

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розрахунок та технічне обслуговування зерносушарки марки «Araj»

Виконав (ла): здобувач (ка) освіти IV курсу, групи МО-41

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

	Підпис	Присяжнюк Н.О. (прізвище та ініціали)
--	-------------------	---

Керівник	Підпис	Вітенько Т.М. (прізвище та ініціали)
----------	-------------------	--

Нормоконтроль	Підпис	Ворожук В.Я. (прізвище та ініціали)
---------------	-------------------	---

Завідувач кафедри	Підпис	Вітенько Т.М. (прізвище та ініціали)
-------------------	-------------------	--

Рецензент	Підпис	(прізвище та ініціали)
-----------	-------------------	---

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня **бакалавр**
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

здобувачу (ці) освіти Присяжнюку Назарію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та технічне обслуговування зерносушарки марки «Агаї»

Керівник роботи Д.т.н., професор Вітенько тетяна Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2025 р. № 4/7-49

2. Термін подання здобувачем (кою) освіти завершеної роботи « 20 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Паспорт зерносушарки марки «Агаї»

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз сучасного стану технологічного обладнання

2. Розробка конструктивних та технічних рішень

3. Заходи з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сушарки ARAY

4. Техніко-економічне обґрунтування

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Зерносушарка марки «Агаї». Вигляд загальний. (1 л.ф.А1)

2. Структурна схема зерносушарки марки «Агаї». (0,5 л.ф.А1).

Кінематична схема зерносушарки марки «Агаї». (0,5 л.ф.А1)

3. Вал опорний зерносушарки марки «Агаї». (1 л.ф.А1)

4. Креслення оригінальних деталей. (1 л.ф.А1)

5. Схема складання- розбирання вузла вала опорного зерносушарки марки «Агаї». (1 л.ф.А1)

6. Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки вала опорного зерносушарки марки «Агаї». (1 л.ф.А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці	доц. Комар Р.В.		
Нормоконтроль	доц. Ворошук В.Я.		

7. Дата видачі завдання « 27 » січня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Аналіз сучасного стану технологічного обладнання	27.01. 2025-09.02.2025	
2	2. Розробка конструктивних та технічних рішень	02.06.2025-10.06.2025	
3	3. Заходи з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сушарки ARAY	08.06.2025-18.06.2025	
4	4. Техніко-економічне обґрунтування	27.01. 2025-09.02.2025	
5	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.06.2025-19.06.2025	
	Графічна частина		
6	1. Зерносушарка марки «Агај». Вигляд загальний.	27.01. 2025-09.02.2025	
7	2. Структурна схема зерносушарки марки «Агај». Кінематична схема зерносушарки марки «Агај».	27.01. 2025-09.02.2025	
8	3. Вал опорний зерносушарки марки «Агај».	02.06.2025-10.06.2025	
9	4. Креслення оригінальних деталей.	02.06.2025-10.06.2025	
10	5. Схема складання- розбирання вузла вала опорного зерносушарки марки «Агај».	08.06.2025-18.06.2025	
11	6. Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки вала опорного зерносушарки марки «Агај».	08.06.2025-18.06.2025	

Здобувач освіти

(підпис)

Присяжнюк Н.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вітенько Т.М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Розрахунок та технічне обслуговування зерносушарки марки «Агаї» // Кваліфікаційна робота бакалавра. Присяжнюк Назарій Олександрович. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра обладнання харчових технологій, група МО-41. — ТНТУ, 2025.

Ключові слова: зерносушарка АРАІ, технічне обслуговування, монтаж, тепловий розрахунок, кінематичний розрахунок, охорона праці.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки обсягом 73 сторінки (12 рисунків, 15 таблиць) та графічної частини — 6 креслень формату А1. У кваліфікаційній роботі проведено аналіз конструктивних особливостей зерносушарок, зокрема моделі АРАІ. Виконано тепловий, кінематичний та конструктивний розрахунки основних вузлів сушарки. Розроблено заходи з монтажу, технічного обслуговування, ремонту та випробування обладнання. Обґрунтовано техніко-економічну доцільність удосконалення конструкції. Описано технологічний процес виготовлення валу та заходи з охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації обладнання.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Анотація		
Розроб.	Присяжнюк Н.О.						
Перевір.	Вітенько Т.М.						
Реценз.							
Н. Контр.	Ворощук В.Я.						
Затверд.	Вітенько Т.М.				гр. МО-41		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						3	

Annotation

Prysiazhniuk Nazarii Oleksandrovykh. Calculation and Maintenance of the Grain Dryer Model "Araj" // Bachelor's Qualification Thesis. Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies, Department of Food Technologies Equipment, Group MO-41. — TNTU, 2025.

Keywords: ARAJ grain dryer, maintenance, installation, thermal calculation, kinematic calculation, occupational safety.

This thesis presents the calculation and development of maintenance measures for the ARAJ grain dryer to ensure its efficient and safe operation. The work includes an analysis of the current state and design features of grain dryers, particularly the ARAJ model. Thermal, kinematic, and structural calculations of the main components are provided. Measures for installation, maintenance, repair, and testing of the dryer are developed. The feasibility of modernization is economically justified. The thesis also includes the technological process for manufacturing a shaft and describes occupational safety and emergency safety measures during equipment operation.

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Annotation</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Прийнято Н.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Вітенько Т.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ворожук В.Я.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Вітенько Т.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
						3	
					<i>гр. МО-41</i>		

Зміст

Завдання	1
Анотація	3
Annotation.....	3
Зміст.....	4
Вступ	6
1. Аналіз сучасного стану технологічного обладнання	7
1.1. Аналіз існуючих конструкцій і вузлів сучасних сушарок	7
1.2. Аналіз технічного завдання на розрахунок сушарки ARAY	11
1.3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи.....	12
2. Розробка конструктивних та технічних рішень.....	13
2.1. Особливості конструкції та основні інженерні розрахунки сушарки ARAY	13
2.1.1. Аналіз структурної схеми сушарки ARAY	13
2.2. Конструювання та розрахунок вузлів сушарки ARAY	21
2.2.1. Конструктивний розрахунок шнекових витків	21
2.2.2. Розрахунок пасової передачі привода барабана сушарки.....	23
2.2.3. Розрахунок зубчатої передачі приводу барабана сушарки	25
2.2.4. Розрахунок шпоночного з'єднання вала і ступиці	27
2.2.5. Розрахунок параметрів надійності пасової передачі	28
2.2.6. Опис конструкції і принципу дії барабанної сушарки зерна ARAY	29
3. Заходи з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сушарки ARAY	30
3.1. Розробка схеми монтажу сушарки ARAY	30
3.1.1. Вибір такелажного оснащення та схеми переміщення сушарки ARAY	30

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Присяжнюк Н.О.			Зміст			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Вітенько Т.М.								4	
Реценз.								гр. МО-41			
Н. Контр.		Ворожук В.Я.									
Затверд.		Вітенько Т.М.									

3.1.2. Розрахунок основних параметрів такелажних пристосувань	31
3.1.3. Вибір фундаменту під зерносушарку ARAY.....	33
3.1.4 Вибір методів вивірки сушарки ARAY	34
3.2. Розробка технології ремонту і випробування сушарки ARAY	35
3.2.1. Аналіз характерних причин виходу з ладу сушарки ARAY. Розробка графіка планово-попереджувального ремонту сушарки ARAY	35
3.2.2. Розробка технологічної документації на проведення ремонту сушарки ARAY	40
3.2.3. Дефектування і сортування деталей	44
3.2.4. Розроблення технологічного процесу виготовлення вала	46
3.2.4.1. Аналіз технічних умов вала.....	46
3.2.4.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки.....	48
3.2.4.3. Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів	49
3.2.4.4. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала	54
3.2.4.5. Вибір ріжучого і вимірювального інструменту	55
3.2.4.6. Розрахунок режимів різання по операціях.....	56
3.2.4.7. Технічне нормування технологічного процесу. Визначення необхідної кількості обладнання і величини його завантаження.	62
3.2.4.8. Технічний контроль та випробування сушарки ARAY.....	65
4. Техніко-економічне обґрунтування	67
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	68
Висновки	70
Перелік посилань	72
Додатки	

Вступ

Зерносушарки є ключовим обладнанням технологічного процесу підготовки зерна до тривалого зберігання. Від ефективності їх роботи значною мірою залежать якість збереженого врожаю, енергоефективність виробництва та економічні показники господарства. Проектування, монтаж, експлуатація та технічне обслуговування зерносушарок потребують урахування широкого спектра технічних вимог і сучасних конструктивних рішень.

Сучасні зерносушарки, зокрема шахтного, модульного чи конвеєрного типу, мають ряд конструктивних особливостей, що забезпечують підвищену продуктивність та зниження енергоспоживання. До них належать: використання накопичувальних секцій для рівномірного завантаження зерна, теплоізоляція та якісні облицювальні матеріали для мінімізації тепловтрат, а також системи рекуперації тепла, які дозволяють повторно використовувати енергію та зменшити витрати палива до 20–30%.

У процесі експлуатації особливе значення мають дотримання температурних режимів, регулярне технічне обслуговування сушарки, своєчасне очищення робочих секцій та профілактика основних вузлів. Важливими є також правильний монтаж обладнання та застосування надійних такелажних і фундаментних рішень.

У роботі розглянуто питання проектування та модернізації зерносушарки марки «Агаї», проведено теплотехнічні, кінематичні та конструктивні розрахунки її основних елементів, розроблено рекомендації щодо монтажу, технічного обслуговування й ремонту, а також заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Присяжнюк Н.О.			Вступ			Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Вітенько Т.М.								6			
Реценз.								гр. МО-41					
Н. Контр.		Ворожук В.Я.											
Затверд.		Вітенько Т.М.											

1. Аналіз сучасного стану технологічного обладнання

1.1. Аналіз існуючих конструкцій і вузлів сучасних сушарок

Промислове сушіння зерноматеріалів охоплює широкий спектр обладнання, яке класифікується за різними ознаками залежно від конструкції, принципу дії та технологічного призначення. За режимом роботи сушарки поділяються на періодичної та безперервної дії. У першому випадку завантаження, сушіння та розвантаження матеріалу здійснюються окремими циклами, що зручно при обробці невеликих або середніх обсягів сировини, особливо коли потрібна гнучкість технологічного процесу. Безперервні сушарки забезпечують безперервний потік матеріалу і відзначаються високою продуктивністю, що робить їх ефективними для масових виробництв.

Важливою класифікаційною ознакою є тип теплоносія. Найпоширенішим є нагріте повітря. У конвективних сушарках тепло передається за рахунок потоку гарячого повітря, що забезпечує інтенсивне сушіння. Істотне значення має напрямок руху теплоносія відносно матеріалу. Він може бути проточієм, протитечієм або з перехресним потоком. Проточіє забезпечує швидкий прогрів, але менш рівномірне сушіння; протитечіє — дозволяє ефективніше використовувати тепло та досягати рівномірнішого результату; перехресний потік використовується для оптимізації процесу під конкретні характеристики сировини.

Також сушарки розрізняють за тиском у робочій камері. Найпоширенішими є атмосферні сушарки, що працюють при нормальному тиску. Вакуумні сушарки дозволяють здійснювати сушіння при зниженій температурі кипіння вологи, що є критично важливим для термочутливих речовин. Класифікація за конструкцією сушильної ємності включає барабанні, камерні, шахтні, стрічкові, сушарки з киплячим шаром і розпилювальні. Для сушіння зерна зазвичай використовують барабанні конструкції.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1. Аналіз сучасного стану технологічного обладнання		
Розроб.		Присяжнюк Н.О.					
Перевір.		Вітенько Т.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ворожук В.Я.					
Затверд.		Вітенько Т.М.			гр. МО-41		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						7	

Сушарка для сушіння харчових продуктів (цукру, зерна, солоду та ін.) показана на рис. 1.1. Барабан 1, обертається на роликах 4 та спирається на них бандажами 2. Барабан приводиться в обертовий рух за допомогою колеса 3, зчепленого з шестернею 5, яку в свою чергу приводить в дію електродвигун через редуктор 6. Швидкість обертання барабана становить 1—8 об/хв., а його габарити залежать від продуктивності сушіння того чи іншого матеріалу.

Діаметр барабана — в межах 1000—3000 мм, відношення довжини барабана до його діаметра становить від 3:1 до 10:1. Барабан встановлюється горизонтально або з незначним нахилом у бік переміщення матеріалу. Для розгалуженого контакту матеріалу з теплоносієм у барабані встановлюють насадки 7, які можуть бути різної форми.

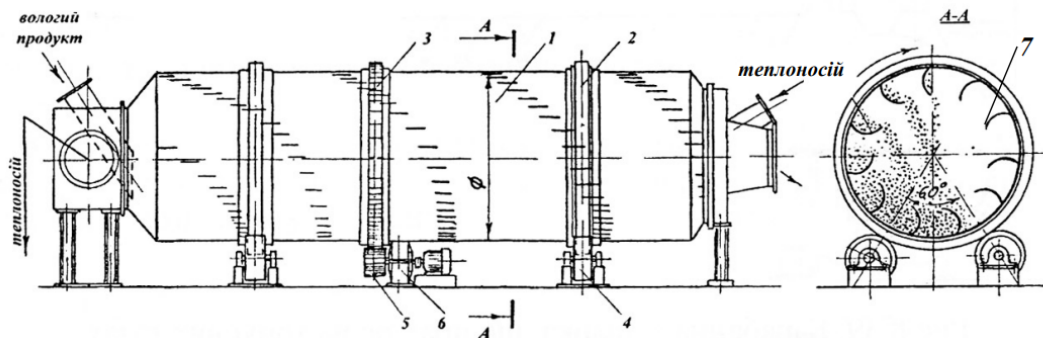


Рисунок 1.1. Барабанна сушарка:

1 — барабан; 2 — бандаж; 3 — зубчасте колесо; 4 — ролик; 5 — шестерня; 7 — насадка

Напрямки взаємного руху матеріалу й теплоносія можуть бути прямотечійними, протитечійними або з перехресним потоком. Однією з важливих технологічних характеристик барабанних сушарок є об'ємне навантаження барабана, яке залежить від вологості оброблюваного матеріалу та визначається за відповідною формулою.

$$A = \frac{W}{V \cdot \tau}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}},$$

де W - кількість вологи, кг, що видаляється з матеріалу за період, година;

V - об'єм барабана, m^3 .

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані значення A приймаються:

для пшениці $A = 20 - 30$.

Камерна сушарка зображена на рисунку 1.2. Повітря надходить через вхідний патрубок 2, проходить через фільтр або теплообмінник 3, де очищується або нагрівається. Потім воно рівномірно розподіляється каналами 5 і проходить крізь зернову масу 8, забираючи з неї вологу. Відпрацьоване зволожене повітря відводиться через вихідний патрубок 6 у напрямку А або Б, залежно від режиму роботи сушарки. Завдяки цьому забезпечується ефективне сушіння зерна з мінімальними енергетичними втратами та рівномірним видаленням вологи.

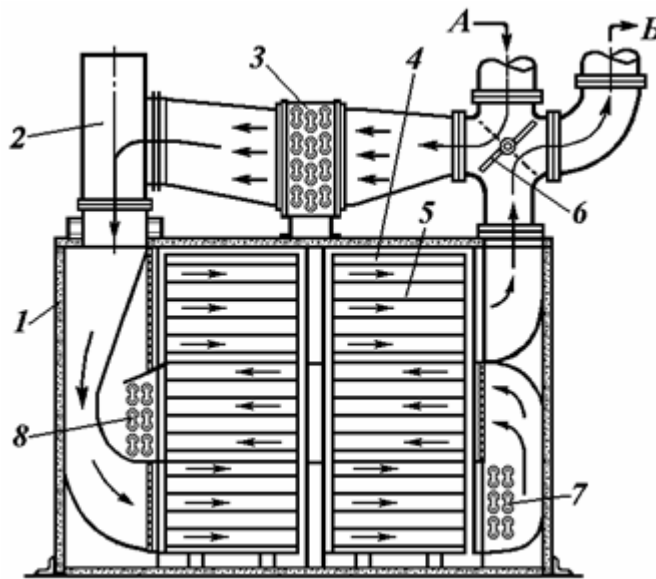


Рисунок 1.2. – Камерна сушарка:

1 — корпус сушарки; 2 — вхідний патрубок для повітря; 3 — фільтр; 4 — внутрішній канал; 5 — канали розподілу повітря; 6 — вхідний та вихідний патрубки; 7 — канал для відведення відпрацьованого повітря; 8 — зернова маса, розміщена у касетах або на решітках.

