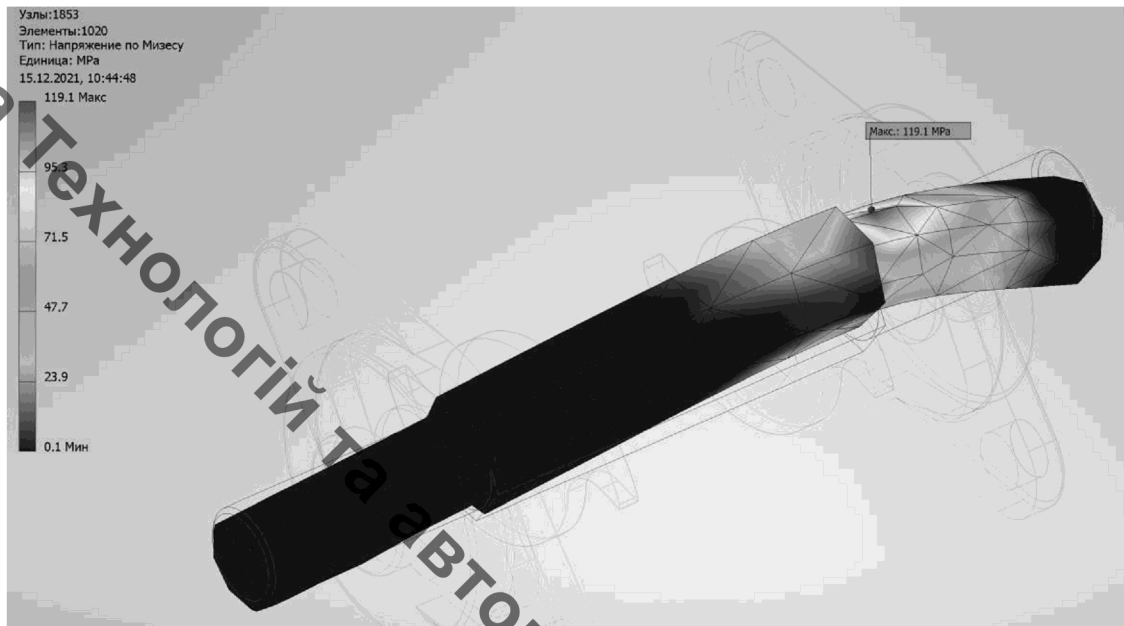


Рисунок 3.19 – Удосконалений привод подрібнювача пластмаси

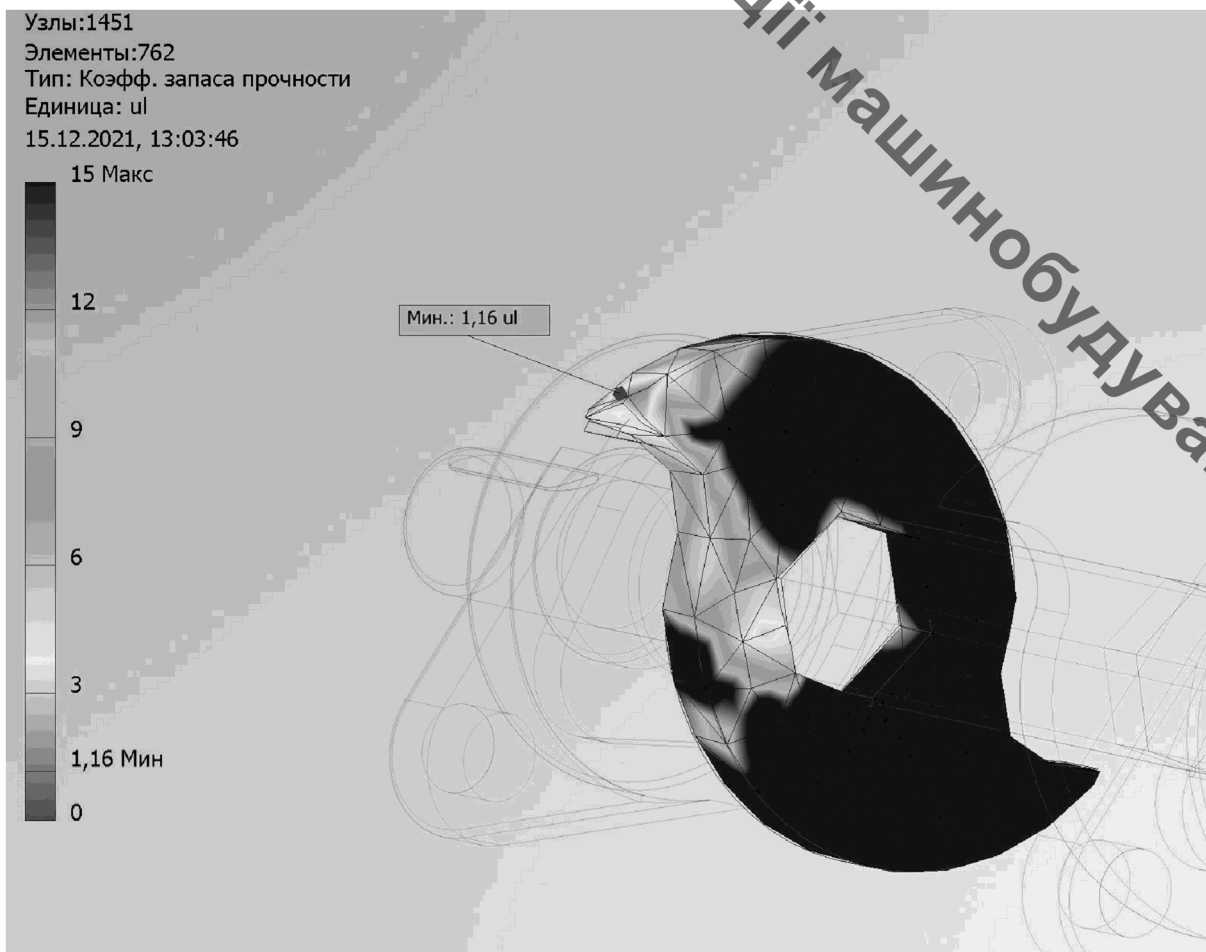
Результати розрахунків подано на рисунках 3.20 та 3.21 з розрахованими параметрами під час подрібнення пластмаси типу PVC з полівініл хлориду.



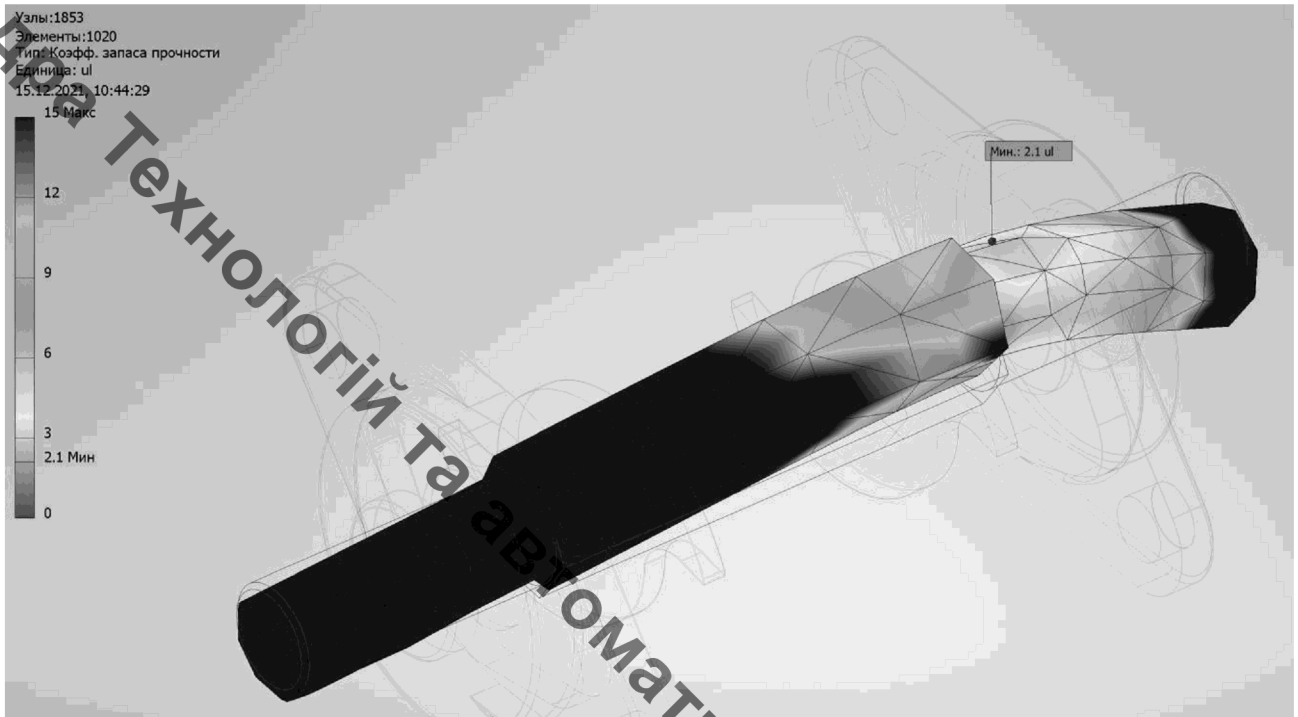
а)



б)
Рисунок 3.20 – Результати розрахунку напруження по Мізесу в елементах удосконаленого приводу подрібнювача



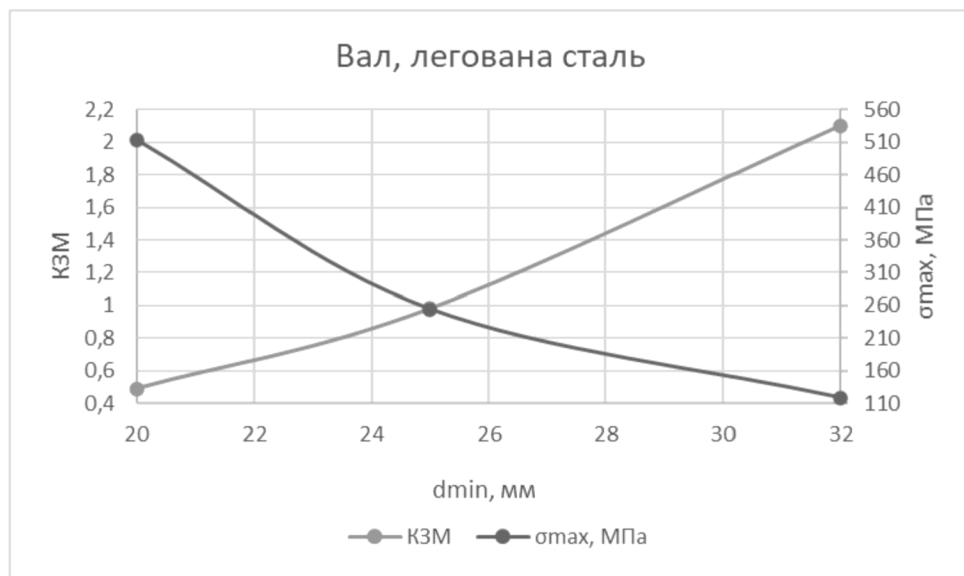
а)



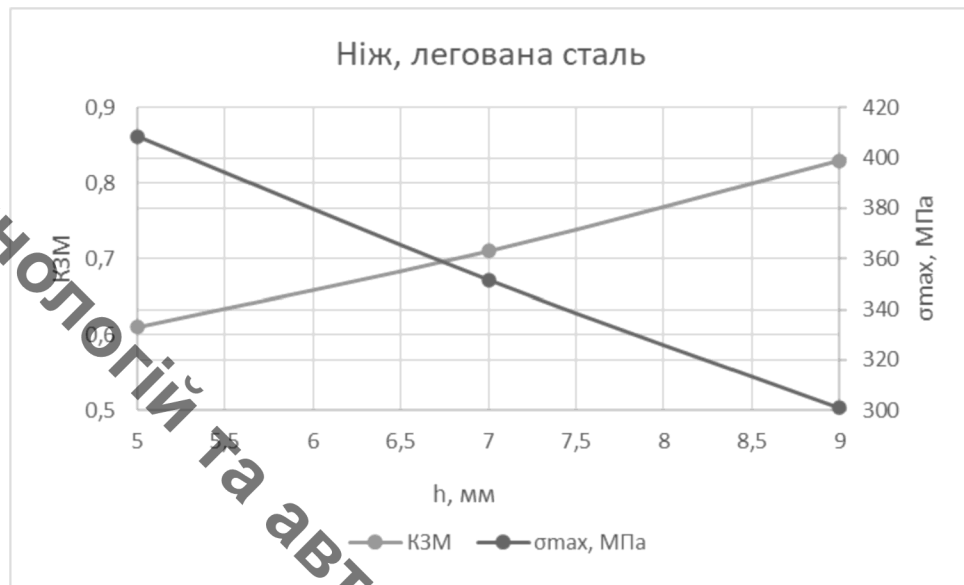
б)

Рисунок 3.21 – Результати розрахунку коефіцієнту запаму міцності для удосконаленого приводу подрібнювача

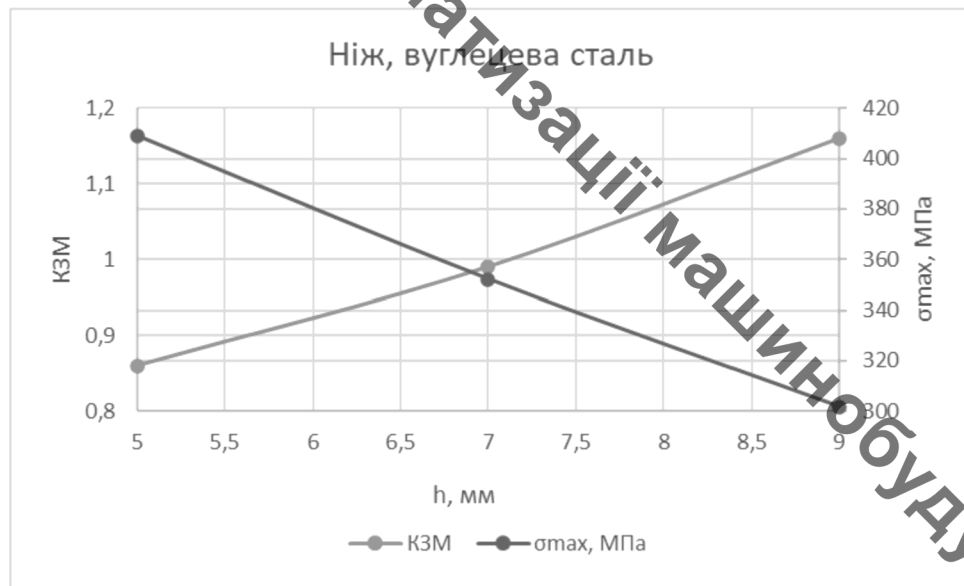
За проміжними результатами побудовано залежності зміни напруження та коефіцієнту запаму міцності в елементах приводу подрібнювача. Дані представлено графічно на рисунку 3.22.



а)



б)



в)

Рисунок 3.22 – Залежності коефіцієнту запасу міцності та напруження в елементах приводу від їх параметрів

Отже, із отриманих залежностей приймаємо мінімальний діаметр вала 32 мм із легированої сталі, а товщину ножі 9 мм із вуглецевої сталі.

3.4 Перевірочний розрахунок інших елементів приводу подрібнювача

3.4.1 Перевірочний розрахунок втулочно-пальцевої муфти

З'єднання валу редуктора із валом приводу подрібнювача виконано муфтою пружною втулочно-пальцевою за ГОСТ 21424-75. Вона має просту конструкцію, зручно монтується та демонтується. Дана муфта є електроізолюваною, що покращує техніку безпеки. Крім цього, пружні елементи пальців пом'якшують удари та вібрації під час дробіння, компенсують невеликі похибки монтажу і деформації валів приводу. Виготовляють напівмуфти зазвичай із чавуну СЧ 20, сталі 30, сталі 35Л, а пальці муфти - не гірше, як сталь 45. Пружні елементи пальців виготовляють з гуми $\sigma_B \geq 8$ МПа.

Муфта вибрана із залежності:

$$T_p = K_K \cdot T_{\text{ном}} \leq T, \quad (3.5)$$

де T_p - розрахунковий крутний момент на валу редуктора, Нм;

K_K - коефіцієнт запасу передачі [5] $K_K = 1,2$;

$T_{\text{ном}}$ - номінальний крутний момент на валу редуктора, Нм.

Отже:

$$T_p = 1,2 \cdot T_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 205,8 = 246,96 \text{ Нм} \leq T = 250 \text{ Нм}$$

В результаті приймаємо: муфта пружна втулочно-пальцева 250-32-1-УЗ.

Перевіримо умову міцності втулок муфти на згин:

$$\sigma_{cm} = 2T_o / (z \cdot D_o \cdot d_n \cdot l_{cm}) \leq [\sigma]_{cm} = 2 \text{ МПа}, \quad (3.6)$$

де z - кількість пальців у муфті,

D_o - діаметр розміщення пальців, мм,

d_n – діаметр пальця, мм;

l_{em} – довжина пружного елемента втулки, мм;

$[\sigma_{cm}]$ – допустимі напруження зминання.

$$\sigma_{cm} = 2 \cdot 205,8 / (14 \cdot 63 \cdot 105 \cdot 4) = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} \leq [\sigma]_{cm} = 2 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Також проведемо розрахунок пальців муфти на згин:

$$\sigma_{cm} = 2T_p(0,5l_{em} + c) / (z \cdot D_o \cdot 0,1d_n^3) \leq [\sigma]_u, \quad (3.7)$$

де $c=3\dots 5$ мм - зазор між півмуфтами.

Допустиме напруження згину пальців $[\sigma]_u = (60\dots 70)$ МПа, де приймаємо 70МПа.

$$\sigma_{cm} = 2 \cdot 205,8(0,5 \cdot 63 + 3) / (4 \cdot 130 \cdot 0,1 \cdot 14^3) = 99,5 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} \leq [\sigma]_u = 70 \text{ МПа}.$$

Умова виконується.

При роботі цієї муфти в умовах радіального зміщення валів може виникати радіальне навантаження. Розраховуємо значення цього навантаження за формулою:

$$F_m = \frac{(500\dots 600) \cdot T_p}{D_o}, \text{ [Н]} \quad (3.8)$$

$$F_m = \frac{(500\dots 600) \cdot 205,8}{105} = 980\dots 1176 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо значення $F_m = 1000$ Н.

3.4.2 Перевірочний розрахунок шпонки приводу подрібнювача

Розрахунок шпонкового з'єднання виконуємо за методикою [7].

Для вала приводу подрібнювача з $d_{\min} = 32$ мм вибираємо за таблицею шпонку 10×8 . Довжину шпонки обираємо із стандартного ряду довжин. Шпонка має бути меншою від довжини посадочного місця для муфти на $3 \dots 10$ мм. Приймаємо довжину шпонки $l = 35$ мм.

Під час розрахунків використовуємо допустиме напруження зминання шпонки $[\sigma_{зм}] = 80 \dots 150$ МПа.

$$\sigma_{зм} = \frac{2T_{ном}}{d_{\min} \cdot t_1 \cdot l} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.9)$$

де $d_{\min} = 32$ мм, $t_1 = 3,3$ мм, $T_{ном} = 205,8$ Нм. Тоді:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 205,8}{0,032 \cdot 0,0033 \cdot 0,035} = 111,4 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 150 \text{ МПа.}$$

Отже, умова виконується, тому приймаємо шпонку:

10×8×35 ГОСТ 23360-78.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ДРОБАРКИ ПЛАСТМАСИ

4.1 Конструкторська документація для приводу подрібнювача

Дробарка з удосконаленим приводом подрібнювача пластмаси призначена для дробіння різних видів пластику, параметри яких вказані в таблиці 1.4. Найбільш міцний матеріал, який вона може подрібнити – це PVC пластик товщиною 3 мм, що буде подаватися по 1 штуці. Подрібнена сировина легше транспортується на утилізацію чи вторинну переробку.