Шахтна зерносушарка наведена на рисунку 1.3.

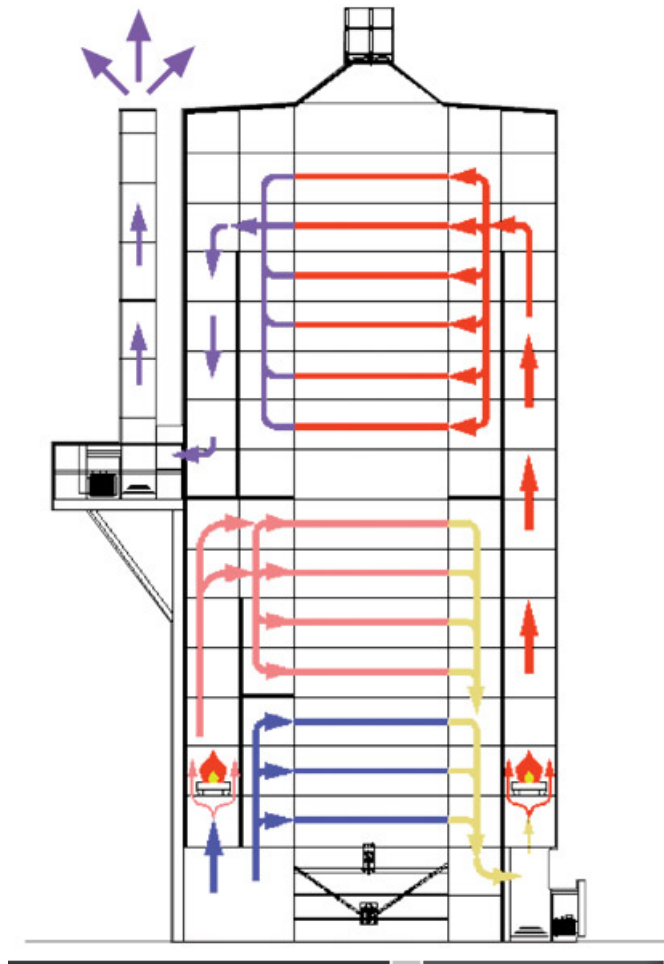


Рисунок 1.3. – Шахтна зерносушарка

Висока теплоізольована шахта забезпечує рух зерна зверху вниз під дією сили тяжіння. Завантажувальний бункер у верхній частині рівномірно подає зерно до сушильних секцій, де воно проходить через різні температурні зони, що позначені кольорами на схемі. Внизу розташовані теплогенератори, які нагрівають повітря, що вентилятори подають через зерновий шар складною траєкторією, забезпечуючи ефективний тепло- і масообмін. Частина відпрацьованого повітря рециркулюється для економії енергії, решта виводиться через димар. Висушене зерно вивантажується через механізм у нижній частині. Такий принцип роботи гарантує рівномірне сушіння, високу продуктивність і енергоефективність, а також можливість регулювання режимів для різних культур. Це робить конструкцію типовою для сучасних зерносушарок великих обсягів.

1.2. Аналіз технічного завдання на розрахунок сушарки ARAY

Аналіз стану виробництва на підприємстві засвідчує недостатню ефективність переробки сировини, що зумовлено використанням застарілого обладнання. Наявні виробничі потужності не забезпечують повного завантаження, що негативно впливає на продуктивність та рентабельність виробництва. В умовах зростаючого попиту на готову продукцію постає потреба у впровадженні технічно обґрунтованих рішень, які б дозволили підвищити ефективність переробки зерна. У цьому контексті актуальним є проектування конструкції сушарки, що базується на принципах підвищення енергоефективності, надійності та технологічної доцільності. Технічне завдання на розрахунок сушарки ARAY передбачає створення обґрунтованої конструкції, яка забезпечить:

- раціональну геометрію шнекової навивки для інтенсифікації руху та сушіння зерна;
- застосування розрихлювачів зерна в середній частині барабана для запобігання злежуванню сировини та рівномірного прогріву;
- надійність опорних елементів, зокрема валів, із урахуванням умов навантаження та режимів роботи;
- раціональну кінематичну схему приводу сушарки, що дозволяє забезпечити стабільний обертальний рух барабана;
- ефективне теплотехнічне функціонування агрегату із мінімальними втратами енергії.

Згідно з технічним завданням, конструкція сушарки ARAY орієнтована на підвищення продуктивності до 10 % за рахунок удосконалення елементів, які безпосередньо впливають на перебіг сушильного процесу. При цьому особлива увага у розрахунках приділяється вузлам, які зазнають найбільших навантажень і є критичними з точки зору довговічності та надійності.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою кваліфікаційної роботи є виконання комплексного розрахунку сушарки ARAY з подальшим обґрунтуванням технічних рішень, спрямованих на підвищення її продуктивності, надійності та ефективності експлуатації.

Основні завдання роботи:

- Провести аналіз сучасних конструкцій сушарок і технічного завдання на розрахунок сушарки ARAY для визначення її основних технічних характеристик та експлуатаційних вимог.
- Виконати комплексний кінематичний і технологічний розрахунок сушарки ARAY, включаючи матеріальний та тепловий аналіз.
- Розробити і розрахувати основні вузли сушарки, такі як шнекові витки, пасову та зубчасту передачі, шпоночне з'єднання, забезпечивши їх надійність та відповідність технічним нормам.
- Розробити схему монтажу сушарки з визначенням такелажного оснащення, вибором фундаменту та методів вивірки обладнання.
- Розробити технологічні процеси експлуатації, ремонту та технічного обслуговування сушарки ARAY, враховуючи аналіз причин відмов і планово-попереджувальні заходи.
- Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень та забезпечити безпеку праці під час монтажу, експлуатації та ремонту сушарки.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розробка конструктивних та технічних рішень

2.1. Особливості конструкції та основні інженерні розрахунки сушарки ARAY

2.1.1. Аналіз структурної схеми сушарки ARAY

Барабанна сушарка призначена для безперервного сушіння зерна. Вологий матеріал подається шнековим або скребковим транспортером у бункер, звідки надходить у нахилений обертовий барабан.

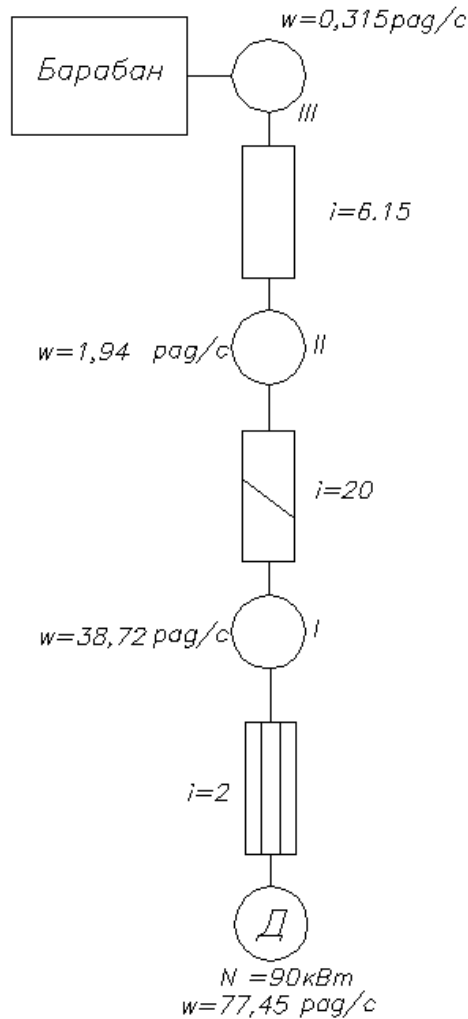


Рисунок 2.1. Структурна схема зерносушарки продуктивністю 500 т/доб

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Прийнято Н.О.			2. Розробка конструктивних та технічних рішень				Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Вітенько Т.М.									13	
Реценз.									гр. МО-41			
Н. Контр.		Ворожук В.Я.										
Затверд.		Вітенько Т.М.										

Усередині він переміщується та рівномірно розподіляється за допомогою внутрішніх насадок. Гаряче повітря, нагріте в топці або електрокалорифері, вентилятором подається в барабан і проходить крізь матеріал. Завдяки обертанню, нахилу барабана та потоку повітря матеріал переміщується до вивантаження. Сухе зерно виводиться через шлюзовий затвор, встановлений у нижньому отворі розвантажувальної камери. Відпрацьоване повітря відводиться через верхній отвір та очищується від пилу в циклоні.

Розробка конструкції сушарки починаємо зі структурної схеми представленої на рисунку 2.1.

Привід барабана здійснюється від електродвигуна потужністю 90 кВт через клинопасову передачу, черв'ячний редуктор і відкриту циліндричну зубчасту передачу. Частота обертання двигуна становить 740 об/хв, а частота обертання барабана — 3 об/хв. Таким чином, загальне передаточне число кінематичної схеми дорівнює:

2.1.2. Кінематичний розрахунок

На листі формату А1 зображена кінематична схема барабанної сушарки зерна продуктивністю 500 т/доб.

Кінематична схема сушарки ARAY представляє собою умовне плоске зображення основних механізмів і кінематичних ланок, які забезпечують передачу руху від електродвигуна до робочих органів сушарки. Схема відображає послідовність з'єднань між механізмами, їх кінематичні зв'язки, а також шляхи передачі крутного моменту. Усі елементи схеми позначені стандартними графічними символами або спрощеними контурами, що дозволяє чітко ідентифікувати типи передач (клинові паси, зубчасті колеса, черв'ячні редуктори тощо) та послідовність передачі руху.

Кінематична схема сушарки включає електродвигун 1 ($N=90$ кВт; $n=740$ об/хв) від якого рух передається через вал 1 до пасової передачі і черв'ячного редуктора 3 ($i=41,5$), а потім через відкриту циліндричну передачу на барабан.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електродвигун має потужність 90 кВт і здійснює 740 об/хв.

Крутний момент на валу двигуна обчислюємо за формулою:

$$T_g = \frac{P}{\omega_g} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_g}$$

де P - потужність електродвигуна, кВт

$n_g \rightarrow$ - кількість обертів електродвигуна, об/хв.

$$T_g = \frac{30 \cdot 90000}{3,14 \cdot 740} = 1162 \text{ Нм.}$$

Передаточне відношення пасової передачі:

$$i_{\pi} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{860}{430} = 2$$

Кількість обертів вала I становить:

$$n_1 = \frac{n_g}{i_{\pi}} = \frac{740}{2} = 370 \text{ об/хв.}$$

Маючи передаточне відношення черв'ячного редуктора $i_p = 20$, визначимо швидкість обертання вихідного вала і крутний момент на цьому валу з формули:

$$i_p = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1};$$

де n_2, ω_2, T_2 - відповідно кількість обертів, кутова швидкість і крутний момент на вихідному валу редуктора.

$$n_2 = \frac{n_1}{i_p} = \frac{370}{20} = 18.5 \text{ об/хв.}$$

$$T_2 = T_1 \cdot i_p \cdot i_{\pi} = 1162 \cdot 2 \cdot 20 = 46.48 \text{ кНм.}$$

Передаточне відношення конічної передачі дорівнює 6,15, отже на валу III крутний момент $T_3 = T_2 \cdot i_k = 46.48 \cdot 6.15 = 285,86 \text{ кНм.}$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_k} = \frac{18.5}{6.15} = 3 \text{ об/хв.}$$

$\rightarrow$ Решта механізмів сушарки приводяться в дію пневмоциліндрами.

2.1.3 Технологічний розрахунок

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3.1. Матеріальний розрахунок

З рівняння матеріального балансу сушильної установки визначимо кількість води W , що виділяється з зерна:

Продуктивність сушарки:

$$G_k = 36 \text{ т/год} = 36/3600 = 0,01 \text{ т/с},$$

Отримаємо:

$$W = G_k \cdot \frac{\omega_n - \omega_k}{100 - \omega_n} = 0,01 \cdot \frac{85 - 12}{100 - 85} = 0,0486 \text{ т/с},$$

де G_k – продуктивність установки за сухою речовиною, т/с

ω_n – початкова вологість продукту, %

ω_k – кінцева вологість продукту, %.

2.1.3.2. Тепловий розрахунок

Основні параметри:

1. Температура t , °C
2. Відносна вологість φ , % повітря;
3. Питомий вологовміст x , кг / кг
4. Ентальпія I , кДж / кг

Температуру і відносну вологість повітря на вході в калорифер визначаємо за кліматичними таблицями, для м. Тернопіль літні умови:

1. Температура $t_0 = 17,5$ °C,
2. Відносна вологість $\varphi_0 = 78\%$.

Питомий вологовміст для повітря обчислимо за формулою:

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_H}{B - \varphi \cdot P_H}$$

де 0,622 - відношення мольних мас водяної пари і повітря,

P_H - тиск насиченої водяної пари за температури повітря, Па

$P_H = 1999,5$ Па за $t_0 = 17,5$ °C.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В - барометричний тиск повітря, Па. Для України він становить 745 мм рт. ст. = 99100 Па.

Питомий вологовміст повітря на вході в калорифер:

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{0,78 \cdot 1999,5}{99100 - 0,78 \cdot 1999,5} = 0,0099, \text{ кг/кг}$$

Оскільки підігрів повітря в калорифері відбувається без зміни його вологості, то питома вологість повітря на вході в калорифер дорівнює питомій вологості повітря, що подається на вхід у сушарку

$$x_1 = x_0 = 0,0099, \text{ кг/кг}$$

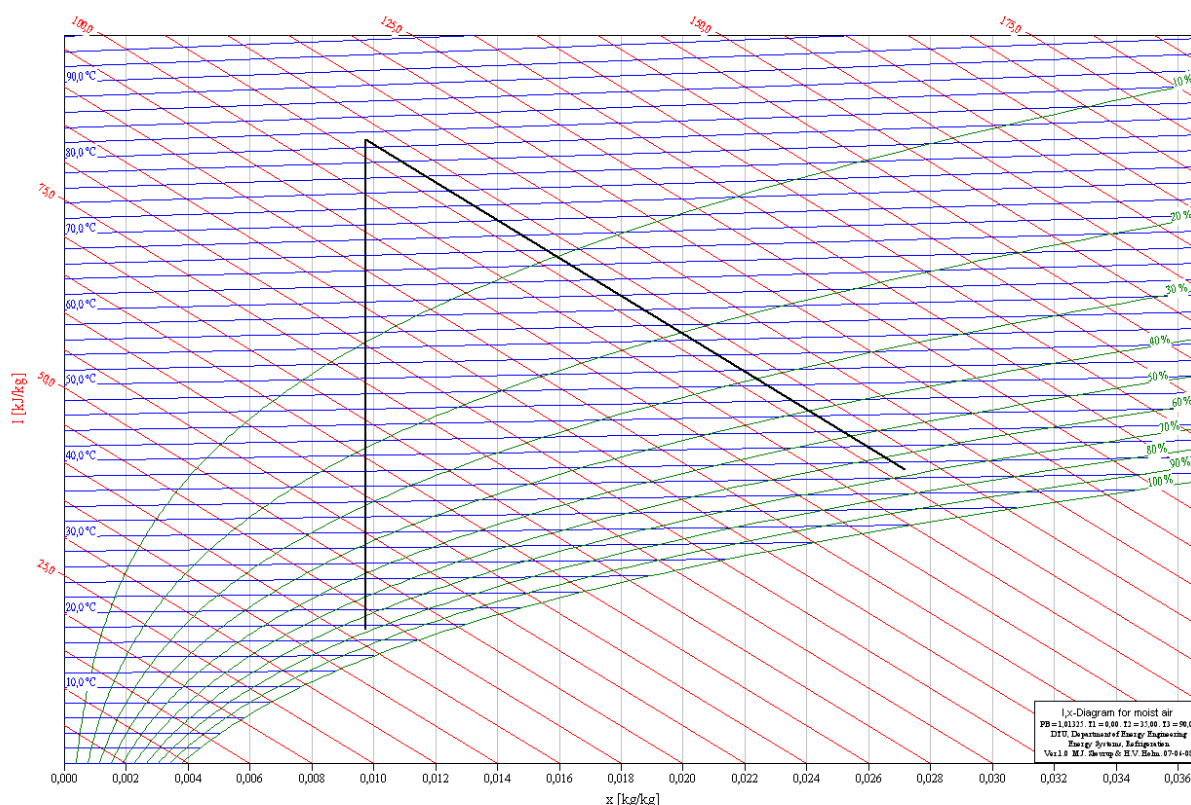


Рисунок 2.2 - Процес сушіння в І-х діаграмі

Ентальпія вологого повітря визначається як сума ентальпії сухого повітря та ентальпії водяної пари, що міститься в ньому, у розрахунку на 1 кг сухого повітря:

$$I = C_{с.в.} \cdot t + x \cdot i_n$$

де $C_{с.в.}$ - середня питома теплоємність сухого повітря, (при $t < 200^\circ \text{C}$)

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$C_{с.в.} = 1,004 \text{ кДж / (кг.К)},$$

t - температура вологого повітря, ° С,

x - питомий вологовміст повітря, кг / кг с.в.,

i_n - питома ентальпія перегрітої пари, кДж / кг,

$$i_n = r_0 + c_n \cdot t$$

де r_0 - питома теплота пароутворення води, (при 0 ° С $r_0 = 2500$ кДж / кг),

c_n - середня питома теплоємність водяної пари, $c_n = 1,842$ кДж / (кг·К).

Ентальпія повітря на вході в калорифер:

$$I_0 = 1,004 \cdot 17,5 + 0,0099 \cdot (2500 + 1,842 \cdot 17,5) = 42,64, \text{ кДж/кг}$$

Ентальпія повітря на виході з калорифера (на вході в сушарку):

$$I_1 = 1,004 \cdot 81 + 0,0099 \cdot (2500 + 1,842 \cdot 81) = 107,55, \text{ кДж/кг}$$

Питомий вологовміст повітря на виході з сушарки:

$$x_2 = (107,55 - 1,004 \cdot 37) / (2500 + 1,842 \cdot 37) = 0,027$$

Ентальпія повітря на виході з сушарки: i :

$$I_2 = 1,004 \cdot 37 + 0,027 \cdot (2500 + 1,842 \cdot 37) = 106,4, \text{ кДж/кг}$$

побудуємо процес сушіння в I_x діаграмі, що наведена на рисунку 2.2. На діаграмі знаходимо точку А (початкові умови), за наступними параметрами $t_0 = 17,5^\circ\text{C}$ і $\varphi_0 = 78\%$, і відповідні їй тепломісткість I_0 і вологовміст x_0 . Нагрівання повітря в калорифері відбувається за постійного вологовмісту ($x_0 = 0,0099$ кг / кг) і триває до досягнення температури t_1 (точка В, відповідає температурі $t_1 = 81^\circ\text{C}$ і вологовмісту $\varphi_1 \approx 0,6\%$, ентальпії $I_1 = 107,55$ кДж / кг). За температурою повітря на виході з сушарки t_2 знаходимо точку С - закінчення теоретичного сушильного процесу і значення $x_2 = 0,027$ кг / кг за температури $t_1 = 37^\circ\text{C}$ і вологовмісту $\varphi_2 \approx 54\%$ (відповідно визначені за діаграмою).

При подальших розрахунках використовуємо значення та параметри, знайдені розрахунковим шляхом.

Запишемо рівняння внутрішнього теплового балансу сушарки:

$$\Delta = C_{H_2O} \cdot \theta_1 + q_{доп.} - (q_m. + q_m. + q_n.)$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Δ - Ентальпія вологого повітря визначається як сумарна кількість теплоти, що припадає на 1 кг сухого повітря, з урахуванням теплоти самого повітря та водяної пари, яку воно містить. Різниця між питомим приходом і витратою теплоти в сушильній камері відображає ефективність теплообміну під час сушіння матеріалу, кДж / кг вологи;

C_{H_2O} - теплоємність води у вологому матеріалі за температури $t_1 = 17,5^\circ\text{C}$, кДж / (кг·К);

$$C_{H_2O} = 4,19 \text{ кДж/(кг·К)};$$

$q_{\text{доп.}}$ - питоме додаткове підведення тепла в сушарку, кДж / кг вологи; заумови роботи сушарки в нормальних умовах $q_{\text{доп.}} = 0$;

$q_{\text{т.}}$ - питома втрата тепла з транспортними засобами, кДж / кг вологи; в розглянутому випадку $q_{\text{т.}} = 0$;

$q_{\text{м.}}$ - питома втрата тепла в сушарці з висушуванням матеріалом:

$$q_{\text{м.}} = \frac{G_k \cdot C_M \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{W}, \text{ кДж/кг вологи}$$

$c_{\text{м.}}$ - теплоємність висушеного матеріалу:

$$C_M = \frac{C_c \cdot 100 + C_{H_2O} \cdot \omega_K}{100 + \omega_K}, \text{ кДж/(кг·К)},$$

c_c - теплоємність абсолютно сухого матеріалу, кДж / (кг·К);

$$c_c = 0,86 \cdot 4,190 = 3,603 \text{ кДж / (кг·К)};$$

$q_{\text{п.}}$ - питомі втрати тепла в навколишнє середовище:

$$q_n = 5 - 10\%[C_{H_2O} \cdot \theta_1 + l \cdot (I_2 - I_0)], \text{ кДж/кг вологи}$$

l - питома витрата абсолютно сухого повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1}, \text{ кг возд./кг вологи},$$

I_2 - ентальпія повітря на виході з сушарки, кДж / кг,

x_2 - питомий вологовміст повітря на виході з сушарки, кг / кг с.п..

Значення x_2 знаходимо за I-x діаграмі вологого повітря, побудувавши теоретичний процес сушіння, і по ньому розраховуємо значення I_2 .

Теплоємність висушеного матеріалу:

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_M = \frac{3,603 \cdot 100 + 4,19 \cdot 12}{100 + 12} = 3,67, \text{ кДж/кг вологи}$$

Питома витрата тепла в сушарці з висушуваних матеріалом:

$$q_M = \frac{0,028 \cdot 2,48 \cdot (30 - 17,5)}{0,136} = 6,38, \text{ кДж/кг вологи}$$

Питомі втрати тепла в навколишнє середовище:

$$q_n = 0,07 \cdot \left[4,19 \cdot 17,5 + \frac{1}{0,027 - 0,0099} \cdot (107,55 - 42,64) \right] = 270,85, \text{ кДж/кг вологи}$$

Різниця між питомим надходженням та витратою теплоти в сушильній камері:

$$\Delta = 4,19 \cdot 17,5 - 6,38 - 270,85 = -273,04, \text{ кДж/кг вологи}$$

Витрата повітря на сушіння:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} = \frac{0,0486}{0,027 - 0,0099} = 7,95, \text{ кг/с}$$

Середня температура повітря в сушарці:

$$t_{cp.} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{81 + 37}{2} = 59^\circ C$$

Середній вологовміст повітря в сушарці:

$$x_{cp.} = \frac{x_0 + x_2}{2} = \frac{0,027 + 0,0099}{2} = 0,01845, \text{ кг/кг}$$

Середня щільність повітря:

$$\rho_{cp.} = \frac{M_{c.с.}}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{cp.}} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273,15}{273,15 + 59} = 1,065, \text{ кг/м}^3$$

Середня щільність водяної пари:

$$\rho_{с.} = \frac{M_{с.}}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{cp.}} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273,15}{273,15 + 59} = 0,661, \text{ кг/м}^3$$

Середня об'ємна продуктивність по повітрю:

$$V = \frac{L}{\rho_{cp.}} + \frac{x_{cp.} \cdot L}{\rho_{с.}} = \frac{7,95}{1,065} + \frac{0,01845 \cdot 7,95}{0,661} = 7,687, \text{ м}^3/\text{с}$$

Питома обсяг вологого повітря:

$$\vartheta_{y\partial 0} = \frac{R_{с.} \cdot T}{B - \varphi \cdot P_{н}} = \frac{287 \cdot (273,15 + 17,5)}{99100 - 0,78 \cdot 1999,5} = 0,855, \text{ м}^3/\text{кг}$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\vartheta_{y02} = \frac{R_g \cdot T}{B - \varphi \cdot P_H} = \frac{287 \cdot (273,15 + 37)}{99100 - 0,68 \cdot 6274} = 0,938, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємна витрата вологого повітря:

$$V_0 = L \cdot \vartheta_{y00} = 7,95 \cdot 0,855 = 6,79 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_2 = L \cdot \vartheta_{y02} = 7,95 \cdot 0,938 = 7,46 \text{ м}^3/\text{с}$$

Витрата тепла на сушку:

$$Q = L \cdot (I_1 - I_0) = 7,95 \cdot (107,55 - 42,64) = 516,03, \text{ кВт}$$

2.2. Конструювання та розрахунок вузлів сушарки ARAY

2.2.1. Конструктивний розрахунок шнекових витків

Виконаємо конструктивний розрахунок витків шнека, навитого на внутрішній поверхні барабана сушарки, призначеного для переміщення зерна.

У конструкції сушарки транспортування зерна всередині барабана здійснюється за допомогою гвинтової (шнекової) навивки, що розміщується по його внутрішній поверхні. Такий спосіб забезпечує переміщення продукту уздовж барабана, однак рух відбувається з нерівномірною швидкістю внаслідок зниженого коефіцієнта заповнення міжвиткового простору. Це, у свою чергу, впливає на точність дозування.

Попри цей недолік, використання шнекової навивки в барабанних сушарках даного типу є технічно доцільним та економічно виправданим, оскільки конструкція забезпечує достатню продуктивність і спрощує виготовлення. Основні геометричні параметри шнека:

- зовнішній діаметр навивки $D = 2,05 \text{ м}$,
- внутрішній діаметр навивки $d = 1,84 \text{ м}$.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крок шнекової навивки визначається з формули [2]:

$$t = \frac{\pi d}{f} = \frac{3,14 \cdot 1,84}{5,4} = 1,69 \text{ м}$$

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній кромці навивки і біля вала визначається за формулами [2]:

$$\alpha_D = \arctg \frac{t}{\pi D} = \arctg \frac{1,69}{3,14 \cdot 2,05} = \arctg 0,26 = 25^{\circ} 30'$$

$$\alpha_d = \arctg \frac{t}{\pi d} = \arctg 1,83 = 61^{\circ} 20'$$

Середнє значення кута підйому гвинтових ліній витка навивки визначається з рівняння [2]:

$$\alpha_{cp} = 0,5(\alpha_D + \alpha_d) = 0,5(25^{\circ} 30' + 61^{\circ} 20') = 43^{\circ} 25'$$

Допоміжні величини, що вводяться в розрахунок:

$$\cos^2 43^{\circ} 25' = 0,5348; \cdot \operatorname{tg} 43^{\circ} 25' = 0,9325; \cdot \sin 43^{\circ} 25' = 0,6819.$$

Коефіцієнт відставання частинок матеріалу в напрямку осі шнекової навивки визначається з рівняння:

$$k = 1 - (\cos^2 \alpha_{cp} - 0,5 f \sin \alpha_{cp}) = 1 - (0,5348 - 0,5 \times 0,54 \times 0,6819) = 0,649$$

Крок шнекової навивки визначаємо на основі заданої масової продуктивності сушарки, що становить $Q = 500 \text{ т/добу} = 8,68 \text{ кг/с}$. При цьому враховуємо, що для забезпечення ефективного процесу сушіння коефіцієнт заповнення міжвиткового об'єму шнека має становити $\varphi = 0,45$ [5]. Розрахунок проводимо для мінімального зовнішнього діаметра шнека, що дорівнює $D_2 = 2,05 \text{ м}$, при внутрішньому діаметрі навивки $d = 1,84 \text{ м}$.

$$t = \frac{Q}{0,127(D^2 - d^2)(1 - k)\rho\varphi\omega} + \delta = \frac{8,68}{0,127(2,05^2 - 1,84^2)(1 - 0,6819)1280 \cdot 1,31} + 0,08 = 1,24 \text{ м}$$

Інші параметри шнека приймаємо конструктивно згідно профілю бункера.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2. Розрахунок пасової передачі привода барабана сушарки

Швидкість паса v обчислимо за формулою:

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 430 \cdot 740}{60 \cdot 1000} = 16,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

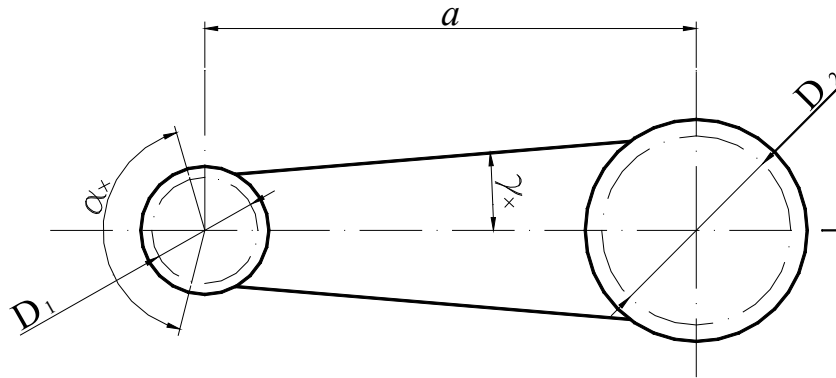


Рисунок 2.3. Розрахункова схема передачі.

Розрахована міжосьова віддаль:

$$l = kD_1;$$

де k – коефіцієнт $k = 1,35$ [9].

Тоді

$$l = 1,35 \cdot 430 = 580 \text{ мм.}$$

Необхідна міжосьова віддаль становить $l = 590 \text{ мм.}$

Кут охоплення:

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ \cdot \left(\frac{D_1 - D_2}{l} \right) = 180^\circ - 60^\circ \cdot \left(\frac{860 - 430}{580} \right) = 151^\circ$$

Обчислимо потужність, яку передає пас:

$$N_0 = \frac{N}{k_1 \cdot k_2 \cdot z}$$

де N – потужність, що передає передачею, кВт ;

k_1 – коефіцієнт, який залежить від кута обхвату;

k_2 – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження і режиму роботи.

z – кількість пасів.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За табл. 30 [9] знаходимо $k_1 = 0,98$.

За табл. 31 [9] знаходимо $k_2 = 0,92$.

Тоді

$$N_0 = \frac{N}{k_1 \cdot k_2 \cdot z} = \frac{90}{0,98 \cdot 0,92 \cdot 8} = 12,48 \text{ кВт.}$$

За табл. 32 [19] вибираємо переріз С.

Довжина паса:

$$L = 2 \cdot l + \frac{\pi}{2} (D_1 - D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot l} = 2 \cdot 580 + \frac{3,14}{2} (860 - 430) + \frac{(860 - 430)^2}{4 \cdot 580} = 2594 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина паса $L_0 = 2600$ мм

Уточнюємо міжосьову віддаль:

$$A = \frac{1}{8} \cdot [2 \cdot L_0 - \pi \cdot (D_1 + D_2) + \sqrt{[2 \cdot L_0 - \pi \cdot (D_1 + D_2)]^2 - 8 \cdot (D_2 - D_1)^2}] = \\ = \frac{1}{8} \cdot [2 \cdot 2600 - 3,14 \cdot (860 + 430) + \sqrt{[2 \cdot 2600 - 3,14 \cdot (860 + 430)]^2 - 8 \cdot (860 - 430)^2}] = \\ = 688 \text{ мм.}$$

Уточнюємо кут охоплення

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \frac{D_2 - D_1}{A} = 180^\circ - 60^\circ \frac{860 - 430}{688} = 149^\circ$$

Коефіцієнт кута обчислимо за формулою:

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha_1) = 1 - 0,003 \cdot (180 - 149) = 0,91.$$

Швидкісний коефіцієнт:

$$C_v = 1,05 - 0,0005 \cdot v^2 = 1,05 - 0,0005 \cdot 16,5^2 = 1,04.$$

Коефіцієнт робочого режиму знайдемо за табл. 6.6 [8]

$$C_p = 0,9.$$

Кількість перебігів:

$$u = \frac{v}{L} = \frac{16,5}{2,6} = 6,34.$$

Відповідно [8] приймаємо $\sigma_0 = 1,2 \text{ Н / мм}^2$.