Удосконалений привод подрібнювача дробарки оснащений сучасною системою керування на основі Arduino для уникнення поломок через заклинювання. Таким чином дробарка прослужить довше, навіть в ситуаціях коли в механізм подрібнення потрапить сировина, що не можна буде переробити. Схема підключення системи керування показана на рисунку 2.8.

Основними елементами дробарки є електродвигун 1, редуктор 2, рама 3, блок керування 4, муфта втулково-пальцева 5 та сам удосконалений привод подрібнювача 6 (див. рисунок 4.1).

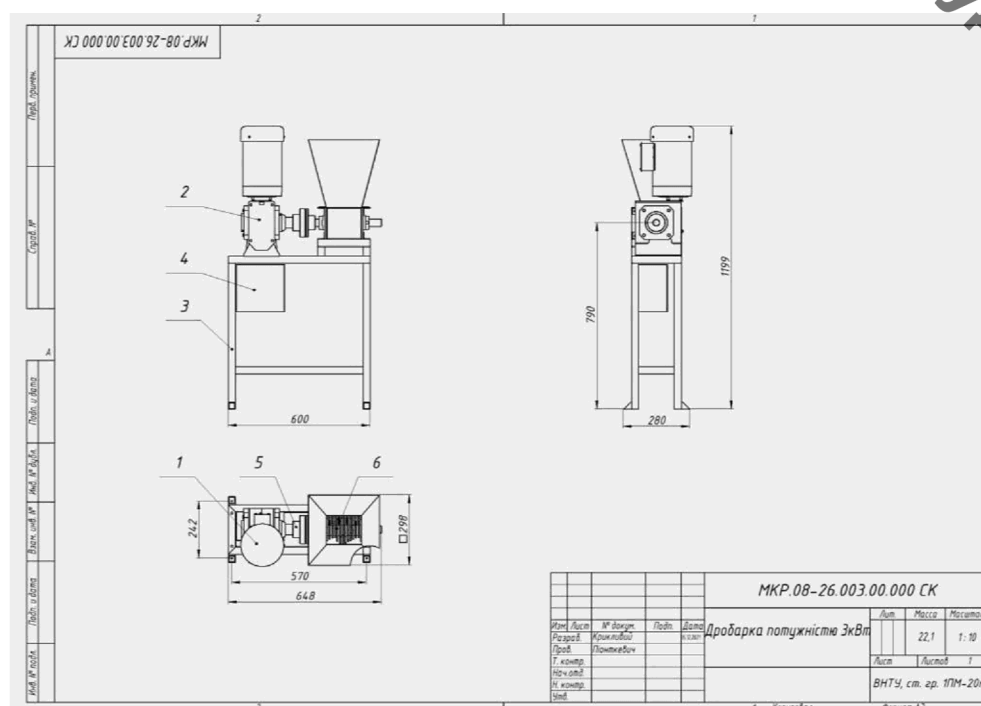


Рисунок 4.1 – Складальне креслення дробарки потужністю 3кВт

На рисунку 4.2 представлено складальне креслення привода подрібнювача пластмаси, який удосконалено у Вінницькому національному технічному університеті.

Складовими елементами удосконаленого привода подрібнювача пластмаси є вал 1, шарики підшипники кочення 2, ніж 3, втулка 4, опорний кутик 5, бокова кришка 6, передня панель 7, задня панель 8, сито 9, упори малі 10, упори великі 11, шпилька М8 під позицією 12, болт М10 під позицією 13, шпилька М10 під позицією 14, гайки М8 та М10 - це позиції 15 та 16, шайби М8 та М10 – це позиції 17 та 18.

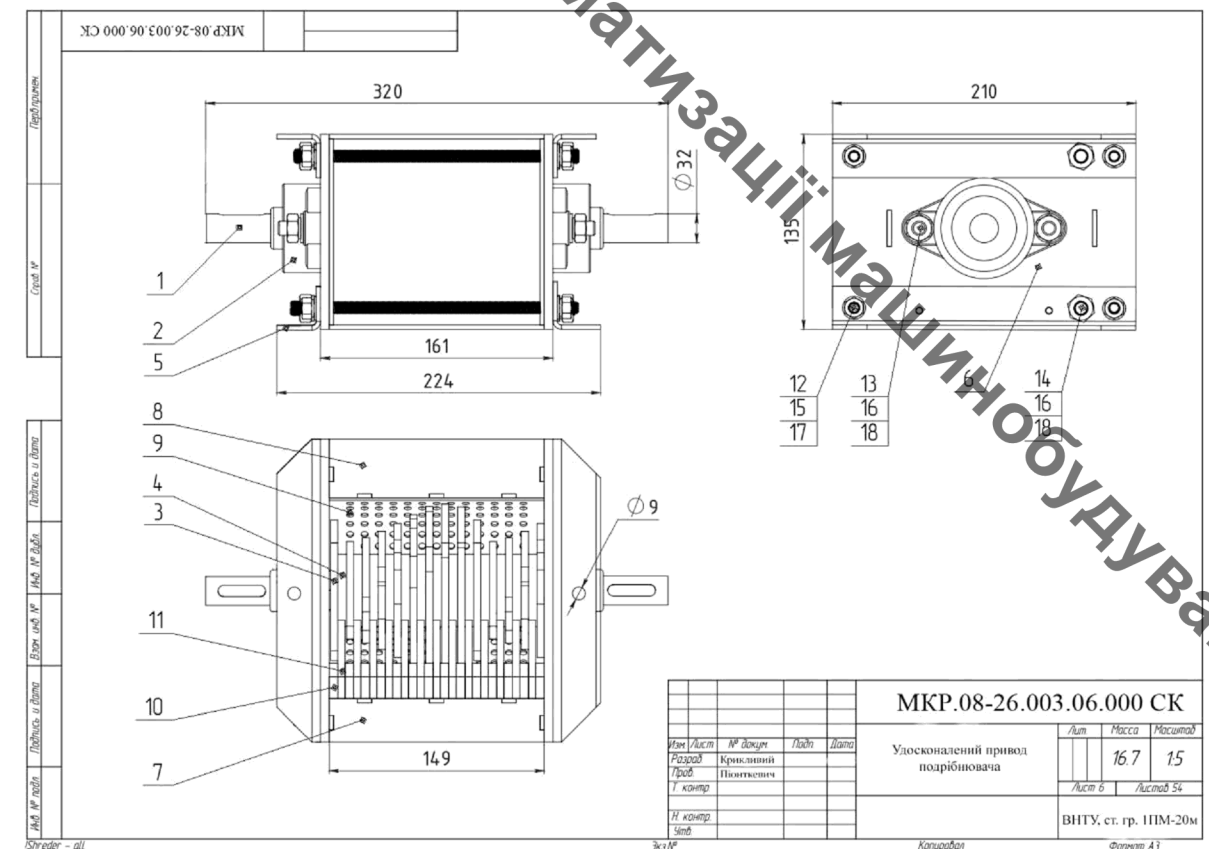
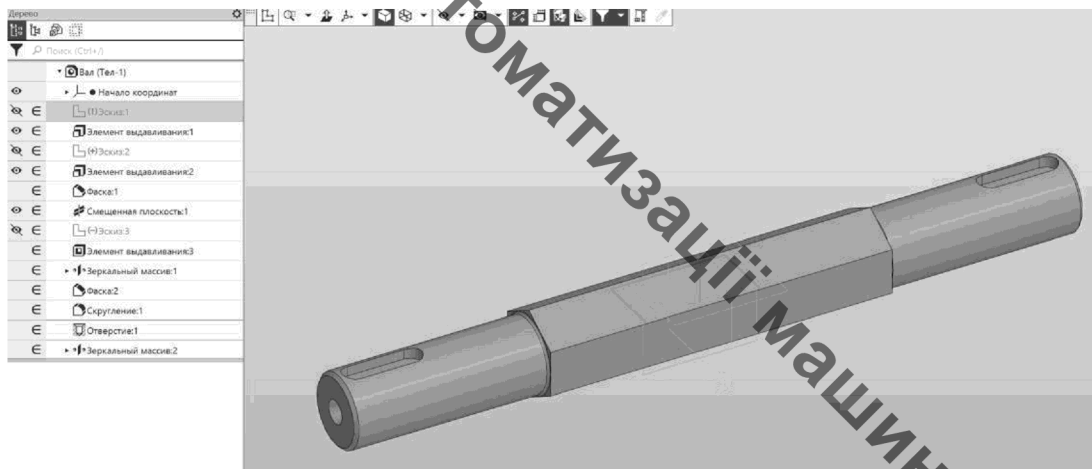


Рисунок 4.2 – Складальне креслення удосконаленого привода подрібнювача

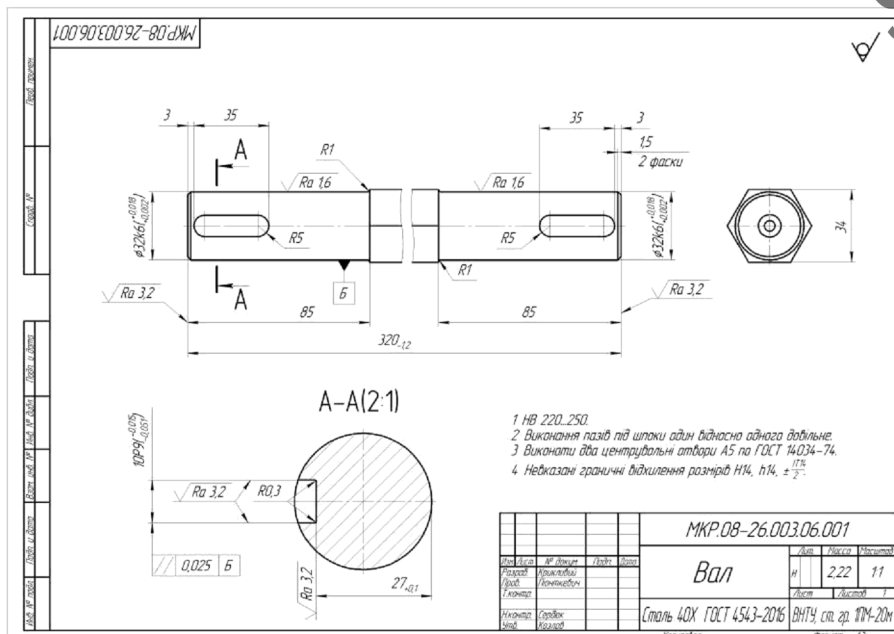
Чотири шпильки М8 під позицією 12 скріплюють бокові кришки 6 а також малі та великі упори 10 та 11, відповідно. Шпилька М10 під позицією 14 служить для підсилення кріплення упорів 10 та 11. Шарики підшипники

кочення 2 кріпляться за допомогою болтів М10 під позицією 13 до бокових кришок 6. В підшипниках 2 розміщено вал 1 на який укомплектовано ножі 3 із втулками 4. До бокових втулок також прикріплено опорні кутики 5 для закріплення приводу на рамі дробарки. Спереду та ззаду встановлені передня 7 та задня 8 панелі для утримання сировини. За якість переробленої сировини відповідає сито 9, що розміщено знизу приводу подрібнювача.

Розроблено тривимірну модель для деталі вал 1 із робочим кресленням на рисунках 4.3.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Тривимірна модель та робоче креслення деталі «Вал»

Особливістю деталі «Вал» є його матеріал: Сталь 40Х, який є міцний та твердий, добре піддається циклічним навантаженням. Крім цього деталь «Вал» піддається термічній обробці поліпшення для збільшення твердості до НВ 220...250 по Бренелю. Це забезпечить надійну роботу протягом тривалого терміну експлуатації.

Деталь «Вал» має центрувальні отвори А5 по ГОСТ 14034-74 для кращого базування деталі під час її обробки. Центрувальні отвори є допоміжними технологічними базами.

Робоче креслення деталі «Вал» (див. рис. 4.3), як однієї з точних деталей виробу. Потребує детального розгляду з підготовкою технологічного процесу на виготовлення цієї деталі.

4.2 Технологічна документація для валу приводу подрібнювача

Для виготовлення деталі «Вал» закладаємо одиничний тип виробництва. Це зумовлено тим, що виготовляється пробний зразок для можливого подальшого вдосконалення. Приймаємо виготовлення 2-х таких валів в якості програми випуску.

Деталь «Вал» має масу 2,22 кг. В основі її лежить шестигранник який отримується із прокату. Для одиничного варіанту це найкращий спосіб виготовлення деталі. Тому приймаємо гарячекатаний прокат шестигранника 34 мм по ГОСТ 2879-88.

Визначаємо припуски на механічну обробку із призначенням обробки зовнішніх поверхонь. Дані записуємо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Припуски на обробку

Вихідні данні	Вид обробки	Припуск, мм
320	Деталь	-
324	Відрізання абразивним кругом шириною 0,5-3мм (приймаємо 2мм)	2±2

Отже, із таблиці 4.1 прийнятий гарячекатаний прокат шестигранника 34 мм, а довжина сортаменту $L = 6000$ мм.

Розрахуємо яка кількості заготовок піде для одного прокату сортаменту. Кількість заготовок із одного прокату сортаменту розраховуємо за формулою:

$$\frac{L}{l} = \frac{6000}{324} = 18,52 \quad (4.1)$$

Отже, приймаємо 18 шт заготовок для одного прокату сортаменту і підрахуємо залишок:

$$l_{\text{залишок}} = L - 18 \cdot l = 6000 - 18 \cdot 324 = 168(\text{мм}). \quad (4.2)$$

Розробимо робоче креслення для заготовки (див. рис. 4.4) із тривимірної моделі заготовки.

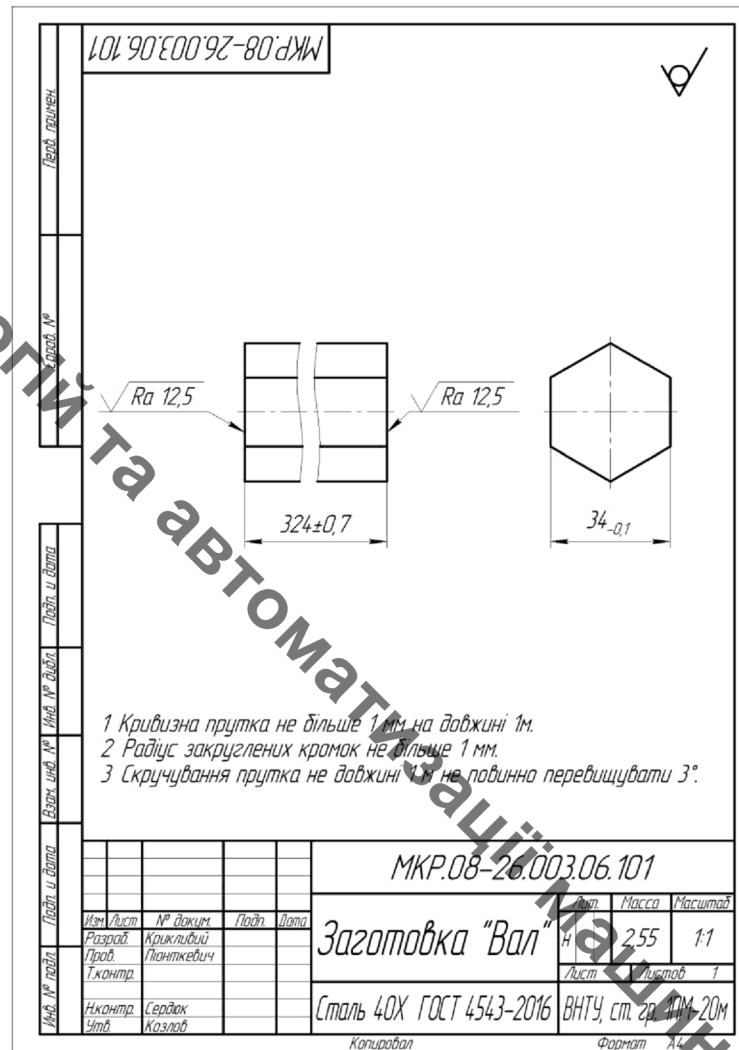


Рисунок 4.4 – Робоче креслення заготовки «Вал»

Призначимо технічні вимоги для заготовки:

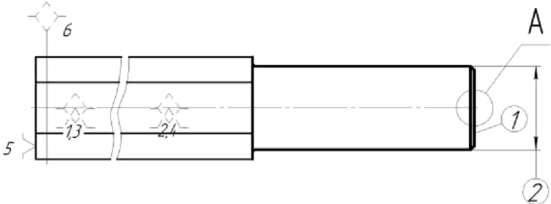
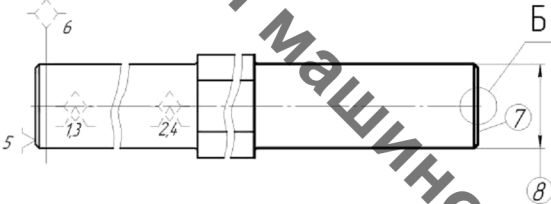
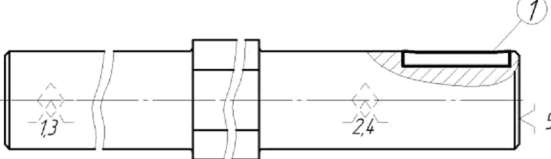
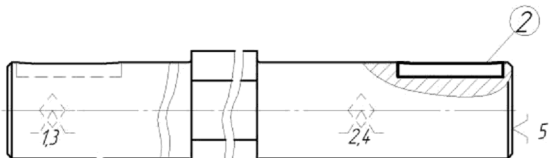
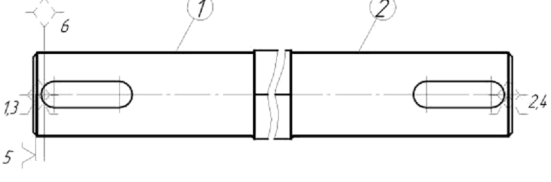
1. Кривизна прокату не більше 1 мм на довжині 1 м.
2. Радіус закруглених кромки не більше 1 мм.
3. Скручування прутка не довжині 1 м не повинно перевищувати 3°.

А також визначимо коефіцієнт точності маси деталі для прокату за формулою:

$$M = \frac{M_d}{M_z} = \frac{2,21}{2,53} = 0,87. \quad (4.3)$$

Після вибору та розрахунку заготовки розглянемо типовий маршрут механічної обробки деталі «Вал». Результати напишемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Маршрут механічної обробки для деталі «Вал»

№	Операції, переходи	Ескізи, базування	Моделі верстатів
1	2	3	4
005	<u>Термічна</u>		
010	<u>Токарна програмна</u> 1. Установити і закріпити заготовку. 2. Підрізати торець 1. 3. Точити поверхню 2 попередньо. 4. Центрувати торець 1 витримуючи розміри 3, 4, 5, 6. 5. Точити поверхню 2 попередньо. 6. Точити поверхню 2 остаточно по контуру з утворенням фаски. 7. Переустановити деталь. 8. Підрізати торець 7. 9. Точити поверхню 8 попередньо. 10. Центрувати торець 7 витримуючи розміри 3, 4, 5, 6. 11. Точити поверхню 8 попередньо. 12. Точити поверхню 8 остаточно по контуру з утворенням фаски. 13. Зняти деталь.	<p style="text-align: center;"><u>Установ 1</u></p>  <p style="text-align: center;"><u>Установ 2</u></p> 	Токарний верстат з ЧПК моделі 1В340Ф30
015	<u>Шпоночно-фрезерна</u> 1. Установити і закріпити заготовку. 2. Фрезерувати паз 1. 3. Переустановить деталь. 4. Фрезерувати паз 2. 5. Зняти деталь.	<p style="text-align: center;"><u>Установ 1</u></p>  <p style="text-align: center;"><u>Установ 2</u></p> 	Шпоночно-фрезерний верстат моделі 692Р
020	<u>Круглошліфувальна</u> 1. Установити і закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1. 3. Шліфувати поверхню 2. 4. Зняти деталь.		Круглошліфувальний верстат моделі 3М151

1	2	3	4
025	Промити деталь		Машина для миття
030	Технічний контроль		

Розроблений маршрут механічної обробки розписано для одиничного виробництва. Тому під час налагодження серійного виробництва даної деталі для дробарки можна проводити удосконалення технологічного процесу. Таким чином закладається фундамент для подальших розрахунків та налагодження серійного виробництва.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ ПЛАСТМАСИ

На дослідників, що проводять роботи з удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією за ГОСТ 12.0003.-74 [19].