За [8] при $\sigma_0 = 1,2 \text{ Н / мм}^2$ приймаємо

$$k_0 = 1,51 \text{ Н / мм}^2.$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустиме питоме кругове зусилля

$$[k] = k_0 \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_p = 1,51 \cdot 0,91 \cdot 1,04 \cdot 0,9 = 1,28 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Колове зусилля

$$P = \frac{N}{v} = \frac{90000}{16,5} = 5454 \text{ Н}.$$

Площа перерізу паса [8] $F = 680 \text{ мм}^2$.

Кількість пасів обчислимо за формулою:

$$z = \frac{P}{[k] \cdot F} = \frac{5454}{1,28 \cdot 680} = 6,26$$

приймаємо 8 пасів.

Зусилля що діє на вал:

$$Q = 2 \cdot \sigma_0 \cdot F \cdot z \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 1,2 \cdot 680 \cdot \sin \frac{149^\circ}{2} = 1572 \text{ Н}.$$

2.2.3. Розрахунок зубчатої передачі приводу барабана сушарки

На рисунку 2.4 зображено схему зубчастого зачеплення.

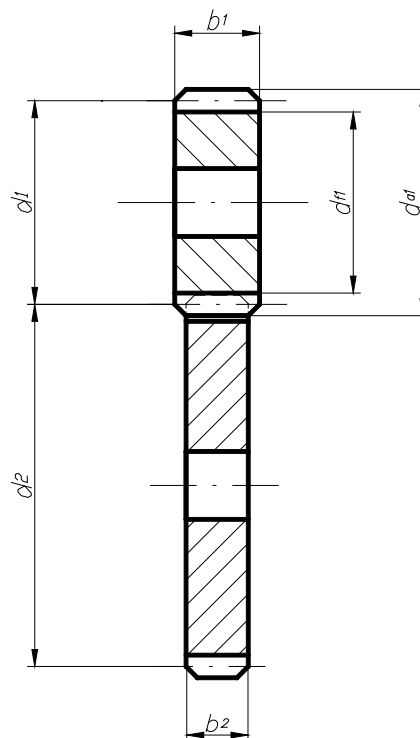


Рисунок 2.4. – Схема зубчастого зачеплення

Міжосьова віддаль обчислюється за формулою:

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_w = \frac{m(z_1 + z_2)}{2 \cos \beta} = \frac{8(56 + 345)}{2 \cdot 1} = 1604 \text{ мм.}$$

Обчислимо крутний момент та швидкість обертання зірочок
 $T_3 = T_2 \cdot i_k = 46.48 \cdot 6.15 = 285,86 \text{ кНм}$, $n = 6,15 \text{ об/хв}$.

Коефіцієнт зовнішнього навантаження K_A (за умови максимального перевантаження 150%) тоді $K_A = 1,5$

Ділильний діаметр зубчастого колеса

$$d_2 = m z_2 = m z_1 u = 8 \cdot 56 \cdot 6.15 = 2755 \text{ мм}$$

Колова швидкість для зубів становить

$$v = \frac{\omega_2 R_2}{u} = \omega \frac{d_2}{2u} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_2}{2 \cdot 30 \cdot u} = \frac{3,14 \cdot 3 \cdot 2,755}{60 \cdot 6,15} = 0,07 \text{ м/с.}$$

Відповідно даних таблиць [6] визначаємо коефіцієнти $K_{H\alpha}$, K_{HV} , $K_{H\beta}$.

$$K_{H\alpha} = 1,07, K_{HV} = 1,03, \psi_{ba} = 0,3; \psi_{bd_{\max}} = 1,3; K_{H\beta} = 1,17.$$

Сумарний коефіцієнт

$$K_{H\Sigma} = K_A K_{H\beta} K_{HV} K_{H\alpha} = 1,5 \cdot 1,17 \cdot 1,03 \cdot 1,07 = 1,93$$

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right) \right] \cdot \cos \beta = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{56} \pm \frac{1}{345} \right) \right] \cdot \cos \beta = 1,78$$

Загальний коефіцієнт навантаження:

$$Z_H = \sqrt{\frac{K_{H\alpha} \cdot \cos^2 \beta}{\varepsilon_\alpha}} = \sqrt{\frac{1,07 \cdot 1}{1,78}} = 0,79$$

Робоча ширина колеса:

$$b_w = a_w \cdot \psi_{ba} = 1,604 \cdot 0,3 = 0,48 \text{ м.}$$

Підставимо у формулу значення та обчислимо контактні напруження

$$\begin{aligned} \sigma_H &= 6,13 \cdot 10^3 Z_H \frac{1}{a_w} \sqrt{\frac{T_{1H}^* (u \pm 1)^3}{b_w u}} K_{H\Sigma} = \\ &= 6,13 \cdot 10^3 \cdot 0,79 \frac{1}{1,604} \sqrt{\frac{285 \cdot 10^3 (6,15 \pm 1)^3}{0,45 \cdot 6,15}} \cdot 1,93 = 95,34 \text{ МПа} \end{aligned}$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до нормативних таблиць, границя витривалості сталі 25 становить [6]

$$\sigma_{HO} = 2 \cdot HB + 70 = 2 \cdot 100 + 70 = 270 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу $S_H = 1,2$ [6]

Базове число циклів $N_{HO} = 25 \cdot 10^6$ [6]

$$N_{\Sigma} = 60 \cdot n \cdot L_h = 60 \cdot 300 \cdot 8 \cdot 251 \cdot 2 \cdot 8 = 578304000 \text{ циклів}$$

$K_{HE} = 0,18$ для режиму роботи III по [6] .

$$N_{HE} = N_{\Sigma} K_{HE} = 578304000 \cdot 0,18 = 104094720 \text{ циклів}$$

Коефіцієнт довговічності.

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} = \sqrt[6]{\frac{25 \cdot 10^6}{104094720}} = 0,79$$

приймаємо $K_{HL} = 1$

Допустиме напруження

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{HO}}{S_H} \cdot K_{HL} = \frac{270}{1,2} = 225 \text{ МПа.}$$

що є більшим від розрахункового напруження.

2.2.4. Розрахунок шпоночного з'єднання вала і ступиці

Відповідно до ГОСТ 23360-78, для з'єднання вала зі шківом приймаємо шпонку розміром 22×14×96 мм

Напруження зминання бокових граней шпонки:

$$\sigma_{зм} = \frac{4,4 \cdot T}{d \cdot (h - t) \cdot l_p} = \frac{4,4 \cdot 285 \cdot 10^4}{184 \cdot (36 - 28) \cdot 196} = 43,46 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} < [\sigma_{зм}] = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

де $[\sigma_{зм}]$ – допустимі напруження на зминання, $[\sigma_{зм}] = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

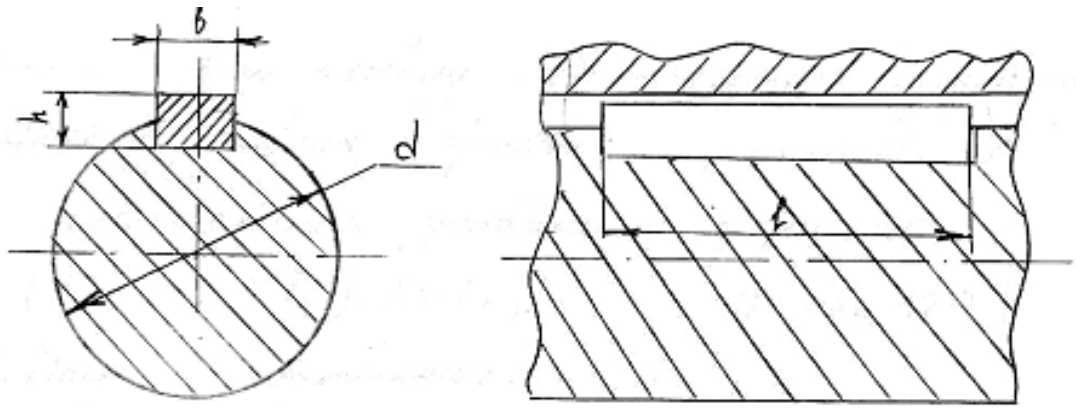


Рисунок. 2.5 - Розрахункова схема шпоночного з'єднання.

2.2.5. Розрахунок параметрів надійності пасової передачі

Розрахуємо імовірність безвідмовної роботи пасової передачі. Середнє квадратичне відхилення несучої здатності приймаємо за рекомендованими значеннями $C = 30$, $m = 11$ [7].

$$S_R = \frac{C}{\bar{N}^{1/m}} \left[1 - \frac{1}{(1 + \nu N)^{\frac{1}{m}}} \right] = \frac{30}{(10^8)^{1/11}} \left[1 - \frac{1}{(1 + 23,9 \cdot 10^8)^{1/11}} \right] = 4,8.$$

Граничне напруження:

$$\sigma_R = \frac{C}{N^{1/m}} = \frac{30}{(10^8)^{1/11}} = 5,6 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт варіації:

$$\nu_R = \frac{S_R}{\sigma_R} = \frac{4,8}{5,6} = 0,857.$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$\bar{n} = \frac{\sigma_R}{\sigma_F} = \frac{5,6}{2,77} = 2,02.$$

Квантиль нормального розподілу:

$$u_p = -\frac{\bar{n} - 1 - \mu(\bar{n}\nu_R + \nu_F)}{\varepsilon\sqrt{\bar{n}^2\nu_R^2 + \nu_F^2}} = -\frac{2,02 - 1 - 0,545(2,02 \cdot 0,857 + 0,03)}{0,85\sqrt{2,02^2 \cdot 0,857^2 + 0,03^2}} = -2,3.$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Імовірність безвідмовної роботи P відповідно [7] становить $P = 0,9893$.

2.2.6. Опис конструкції і принципу дії барабанної сушарки зерна ARAY

Барабанні сушарки (рисунок 2.6.- рисунок 2.7) призначені для прямотокового сушіння й охолодження зерна в одному апараті або в окремих вузлах. Установку складають обертовий сушильний барабан, нагнітальні вентилятори для подачі гарячого повітря, калорифер як джерело тепла, циклон для відділення пилу, витяжний вентилятор для відведення відпрацьованого повітря.

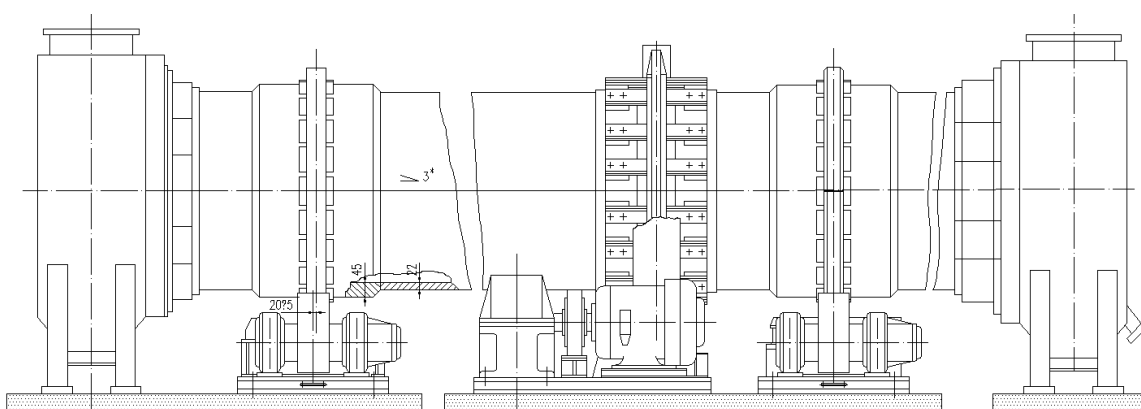


Рисунок 2.6. Барабанна сушарка для зерна продуктивністю 500 т/доб.

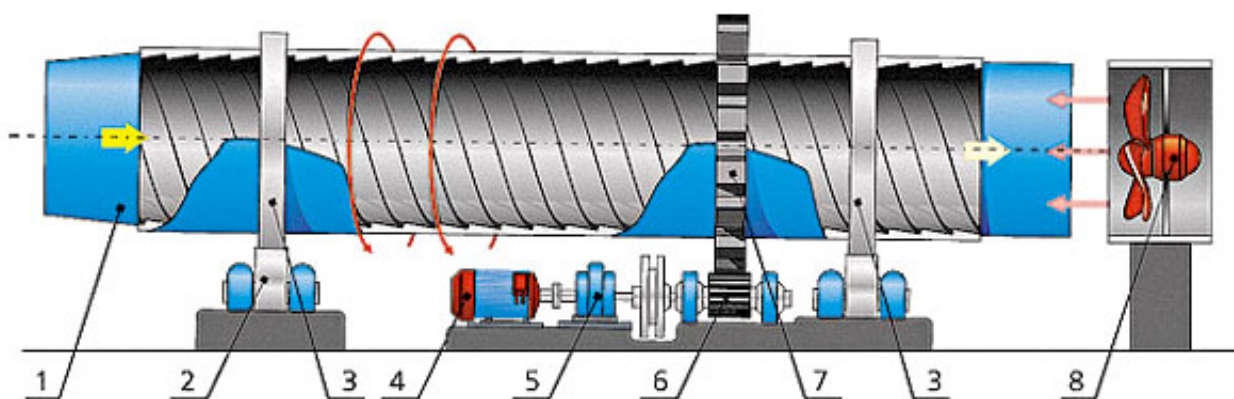


Рисунок 2.7. Схема роботи сушарки 500 т/доб

1- корпус; 2 – опорна станція; 3 – опорна обичайка; 4 – двигун; 5 – редуктор;
6 – приводна шестерня; 7 – зубчастий вінець; 8 – пристрій подачі гарячого повітря.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3. Заходи з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сушарки

ARRAY

3.1. Розробка схеми монтажу сушарки ARRAY

3.1.1. Вибір такелажного оснащення та схеми переміщення сушарки ARRAY

Переміщення і монтаж сушарки ARRAY потребують ретельного підбору такелажного оснащення, підйомно-транспортних засобів та розробки оптимальної схеми переміщення з урахуванням масогабаритних характеристик апарата, конфігурації майданчика та технічних умов об'єкта. Враховуючи, що сушарка має продуктивність 500 т/добу і складається з масивних елементів, таких як обертовий барабан, корпус, підшипникові вузли та рама, для її монтажу доцільно застосовувати стаціонарні або мобільні крани вантажопідйомністю не менше 25–50 т, домкрати, лебідки, такелажні блоки, стропи з поліестеру або канатні стропи, а також допоміжні опорні конструкції.

Вибір способу монтажу у випадку з сушаркою ARRAY здійснюється підрядним методом — із залученням спеціалізованої монтажно-ї організації. Відповідно до розробленого проекту організації монтажу (ПОМ), визначаються календарні строки, методи переміщення обладнання, етапність монтажу, а також вимоги до безпеки та механізації робіт. Для транспортування сушарки з транспортного засобу до зони монтажу передбачаються схеми прокладки маршрутів переміщення із зазначенням точок підйому, напрямків руху вантажопідйомної техніки та місць розміщення монтажного обладнання.

Згідно з проектом виробництва монтажних робіт (ПВМ), такелажне оснащення обирається з урахуванням зусиль, що виникають при підйомі, переміщенні та позиціонуванні сушарки. До обов'язкових елементів оснащення входять стропувальні схеми, таблиці навантажень на вантажозахоплювальні пристрої, креслення вузлів кріплення, а також інструкції з безпечного виконання вантажопідіймальних операцій.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Прийнято Н.О.			3. Заходи з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сушарки ARAY	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Вітенько Т.М.					30		
Реценз.						гр. МО-41			
Н. Контр.		Ворожук В.Я.							
Затверд.		Вітенько Т.М.							

У разі потреби використовуються вантажні траверси, захвати нестандартної форми, роликові опори або поворотні платформи для точного позиціонування обладнання на фундаменті.

3.1.2. Розрахунок основних параметрів такелажних пристосувань

Для доставки сушарки зі станції на територію заводу використовують вантажний автомобіль вантажопідйомністю 20 000 кг. Стропування виконують сталевим канатом типу ЛК-РО (12×36) за ГОСТ 7669–80 діаметром 12 мм. На території заводу та всередині приміщення сушарку продуктивністю 500 т/добу переміщують за допомогою лебідки по лагам із трубчастими котками. Тягове зусилля для горизонтального переміщення (рисунок 3.1) визначається за формулою:

$$S = f \cdot G,$$

де f – коефіцієнт тертя; $f = 0,3$;

G – вага сушарки.

$$G = 190000 \text{ (Н)}$$

$$S = 0,3 \cdot 190000 = 57000 \text{ (Н)} = 57 \text{ (кН)}.$$

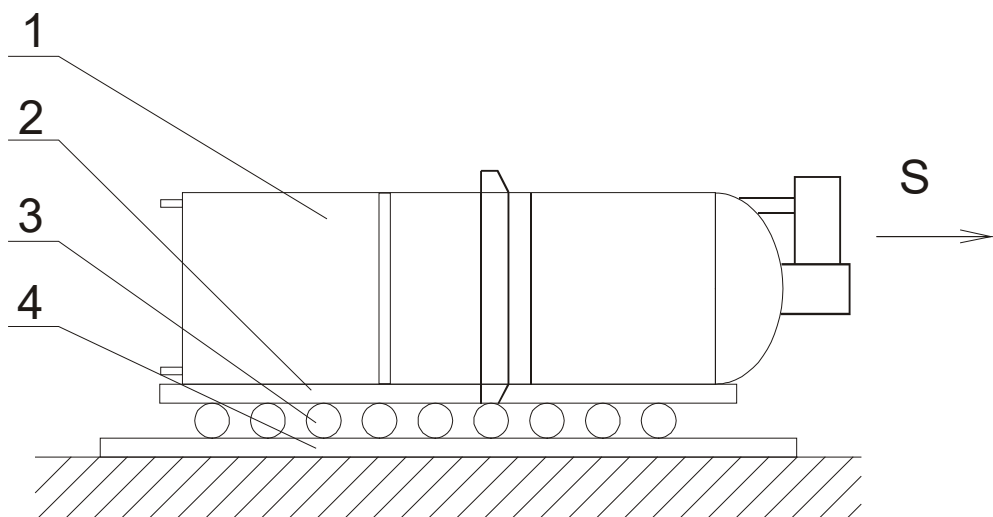


Рисунок 3.1. – Схема горизонтального переміщення барабана сушарки зерна продуктивністю 500 т/доб:

1 – машина; 2 – салазки; 3 – котки; 4 – лаги.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислимо тягове зусилля та підберемо лебідку для перетягування сушарки по нахиленій площині. Кут підйому $\alpha = 15^\circ$, маса 19000 кг. Коефіцієнт тертя становить $f = 0,3$. Тягове зусилля розрахуємо за формулою:

$$S = G(\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)$$

де, G - вага сушарки, який транспортуємо, кН;

α - кут підйому, град;

f - коефіцієнт тертя.

$$S = 190(\sin 15 + 0,3 \cdot \cos 15) = 104,2 \text{ кН.}$$

Вибираємо лебідку ЛМ – 2 – 200 з тяговим зусиллям 200 кН.

Технічні характеристики:

Тягове зусилля, кН – 200

Канатоємність, м – 40

Маса без каната, т – 0,350

Встановлення сушарки на опорну раму виконують за допомогою автокрана, а для вивірки по рівню застосовують домкрати.

Для підймання сушарки використовують 4 гідравлічні домкрати.

Обчислення виконують за формулою:

$$T_p = P_{\text{пр.стр.}} \cdot f \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3,$$

де $f = 0.12$ – коефіцієнт тертя;

$n_1 = 1.1$ – коефіцієнт перевантаження ([12]);

$n_2 = 1.3$ – коефіцієнт запасу;

$n_3 = 1.1$ – коефіцієнт, що приймається відповідно до [12];

$P = 19000$ кг – маса сушарки, т/доб;

$$T_p = 19000 \cdot 0,12 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 3586 \text{ кг}$$

Приймаємо 4 гідравлічних телескопічних домкрати Т56-Б вантажопідйомність яких 5 т, а найбільший хід поршня 178 мм.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3. Вибір фундаменту під зерносушарку ARAY

Фундамент під зерносушарку ARAY виконано у вигляді монолітної залізобетонної плити розмірами, що відповідають габаритам рами та паспортним вимірам машини. Вісь плити точно суміщена з віссю барабана – відхилення не перевищує ± 2 мм. Верхня поверхня залишається на 25–40 мм нижче монтажною позначки рами, що дозволяє встановити підкладки та виконати підливку цементним розчином. Отвори під анкерні болти $\varnothing 32$ мм (під болти М24) розташовані так, щоб забезпечити зміщення плити на ± 10 мм для остаточного вирівнювання. Бетон марки В25 (морозостійкість F150) набирає необхідну міцність 15 діб перед затяжкою болтів і 25 діб перед випробуванням обладнання. Болти М24 класу 8.8 встановлюють із підкладками з поліаміду товщиною 10–15 мм, що гарантує рівномірний розподіл навантаження й точне вивірення рами.

Шви між фундаментом і заводською плитою оброблені епоксидним герметиком для ізоляції вібрацій, а всі допуски виконані згідно з технічними кресленнями сушарки ARAY. Така конструкція забезпечує точне розташування, надійну фіксацію та довговічність монтажу обладнання.

Висота наземної частини $H_1 = 100$ мм;

глибина закладки $H_2 = 500$ мм

припуск на сторону $\Delta = 70$ мм.

Нормативний тиск на ґрунт II категорії $R_H = 200$ кПа, коефіцієнт зменшення $\alpha = 0,5$;

Загальна висота фундаменту

$$H = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ м}$$

Площа фундаменту:

$$S = (9200 + 11000 + 3250) \cdot 4200 = 98,4 \text{ м}^2$$

Об'єм фундаменту

$$V = 98,4 \cdot 0,6 = 58,8 \text{ м}^3$$

Вага фундаменту

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\phi} = 58,8 \cdot 20 = 1176 \text{ кН}$$

Фактичний тиск на ґрунт основи

$$P = (1176 + 190) / 0,5 \cdot 98,4 = 27,87 \text{ кПа} < 200 \text{ кПа}$$

Фактичний тиск не перевищує допустимого.

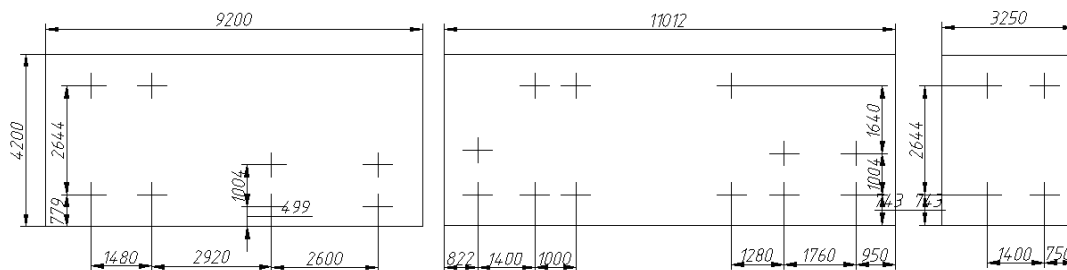


Рисунок 3.2. Схема фундаменту під сушарку.

3.1.4 Вибір методів вивірки сушарки ARAY

Перш ніж встановити зерносушарку ARAY на фундамент, виконують демонтаж консерваційних ущільнень, очищують і вирівнюють монтажну площадку та висновать усі необхідні монтажні осі й відмітки згідно з кресленнями. Після цього раму сушарки розміщують на анкерних болтах і встановлюють під нею опорні елементи — котки чи підкладки, фіксуючи станину установочними гвинтами для суміщення монтажних отворів.

Для вивірки горизонтальності на поверхню станини у вздовжній та поперечній площинах встановлюють монтажний рівень і коригують положення апарата за допомогою поліамідних підкладок товщиною 10–15 мм до досягнення допустимого похибки не більше 0,3 мм/м. Аналогічно перевіряють вертикальність завантажувального патрубку в двох взаємно перпендикулярних площинах за допомогою електронного нівеліра.

Після попередньої вивірки та підтвердження точності всіх вимірювань анкерні болти остаточно затягують — не раніше ніж через 15–18 днів після бетонування фундаменту. Заключну перевірку проводять у пусконаладжувальному режимі, фіксуючи фактичні відхилення в протоколі вивірки та за потреби виконуючи остаточне коригування.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Розробка технології ремонту і випробування сушарки ARAY

3.2.1. Аналіз характерних причин виходу з ладу сушарки ARAY. Розробка графіка планово-попереджувального ремонту сушарки ARAY

Розбирання зерносушарки ARAY виконується відповідно до технічної документації, з дотриманням послідовності демонтажу вузлів та з'єднань. Якщо ремонт проводиться без демонтажу апарата з фундаменту, перед початком робіт обов'язково знеструмлюється електродвигун, демонтуються захисні кожухи, знімаються пасові або ланцюгові передачі, після чого розпочинається поетапне розбирання вузлів.

У першу чергу демонтуються зовнішні елементи, які унеможливають доступ до внутрішніх механізмів: приводні шківи, вентиляторні кожухи, патрубки подачі повітря та продукту. Далі знімається кришка барабана, витягується шнекова навивка, очищується внутрішня поверхня барабана та перевіряється стан лопаток, які забезпечують перемішування зерна.

Розбирання може бути частковим або повним — залежно від характеру несправностей. Часткове передбачає демонтаж окремих елементів (наприклад, підшипників або шківа вентилятора), повне — повне роз'єднання апарата на вузли з подальшим дефектуванням. Для демонтажу використовують стандартні знімачі механічного чи гідравлічного типу.

Дрібні деталі, такі як шпонки, кріплення, втулки, ущільнювачі зберігаються у маркованих ящиках або на металевих етажерках з підписаними лотками, щоб уникнути плутанини при збиранні. Пошкодження функціональних поверхонь при демонтажі (вм'ятини, подряпини) не допускаються.

Після демонтажу всі деталі очищуються від залишків зерна, пилу, масла і старого фарбового шару. Спочатку проводиться механічне очищення щітками, потім — промивання в гасі або бензині (для прецизійних поверхонь). При необхідності стару фарбу видаляють, занурюючи металеві частини в підігрітий до 70 °C 10 % розчин каустичної соди з експозицією до 10 годин, після чого залишки фарби зчищають шпателем.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фінальне промивання виконується в гарячому розчині (60–70 °С) з використанням лужних мийних засобів (сода, рідке мило, трихлоретилен). Для довготривалого зберігання сталевих елементів їх обробляють 4 % лужним розчином, висушують і змащують вазеліном або технічною змазкою, після чого упаковують у промаслений папір.

У промислових умовах при обслуговуванні сушарок на підприємствах із великим парком обладнання використовуються стаціонарні ванни або конвеєрні мийні установки з тиском мийного розчину до 0,4 МПа. Після очищення проводиться візуальний і інструментальний контроль зношених поверхонь і підготовка до відновлення або заміни несправних елементів.

Таблиця 3.1. – Характерні причини виходу з ладу сушарки

Перелік несправностей, їх зовнішні прояви та супутні ознаки	Імовірна причина	Способи усунення
1	2	3
При натисканні кнопки керування сигнальна лампа не подає сигнал (не світиться)	1) Відсутня напруга в електричній мережі. 2) Перегоріла сигнальна лампа. 3) Несправний кінцевий вимикач блокування на осі кришки.	– Усунути пошкодження в електричній мережі. – Замінити несправну сигнальну лампу. – Перевірити справність кінцевого вимикача та за потреби замінити.
Барaban сушарки досягає номінальної частоти обертання, проте електродвигун працює з підвищеним шумом і перегрівається	Можливе пошкодження обмоток електродвигуна або міжвиткове замикання.	Виконати перевірку обмоток двигуна та провести їх ремонт або перемотування у разі виявлення пошкоджень

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3
Протікання води з труби промивання	Забруднення ущільнювальних поверхонь паро-водяного клапана	Розібрати клапан і очистити ущільнювальні поверхні
Шум двигуна	Міжвиткове коротке замикання обмоток	Провести діагностику та за потреби замінити двигун
Шток пневмоциліндру не переміщується	Несправність пневморозподільвачів або пошкодження манжет	Розібрати та прочистити пневмоциліндр, замінити манжети.
Недостатнє сушіння продукту	Налаштування реле часу не відповідають технологічним вимогам через зміну властивостей продукту	Скоригувати налаштування реле часу відповідно до поточних характеристик продукту

Застосування системи ППР для сушильної установки запобігає прогресуючому зношуванню, забезпечує її справний технічний стан і безперебійну роботу. Основною метою є продовження міжремонтного періоду експлуатації, зниження витрат на обслуговування та підвищення якості виконуваних ремонтів.

До основних заходів, передбачених для сушарки, входять:

- Міжремонтне обслуговування (ТО) яке проводять кожні 3 місяці під час технологічних перерв. Включає нагляд за станом вузлів, дрібний ремонт, регулювання та усунення незначних несправностей без зупинки виробництва.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- Малий ремонт (М), який виконують раз на рік. Включає заміну швидкозношуваних деталей, дрібні регулювання та відновлення працездатності окремих вузлів без демонтажу установки.

- Середній ремонт (С), який проводять кожні 24 місяці. Включає часткове розбирання вузлів сушарки, заміну зношених деталей, перевірку та чистку підшипників, огляд і очищення редукторів, заміну ущільнень і фарбування окремих частин.

- Капітальний ремонт (К), який виконують один раз на 48 місяців. Передбачає повне розбирання сушарки, дефектацію, заміну або відновлення всіх зношених вузлів, вивірку та балансування, ремонт фундаментів, перевірку та ремонт трубопроводів, заміну засобів автоматизації, фарбування всієї установки та відновлення паспортних характеристик.

Структура ремонтних циклів сушильної установки наступна:

$$K-3TO-M_1-3TO-C-3TO-M_2-3TO-K$$

Час до найближчого капітального ремонту становить $K - 48$ міс., середнього $C - 24$ міс., малого $M - 12$ міс., технічного огляду $TO - 3$ міс.

Обчислимо трудомісткість робіт стосовно ремонту і технічного огляду:

$$T_{м,ч} = K \cdot R_m ,$$

де K – коефіцієнт, що враховує вид ремонту машини, люд.-год;

R_m – категорія складності ремонту механічної частини даної машини.

Обчислимо трудомісткість робіт для ремонту машини за 1 рік. Значення коефіцієнту K становить: $TO = 1, M = 7, C = 21, K = 36$ (люд.-год).

Обчислимо:

$$6 \cdot 1 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 21 + 1 \cdot 35 = 69 \text{ люд.-год}$$

Операції:

$$\text{Слюсарні: } 69 \cdot 0,72 = 49,68 \text{ люд.-год}$$

$$\text{Верстатні } 69 \cdot 0,2 = 13,8 \text{ люд.-год}$$

$$\text{Інші } 69 \cdot 0,08 = 5,52 \text{ люд.-год.}$$

Всі значення заносимо в графі графіка ППР.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.2. Розробка технологічної документації на проведення ремонту сушарки

ARAY

Під час виконання ремонтних робіт здійснюється розбирання вузла, деталі якого потребують ремонту або заміни. Для цього розробляють схему та карту розбирання вузла. Перед складанням валів зі шківками, що монтуються за допомогою шпонкових з'єднань, проводиться перевірка стану посадкових поверхонь. Усуваються пошкодження, такі як забоїни, задири, заусениці. Під час монтажу призматичну шпонку встановлюють у паз із легкими ударами молотка з використанням мідної або дерев'яної оправки, щоб уникнути пошкодження деталей. Перед складанням підшипникових вузлів, підшипники кочення підлягають розконсервації, очищенню та промиванню в бензині або мінеральному маслі, підігрітому до температури 80 °С.