Фізичні: підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони та підвищення рівня шкідливих речовин та пилу; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищена та понижена вологість повітря.

Психофізіологічні: нервово – психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

5.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця

Вимоги охорони праці під час дроблення відходів пластмас

- Переробка відходів пластмас на дробарках різного типу повинна проводитись в окремих приміщеннях або у виробничих приміщеннях з використанням колективних засобів захисту: звукоізолювальних (кожухи, екрани, кабіни) та звукопоглинальних пристроїв (облицювальні, штучні звукопоглиначі); глушників аеродинамічного шуму; огорожувальних пристроїв відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 "ССБП. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація".
- Дробарки повинні бути забезпечені надійним захисним заземленням та/або зануленням, надійним огороженням рухомих частин обладнання, пристроями для закривання завантажувальних бункерів.

- Працівники, які обслуговують дробарки, повинні використовувати ЗІЗ відповідно до вимог Технічного регламенту засобів індивідуального захисту.

Вимоги безпеки до організації робочих місць

- Робочі місця працівників повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.03278 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования". Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования" та ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 "ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам". Конструкція улаштування робочого місця повинна забезпечувати можливість зручного регулювання його розмірів та експлуатаційних параметрів з урахуванням специфіки виконуваної роботи та антропометричних характеристик працівника відповідно до вимог ДСТУ 7234:2011 "Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки".
- На робочих місцях повинні знаходитись інструкції з охорони праці, розроблені відповідно до вимог. НПАОП 0.00-4.15-98
- Робочі місця працівників, які керують виробничим обладнанням, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.064-81 "ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности" [20]

5.1.2. Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки застосовують окремо або у поєднанні один з іншим наступні технічні способи та засоби: захисне заземлення, занулення.

Захисним заземленням називається навмисний електричний контакт із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою при замиканні на корпус та через інші причини. Завдання захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку доторкання до корпусу та інших струмоведучих металевих частин

електроустановки, що опинилися під напругою. Захисне заземлення застосовують у трифазних мережах з ізольованою нейтраллю.

Принцип дії захисного заземлення – зменшення напруги між корпусом, що опинився під напругою, та землею до безпечного значення. У якості провідників заземлення дозволяється використовувати різні металеві конструкції: ферми, шахти ліфтів, підйомників, сталеві труби електропроводок, відкрито прокладені стаціонарні трубопроводи різного призначення (крім трубопроводів горючих та вибухонебезпечних газів, каналізації і центрального опалення).

Зануленням називається навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та через інші причини. Завдання занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку контакту з корпусом та іншими неструмоведучими металевими частинами електроустановки, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус. Вирішується це завдання швидким вимкненням пошкодженої електроустановки із мережі. Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазними та нульовими проводами) з метою викликати більший струм, здатний забезпечити спрацювання захисту і цим самим автоматично вимкнути пошкоджену установку із мережі живлення. Таким захистом можуть бути плавкі запобіжники, магнітні пускачі з тепловим захистом, контактори у поєднанні з тепловими реле, автомати, що здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання та від перевантаження.

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі

умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно

активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою.

Для створення оптимальних умов електробезпеки в робочому приміщенні потрібно підтримувати режим вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°C. Постійний моніторинг середовища, на предмет пилу та хімічно агресивних речовин у складі повітря, для забезпечення електробезпеки приміщення. Заземлення електропристроїв для уникнення аварійної ситуації.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови виробничих приміщень (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042–99) можна оцінювати за сукупністю таких факторів, як температура (t , °C), відносна вологість (ϕ , %), швидкість руху повітря (V , м/с) та величина інтенсивності теплового опромінення (E , Вт/м²).

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [21]. Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть

викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [21].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму [21]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Ib належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Ib. Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [22].

Допустимі параметри мікроклімату наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	Ib	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

Для забезпечення комфортності і безпечності трудового процесу рекомендовано дотримуватись вищенаведених параметрів мікроклімату і корегувати їх відповідними технічними засобами: утепленням приміщення, або його кондиціонуванням, якщо матимуть місце відхилення від нормативних значень.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

При виконанні даного виду робіт існує небезпека виділення шкідливих речовин у повітря та надлишку пилу, тому потрібен контроль за складом повітря робочої зони та при збільшенні допустимих норм проводити заходи, щодо усунення надлишку шкідливих речовин, а також використання ЗІЗ.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановлені безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [23] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє-бокове	Бокове	Верхнє або верхнє-бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп.

5.2.4 Виробничий шум

Звук або шум виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. Звуки, що передаються будівельними конструкціями, називаються структурними, а ті що поширюються у повітряному середовищі, прийнято називати повітряним шумом. Будь-який небажаний звук називають шумом. Шум шкідливий для здоров'я, зменшує працездатність, підвищує рівень небезпеки. Тому необхідно передбачати заходи захисту від шуму. А для цього потрібно володіти відповідними знаннями. Як правило, шум нас дратує: заважає працювати, відпочивати, думати. Але шум може впливати і позитивно. Такий вплив на людину чинить, наприклад, шелест листя дерев, помірний стукіт дощових крапель, рокіт морського прибою. Позитивний вплив спокійної приємної музики відомий з давніх часів. Тому

різноманітні оздоровчі процедури супроводжуються спокійною симфонічною або блюзовою музикою.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [22]. За цими нормами рівень шуму не може перевищувати 65 Дб.

Існують такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією:

- зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя (пластмаса, гума, деревина та ін), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.;

- зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання,

- зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання.

5.2.5 Електромагнітні випромінювання

Електромагнітні поля мають потужний вплив на людський організм. Вони негативно впливають майже на усі системи організму. Тому треба створювати певні методи захисту від їх дії. Найпоширенішими з таких методів є такі:

- зменшення щільності потоку енергії, якщо дозволяє даний технологічний процес або обладнання.

- захист часом (тобто обмеження часу знаходження у зоні джерела ЕМП).

- захист відстанню.

- екранування робочого місця чи джерела.
- раціональне планування робочого місця.
- застосування засобів попереджувальної сигналізації.
- застосування засобів особистого захисту.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал, який знаходиться у зоні дії деяких радіоелектронних засобів необхідним є ряд захисних заходів: організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні.

Слід сказати, що ще на етапі проектування взаємне розміщення об'єктів має бути забезпечено таким чином, щоб інтенсивність опромінення була мінімальною. Також треба заздалегідь попіклуватися про зменшення часу перебування персоналу у зоні опромінення. Потужність джерел випромінювання повинна бути найменшою з можливих.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори небезпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Небезпечні та шкідливі психофізіологічні виробничі чинники залежно від характеру дії поділяють на такі групи:

- фізичні перевантаження (статичні, динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (розумові перевантаження, перевантаження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження)

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [22].

Оптимальні умови праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (% за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.3.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей

Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності людини.

Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини можна уявити в дуже спрощеному вигляді таким чином. Припустімо, що в організмі людини відбувається нормальний процес травлення, їжа, що надходить, розкладається на більш прості сполуки, які потім надходять через мембрану

у середину кожної клітини і будуть використані як будівельний матеріал для відтворення собі подібних, для відшкодування енергетичних витрат на транспортування речовин і їхню переробку. Під час потрапляння випромінювання на мембрану відразу ж порушуються молекулярні зв'язки, атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні (токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлюються, і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінувати; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; робота органів розладнується; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Специфічність дії іонізуючого випромінювання полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується, й у них втягуються багато сотень і тисячі молекул, не порушених опроміненням. Таким чином, ефект дії іонізуючого випромінювання зумовлений не кількістю поглинутої об'єктом, що опромінюється, енергії, а формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична та ін.), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче випромінювання.

5.3.2. Розрахунок режимів радіаційного захисту

Визначимо можливу дозу опромінення оператора в заданих умовах радіаційного забруднення, які будуть працювати у звичайному режимі (2 зміни по 12 год.)

$$D_m = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left(\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3} \right)}{K_{\text{лос}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{13^3} - 1 \right)}{10} = 1,24 \text{ (мР)},$$

де $t_{п1}=1$ год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;

$t_{к1}=1+12=13$ год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;

$p_{1,max}=1,6$ мР/год. – рівень радіації через одну годину після радіоактивного забруднення;

$K_{пoc}=10$ – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації

$$p_{гр} = \frac{D_{доп} \times K_{пoc}}{1,33 \cdot (\sqrt[4]{t_{к}^3} - \sqrt[4]{t_{п}^3})} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot (\sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3})} = 0,955 \text{ (мР/год)}.$$

Оскільки можлива доза опромінення $D_{м} > D_{доп}$ ($1,24 > 0,75$) та рівень радіоактивного забруднення $p_{1,max} > p_{гр}$ ($1,6 > 0,955$), перевищують допустимі норми, тому робота в режимі 2 зміни по 12 год. неможлива.

Розрахунок режимів радіаційного захисту проведемо в такій послідовності.

Визначаємо час початку роботи першої зміни, для цього знаходимо коефіцієнт α :

$$\alpha = \frac{D_{доп} \cdot K_{пoc}}{1,33 \cdot p_{1,max}} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot 1,6} = 3,52.$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни $t_{п1}=1$ год.

Для 1-ї скороченої зміни: $t_{п1} = 1$ (год),

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к1} = \left(\frac{D_{доп} \times K_{пoc} + 1,33 \cdot p_{1,max} \cdot \sqrt[4]{t_{п1}^3}}{1,33 \cdot p_{1,max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 7,44 \approx 7 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p1} = t_{к1} - t_{п1} = 7 - 1 = 6 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м1} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к1}^3} - \sqrt[4]{t_{п1}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{7^3} - \sqrt[4]{1^3})}{10} = 0,73 \text{ (мР)}.$$

Для 2-ї зміни: $t_{п2} = t_{п1} + t_{p1} = 1 + 6 = 7 \text{ (год)}$.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к2} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п2}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{7^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 15,43 \approx 15 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p2} = t_{к2} - t_{п2} = 15 - 7 = 8 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м2} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к2}^3} - \sqrt[4]{t_{п2}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{15^3} - \sqrt[4]{7^3})}{10} = 0,732 \text{ (мР)}.$$

Для 3-ї зміни: $t_{п3} = t_{п2} + t_{p2} = 7 + 8 = 15 \text{ (год)}$.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к3} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п3}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{15^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 24,69 \approx 24,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p3} = t_{к3} - t_{п3} = 24,5 - 15 = 9,5 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м3} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к3}^3} - \sqrt[4]{t_{п3}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{24,5^3} - \sqrt[4]{15^3})}{10} = 0,74 \text{ (мР)}.$$

Для 4-ї зміни: $t_{п4} = t_{п3} + t_{p3} = 15 + 9,5 = 24,5 \text{ (год)}$.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к4} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п4}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{24,5^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 35,16 \approx 35 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p4} = t_{к4} - t_{п4} = 35 - 24,5 = 10,5 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м4} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к4}^3} - \sqrt[4]{t_{п4}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{35^3} - \sqrt[4]{24,5^3})}{10} = 0,742 \text{ (мР)}.$$

Для 5-ї зміни: $t_{п5} = t_{п4} + t_{p4} = 24,5 + 10,5 = 35 \text{ (год)}$.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к5} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п5}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{35^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 46,42 \approx 46 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p5} = t_{к5} - t_{п5} = 46 - 35 = 11 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м5} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left(\sqrt[4]{t_{к5}^3} - \sqrt[4]{t_{п5}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{46^3} - \sqrt[4]{35^3} \right)}{10} = 0,736 \text{ (мР)}.$$

Для 6-ї зміни: $t_{п6} = t_{п5} + t_{p5} = 35 + 11 = 46 \text{ (год)}$.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к6} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{посл}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п6}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{46^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 58,03 \approx 58 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p6} = t_{к6} - t_{п6} = 58 - 46 = 12 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м6} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left(\sqrt[4]{t_{к6}^3} - \sqrt[4]{t_{п6}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{58^3} - \sqrt[4]{46^3} \right)}{10} = 0,75 \text{ (мР)}.$$

Згідно проведеного розрахунку роботу в дві зміни на підприємстві можна буде розпочинати через 35 год. після радіоактивного забруднення.

Для захисту працівників в таких умовах роботи доцільно вжити таких додаткових заходів: ввести в дію режими радіаційного захисту; незайнятих на виробництві працівників евакуювати; укрити зміну, що знаходиться на

відпочинку в сховищі; забезпечити працівників засобами індивідуального захисту; систематично проводити прибирання у виробничих приміщеннях; провести герметизацію виробничого приміщення та встановити протипилові фільтри у вентиляційну систему; провести йодну профілактику персоналу.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

6.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання *комерційного потенціалу розробки*, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ма критеріями [24]. Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Сухоруков С.І.	Сердюк О.В.	Лозінський Д.О.
1	2	3	4
1. Технічна здійсненність концепції	2	3	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	1	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	3	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	3	2

1	2	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	1	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)		4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	1	2	1
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	3	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	4
Сума балів	СБ ₁ =33	СБ ₂ =35	СБ ₃ =34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{33+35+34}{3} = 34$		

Згідно результатів оцінювання можна охарактеризувати рівень комерційного потенціалу розробки «вище середнього» ($\overline{СБ}=34$), а також розкрити такі аспекти:

- розробка може бути реалізована на таких підприємствах як ТОВ «Вольтаж Груп», ООО «Вінницький інструментальний завод», ВАТ «Вінницький завод тракторних агрегатів»;

- загальна якість розробки має високі показники: збільшується асортимент матеріалів для подрібнення та надійність виробу із забезпеченням запасу міцності робочих частин в 1.5 рази;

- за рахунок покращених фізико-механічних показників робочих частин удосконаленого приводу подрібнювача є корисною для суспільства в якості економії енергетичних ресурсів та забезпечення співвідношення ціна-якість;

- ринками збуту продукції можуть бути підприємства України, що хочуть переробляти різні пластмасові відходи в невеликих об'ємах;

- потенційними покупцями нового товару можуть бути підприємства з одиничним та серійним виробництвом виробів з пластмаси, які мають на меті зменшити об'єми відходів та зайнятися їх переробкою;

- оскільки загальний ресурс роботи пропонованого подрібнювача пластмаси є досить великим, тому будемо вважати, що його покупка підприємством буде разовою. Також оцінивши новизну, та техніко економічні показники можна припустити, що пристрій буде зберігати свою актуальність протягом 5 років.

6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

1. Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_o , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (6.2)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2020 році величини окладів рекомендується брати до 17092 грн. за місяць для працівників професійної, наукової та технічної діяльності;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні, Приймаємо 22 робочих дні;

t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Таблиця 6.2 – Розрахунки основної заробітної плати розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
Керівник проектувальник	15000	681,82	20	13636,4
Інженер-конструктор	12000	545,45	20	10909
Всього				24545,4

2. Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \text{ [грн.]}, \quad (6.3)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_{мкс} \cdot K_c}{T_p \cdot T_{зм}} \text{ [грн./год]}, \quad (6.4)$$

де M_m – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), 2270 грн./міс.;

$K_{мкс}$ – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду: 1,35 – 3 розр.; 1,7 – 5 розр.; 2 – 6 розр.;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати: приймаємо 1,8.

T_p – число робочих днів в місяці; Прийняте $T_p = 22$ дні.

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Тоді

$$C_3 = \frac{2270 \cdot 1,35 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 31,34 \text{ (грн/год)};$$

$$C_5 = \frac{2270 \cdot 1,7 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 39,47 \text{ (грн/год)};$$

$$C_6 = \frac{2270 \cdot 2 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 46,43 \text{ (грн/год)}.$$

Таблиця 6.3 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Токарна з ЧПК	0,5	5	39,47	19,74
Лазерна різка	1,2	5	39,47	47,36
Шпонково-фрезерна	2,5	6	46,43	116,08
Зборка	1,1	3	31,34	34,47
Всього				217,65

3. Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10...12% від суми основної заробітної плати розробників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} (Z_o + Z_p) \text{ [грн.]}, \quad (6.5)$$

$$Z_{\text{дод}} = 0,11(24545,4 + 217,65) = 2723,94 \text{ (грн.)}.$$

4. Відрахування на соціальні заходи

До статті «Відрахування на соціальні заходи» належать відрахування внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування та для здійснення заходів щодо соціального захисту населення (ЄСВ — єдиний соціальний внесок). Розраховуються за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (6.6)$$

де Z_o — основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_p — основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_d — додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$H_{zn} = 22\%$ — норма нарахування на заробітну плату.

$$З_{\text{н}} = (24545,4 + 217,65 + 2723,94) \cdot \frac{22}{100} = 6267,14 \text{ (грн).}$$

5. Сировина та матеріали

Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_{i=1}^n V_i \cdot C_v \text{ [грн.],} \quad (6.7)$$

де N_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ приймаємо 1,1;

V_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;

C_v – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг;

n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 6.4 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Шестигранник Сталь 40Х	30,4	2,5	0,3	4	82,4
Лист Ст. 3 кп	35	30	1,2	4	1150,2
Полоса Сталь 9ХС	140	8,5	0,5	7	1305,5
Всього:					2538,1

6. Розрахунок витрати на комплектуючі K_6 , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K_6 = \sum_1^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (6.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_j – ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$ приймаємо 1,1;

n – кількість видів комплектуючих.

Всі необхідні данні для розрахунку витрат на комплектуючі вироби зведемо в таблицю 6.5

Таблиця 6.5 - Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Електродвигун з редуктором KR273-2E100L/4B	1	39000	39000
Плата Arduino Due	1	1350	1350
Реле максимального струму РМТ-101	1	1150	1150
Інші дрібні комплектуючі	100	10	1000
Всього			42500

7. Спецустаткування для наукових робіт. Проектування та удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси виконувалася на ноутбучі ASUS VivoBook X571GT-BQ073 Star Black. Балансова вартість спецустаткування розраховується за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_1^k C_i \cdot C_{\text{пр.}j} \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (6.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$) приймаємо 1,1;

k – кількість найменувань устаткування;

$$B_{\text{спец}} = 23999 \cdot 1 \cdot 1,1 = 26398,9 \text{ (грн.)}.$$

8. Програмне забезпечення для наукових робіт

При виконанні МКР використовуються програми, які є у вільному доступі та на підприємстві.

9. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому бути розраховані за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{C_{\text{б}}}{T_{\text{г}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12} \text{ [грн]}, \quad (6.10)$$

де $C_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Оф. приміщення	90000	15	1	500
Вир. прим.	150000	15	1	833,33
Ноутбук	23999	5	1	400
Токарна з ЧПК	600000	15	1	3333,33
Лазерна різка	1200000	15	1	6666,67
Шпонково-фрезерна	400000	15	1	2222,22
Інше обладнання	10000	5	1	166,67
			Всього	14122,22

10. Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} t_i \eta_e K_{ani}}{\eta_i} \text{ [Грн]}, \quad (6.11)$$

W_{yi} - встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i - тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e - вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії);

$K_{\text{вт}}$ - коефіцієнт, що враховує використання потужності, приймаємо 0,75;

η_i - коефіцієнт корисної дії обладнання, приймаємо 0,8.

При цьому вартість електроенергії розраховується:

$$C_e = (C_{\text{опт}} + C_{\text{розп}} + C_{\text{пост}}) \left(1 + \frac{\text{ПДВ}}{100\%}\right) \quad (6.12)$$

$C_{\text{опт}}$ - середня оптова ціна електроенергії, яка визначається оператором ринку, грн за 1кВт·год

$C_{\text{розп}}$ - вартість розподілу електроенергії окремою енергорозподільчою компанією (без ПДВ), грн за 1кВт·год;

$C_{\text{пост}}$ - вартість постачання електроенергії від енергорозподільчої компанії до конкретного споживача (без ПДВ), грн за 1кВт·год.

$$C_e = (1150,40 + 293,93 + 3513,57) \cdot (1 + 0,2) / 10^3 = 5,95 \text{ грн}$$

Таблиця 6.7 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук	0,3	160	267,75
Токарна з ЧПК	4	0,5	11,16
Лазерна різка	5	1,2	33,47
Шпонково-фрезерна	3	2,5	41,94
Інше обладнання	2	1,1	12,27
Всього			366,59

11. Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% (приймаємо 22%) від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$B_{cv} = \frac{H_{cv}}{100\%} (Z_o + Z_p) \text{ [грн.]}, \quad (6.13)$$

$$B_{cv} = 0,22(24545,4 + 217,65) = 6181,06 \text{ (грн.)}.$$

10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

До статті «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» належать витрати на проведення досліджень, що не можуть бути виконані штатними працівниками або наявним обладнанням організації, а виконуються на договірній основі іншими підприємствами, установами і організаціями незалежно від форм власності та позаштатними працівниками.

Таких робіт не передбачено під час виготовлення зразка. Адже всі дослідження проведено на нашому підприємстві. Тому витрати на цю статтю дорівнюють 0.

11. Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$I_s = \frac{H_{is}}{100\%} (Z_o + Z_p) \text{ [грн.]}, \quad (6.14)$$

$$I_6 = 0,5(24545,4 + 217,65) = 12381,53 \text{ (грн).}$$

12. Накладні (загально виробничі) витрати

До статті «Накладні (загально виробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

$$B_{нзв} = \frac{H_{нзв}}{100\%} (3_о + 3_р) \text{ [грн.],} \quad (6.15)$$

$$H_{нзв} = 1,25(24545,4 + 217,65) = 30953,81 \text{ (грн).}$$

13. Витрати на проведення науково-дослідної роботи

Цей показник розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат:

$$B_{заг} = 24545,45 + 217,65 + 2723,94 + 6267,14 + 2538,1 + 42500 + 26398,9 + 0 + 14122,22 + 366,59 + 6181,06 + 0 + 12381,53 + 30953,81 = 171734,49 \text{ (грн)}$$

Загальні витрати ЗВ на завершення науково—дослідної (науково—технічної) роботи та оформлення її результатів, із врахуванням того розробка знаходиться на стадії розробки впровадження зразка:

$$ЗВ = 171734,49 / 0,9 = 190816,1 \text{ (грн).}$$

6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково- дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру

Комплексний показник рівня науково-дослідної роботи

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (6.15)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи, $I = 2 \dots 5$, приймаємо 3;

n – коефіцієнт використання результатів роботи: $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок;

T_c – коефіцієнт складності роботи, $T_c = 1 \dots 3$, приймаємо 2;

R – коефіцієнт результативності роботи: результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн;

t – час проведення дослідження, років.

$$K_p = (3^3 \cdot 2 \cdot 4) / (190,816 \cdot 0,083) = 13,63$$

Так як $K_p > 1$, то науково-дослідна робота є ефективною.

6.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

Оскільки у нас удосконалення приводу подрібнювача пластмаси, то майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних: збільшення кількості споживачів пристрою, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик – 10 шт; кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки – 500 шт; вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки – 90000 грн; зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науковотехнічної розробки в аналізовані періоди часу 3000 грн.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 лютого 2022 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2022-го, 2023-го, 2024-го, 2025-го та 2026-го років.

З 2027 року ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку Π_i , що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot (\Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \mathcal{G}/100) \text{ [грн]}, \quad (6.16)$$

де ΔC_o – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

C_o – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$; візьмемо $\rho = 0,25$;

\mathcal{G} – ставка податку на прибуток. $\mathcal{G} = 18\%$.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора Π_i протягом першого року від реалізації нашої розробки (2022 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = (3000 \cdot 510 + 93000 \cdot 10) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18 / 100) = 420081,9 \text{ (грн.)}$$

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t} \text{ [грн]}, \quad (6.16)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{420081,9}{(1+0,1)^2} + \frac{420081,9}{(1+0,1)^3} + \frac{420081,9}{(1+0,1)^4} + \frac{420081,9}{(1+0,1)^5} = 1211436,64 \text{ (грн.)}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{inv} \cdot 3B \text{ [грн]}, \quad (6.17)$$

де k_{inv} – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{inv} = 2 \dots 5$, приймаємо 2.

$$PV = 2 \cdot 190816,1 = 381632,2 \text{ (грн)}.$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{abc} = (ПП - PV) \text{ [грн]}, \quad (6.18)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

Якщо $E_{abc} \leq 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Тоді

$$E_{abc} = (1211436,64 - 381632,2) = 829804,4 \text{ (грн)}.$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів роботи може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v . Для цього користуються формулою:

$$E_v = \tau_{ж} \sqrt[\tau_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (6.19)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{829804,4}{381632,2}} - 1 = 0,26 = 26\% .$$

Далі, розрахована величина E_v порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{мін}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (6.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020 році в Україні $d = (0,09...0,12)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,2)$, але може бути і значно більше.

Якщо величина $E_v > \tau_{мін}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

Спочатку спрогнозуємо величину $\tau_{\text{мін}}$. Припустимо, що за даних умов:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,11 + 0,1 = 0,21 = 21\%.$$

Оскільки $E_{\text{в}} = 26\% > \tau_{\text{мін}} = 21\%$, то інвестора може бути зацікавлений у вкладенні грошей в дану наукову розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{\text{ок}}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{в}}} \text{ [років]}. \quad (6.21)$$

Якщо $T_{\text{ок}} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,26} = 3,85 \text{ (років)}.$$

Це свідчить про можливу доцільність фінансування даної наукової розробки.

6.5 Висновки

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на розробку нового технічного рішення, на його виробництво та впровадження, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

Визначення капітальних витрат на розробку нового технічного рішення включало витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали і

таке інше. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та 4 ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою. Термін окупності вкладених коштів у реалізацію наукового проекту становить $T_{ок}=3,85$ роки. Крім того Відносна ефективність вкладень $E_B=26\%$ є більшою за мінімальну ставку дисконтування $\tau_{мін}=21\%$, що може зацікавити у фінансуванні даної наукової розробки. Приведена вартість прибутків становить $ПП=1211436,64$ грн.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) було удосконалено привод подрібнювача пластмаси шляхом імітаційного моделювання, що забезпечило необхідний запас міцності елементів дробарки.

Під час роботи над першим розділом МКР було проведено аналіз фізико-механічних властивостей пластмаси. Запропоновано сили різання для конкретного виду пластику з відповідними параметрами. Для пластмаси PVC товщиною 3 мм виникає сила різання на ножі 1715 Н, що є найбільшою з опрацьованих варіантів. Проведено огляд конструкцій та параметрів сучасних дробарок та шредерів для подрібнення пластмаси.

В другому розділі проведено аналіз конструкції прототипу дробарки пластмаси. Розглянуто 2 варіанти електродвигунів 2.2 кВт та 3 кВт. А також схему підключення на основі Arduino.

В третьому розділі зроблено підбір ножів для приводу дробарки. Проведено кінематичний розрахунок приводу подрібнювача. Прийнято для подрібнення пластмаси 3 мм з PVC потрібно використовувати електродвигун 3 кВт. Це забезпечить запас потужності в 1.4 рази. Виконано динамічний аналіз приводу подрібнювача та аналіз його на міцність. Знайдено залежності коефіцієнту запасу міцності та напруження в елементах приводу від їх параметрів. Запропоновано використовувати мінімальний діаметр валу приводу подрібнювача 32 мм, а мінімальну товщину ножа 9 мм який має бути виготовлений з вуглецевої сталі У9. Проведено перевірочний розрахунок для втулочно-пальцевої муфти та шпонки приводу подрібнювача.

В четвертому розділі розроблено конструкторську документацію на дробарку потужністю 3 кВт та маршрут механічної обробки деталі «Вал». Розроблено креслення заготовки деталі «Вал» для одиничного виробництва з коефіцієнтом використання матеріалу 0,87.

П'яти розділ МКР присвячений питанням з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Проаналізовано всі умови праці присутні на дільниці

механічної обробки, включаючи: виробничу санітарію, пожежну безпеку, освітлення, шум і т.д., а також дія іонізуючих та електромагнітних випромінювання на електронні та електричні системи.

В останньому розділі МКР розраховано економічну доцільності виготовлення виробу в якому зазначено, що річний прибуток виробника складе більше 1211,43 тисяч грн з терміном окупності за 3,85 роки.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тема «Общая характеристика пластмасс. Свойства пластмасс» Интернет ресурс: <https://uas.su/books/newmaterial/155/razdel155.php>
2. Общая химия. Учебное пособие /О. Александрова, Т. Пахомова, В. Нараев// Из. Лань. 2016. С.164
3. Каталог обладнання: «Мировое оборудование» Интернет ресурс: <https://ok-stanok.ru/>
4. Каталог обладнання: «Hware» Интернет ресурс: <https://www.vivtech.ru/>
5. Блог: «Дробилка для пластика — своими руками!» Интернет ресурс: <https://www.stankoff.ru/blog/post/364>
6. Каталог електродвигунів з редуктором фірми YILMAZ REDÜKTÖR: <https://www.yr.com.tr/gst/mdk/Form-A.aspx>
7. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. М.: Высшая школа, 1985. 416 с.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1982 Т.1. 729 с.
9. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1979. Т.2. 554 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1978. Т.3. 551 с.
11. Малюх В. Введение в современный САПР. М.: ДМК Пресс, 2016. 192с.
12. Зиновьев Д.В. Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016. Студия Vertex, 2017. 256 с.
13. ГОСТ 21424-76 Муфты упругие втулочно-пальцевые. 10 с.
16. А.Ф.Горбачевич, В.А.Шкред. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1983-256 с.
17. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М.Кнорринга. - Л.: Энергия, 1976. - 346 с.

18. Справочник по охране труда на промышленном предприятии /К.Н.Ткачук, Д.Ф.Иванчук, Р.В.Сабарно, А.Г.Степанов. - К.: Техника, 1991. - 285 с.

19. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

20. НПАОП 25.0-1.04-13. Правила охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://dnaop.com/html/32287_2.html

21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвук та інфразвук. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

23. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТКИ

Додаток А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «Вольгаж Груп»
В.В. Николаєнко

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ТАМ
д.т.н., проф. Л.Г. Козлов

(підпис)

(підпис)

«___» жовтня 2021 р.

«___» жовтня 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

МКР.08-26.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., ст. викладач каф. ТАМ

Піонткевич О.В. _____

«___» _____ 20__ р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи ІПМ-20м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Крикливий В.В. _____

«___» _____ 20__ р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи

а) удосконалення приводу подрібнювача пластмаси;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

Удосконалити привод подрібнювача для PVC – полівініл хлорид пластмаси товщиною 3 мм.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Вихідними даним є прототип дробарки та фізико-механічні властивості пластмаси.

4. Вимоги до виконання МКР

МКР повинно використовувати імітаційне моделі, схеми та рішення, адекватність яких підтверджена попередніми дослідженнями, обґрунтованими висновками, експериментальними даними.

5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	01.09.2021	01.10.2021	Формування задачі досліджень, розділ 1 ДЗ
2	Методика теоретичних (експерименталь-них) досліджень об'єкту вивчення	02.10.2021	09.11.2021	Об'єкт дослідження, розділ 1 та 2
3	Імітаційне моделювання та аналіз результатів дослідження	10.11.2021	11.11.2021	Розділ 3
4	Перевірка інших елементів приводу та конструювання	12.11.2021	13.12.2021	Розділ 3 та 4
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	16.11.2021	25.11.2021	Розділ 5
6	Підготовка економічної частини	13.11.2021	14.12.2021	Розділ 6, апробація

7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	01.12.2021	11.12.2021	Пояснювальна записка
---	---	------------	------------	----------------------

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив рецензента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів науково-дослідницької частини МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Представлення МКР на захист відбувається після проходження попереднього захисту на засіданні кафедральної комісії та її позитивного висновку. Готова робота, з усіма необхідними компонентами і підписами подається на кафедри за два дні до захисту. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р. та на основі ДСТУ 3008:2015

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

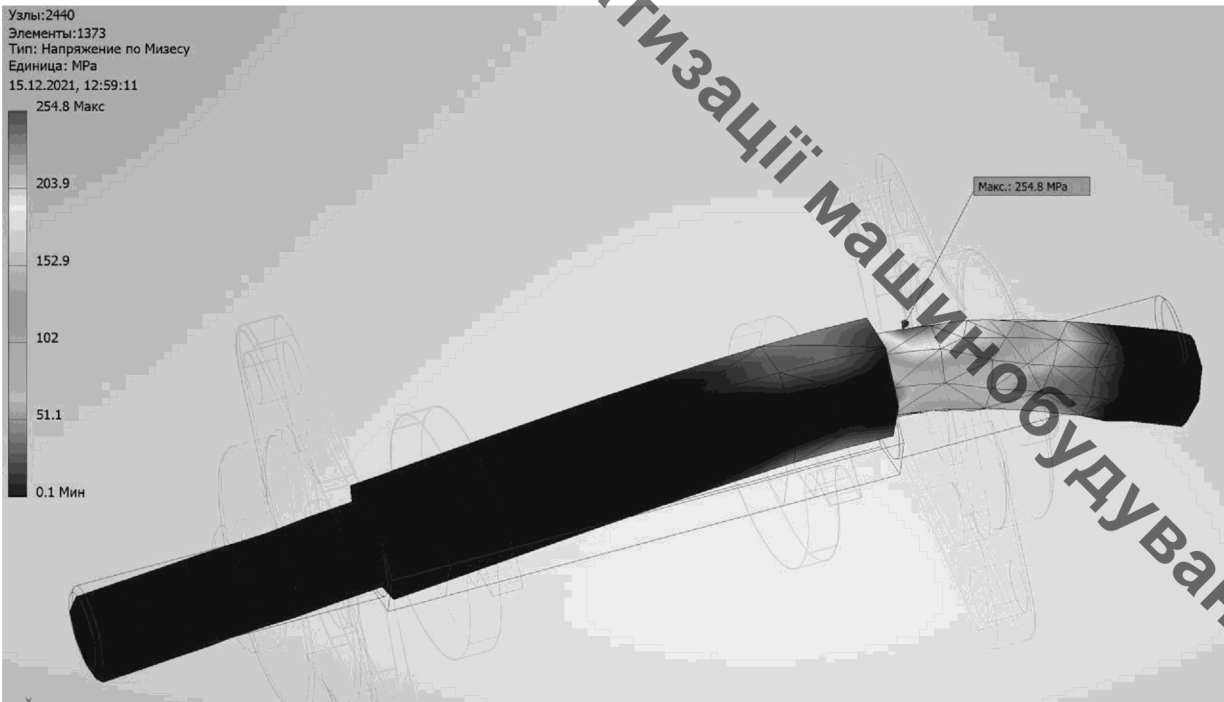
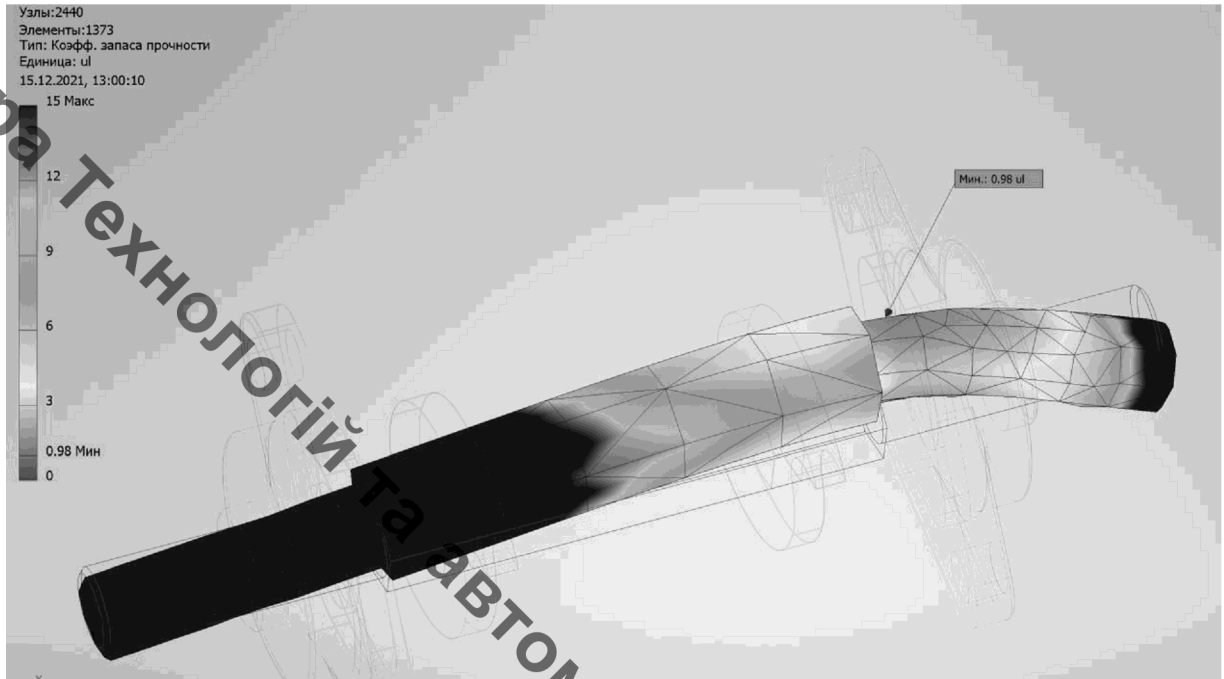
Вимоги відсутні.