Послідовність складання вузла подачі вихідного продукту сушарки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Послідовність збирання-розбирання вала транспортера сушарки

№ п/п	Найменування операцій і переходів	Інструмент, пристосування, матеріали	Технічні вимоги до складання	Професія та розряд виконавця	Норма часу, хв	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1	Відкрутити 2 болти 21	Гайковий ключ	Допускається цілісність головок без видимих пошкоджень	Слюсар III розряду	1,2	
2	Зняти шайбу 16	Викрутка		-//-		

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7
3	Зняти зірочку 11	Зйомник	Не допускати пошкодження посадкових поверхонь	-//-		
4	Зняти шпонку 23	Молоток, затискачі		-//-		
5	Зняти втулку 15	Молоток, оправка	-//-	-//-		
6	Відкрутити 5 болтів 22	Застосувати ріжковий ключ	Не допускається пошкодження головок	-//-		
7	Демонтувати кришку 10	Молоток, викрутка		-//-		
8	Демонтувати прокладку 18	Застосувати викрутку		-//-		
9	Демонтувати сальник 27	Застосувати викрутку		-//-		
10	Викрутити гайки 31	Використати ріжковий ключ		-//-		

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7
11	Зняти шайби 5	Вручну або за допомогою викрутки		-//-		
12	Вийняти болти 30	Використати молоток		-//-		
13	Зняти корпус 7	Застосувати зйомник, за необхідності молоток		-//-		
14	Демонтувати сальник 27	Використати викрутку		-//-		
15	Зняти підшипник 4	Застосувати зйомник, оправка, молоток	Пош кожен-ня підшипни ка не допускаєт ься	-//-		
16	Відкрутити маслянки 25	Ріжковий ключ		-//-		
17	Зняти втулки 14	Оправка, молоток		-//-		
18	Зняти зірочку 12	Застосувати зйомник		-//-		
19	Зняти шпонку 24	Застосувати плоскогубці		-//-		

Продовження таблиці 3.2.

	2	3	4	5	6	7
20	Маслянку 25 викрутити	Застосувати ріжковий ключ		-//-		
21	Гвинти 33 відкрутити	Викрутка		-//-		
22	Кришку 9 зняти	Викрутка		-//-		
23	Прокладку 18 зняти	Викрутка		-//-		
24	Болт 29 відкрутити	Ріжковий ключ		-//-		
25	Шайбу 17 зняти	Вручну		-//-		
26	Гайки 31 відкрутити	Ріжковий ключ		-//-		
27	Шайби 5 зняти	Вручну		-//-		
28	Болти 30 відкрутити	Ріжковий ключ		-//-		
29	Вал 16 зняти	Молоток		-//-		
30	Корпус підшипнику 8 зняти	Оправка, молоток		-//-		
31	Підшипник 4 зняти	Зйомник		-//-		

Продовження таблиці 3.2.

	2	3	4	5	6	7
2	Сальник 27 зняти	Викрутка		-//-		
3	Зірочку 12 зняти	Зйомник		-//-		
4	Шпонку 24 зняти	Плоскогубці		-//-		

Після ремонту сушарку встановлюють в технологічну лінію та проводять підготовку до роботи. За умови тривалого простоювання сушку консервують.

3.2.3. Дефектування і сортування деталей

Після розбирання та очищення деталей сушарки проводять їх дефектування з метою виявлення пошкоджень, зносу та інших недоліків, які можуть впливати на працездатність обладнання. Цей процес включає візуальний огляд поверхонь для виявлення тріщин, корозії, задирок і деформацій, а також контроль геометричних розмірів за допомогою вимірювальних інструментів, таких як штангенциркуль і мікрометр. Особливу увагу приділяють перевірці посадкових поверхонь, різьбових з'єднань та інших контактних ділянок на предмет зношення або деформації. За необхідності виконують неруйнівний контроль відповідальних вузлів, наприклад магнітопорошковий або ультразвуковий.

Після завершення дефектування деталі сортують на три групи: придатні до подальшої експлуатації без ремонту, придатні для відновлення за допомогою ремонтних операцій і непридатні для ремонту та подальшого використання. Відновлені деталі проходять відповідні технологічні процеси ремонту, а непридатні замінюють новими або виготовляють за технічними кресленнями. Уся робота з дефектування та сортування виконується кваліфікованим

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

персоналом із застосуванням спеціалізованих інструментів і засобів контролю згідно з нормативними вимогами. Складають відомість дефектів (див. нижче).

ВІДОМІСТЬ ДЕФЕКТІВ

на _____ ремонт

(середній, капітальний)

(обладнання)

інв. № _____ встановленого в _____
цеху

№ п/ п	Деталі, що мають дефект	Дефект	Шляхи усунен ня	Необхідна кількість матеріалів та запасних деталей		Трудоміс т- кість, люд.год	Оцінка стану сушарки під час здачі для ремонту
				Найме ну- вання	Кількіс ть		
1	Зубчате колесо	Зношенн я зубів	Вигото влення вінця або заміна				Незадовільн ий
2	Валик	Зношени й	Заміна валика				Задовідьний
3	Мішалка	Деформо вана	Виправ лення				Задовільний
4	Підшипн ик	Стукає	Заміна				Незадовіль ний
5	Втулка	Зношена	Вигото влення нової або заміна				Незадовіль ний

3.2.4. Розроблення технологічного процесу виготовлення вала

3.2.4.1. Аналіз технічних умов вала

Опорний вал сушарки виконано ступінчастим, із дев'ятьма ступенями, встановленими на двох кулькових підшипниках кочення. У валу вирізано шпоночні канавки для передачі крутного моменту від зірочки до вала та далі до барабана. Заготовку обточують на токарно-гвинторізному верстаті, після чого здійснюють чорнове й чистове шліфування на круглошліфувальному верстаті. Шпоночні канавки фрезерують на горизонтальному фрезерному верстаті із дотриманням вимог до чистоти поверхні.

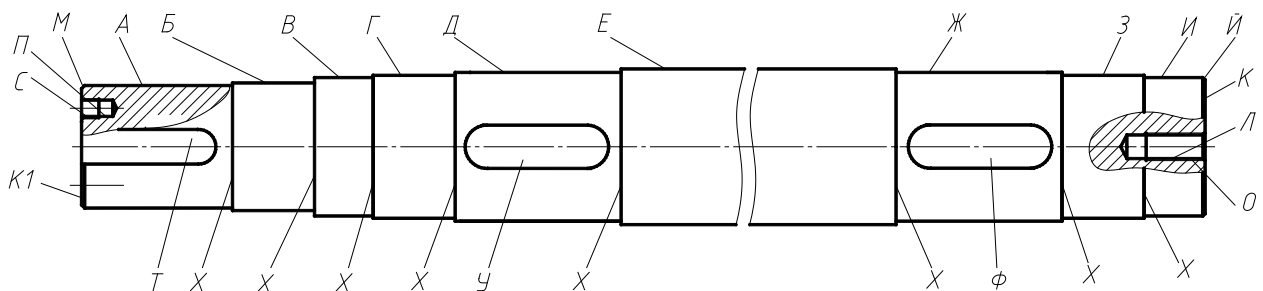


Рисунок 3.3 – Поверхні обробки опорного валу

Поверхні Т, У, Ф (рисунок 3.3) обробляють на фрезерувальному верстаті (шорсткість $Ra\ 6,3...20$). Поверхні В і И підлягають обробці на токарному верстаті з подальшим шліфуванням ($Ra\ 0,1...0,63$). Поверхні А, Б, Г, Д, Ж, З, И, Й, М підлягають зовнішньому чистовому точінню на токарному верстаті ($Ra\ 0,8...2,5$). Поверхня Е обробці не підлягає. Поверхні П, С, Л, О свердлили з нарізанням різьби ($Ra\ 2,5$).

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3. Аналіз технічних умов вала сушарки

Позначення поверхні	Технічна вимога або умова	Метод для виконання	Метод для контролю
1	2	3	4
К	Досягнути необхідну шорсткість ($R_{a3,2...6,3}$), точність за 14 кв.	Плоске (чорнове) фрезерування	
А, Б, Г, Д, Ж, З, Й, М	Досягнути необхідну шорсткість ($R_{a1,6...3,2}$), точність за 7-9 кв.	Чистове зовнішнє точіння	За допомогою профілометра
В, И	Досягнути необхідної шорсткості ($R_{a1,6...3,2}$) точність за 6 кв.	Кругле (чистове) шлифування	За допомогою профілометра
Е	Не обробляти		
С, П, Л, О	Досягнути необхідної шорсткості ($R_a 2,5$), точність за 7-9 кв	Сверлити, нарізати різьбу	

3.2.4.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки

Зважаючи на те, що вал має циліндричну форму, оптимальним видом заготовки є гарячекатаний круглий прокат. Такий вибір є обґрунтованим, оскільки в умовах одиничного виробництва використання ковальського обладнання для виготовлення поковок недоцільне через складність, високу вартість та відсутність відповідного оснащення на більшості підприємств харчової промисловості. Економічність і раціональність застосування круглого прокату як заготовки для вала підтверджується також відповідними розрахунками.

За основу розрахунків проміжних припусків приймемо найбільший зовнішній діаметр деталі, тобто $\downarrow 90$ мм.

1. Припуск на підрізання торцевих поверхонь визначається за таблицею. Таким чином, загальна довжина заготовки становить:

$$L_3 = L_0 + 2Z_{\text{ндр}} = 923 + 2 * 2 = 927 \pm 1,2$$

Застосуємо допуск за довжиною $\frac{\pm IT14}{2}$

2. Оскільки найбільший зовнішній діаметр деталі не підлягає обробці, діаметр заготовки з прокату становитиме 90 мм.

або $\frac{90 \text{ ГОСТ } 2590-71}{\text{Сталь } 40 \text{ ХГОСТ } 4543-71}$

3. Визначаємо собівартість заготовки.

$$M = Q * S - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000} = 48 * 0,75 - (48 - 41) * 0,075 = 35,5 \text{ грн}$$

де Q - маса заготовки

$$Q = \gamma \frac{\pi D^2}{4} L = 7.85 * 6114.6 = 48 \text{ кг}$$

S - ціна одного кілограму заготовки 0,75 грн/кг.

q - вага готової деталі 41 кг

$S_{\text{відх}}$ - ціна 1 кг відходів 0,75 грн/кг

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.4.3. Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів

Розрахуємо припуск для поверхні B під підшипник $\varnothing 80$ $m6$, щоб забезпечити $Ra = 0,63$.

Обчислимо кількість переходів:

$$n = \frac{\lg(\varepsilon)}{0,46};$$

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_0};$$

де T_3 – допуск для заготовки, $мкм$;

T_0 – допуск для деталі, $мкм$;

$T_3 = 460$ $мкм$, $\varnothing 80$ за ІТ 13;

$T_0 = 19$ $мкм$, $\varnothing 80$ за ІТ 6.

Отримаємо.

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_0} = \frac{460}{19} = 24,2;$$

$$n = \frac{\lg(\varepsilon)}{0,46} = \frac{\lg(24,2)}{0,46} = 3 \text{ переходи.}$$

Необхідну точність можливо досягнути за 3 переходи, дворове проточування та шліфування.

За таблицями [4] визначимо для переходів шорсткість, відхилення, глибину шару з дефектами, похибку базування.

Прокат $Rz = 150$ $мкм$; $T = 250$ $мкм$. ([4]).

Чорнова обробка різцем

$Rz = 50$ $мкм$; $T = 50$ $мкм$.

Чистова обробка різцем

$Rz = 25$ $мкм$; $T = 30$ $мкм$.

Шліфування

$Rz = 5$ $мкм$; $T = 15$ $мкм$. ([4]).

Визначимо відхилення:

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_y^2};$$

$$\Delta_k = 0,5 \text{ мкм/мм}, \quad ([4] \text{ с.72 табл. 32}).$$

Ділянка контролю відхилення $l = 36 \text{ мм}$. Тоді.

$$\rho_k = L \cdot \Delta_k = 36 \cdot 0,5 = 18 \text{ мкм};$$

$$\rho_y = 0,25 \text{ мм} \quad ([4]).$$

Підставивши відомі дані обчислимо відхилення ρ .

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_y^2} = \sqrt{18^2 + 250^2} = 262 \text{ мкм};$$

Після чорнової обточки

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho = 0,06 \cdot 262 = 15,7 \text{ мкм};$$

Після кінцевої обточки

$$\rho_1 = 0,04 \cdot \rho = 0,04 \cdot 262 = 10,5 \text{ мкм};$$

Похибка базування $\varepsilon = 0$ (патрон самоцентруючий) ([4] с.76 табл.18).

Обчислимо мінімальні припуски.

Чорнове точіння

$$2 \cdot z_{\min 1} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) = 2 \cdot (150 + 250 + 262) = 2 \times 662 \text{ мкм}.$$

Чистове точіння

$$2 \cdot z_{\min 2} = 2 \cdot (50 + 50 + 15,7) = 2 \times 115,7 \text{ мкм}.$$

Шліфування

$$2 \cdot z_{\min 3} = 2 \cdot (25 + 30 + 10,5) = 2 \times 65,5 \text{ мкм}.$$

Розрахункові діаметри.

$$d_{p1} = 80,02 + 2 \cdot 0,0655 = 80,151 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 80,151 + 2 \cdot 0,1157 = 80,382 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 80,382 + 2 \cdot 0,662 = 81,706 \text{ мм}.$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4. — Зведені дані припусків і допусків, Ø 80 тб.

Технологічні пер. поверхні обробки.	Параметри припуску				Розрахунковий прип. $2Z_{min}$ Мкм	Розрахунковий розмір r_{mm}	Допуск, δ мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ	Квалітет.				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	150	250	262	13	—	81,701	450	81,71	82,17	—	—
Чорнове точіння	50	50	15,7	10	1324	80,383	120	80,39	80,51	1320	1660
Чистове точіння	25	30	10,5	8	231	80,152	48	80,16	80,21	230	300
Шліфування	5	15	—	6	131	80,03	19	80,02	80,04	140	170
Всього										1690	2130

Граничні розміри.

$$d_{\max 3} = 80,02 + 0,019 = 80,04 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = 80,16 + 0,046 = 80,21 \text{ мм};$$

$$d_{\max 1} = 80,39 + 0,120 = 80,51 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = 80,71 + 0,46 = 82,17 \text{ мм}.$$

Граничні припуски.

$$2 \cdot z_{\max 3} = 80,21 - 80,04 = 0,17 \text{ мм};$$

$$2 \cdot z_{\max 2} = 80,51 - 80,21 = 0,3 \text{ мм};$$

$$2 \cdot z_{\max 1} = 82,17 - 80,51 = 1,66 \text{ мм};$$

$$2 \cdot z_{\min 3} = 80,16 - 80,02 = 0,14 \text{ мм};$$

$$2 \cdot z_{\min 2} = 80,39 - 80,16 = 0,23 \text{ мм};$$

$$2 \cdot z_{\min 1} = 81,71 - 80,39 = 1,32 \text{ мм}.$$

Ном. припуск

$$z_{\text{ном}} = z_{\min} + ei_{i-1} + ei_i = 1690 + 19 + 46 + 120 = 1875 \text{ мкм};$$

На решту поверхонь опорного валу, що підлягають обробці допуски і припуски визначаємо та вносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. – Зведена таблиця

Поверхня	Розмір, мм	Припуск, мм		Допуск мкм
		табличний	розрахований	
1	2	3	4	5
<i>K</i>	923	2.4,4	—	1950
<i>C</i>	<i>M10 – 7H</i>	2.2,5	—	39
<i>A</i>	$\varnothing 72 \text{ } k9$	2.3,5	—	30
<i>B</i>	$\varnothing 74 \text{ } n8$	2.3,5	—	30
<i>И, В</i>	$\varnothing 80 \text{ } m6$	2.2,5	2.0,94	19

Продовження таблиці 3.5.