Додаток Б

**ПРОМІЖНІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРИКЛАДНІЙ
ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR**

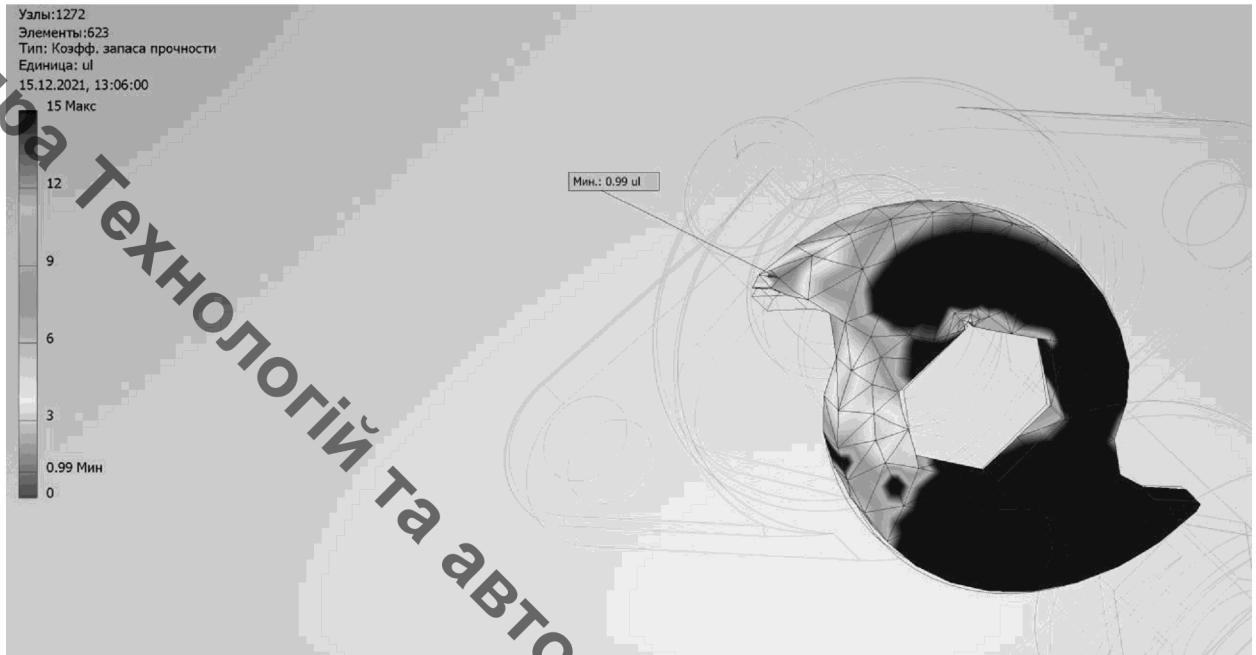
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



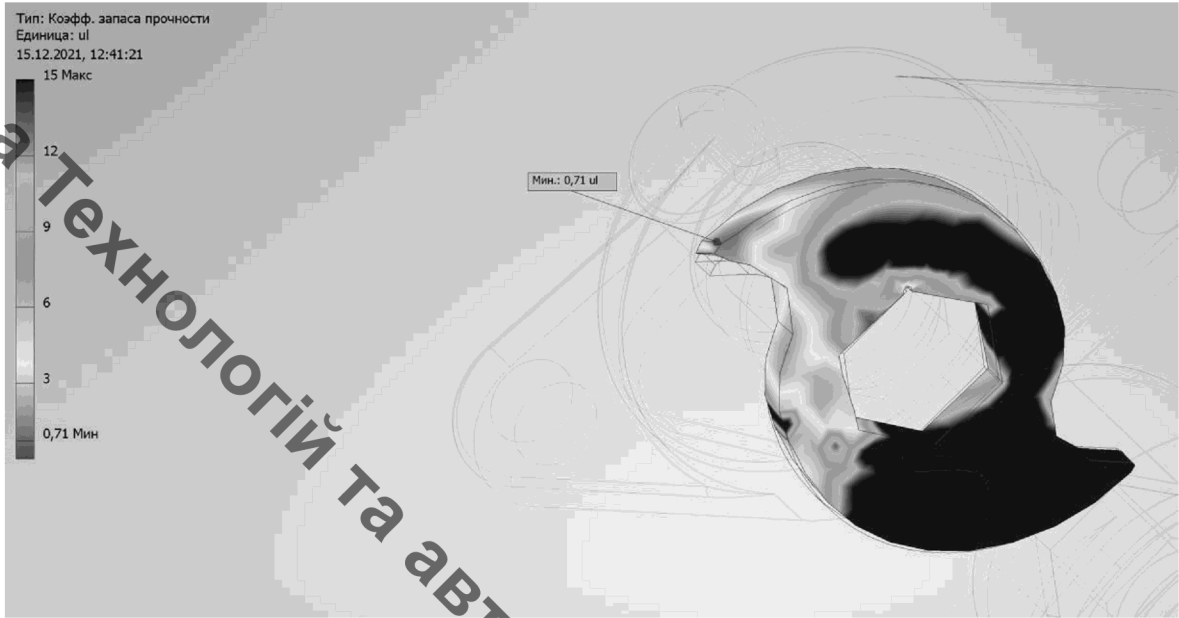
б)

Рисунок Б.1 – Коэффициент запаса прочности та напруження в деталі «Вал» з легованої сталі та мінімальним діаметром 25 мм



б)

Рисунок Б.2 – Коефіцієнт запасу міцності та напруження в деталі «Ніж» з вуглецевої сталі та мінімальним розміром ширини 7 мм

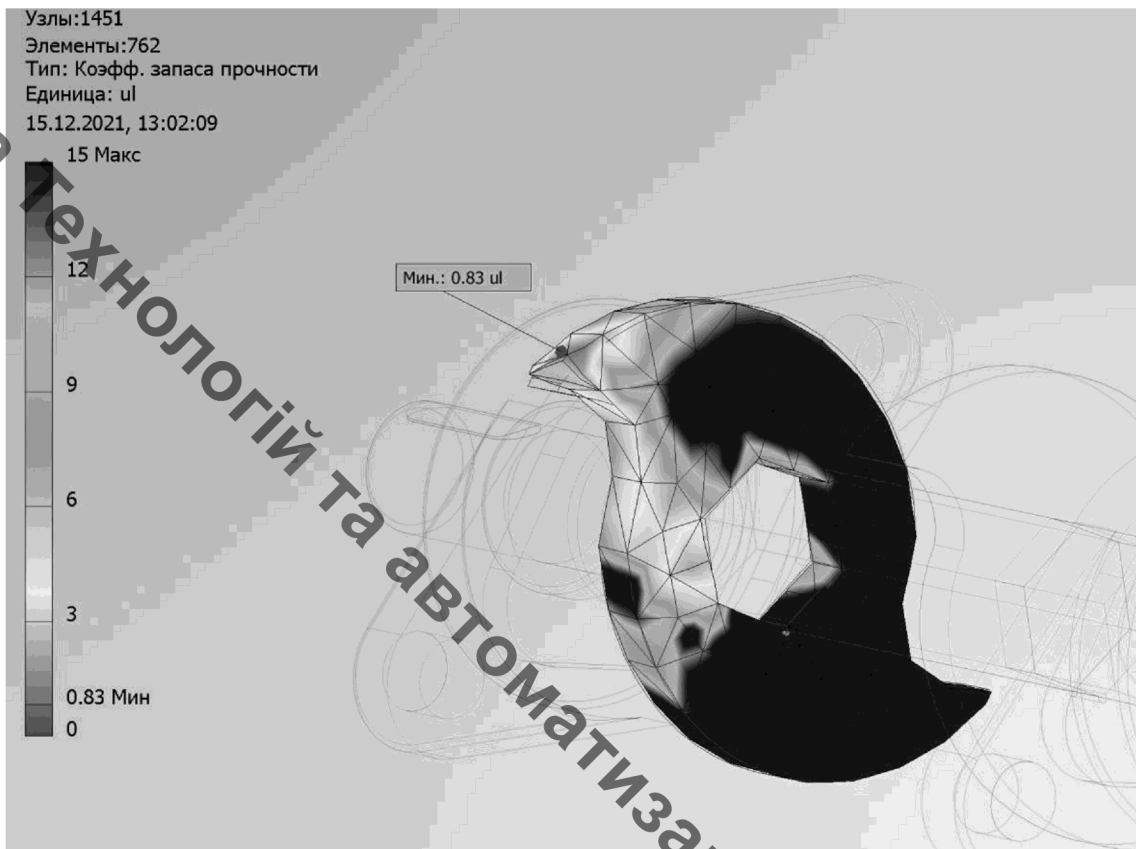


а)



б)

Рисунок Б.3 – Коефіцієнт запасу міцності та напруження в деталі «Ніж» з легованої сталі та мінімальним розміром ширини 7 мм



а)



б)

Рисунок Б.3 – Коефіцієнт запасу міцності та напруження в деталі «Ніж» з легваної сталі та мінімальним розміром ширини 9 мм

Додаток В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси

МКР.08-26.003.00.000

Виконав: ст. гр. 1ПМ-20м
Крикливий В.В.

Керівник:
к.т.н. Піонткевич О.В.

Фізико-механічні властивості пластмас

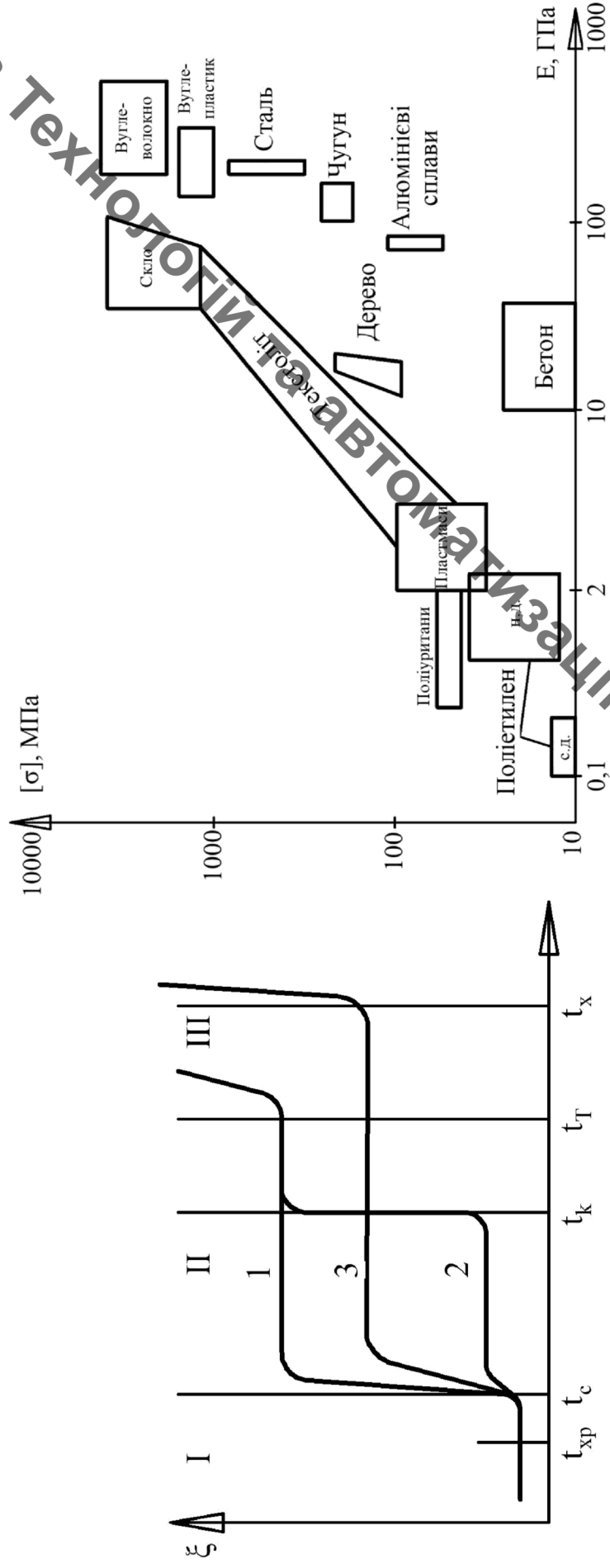
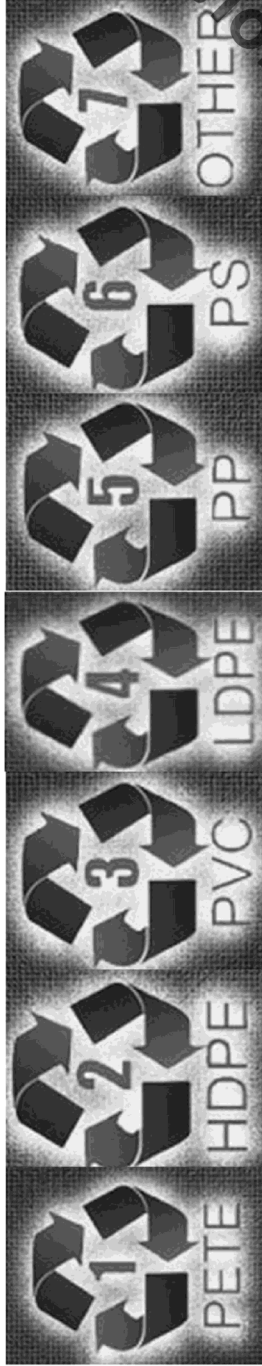


Рисунок 1 – Термомеханічні криві некристалічного лінійного (1), кристалічного (2) і рідкосітчатого (3) полімерів (t_c , t_k , t_T , t_x - температури склування, кристалізації, початку в'язкої течії і початку хімічного розкладання відповідно), I-III – ділянки склоподібного, високоеластичного і в'язкотекучого станів

Рисунок 2 – Механічні властивості різних матеріалів

Типи пластмас та їхні характеристики



Пластмаси: аббревіатура і тип	Температурні властивості					Напруження руйнування			Густина г/см ³
	Т _{плав.}	Т _{склув.}	Т _{деф.}	К _{теп.розшир.}	Брозтяг	Бстиск	МПа	МПа	
	°C	°C	°C	ppm/°C	МПа	МПа			
PET поліетиленові терефталат	245	73	21	65	48	75	1,29	1,40	
HDPE - високо щільність поліетиленові	130	-	79	59	22	18	0,952	0,965	
PVC – полівініл хлорид	137	-	91	110	31	25	1,3	1,58	
LDPE - низької щільності поліетиленові	98	75	57	50	41	55	0,917	0,932	
PP поліпропілен	168	105	82	100	52	90	0,9	0,91	
PS - полістирол	175	74	68	50	35	83	1,04	1,05	

Особливості подрібнення пластмаси



$$F = l \times t \times \sigma, [H]$$

де l – довжина розрізаного шару пластмаси в мм;

t – товщина розрізаного шару пластмаси в мм;

σ – міцність на зріз в Н/мм².

Рисунок 1 – Ніж подрібнювача дробарки з 2-ма лезами

Вплив параметрів вторинної сировини на силу різання

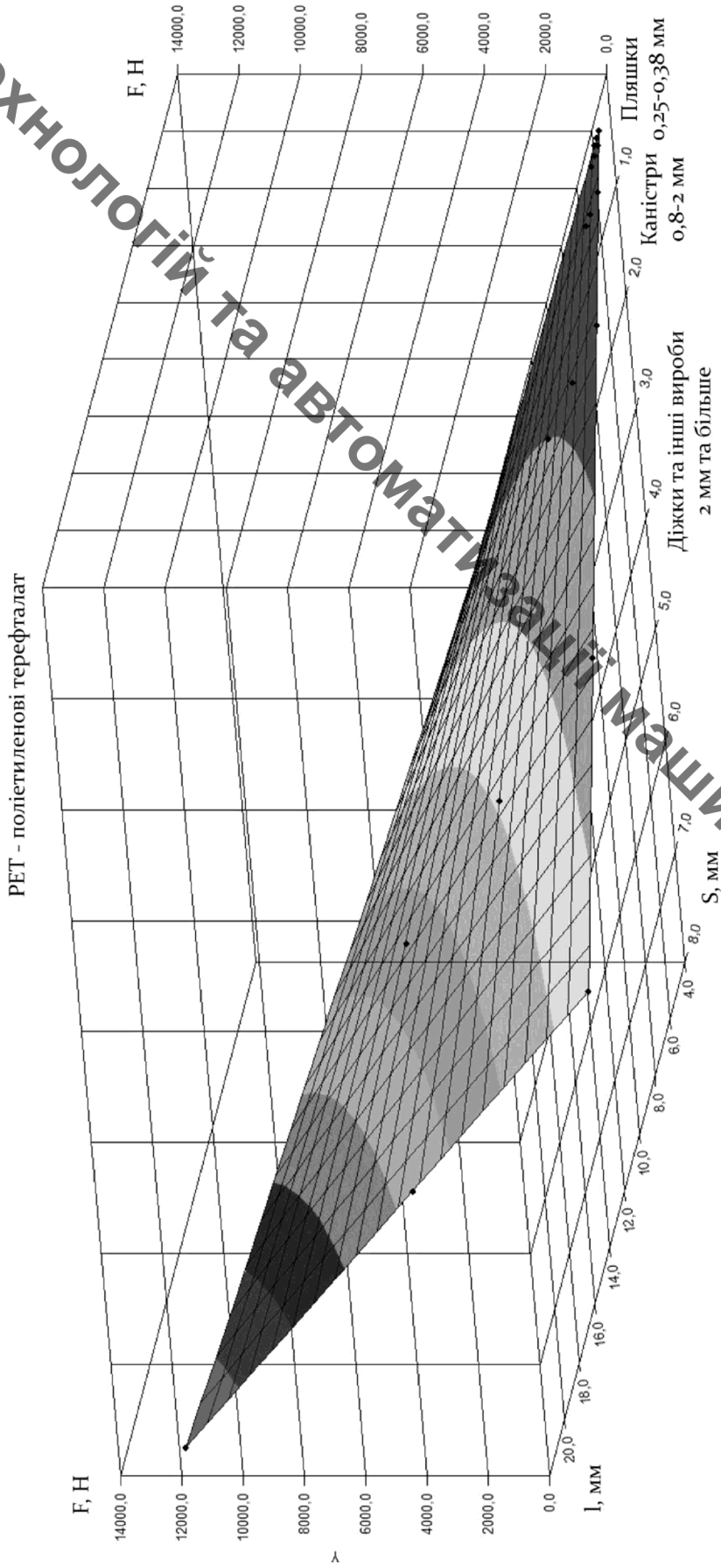
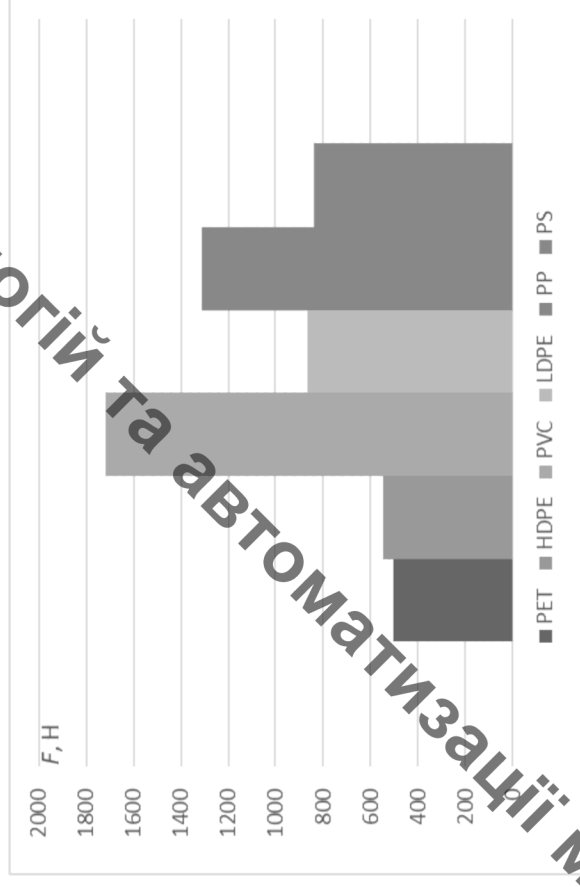


Рисунок 1 — Графічна залежність сумарної сили різання від довжини та товщини розрізаного шару для пластмаси ПЕТ

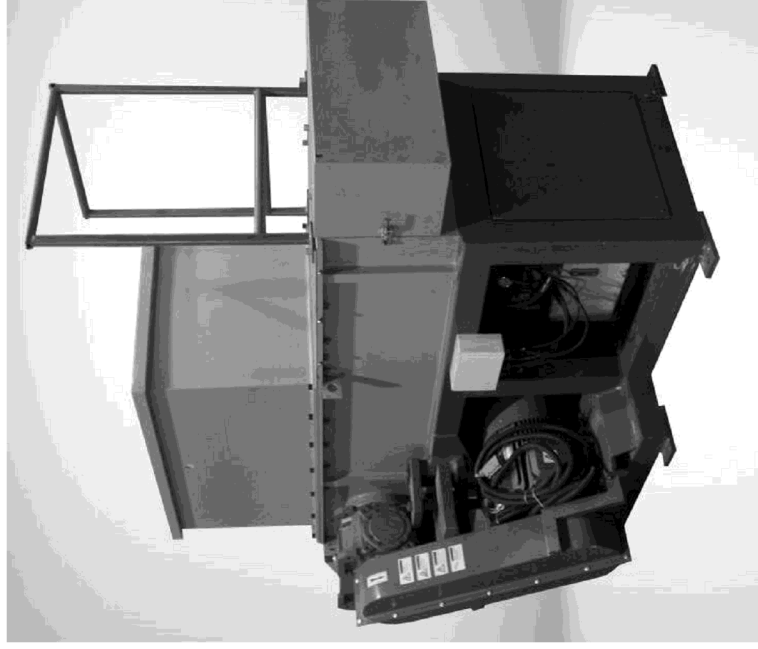
Порівняння сили різання для різних видів пластику та одного леза ножа, що враховує особливність параметрів вторинної сировини

Матеріал	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS
Товщина одного шару пластмаси s , мм	0,25	2	3	2	2	1,5
Кількість шарів що одночасно піддаються різанню m	4	2	1	2	2	2
Довжина розрізаного шару l , мм	1	4	3	4	4	3

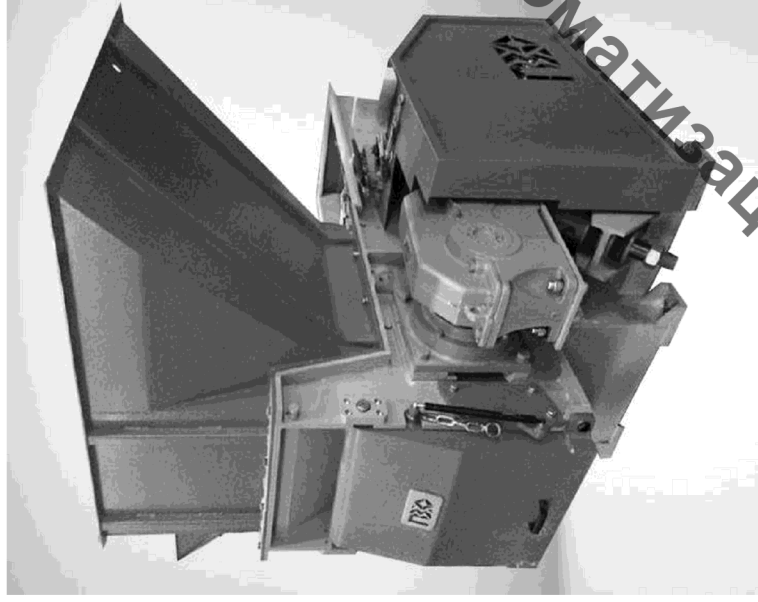


Максимальна сила різання для PVC пластмаси складає 1715 Н для одного ножа.

Огляд моделей подрібнювачів пластмаси



Шредер VS-2260 фірми «Мировое оборудование»
Продуктивність – 350 кг / год
Потужність двигуна – 22 кВт.
Вартість – 630 тис. грн.



Шредер PZO SHR 1300 e110 фірми «Мировое оборудование»
Продуктивність – 1600 кг / год
Потужність двигуна – 44 кВт.
Вартість – 2300 тис. грн.



Дробарка HSS180 фірми «Huage»
Продуктивність – 70-150 кг / год
Потужність двигуна – 2,2 кВт
Вартість – 90 тис. грн.

Конструкція прототипу дробарки пластмаси

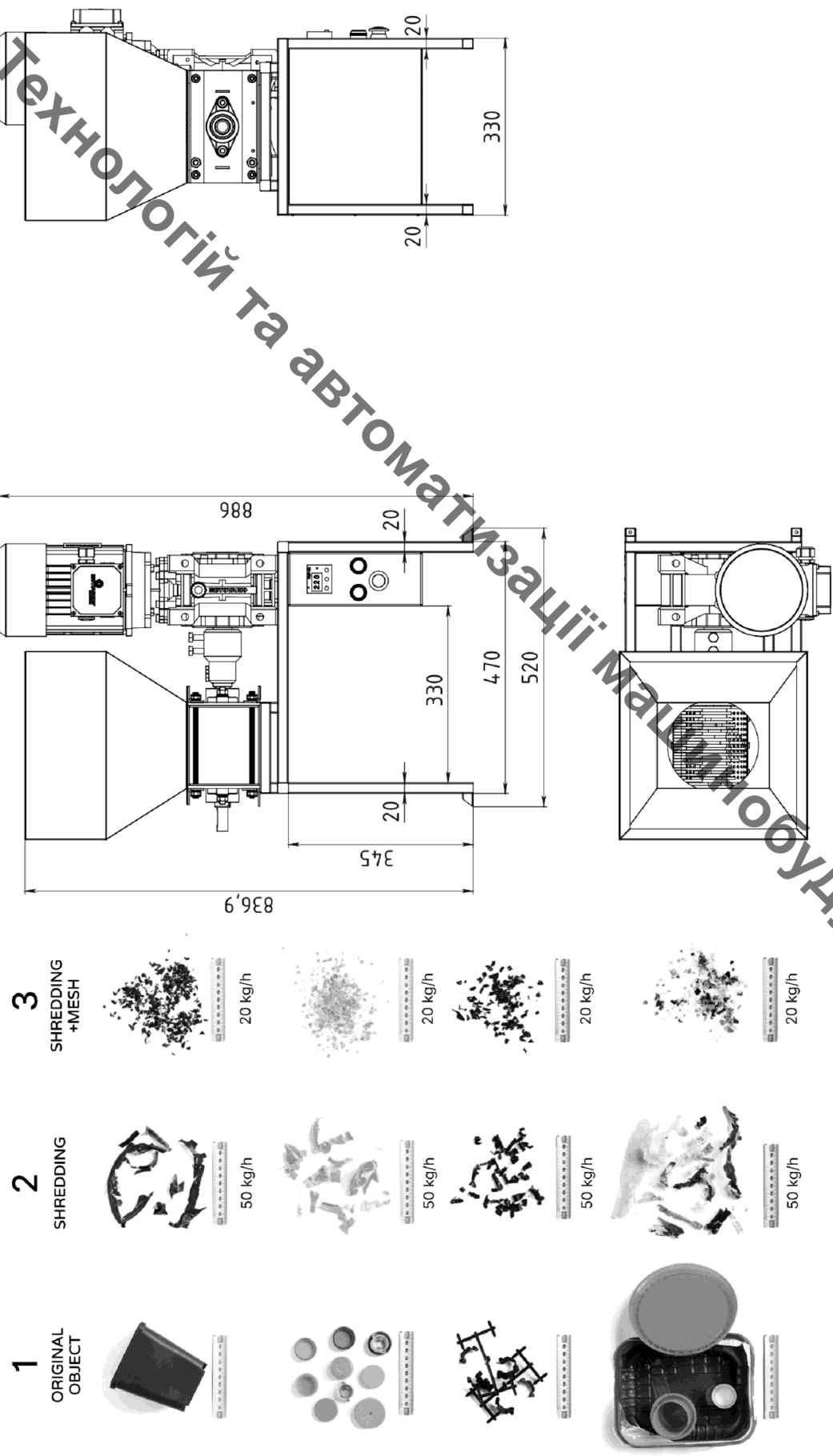
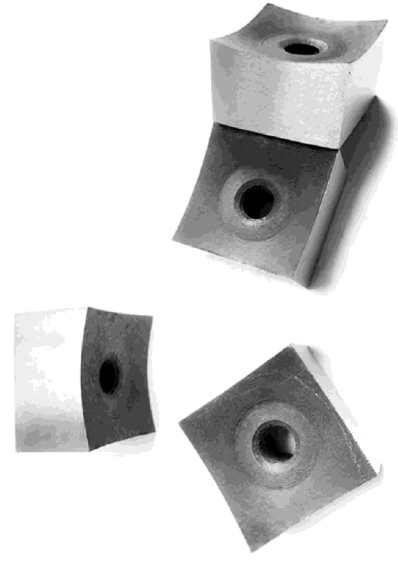


Рисунок 1 – Продуктивність прототипу
Рисунок 2 – Складальне креслення прототипу дробарки

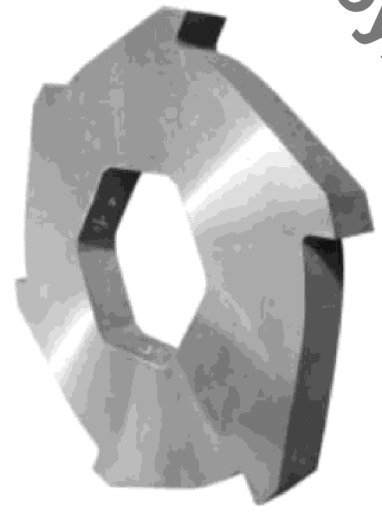
Підбір ножів для дробарки



а)



б)



в)



г)

Кінематичний розрахунок приводу подрібнювача

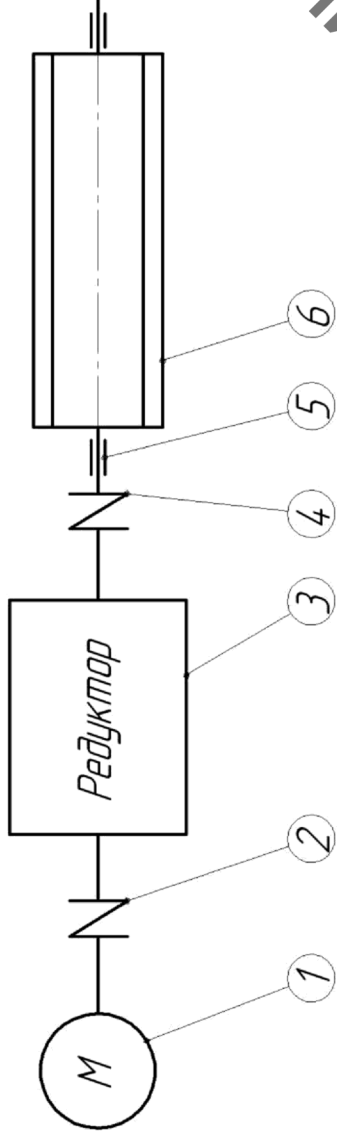


Рисунок 1 – Кінематична схема приводу подрібнювача дробарки

Максимально можлива потужність на валу дробарки:

$$P_{5,2,2} = 2,2 \cdot 0,79 \cdot 0,99 \cdot 0,96 = 1,65 (\text{кВт})$$

$$P_{5,3} = 3,0,8 \cdot 0,99 \cdot 0,96 = 2,28 (\text{кВт})$$

Максимально можлива сила врізання пластмаси ножами дробарки:

$$F_{t,2,2} = \frac{1,65 \cdot 60 \cdot 1000}{76 \cdot 120 \cdot 3,14} = 3,46 (\text{кН})$$

$$F_{t,3} = \frac{2,28 \cdot 60 \cdot 1000}{76 \cdot 120 \cdot 3,14} = 4,78 (\text{кН})$$

Електродвигун та схема його підключення

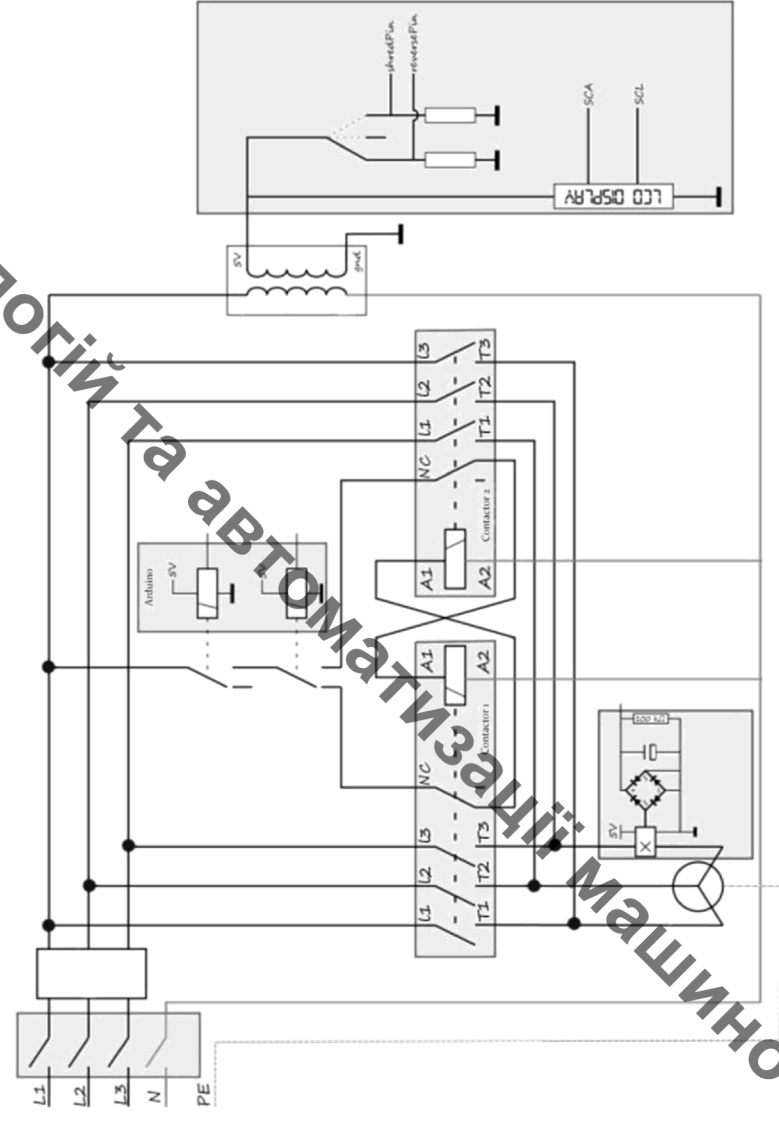
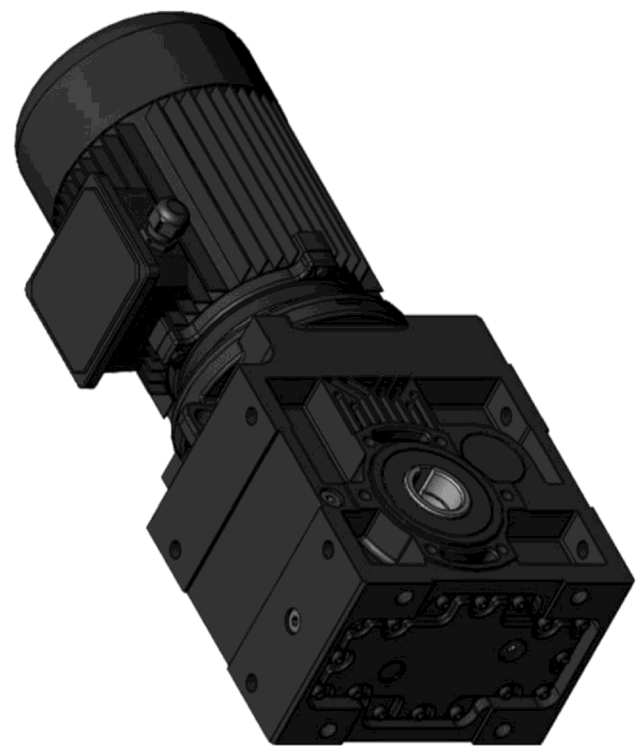


Рисунок 1 – Тривимірна модель електродвигуна з редуктором

Рисунок 2 – Схема підключення електродвигуна з блоком живлення для прототипу

Аналіз фізико-механічних характеристик елементів приводу подрібнювача прототипу дробарки