1	2	3	4	5
<i>Г, З</i>	$\varnothing 82\ h9$	2·0,5	—	120
<i>Д, Ж</i>	$\varnothing 86\ h8$	2·1,5	—	46
<i>Й, М</i>	2х45°	2·1,5	—	16
<i>С</i>	<i>M10 – 7H</i>	2·1,3	—	18
<i>Л</i>	<i>M16 – 7H</i>	2·1,3	—	36
<i>Т</i>	20 <i>p9</i>	3	—	30
<i>У, Ф</i>	25 <i>p9</i>	6	—	43
<i>Х</i>	Торці	2·0,5	—	180

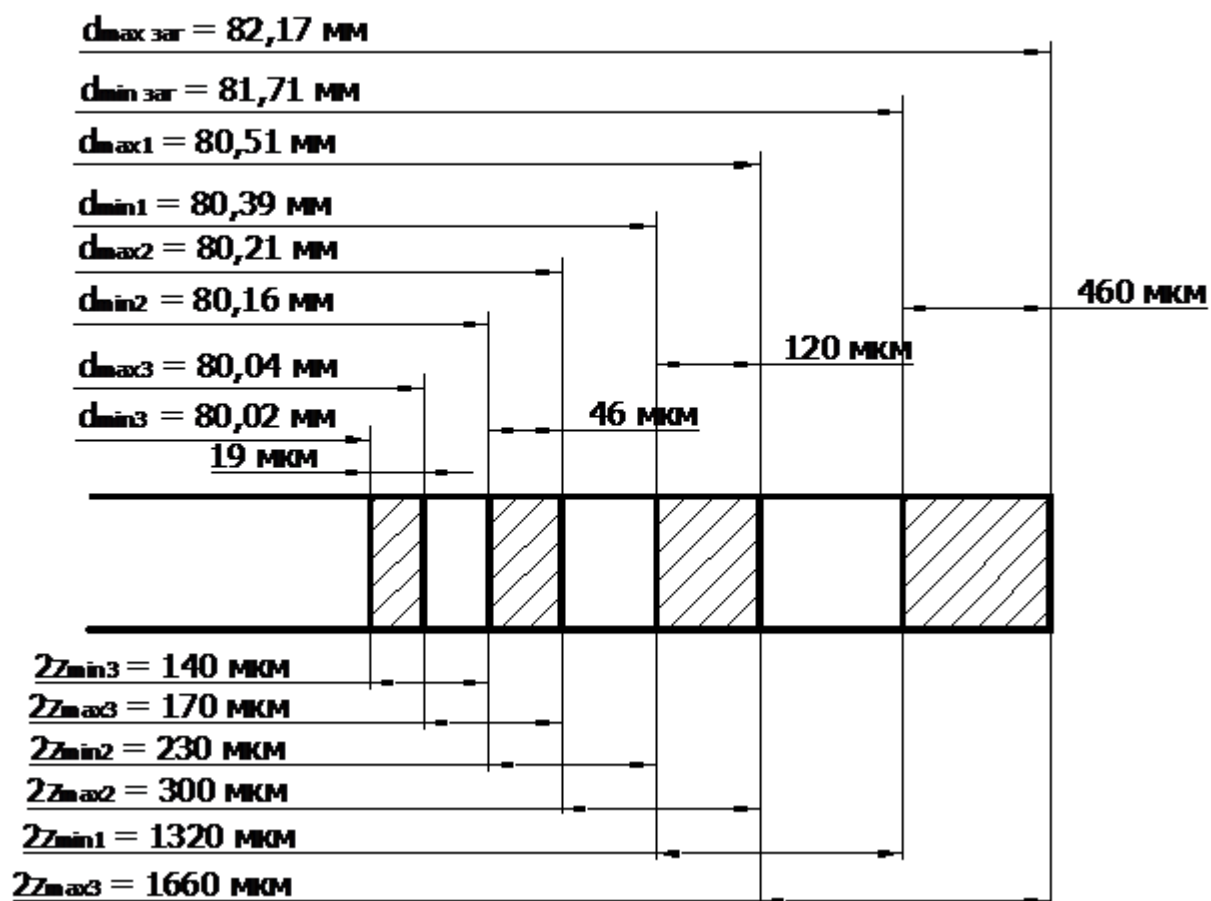


Рисунок 3.4 – Схема графічного розміщення припусків і допусків, Ø80 мм.

3.2.4.4. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала

Послідовність механічної обробки вала наведено у таблиці.

Таблиця 3.6. – Маршрут механічної обробки вала

№ опер.	Назва операції (переходу)	Поверхня обробки	Поверхня базова	Оснащення
1	2	3	4	5
005	Фрезерно-центрувальна 1 Торці фрезерувати 2. Отвори сверлити	К	Е	Верстат фрезерно-центрувальний, МР-73М модель
010	Токарно-гвинторізна 1. Точити поверхню 2. Точити поверхню 3. Точити поверхню 4. Точити фаску 5. Свердлити отвір 6. Нарізати різьбу 7. Точити поверхню 8. Точити поверхню 9. Точити поверхню 10. Точити поверхню 11. Точити поверхню 11. Зняти фаску	Ж З И Й Л О Д Г В Б А М	Е Е Е Е Е Е Е, К Е, К Е, К Е, К Е, К Е, К	Токарно-гвинторізний мод.16К20
015	Шпоночно-фрезерна 1.Фрезерувати шп. паз 2.Фрезерувати шп. паз 3.Фрезерувати шп. паз	Т, У, Ф	Ж, Г, К	Вертикально-фрезерний мод.962 М
020	Свердлильна 1. Сверлити 2 отвори 2. Нарізати різьбу	П С	К, Е К, Е	Вертикально-свердлильний мод. 2Н135
025	Круглошліфувальна 1. Шліфувати поверхню 2. Шліфувати поверхню	В И	К, Д	Круглошліфувальний мод.3М131

3.2.4.5. Вибір ріжучого і вимірювального інструменту

Таблиця 3.7 – Вибір ріжучого і вимірювального інструменту.

№ операції	Назва операції	Інструмент	
		Ріжучий	Вимірювальний
1	2	3	4
005 уст. А уст. Б	Фрезерно – центрувальна 1. Фрезерувати торці 2. Свердли центрувальні отвори	Фреза торцева насадна 1831 ГОСТ 9304 – 69 Свердло Центрувальне тип А ГОСТ 14952 – 75	Штангенцикуль ШЦ – 1 – 400 ГОСТ 166 – 80
010 уст. А;Б.	Токарно-гвинторізна чорнова Чистове і точіння фасок Свердлильна Різбонарізна М16 – 7Н	Різець прохідний упорний 2121 ГОСТ 18870 – 73 Різець прохідний 2113 ГОСТ 18878 – 73 Свердло Ø14 ГОСТ 4010 – 77 Мітчик М16 ГОСТ 3266 – 81	Штангенцикуль ШЦ – 1 – 400 ГОСТ 166 – 80 – // – Корки двохсторонні 14 – 16 мм ГОСТ 6507 – 78 Корек різьбовий М16 х 1 ГОСТ 2016 – 68
015	Шпоночно – фрезерна операція, фрезерування паза під шпонку 20x18x72	Фреза шпоночна тип 2 з пластинок з твердого сплаву Ø20 мм ГОСТ 2424 – 78	Штангенцикуль ШЦ – 1 – 400 ГОСТ 166 – 80

Продовження таблиці 3.7.

№ операції	Назва операції	Інструмент	
		Ріжучий	Вимірювальний
1	2	3	4
	фрезерування паза під шпонку 25x18x82	Фреза шпоночна тип 2 з пластинок з твердого сплаву Ø25 мм ГОСТ 6369 – 78	– // –
020	Вертикально-свердлильна Свердлильна Різенарізна	Свердло Ø 8 мм по ГОСТ 4010 – 77. матеріал Р6М5. Мітчик Ø 10 мм ГОСТ 3266 – 81	Штангенциркуль ШЦ – 1 – 400 ГОСТ 166 – 80 Пробки двохсторонні 7 мм ГОСТ 6507 – 78 Пробка різьбова М 10 х 1 ГОСТ 2016 – 68
025	Круглошліфувальна	Круг шліфувальний ПП 35x90x12 24А 10П С27К5 35м/с А1 _{кл} ГОСТ 2424 – 83	Мікрометр гладкий МК 0 – 25 ГОСТ 6507 – 78

3.2.4.6. Розрахунок режимів різання по операціях

Обчислимо режими різання для обробки поверхні, Ø 80 *тб*, для інших операцій і переходів застосуємо режими відповідно [9].

Вихідні дані:

Верстат 16К20.

Заготовка – гарячекатаний металопрокат, Ø 90x1000 мм і сталь 40Х.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Інструмент:

- а) чорнове точіння – різець прохідний упорний Т5К10.
- б) чистове точіння – різець прохідний $\varphi = 45^\circ$, матеріал Т5К10.

Кріплення – патрон – центр.

1) За величиною припуску на обробку величиною 2,5 мм з врахуванням припуску на чистове точіння 0,25 мм та шліфування 0,15 мм, обираємо глибину різання для точіння.

а) чорнове $t = 2,5 - 0,25 - 0,15 = 2,1$ мм;

б) чистове $t = 0,25$ мм.

2) За даними [5] визначаємо подачі:

а) чорнове точіння $S = 0,8$ мм/об;

б) чистове точіння $S = 0,8$ мм/об.

Скорегуємо подачі відповідно паспорту верстату, $S = 0,8$ мм/об.

Міцність пластини твердого сплаву забезпечить подача $S = 2,6$ мм/об ([15]).

Для досягнення шорсткості $Rz 20$ при чистовому точінні допустима подача $S = 0,6$ мм/об; ([5]).

Скорегуємо подачу за даними паспорту верстату.

а) чорнове точіння $S = 0,8$ мм/об;

б) чистове точіння $S = 0,6$ мм/об.

3) Обчислимо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v;$$

де C_v , x , y , m – коефіцієнти, які за ([5] табл. 17, с.269) рівні:

$C_v = 350$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,2$ для чистового і чорнового точіння.

T – період стійкості різця. При одноінструментній обробці $T = 30 - 60$ хв.

Приймаємо $T = 50$ хв.

K_v – комплексний коефіцієнт, який залежить від багатьох факторів.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv};$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{mv} = K_z \cdot \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} \quad ([5]).$$

$$K_z = 0,95 \quad ([5]).$$

$$n_v = 1 \quad ([5]).$$

$$K_{nv} = 0,9 \text{ для прокату} \quad ([5]).$$

$$K_{uv} = 0,65 \quad ([5]).$$

$$K_{mv} = K_z \cdot \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{550} \right)^1 = 1,29.$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1,29 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,76.$$

За таких умов, швидкість різання

а) при чорновому точінні

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v = \frac{350}{50^{0,2} \cdot 2,1^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,76 = 74,4 \text{ м/с};$$

б) при чистовому точінні

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v = \frac{350}{50^{0,2} \cdot 0,25^{0,15} \cdot 0,86^{0,45}} \cdot 0,76 = 116,6 \text{ м/с}.$$

4) Частота обертів шпинделю

а) при чорновому точінні

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 74,4}{3,14 \cdot 80} = 296 \text{ об/хв};$$

скоректуємо відповідно до паспорта $n = 315 \text{ об/хв}$.

б) при чистовому точінні

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 116,6}{3,14 \cdot 80} = 464 \text{ об/хв}.$$

за паспортом $n = 315 \text{ об/хв}$.

5) Фактична швидкість різання.

а) чорнове точіння

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 315}{1000} = 79,1 \text{ м/с};$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) чистове точіння

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 315}{1000} = 79,1 \text{ м/с.}$$

б) Потужність для різання

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60};$$

де P_z – тангенційна сила;

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

$$C_p = 300; x = 1; y = 0,75; n = -0,15 \quad ([15]).$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\epsilon p};$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n; \quad n = 0,75 \quad ([15]).$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,75} = 0,79;$$

$$K_{\phi p} = 0,89 - \text{чорнове точіння, } K_{\phi p} = 1 - \text{чистове точіння. } K_{\gamma p} = 1,1;$$

$$K_{\lambda p} = 1; K_{\epsilon p} = 1 \quad ([15]).$$

$$K_{p1} = 0,79 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,77;$$

$$K_{p2} = 0,79 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,87.$$

Тоді

$$P_{z1} = 10 \cdot 300 \cdot 2,1^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 64,3^{-0,15} \cdot 0,77 = 2197 \text{ Н};$$

$$P_{z2} = 10 \cdot 300 \cdot 0,25^1 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 120,3^{-0,15} \cdot 0,87 = 217 \text{ Н.}$$

Потужність на різання

а) чорнове точіння

$$N = \frac{P_{z1} \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{2197 \cdot 79,1}{1020 \cdot 60} = 2,8 \text{ кВт};$$

б) чистове точіння

$$N = \frac{P_{z1} \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{217 \cdot 79,1}{1020 \cdot 60} = 0,28 \text{ кВт.}$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7) Потужність на шпинделі

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 11 \cdot 0,75 = 8,25 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі перевищує необхідну, отже, верстат зможе виконати ці операції. Режими різання для інших поверхонь визначаються за довідником [30] і заносяться до таблиці.

Розрахунок режимів різання для шліфування поверхні $\varnothing 80 \text{ мм}$.

Вихідні дані

Глибина різання $t = 0,15 \text{ мм}$, інструмент круг ПП 35х90х12 24А ГОСТ 2424 – 83. За [15] визначаємо $v_k = 35 \text{ м/с}$; $v_z = 20 \text{ м/хв}$.

Поздовжня подача

$$S = 0,5 \cdot B = 0,5 \cdot 35 = 17,5 \text{ м/хв.}$$

Радіальна подача

$$S = 0,002 \text{ мм/об.}$$

Потужність на шліфування

$$N = C_N \cdot v_z^2 \cdot t^x \cdot s^y \cdot d^q.$$

$$C_N = 2,65; r = 0,5; x = 0,5; y = 0,55; q = 0,2; \quad ([15]).$$

$$N = C_N \cdot v_z^2 \cdot t^x \cdot s^y \cdot d^q = 2,65 \cdot 17,5^{0,5} \cdot 0,15^{0,5} \cdot 0,002^{0,55} \cdot 12^{0,2} = 0,24 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 7,5 \cdot 0,75 = 5,63 \text{ кВт.}$$

Отримані результати зводимо у таблицю 3.8.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.8. – Таблиця зведена для режимів різання

№ п/п	Назва операції, позиції, переходу	t , мм	L , мм	S_p , мм/о б	n , об/х в	V , м/хв, м/с	S_m , мм/х в м/хв	N , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	Фрезерно-центрувальна							
	1. Фрезерувати торці К, К1	1	90	0,4	350	30,8	1,2	0,43
	2.Свердлити отвори центрові	2	3	0,02	600	28,3	0,89	0,18
005	Токарно-гвинторізна							
	1. Точити поверхню Ж	1	178	0.6	1000	94,2	600	0.4
	2. Точити поверхню З	2	82	0.6	315	80,1	189	2.3
	3. Точити поверхню И	1	68	0.6	800	75,4	480	2.8
	4. Зняти фаску Й	1	2,0	0.8	800	105	640	0.64
	5. Свердлити отвір Л	2	45	0.6	800	87,9	480	0.64
	6. Нарізати різьбу О	1	34	1.0	100	5,8	180	0.4
	7. Точити поверхню Д	1	312	0.6	800	80	480	1.42
	8. Точити поверхню Г	2	216	0.6	315	80,1	189	1.2
	9. Точити поверхню В	1	168	0.6	800	75.4	480	1.1
	10. Точити поверхню Б	1	134	0.8	800	105	640	2.1
	11. Точити поверхню А	1	88	0,6	800	75,4	480	1,12
	12. Точити фаску М	1	2	0,8	800	105	640	0,64

Продовження таблиці 3.8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
015	Шпоночно-фрезерна							
	1. Фрезерувати шпон.	2	78	0,34	800	25	-	1,6
	паз Т	2	82	0,34	800	25	-	1,8
	2. Фрезерувати шпон.	2	82	0,34	800	25	-	1,8
	паз У							
	2. Фрезерувати шпон.							
	паз Ф							
020	Вертикально-свердлильна	-	18	0,34	250	9,8	-	0.8
	1. Свердлити отвір П	1	10	1,0	125	3,4	-	0,5
	2. Нарізати різьбу С							
025	Шліфувальна							
	1. Шліфувати	0.15	34	0.25	430	28	-	0.12
	поверхню В	0,15	36	0,25	430	25	-	0,16
	2. Шліфувати							
	поверхню И							

3.2.4.7. Технічне нормування технологічного процесу. Визначення необхідної кількості обладнання і величини його завантаження.

Норми часу визначаються на основі технологічного розрахунку: для операції 010 — розрахунково-аналітичним методом, а для інших операцій — за нормативами [14].

Сумарний основний технологічний час на операцію 010 становить $T_0 = 4,25 \text{ хв}$. Норма для штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + t_{\text{д}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{відп}}$$

де T_0 — основний час;

$t_{\text{д}}$ — допоміжний час;

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{обсл}$ – час на обслуговування робочої ділянки;

$t_{відп}$ – час для відпочинку.