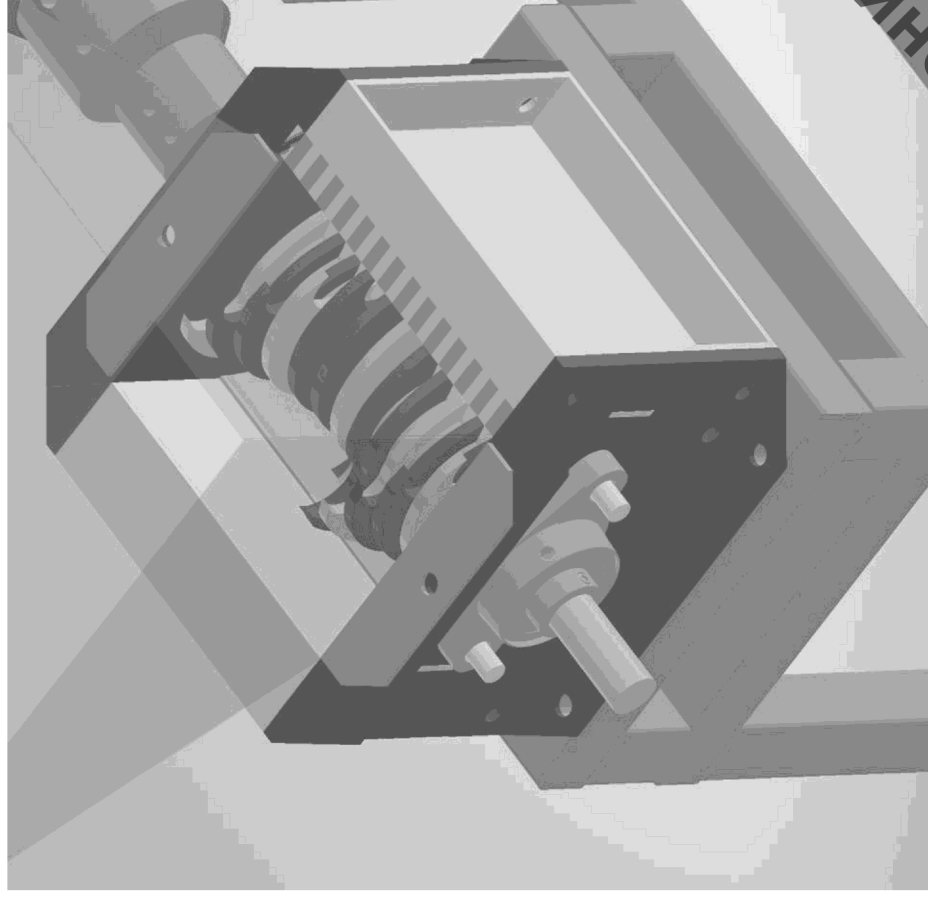


Рисунок 1 – 3D модель приводу подрібнювача прототипу дробарки

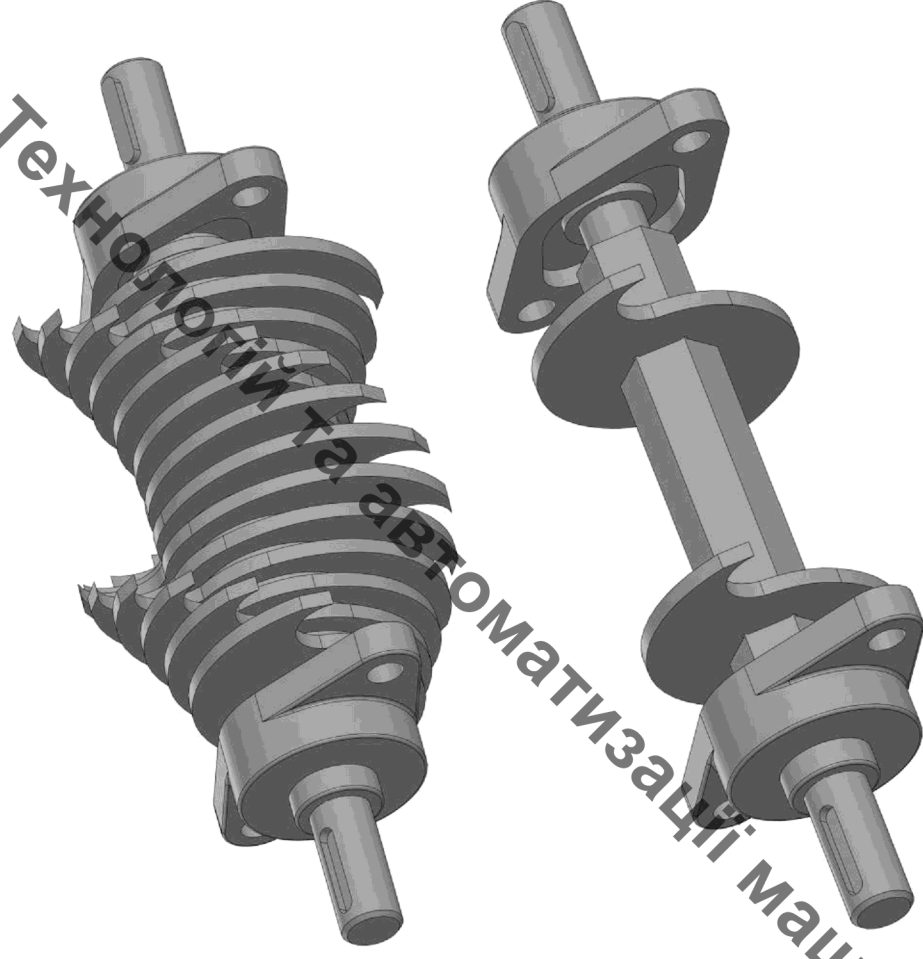
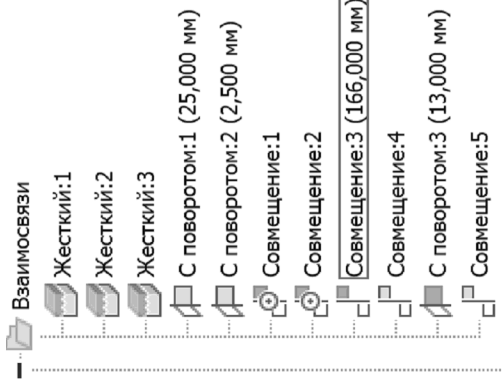
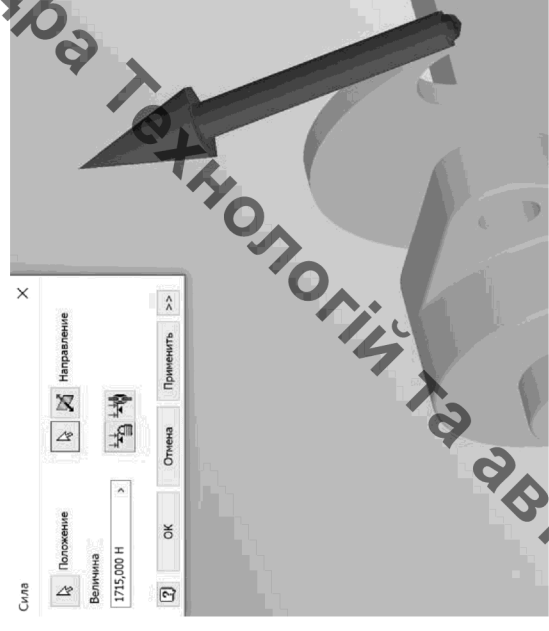
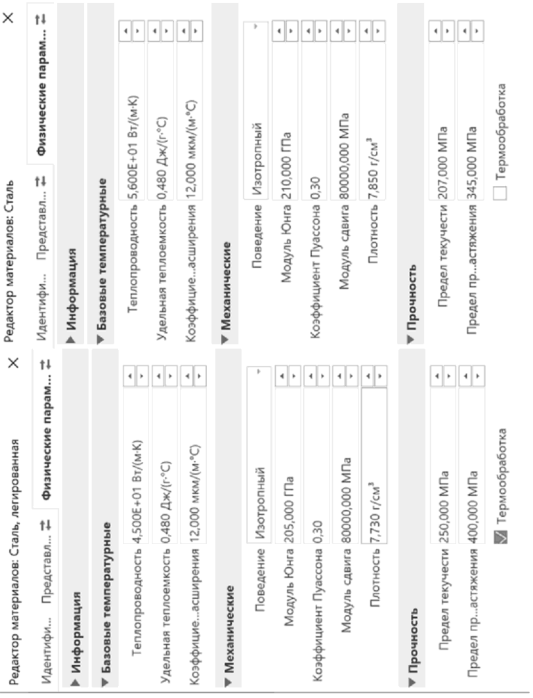


Рисунок 2 – Спрощення конструкції елементів приводу для розрахунків

Динамічний аналіз приводу подрібнювача в Autodesk Inventor



а)

Рисунок 1 – Вибір матеріалів Рисунок 2 – Розставлення Рисунок 3 – Сила, що діють на для елементів приводу взаємозв'язків між деталями леза ножів приводу

б)

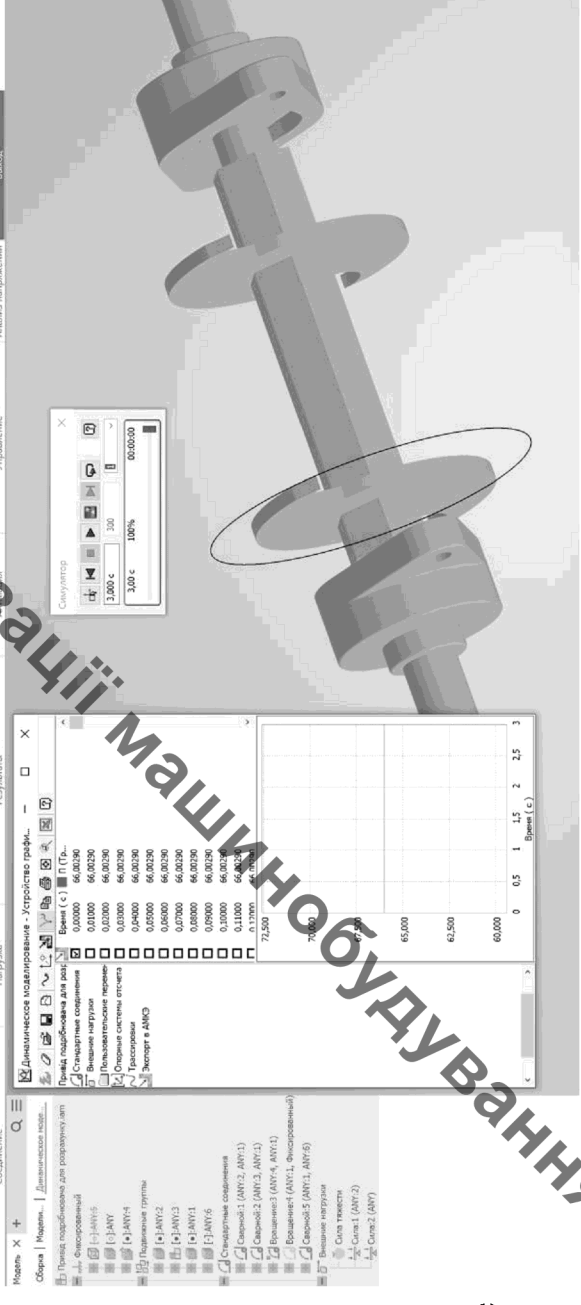
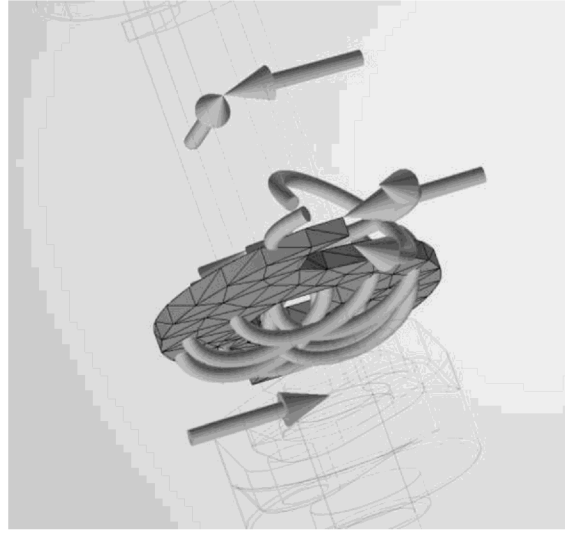
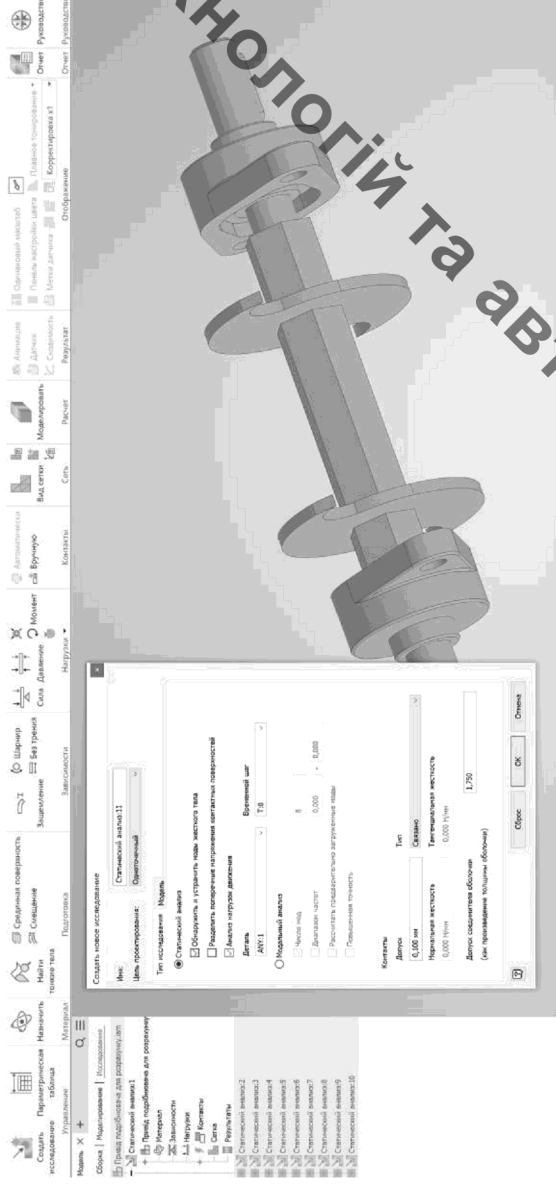


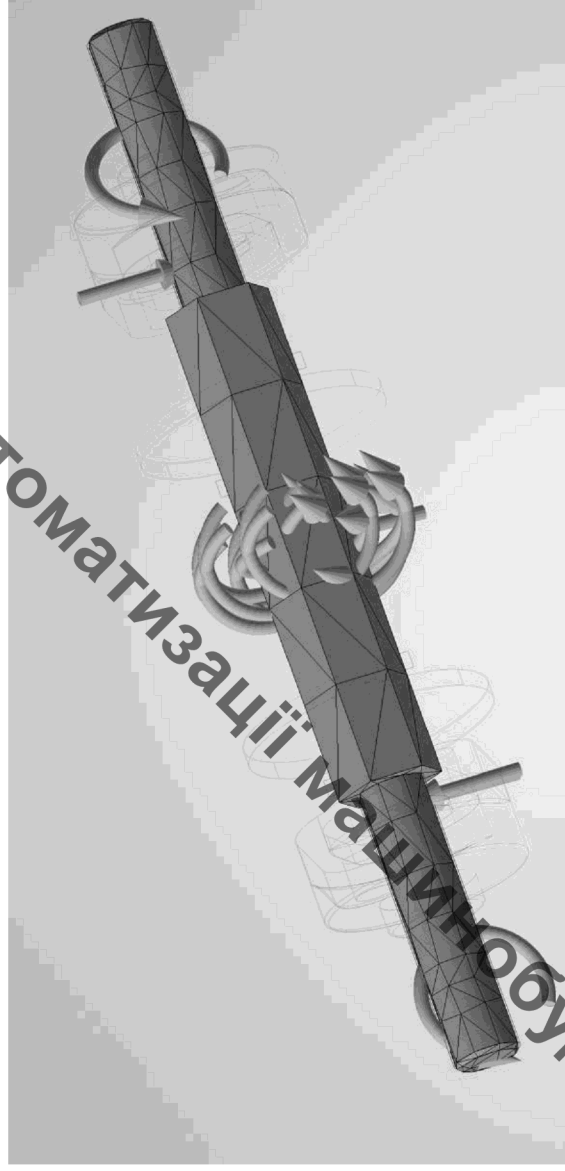
Рисунок 4 – Робоче поле програми

Аналіз на міцні приводу подрібнювача в Autodesk Inventor

Рисунок 1 – Робоче поле програми



а)



б)

Рисунок 2 – Елементи приводу під дією сил, що виникають під час динамічного аналізу: а) – ніж, б) - вал

Результати розрахунку елементів прототипу дробарки

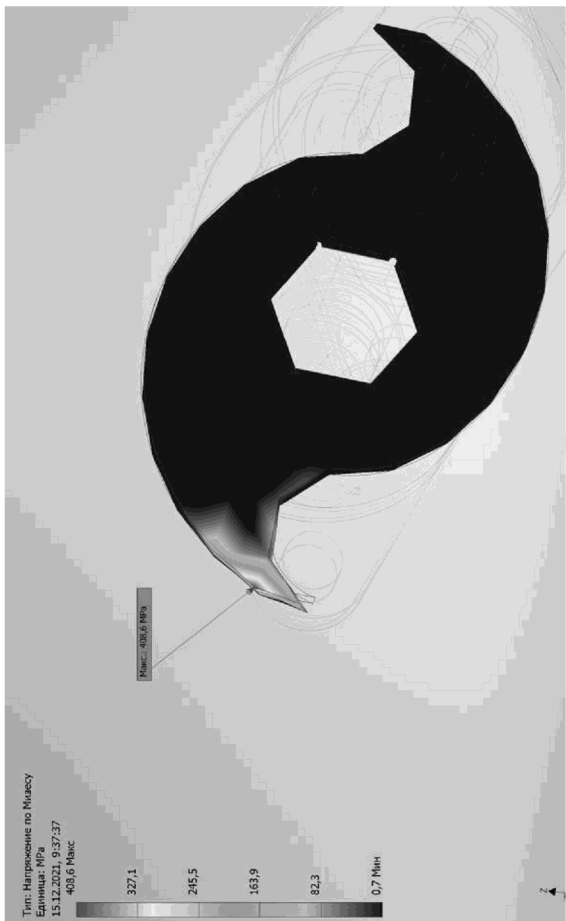


Рисунок 1 – Напруження в елементах приводу по Мізесу

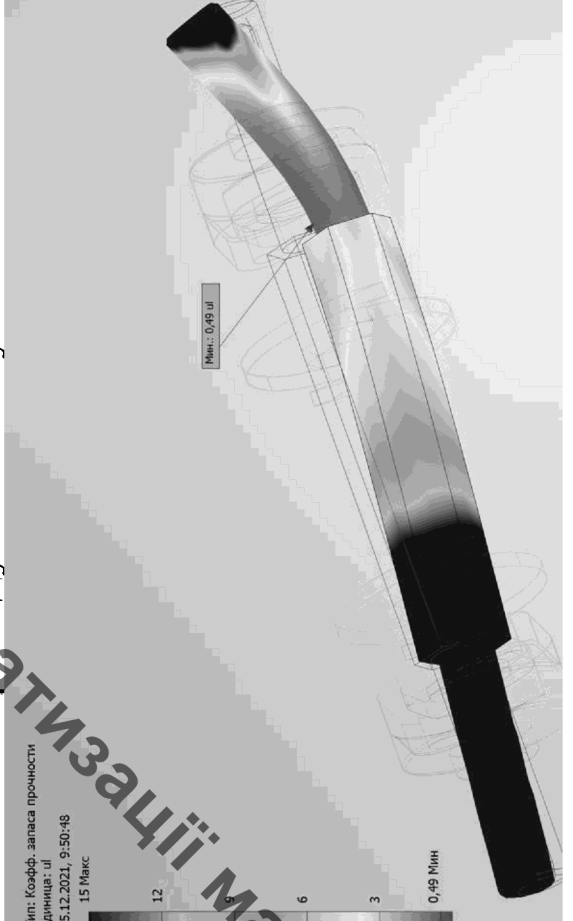
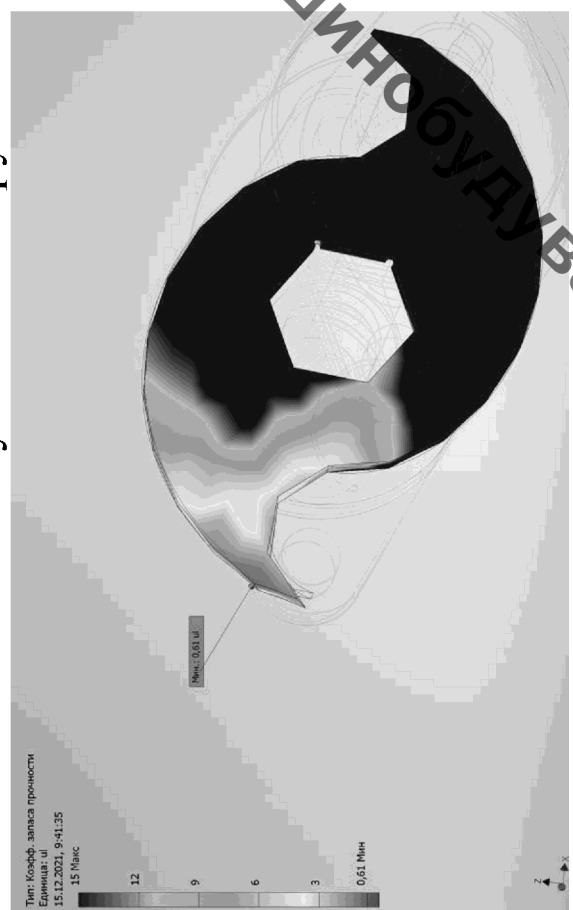
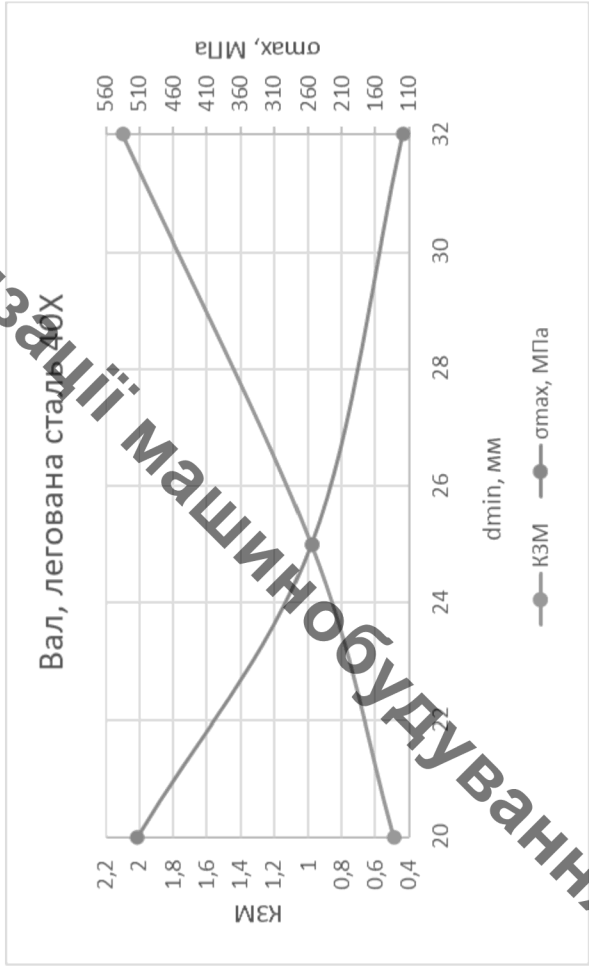
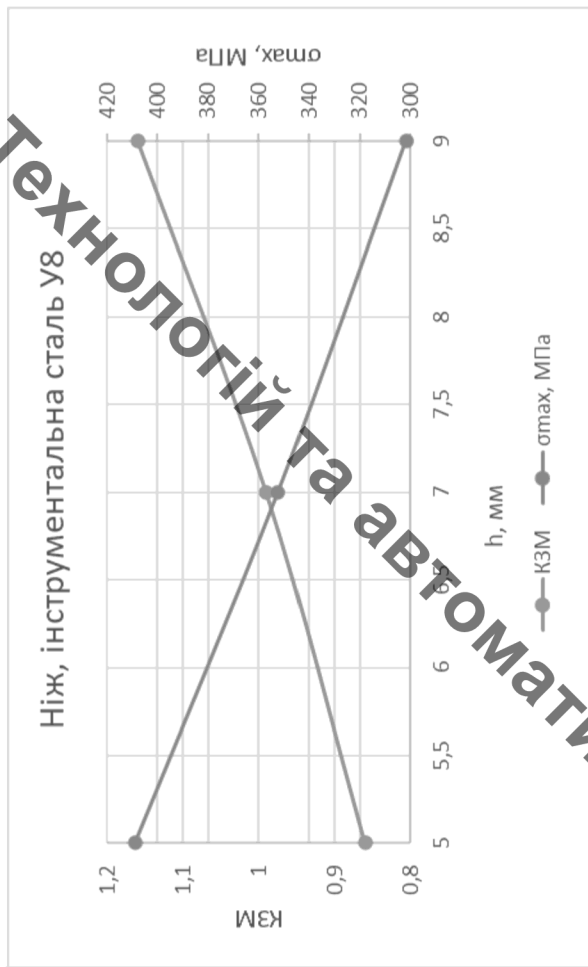
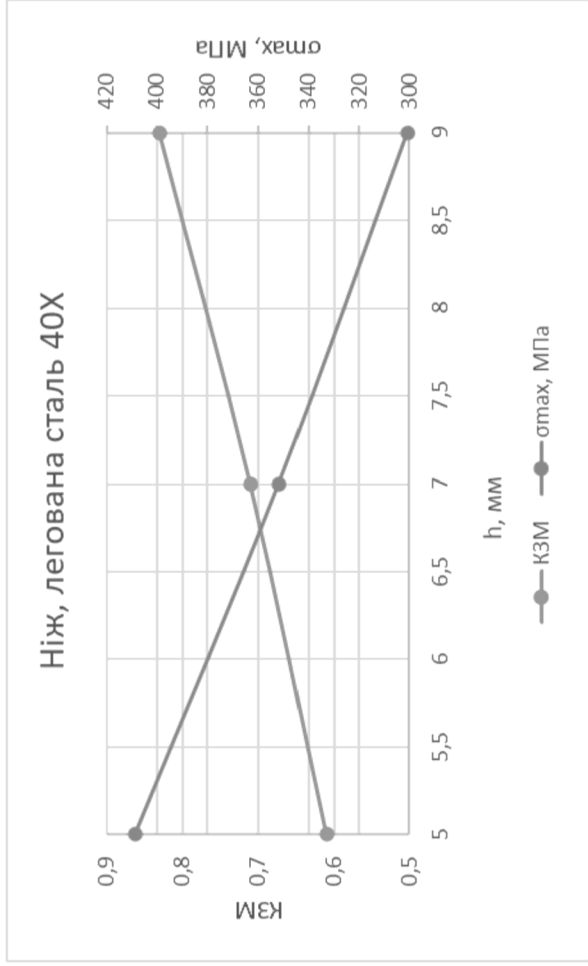