Відповідно [5] визначимо:

$t_{уст.з}=0,39хв$ – для встановлення заготовки.

Час для встановлення і заміни інструмента

$$t_{уст}=0,14хв;$$

Час для керування верстатом

$$t_{yn}=0,21хв;$$

Час для вимірювання деталі

$$t_{вим}=0,16хв;$$

Допоміжний час

$$T_{дон} = t_{уст} + t_{уст.з} + t_{yn} + t_{вим} = 0,14 + 0,39 + 0,21 + 0,16 = 0,9хв$$

Оперативний час:

$$T_{он} = T_{дон} + T_0 = 0,9 + 4,25 = 5,15хв.$$

Час обслуговування робочої ділянки

$$T_{обсл} = 4\%T_{он} = 0,04 \cdot 5,15 = 0,21хв$$

Час відпочинку

$$T_{відп} = 4\%; T_{он} = 0,21хв$$

Штучний час для виконання операції

$$T_{шт} = 4,25 + 0,9 + 0,17 + 0,17 = 5,49хв.$$

Підготовчо-заклучний час:

$$T_{п.з.} = 24хв.$$

Штучний калькуляційний:

$$T_{шк} = \varphi_k \cdot T_0.$$

$\varphi_k = 2,14$ для одиничного виробництва на токарних верстатах ([4])

$$T_{ш.к.} = 2,14 \cdot 4,25 = 9,10хв$$

Обчисленні результати заносимо в таблицю.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норми часу на інші операції вибираємо відповідно [4] і заносимо до таблиці.

Таблиця 3.9. – Розрахунок штучного часу по операціях технологічного процесу

№ п/п	Назва операції	T_0 хв	$T_{доп. хв}$			$T_{оп. хв}$	Час обслугов.		$T_{відп. хв}$	$T_{шт}$	$T_{п.з.}$
			$t_{уст}$	$t_{упр}$	$t_{вим}$		$T_{обсл}$	$T_{уст}$			
005	Фрезерно- центрувальна	0,17	0,14	0,12	0,11	0,54	0,08	0,09	0,09	0,8	16
		0,1	0,06	0,05	0,04	0,25	0,03	0,02	0,03	0,33	
010	Токарно- гвинторізна	0,7	0,21	0,17	0,19	1,27	0,09	0,07	0,09	1,52	18
		0,77	0,18	0,19	0,18	1,32	0,06	0,08	0,12	1,58	
		0,12	0,12	0,18	0,16	0,58	0,12	0,05	0,07	0,82	
		0,05	0,14	0,12	0,11	0,42	0,04	0,03	0,03	0,52	
		0,11	0,15	0,13	0,15	0,54	0,09	0,07	0,08	0,78	
		0,74	0,08	0,08	0,11	1,01	0,04	0,05	0,03	1,13	
		0,65	0,16	0,14	0,06	1,01	0,01	0,02	0,02	1,05	
		0,77	0,22	0,13	0,15	1,27	0,08	0,12	0,11	1,58	
		0,12	0,28	0,29	0,26	0,95	0,11	0,13	0,13	1,32	
		0,15	0,26	0,25	0,29	0,85	0,15	0,13	0,12	1,22	
		0,52	0,28	0,29	0,26	0,95	0,11	0,13	0,13	1,72	
		0,05	0,26	0,25	0,29	0,85	0,15	0,1	0,12	1,22	
015	Шпоночно- фрезерна	1,9	0,22	0,17	0,17	1,21	0,04	0,04	0,02	2,4	18
		1,96	0,21	0,18	0,15	1,27	0,14	0,14	0,16	2,4	
		1,96	0,21	0,18	0,15	1,27	0,14	0,14	0,16	2,4	
020	Свердлильна	2,2	0,7	0,08	0,06	3,06	0,2	0,14	0,06	3,4	10
		1,7	0,2	0,11	0,12	2,14	0,1	0,04	0,12	2,4	
025	Шліфувальна	0,17	0,06	0,04	0,05	1,1	0,11	0,08	0,09	1,26	8
		0,18	0,04	0,05	0,08	1,2	0,09	0,07	0,08	1,26	

3.2.4.8. Технічний контроль та випробування сушарки ARAY.

Перед пуском сушарки ARAY необхідно перевірити правильність взаємного положення та кріплення деталей і вузлів, а також ретельно прочистити і заповнити відповідною змазкою пристрої та коробки для масла. Легкі та середні машини потрібно прокрутити вручну на один робочий цикл, щоб переконатися в відсутності заїдань і тертя рухомих деталей між собою та навколишніми предметами, а також перевірити величину мертвих ходів і вузлів, які здійснюють зворотно-поступальний рух, погойдуванням деталей вручну. Встановлюються та перевіряються всі огорожі, натяжні та запобіжні пристрої, нагрівні прилади, реле, автоматичні вимикачі та інші елементи. Перший пуск сушарки ARAY здійснюється без навантаження, при цьому необхідно попередити ремонтний і монтажний персонал. Першочерговий пуск машини проводиться короткими ввімкненнями, і в разі виявлення суттєвих дефектів ремонту чи монтажу, пуск негайно зупиняється.

Після завершення монтажу та ремонту сушарка ARAY піддається гідравлічному випробуванню. Оскільки апарат працює під вакуумом, випробування проводиться тиском 0,2 МПа або на вакуум із кінцевим тиском, вказаним у паспорті заводу-виготовлювача. Всі результати випробувань на щільність і міцність фіксуються в актах, які підписуються представниками ремонтної та монтажною організацій і технагляду замовника.

Технологічні трубопроводи, що піддалися ремонту або монтажу, також проходять випробування на міцність і щільність. Випробування проводяться гідравлічним методом, при цьому величина випробувального тиску визначається проектом і становить 1,25 робочого тиску, але не менше 0,3 МПа для сталевих трубопроводів. Трубопроводи пари і води піддаються гідравлічним випробуванням при додатковій температурі навколишнього повітря до влаштування ізоляції. Випробовуваний трубопровід витримується під пробним тиском протягом 5 хвилин (для скляних і ситалових труб — 20 хвилин). Якщо під час випробування не було зафіксовано падіння тиску і в з'єднаннях трубопроводів не виявлено протікань або потіння, трубопровід вважається

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таким, що витримав випробування. Після завершення всіх механічних та технологічних випробувань, сушарка ARAY і трубопроводи можуть бути допущені до експлуатації.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Техніко-економічне обґрунтування

У процесі виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз конструктивних особливостей зерносушарки марки АRAJ, виконано ряд технічних та інженерних розрахунків, а також розроблено заходи з монтажу, технічного обслуговування та ремонту обладнання. Обґрунтування доцільності впроваджених технічних рішень підтверджується як технічними, так і економічними показниками.

Покращення експлуатаційних характеристик сушарки досягнуто завдяки оптимізації конструкції основних вузлів, зокрема шнекових витків, передач приводу барабана та шпоночного з'єднання. Застосування розрахунків на надійність дозволило обрати такі матеріали і геометричні параметри деталей, які забезпечують тривалий термін служби сушарки без зниження ефективності роботи. Виконаний тепловий розрахунок сушильної установки дав змогу оптимізувати енерговитрати на процес сушіння зерна. Це сприяє зменшенню питомих витрат палива та зниженню собівартості обробки зерна. Впроваджені рішення дозволяють знизити енерговитрати на одиницю продукції у порівнянні з аналогічними моделями без модернізації.

Покращення технічного обслуговування сушарки АRAJ за рахунок розробки системи планово-попереджувальних ремонтів забезпечує зменшення простоїв у роботі та підвищує коефіцієнт технічної готовності обладнання. Це, своєю чергою, дозволяє збільшити обсяги переробки зерна без додаткових капіталовкладень у нову техніку. Технологічний процес виготовлення валу розроблено з урахуванням економного використання матеріалів, інструменту та часу, що знижує витрати на виготовлення. Технічне нормування підтверджує економічну доцільність вибраних режимів обробки, а також забезпечує раціональне завантаження обладнання.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Прийнято Н.О.			5. Техніко-економічне обґрунтування	Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Вітенько Т.М.						67	
Консульт.						гр. МО-41			
Н. Контр.		Ворожук В.Я.							
Затверд.		Вітенько Т.М.							

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Сушарка ARAY-S69 призначена для висушування зернових культур. У конструкції передбачено низку захисних елементів, які знижують ризик травмування під час експлуатації, однак вона все одно потребує уважного ставлення з боку персоналу.

Основну потенційну небезпеку становлять рухомі частини транспортерів, приводи та елементи вентиляційної системи. Всі ці частини повинні бути закриті захисними кожухами. Перед початком роботи необхідно переконатися у відсутності сторонніх предметів у завантажувальному бункері, на конвеєрі, у робочих каналах подачі та вивантаження зерна, а також у справності всіх механізмів.

Особливу увагу слід приділяти перевірці наявності заземлення, цілісності електроізоляції, а також герметичності з'єднань повітроводів і робочих камер. Усі роботи з технічного обслуговування слід проводити лише після повного відключення обладнання від електромережі та повного зупинення всіх рухомих частин.

Сушарка працює за високих температур, тому після завершення процесу сушіння всі огляди та ремонтні дії виконуються лише після повного охолодження внутрішніх елементів. Під час роботи заборонено відкривати люки, знімати захисні кожухи або втручатись у роботу механізмів — це може призвести до травм чи аварійної зупинки обладнання.

Запуск сушарки ARAY-S69 проводиться у холостому режимі з подальшим переходом на робочі оберти. Після виходу на номінальний режим оператор має переконатися у відсутності сторонніх звуків, стуків чи вібрацій. У разі виникнення будь-яких підозрілих явищ обладнання потрібно негайно зупинити та повідомити відповідального механіка.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Прийнято НО.			4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Вітенько Т.М.									68	
Консульт.		Комар Р.В.							гр. МО-41			
Н. Контр.		Ворожук В.Я.										
Затверд.		Вітенько Т.М.										

Джерелом живлення сушарки є мережа промислового струму напругою 380 В, тому необхідно дотримуватись правил електробезпеки. Електродвигуни повинні мати надійне заземлення, захист від короткого замикання, а також бути оснащені автоматичними вимикачами. Стан електроізоляції необхідно періодично перевіряти згідно з вимогами ГОСТ 12.1.030-81. Основним джерелом шуму в сушарці є робота транспортерів і вентиляторів. Оскільки рівень шуму перебуває в межах допустимих значень, додаткових шумопоглинаючих заходів не потрібно. Захисні кожухи, що закривають приводні передачі, також сприяють зниженню шумового навантаження.

Ймовірність загоряння обладнання мінімальна, оскільки в його конструкції відсутні легкозаймисті матеріали. Проте у разі короткого замикання електродвигунів не виключено виникнення локального загоряння, тому поблизу сушарки має знаходитись вогнегасник, придатний для гасіння електрообладнання під напругою. Систематичне виконання регламентних оглядів, дотримання правил експлуатації та наявність технічно справного обладнання є запорукою безпечної та ефективної роботи зерносушарки ARAY

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. У результаті виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано конструкцію та принцип дії зерносушарки ARAY, призначеної для сушіння зернових культур, що дало змогу систематизувати знання про її основні вузли, технічні характеристики та особливості експлуатації.

2. Проведено тепловий, кінематичний та конструктивний розрахунки основних елементів сушарки, зокрема шнекових витків, пасової та зубчастої передач, шпоночного з'єднання, що дозволило оцінити їх відповідність умовам роботи та забезпечити надійність функціонування обладнання.

3. Розроблено схеми монтажу сушарки ARAY, підібрано такелажне оснащення, виконано розрахунок основних параметрів монтажу, а також обґрунтовано вибір фундаменту й методів вивірки агрегату.

4. Опрацьовано технологію технічного обслуговування та ремонту сушарки, включно з графіком планово-попереджувальних робіт, дефектуванням деталей і рекомендаціями з перевірки стану механізмів після завершення експлуатаційного циклу.

5. В межах роботи розроблено технологічний процес виготовлення вала — одного з ключових елементів конструкції сушарки, виконано аналіз технічних вимог, обґрунтовано вибір заготовки, розраховано припуски та режими різання.

6. Особливу увагу приділено вимогам до безпечної експлуатації зерносушарки ARAY, з урахуванням джерел потенційної небезпеки — електричного струму, рухомих елементів і високої температури. Запропоновано перелік заходів для запобігання аварійним ситуаціям та травмам обслуговуючого персоналу.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Висновки		
Розроб.		Прийнято Н.О.					
Перевір.		Вітенько Т.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ворожук В.Я.					
Затверд.		Вітенько Т.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						70	
					гр. МО-41		

7. На основі розрахунків і аналізу технічних рішень підтверджено доцільність та ефективність застосування сушарки ARAY у виробничих умовах з дотриманням регламентованого обслуговування та правил безпеки.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Юрчишин І.І., Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., Кукляк М.Л., Кусий Я.М., Ступницький В.В., Яцюк В.А., Кук А.М., Махоркін Є.М., Свізінський В.П. Технологія машинобудування: посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт / за ред. І.І. Юрчишина. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. — 528 с. — ISBN 978-966-553-846-2.
2. Баришев О. І., Закалов О. В., Жидков Ю. В. Механізація вантажно-розвантажувальних, транспортних та складських робіт : підручник / за ред. О. І. Баришева. — Донецьк : Норд-Прес, 2007. — 467 с.
3. Закалов О. В., Ворощук В. Я. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв : навчальний посібник. — Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. — 350 с.
4. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є. Методичний посібник до курсового проекту "Розроблення технологічного процесу механічного оброблення" / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун. — Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2016. — 75 с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Р. О. Орлов, А. І. Українець та ін. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 288 с.
6. Закалов О. В. Триботехніка і підвищення надійності машин. — Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2000. — 360 с.

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Перелік посилань</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Присяжнюк Н.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Вітенько Т.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ворощук В.Я.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Вітенько Т.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						72	
					<i>гр. МО-41</i>		

7. Про затвердження Правил з безпечної експлуатації систем вентиляції підприємств : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.07.2006 № 258 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0988-09> (дата звернення: 13.06.2025).

8. Поперечний А. М. Процеси та апарати харчових виробництв / А. М. Поперечний, О. І. Черевко, В. Б. Гаркуша, Н. В. Кирпиченко. — Київ : ЦУЛ, 2007. — 304 с.

9. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. — Київ : Вища школа, 1993. — 556 с.

10. Гурський П. В., Перневий Ф. В., Гулий І. С. Практикум монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв : навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / П. В. Гурський, Ф. В. Перневий, І. С. Гулий та ін. — Харків, 2001. — 230 с.

11. Гуревич Ю. Є., Кузнєцов А. Я., Виров Б. Я. Інженерні основи розрахунків деталей машин : навч. посібник / Ю. Є. Гуревич, А. Я. Кузнєцов, Б. Я. Виров та ін. — М. : Кнорус, 2022. — 478 с. — ISBN 978-5-406-01414-1.

12. Волошин М. Д., Шестозуб А. Б., Гуляєв В. М. Устаткування галузі і основи проектування : підручник для студентів хіміко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів / М. Д. Волошин, А. Б. Шестозуб, В. М. Гуляєв. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2004. — 371 с. — ISBN 966-8551-06-0.

13. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. — Харків : НТУ «ХП», 2020. — 275 с. — ISBN 978-617-7992-55-7.

14. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.

15. Шинкарик М.М. Фільтраційно-компресійне сушіння технічного казеїну / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Збірник тез Міжнародної науково-

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» – Тернопіль: – 2018. – 295 с.

16. Кравець О.І. Особливості фільтраційно-компресійного сушіння харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // матеріали Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 14-15 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 223.

17. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

18. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

19. Пилипець М.І. Раціональні способи виготовлення заготовок для одиничного і дрібносерійного виробництва/ М.І. Пилипець, О.М. Пилипець //Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин “, 2021. - с.13

20. Pylypets M. I. Designing uniformly loaded threaded connections M. I. Pylypets, O.M. Pylypets, V. R Pankiv Modern research in technical sciences: the impact of martial law in Ukraine (March 6–7, 2024. Riga, the Republic of Latvia) : International scientific conference. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024,-p.11-16.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		