Рисунок 2 – Значення коефіцієнту запасу міцності

Залежності коефіцієнту запасу міцності та напруження в елементах приводу від їх параметрів



Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

Конструкторська документація на удосконалений привод подрібнювача

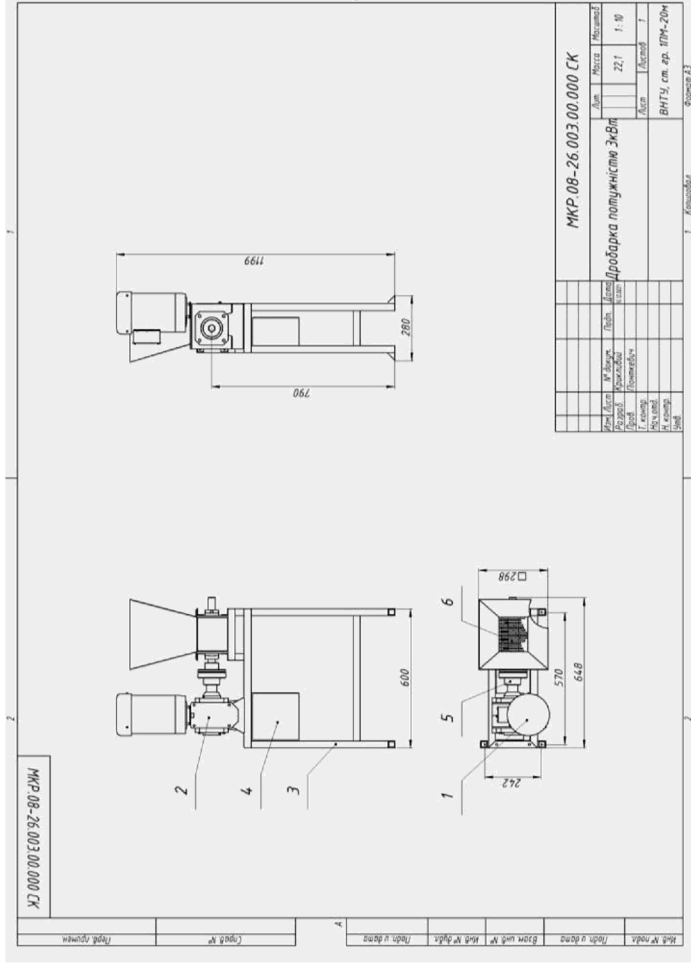


Рисунок 1 – Складальне креслення дробарки потужністю 3кВт

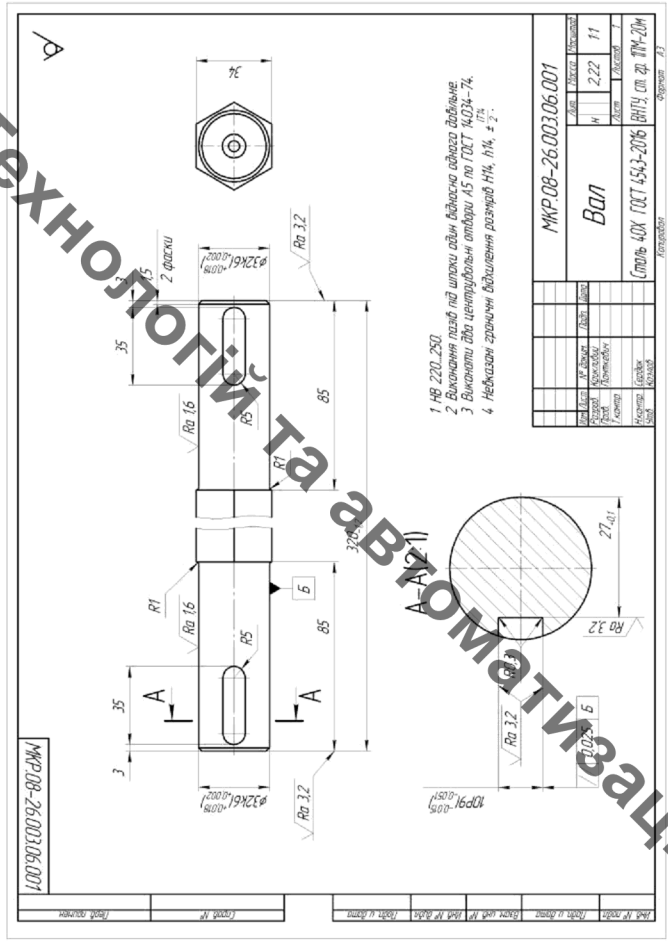
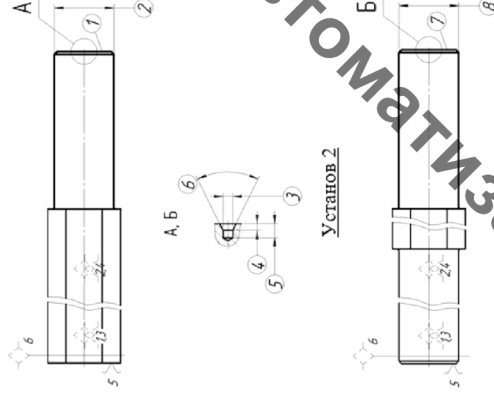
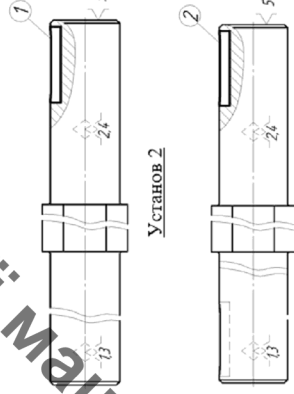
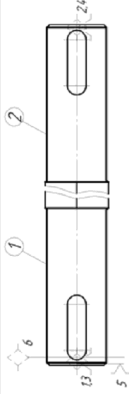


Рисунок 2 – Робоче креслення деталі «Вал»

Маршрут механічної обробки для деталі «Вал»

№	Операції, переходи	Ескизи, базування	Моделі верстатів
1	2	3	4
005	Термічна		
010	<p>Токарна програма</p> <ol style="list-style-type: none"> Установити і закріпити заготовку. Підрізати торець 1. Точити поверхню 2 попередньо. Центрувати горіць 1 витримуючи розміри 3, 4, 5, 6. Точити поверхню 2 попередньо. Точити поверхню 2 остаточно по контуру з утворенням фаски. Переустановити деталь. Підрізати торець 7. Точити поверхню 8 попередньо. Центрувати торець 7 витримуючи розміри 3, 4, 5, 6. Точити поверхню 8 попередньо. Точити поверхню 8 остаточно по контуру з утворенням фаски. Зняти деталь. 	<p>Токарний верстат з ЧПК моделі ПВЗ40Ф30</p> 	
015	<p>Шпоночно-фрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> Установити і закріпити заготовку. Фрезерувати паз 1. Переустановити деталь. Фрезерувати паз 2. Зняти деталь. 		<p>Шпоночно-фрезерний верстат моделі 692Р</p>
020	<p>Круглошліфувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> Установити і закріпити заготовку. Шліфувати поверхню 1. Шліфувати поверхню 2. Зняти деталь. 		<p>Круглошліфувальний верстат моделі 3М151</p>

Висновки

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) було удосконалено привод подрібнювача пластмаси шляхом імітаційного моделювання, що забезпечило необхідний запас міцності елементів дробарки.

Під час роботи над першим розділом МКР було проведено аналіз фізико-механічних властивостей пластмаси. Запропоновано сили різання для конкретного виду пластику з відповідними параметрами. Для пластмаси PVC товщиною 3 мм виникає сила різання на ножі 1715 Н, що є найбільшою з опрацьованих варіантів. Проведено огляд конструкцій та параметрів сучасних дробарок та шредерів для подрібнення пластмаси.

В другому розділі проведено аналіз конструкції прототипу дробарки пластмаси. Розглянуто 2 варіанти електродвигунів 2.2 кВт та 3 кВт. А також схему підключення на основі Arduino.

В третьому розділі зроблено підбір ножів для приводу дробарки. Проведено кінематичний розрахунок приводу подрібнювача. Прийнято для подрібнення пластмаси 3 мм з PVC потрібно використовувати електродвигун 3 кВт. Це забезпечить запас потужності в 1.4 рази. Виконано динамічний аналіз приводу подрібнювача та аналіз його на міцність. Знайдено залежності коефіцієнту запасу міцності та напруження в елементах приводу від їх параметрів. Запропоновано використовувати мінімальний діаметр валу приводу подрібнювача 32 мм, а мінімальну товщину ножа 9 мм який має бути виготовлений з вуглецевої сталі У9. Проведено перевірочний розрахунок для втулично-пальцевої муфти та шпонки приводу подрібнювача.

В четвертому розділі розроблено конструкторську документацію на дробарку потужністю 3 кВт та маршрут механічної обробки деталі «Вал». Розроблено креслення заготовки деталі «Вал» для одиничного виробництва з коефіцієнтом використання матеріалу 0,87.

П'яти розділ МКР присвячений питанням з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Проаналізовано всі умови праці присутні на дільниці механічної обробки, включаючи: виробничу санітарію, пожежну безпеку, освітлення, шум і т.д., а також дія іонізуючих та електромагнітних випромінювання на електронні та електричні системи.

В останньому розділі МКР розраховано економічну доцільності виготовлення виробу в якому зазначено, що річний прибуток виробника складе більше 1211,43 тисяч грн з терміном окупності за 3,85 роки.

ДОДАТОК Г

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення приводу подрібнювача для пластмаси

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше
(вказати))

Підрозділ Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Піонткевич Олег Володимирович, к.т.н.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	98,3
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	1,7

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____
(підпис)

Крикливий В.В.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____

Сердюк О.В.

(прізвище, ініціали)

Експерт _____
(підпис)

д.т.н., проф. зав.кафедри Козлов Л.Г.
(прізвище, ініціали, посада)

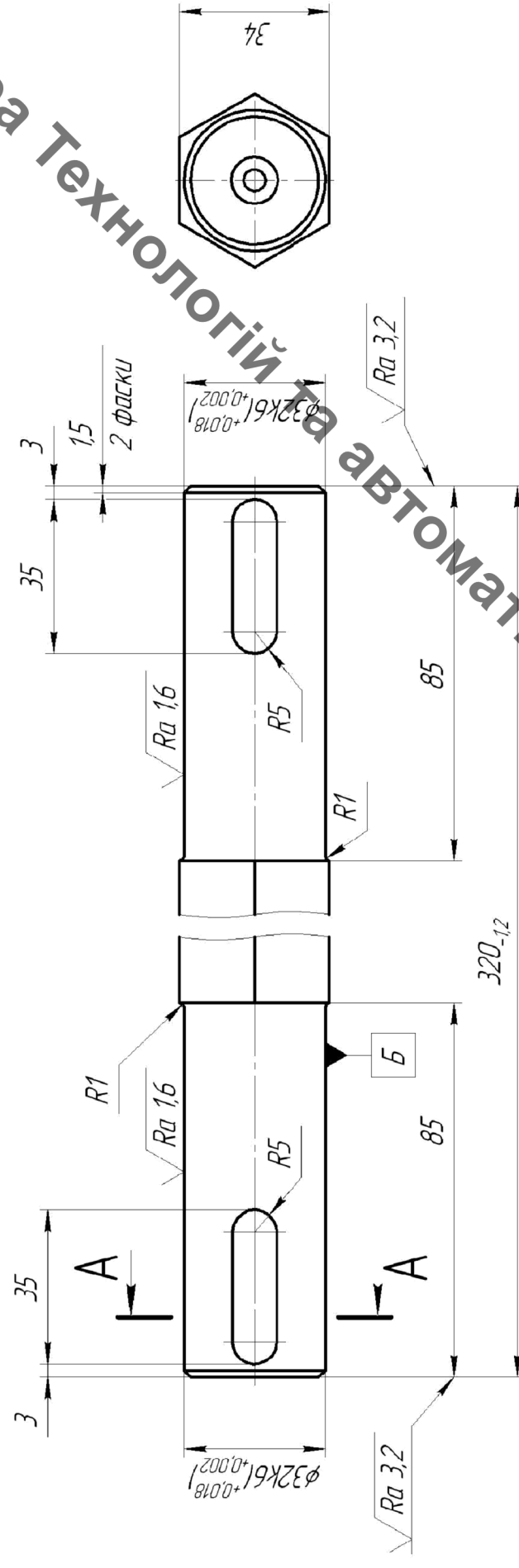
Додаток Д

КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ

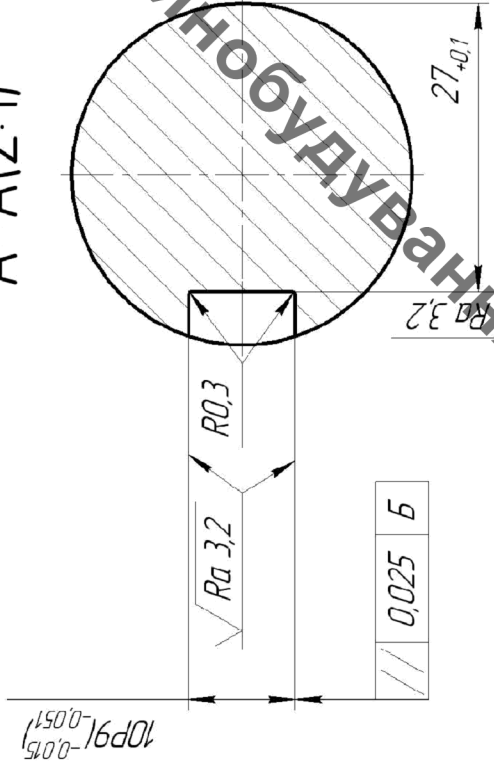
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПЛАСТМАСИ

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

МКР.08-26.003.06.001



A-A(2:1)



- 1 НВ 220...250.
- 2 Виконання пазів під шпоку один відносно одного довільне.
- 3 Виконати два центрувальні отвори А5 по ГОСТ 14034-74.
- 4 Невказані граничні відхилення розмірів Н14, $h14$, $\pm \frac{IT14}{2}$.

МКР.08-26.003.06.001		Лист		Масштаб	
Вал		№	2,22	1:1	
Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016		Лист	Листов		1
ВНТУ, ст. зр. ПМ-20М					

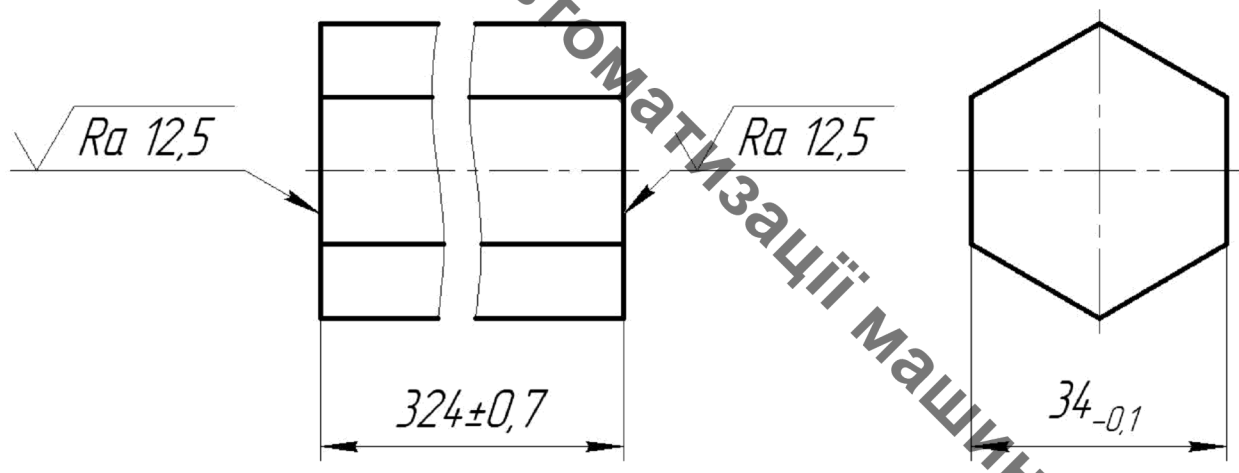
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

МКР.08-26.003.06.101



Перв. примен.

Справ. №



- 1 Кривизна прутка не більше 1 мм на довжині 1м.
- 2 Радіус закруглених кромek не більше 1 мм.
- 3 Скручування прутка не довжині 1 м не повинно перевищувати 3°.

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

МКР.08-26.003.06.101

Заготовка "Вал"

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

Лит.	Масса	Масштаб
Н	2,55	1:1
Лист		Листов 1

ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-20М