

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: Розроблення заходів з монтажу та технічного
обслуговування насоса марки «НШМ-5»

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МО-41
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Керівник

Нормоконтроль

Завідувач кафедри

Рецензент

Кутень Р.В.

(прізвище та ініціали)

Шинкарик М.М.

(прізвище та ініціали)

Кравець О.І.

(прізвище та ініціали)

Пилипець О.М.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

6. Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки вала насосу марки НШМ-5 (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			
Нормоконтроль	доц. Кравець О.І.		

7. Дата видачі завдання 05.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Аналітична частина	05.05. 2026-20.05.2026	
2	2. Конструкторська частина	01.05.2026-01.06.2026	
3	3. Технологічна частина	10.05.2026-10.06.2026	
4	4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026-10.06.2026	
5	Висновки.	10.06.2026-12.06.2026	
6	Графічна частина		
7	Насос марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	05.05. 2026-20.05.2026	
8	Графік ППР насоса марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	10.05.2026-20.06.2026	
9	Технологічна схема складання-розбирання насоса марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	10.05.2026-20.05.2026	
10	Схема встановлення насосу марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	20.05.2026-25.05.2026	
11	Креслення півмуфти, кільця, вала насосу марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	25.05.2026-01.06.2026	
12	Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки вала насосу марки НШМ-5 (1 л.ф.А1)	01.06. 2026-10.06.2026	
13			
14			
15			
16			

Студент

(підпис)

Кутень Р.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шинкарик М.М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кутень Ростислав Віталійович. Розроблення заходів з монтажу та технічного обслуговування насосу марки НШМ-5.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструктивних особливостей, технічних характеристик та умов роботи шестеренного насоса марки НШМ-5-25 харчового виконання. Проведено огляд аналогічних конструкцій об'ємних насосів та їхній порівняльний аналіз. Виконано інженерний розрахунок робочих органів насоса: визначено геометричні параметри шестеренної пари (модуль, ширину, діаметри шестерень), проведено гідравлічний та енергетичний розрахунки з вибором приводного електродвигуна, виконано розрахунок міцності зубів за контактними напруженнями та напруженнями згинання. Розроблено схему монтажу насоса НШМ-5 та обрано такелажне оснащення. Розроблено комплексну систему технічного обслуговування та ремонту насоса, включаючи графік планово-попереджувального ремонту, технологічну документацію на ремонт, дефектування деталей і технологічний маршрут механічної обробки вала. Розроблено заходи із безпеки життєдіяльності і охорони праці.

Ключові слова: шестеренний насос, НШМ-5, технічне обслуговування, ремонт, монтаж, планово-попереджувальний ремонт, дефектування, молочна промисловість.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кутень Р.В.			Анотація	Літ.	Арк.
Перевір.		Шинкарик М.М.					3
Реценз.						гр. МО-41	
Н. Контр.		Кравець О.І.					
Затверд.		Пилипець О.М.					

Abstract

Kuten Rostyslav Vitaliyovych – Development of measures for installation and maintenance of the NShM-5 pump.

The qualification thesis analyses the design features, technical specifications, and operating conditions of the NShM-5-25 food-grade gear pump. A review and comparative analysis of analogous positive displacement pump designs have been conducted. Engineering calculations of the pump's working components have been performed: the geometric parameters of the gear pair (module, width, gear diameters) have been determined; hydraulic and energy calculations with selection of the drive motor have been carried out; and gear tooth strength calculations for contact and bending stresses have been completed. An installation scheme for the NShM-5 pump has been developed and rigging equipment selected. A comprehensive system of maintenance and repair for the pump has been developed, including a preventive maintenance schedule, repair technical documentation, parts defect inspection procedures, and a machining route for the shaft. Measures for life safety and labour protection have been developed.

Keywords: gear pump, NShM-5, maintenance, repair, installation, preventive maintenance schedule, defect inspection, dairy industry.

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Кутень Р.В.</i>			<i>Анотація</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Шинкарик М.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кравець О.І.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець О.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						3	
					<i>зр. МО-41</i>		

Зміст

Завдання	1
Анотація	3
Abstract	3
Зміст.....	4
Вступ	6
1. Аналітична частина.	8
1.1. Аналіз умов роботи і технічних характеристик.....	8
1.2. Опис будови і принципу роботи насоса	10
1.3. Аналіз шестерних насосів	13
1.4. Мета і задачі кваліфікаційної роботи	25
2. Конструкторська частина.....	27
2.1. Інженерний розрахунок шестеренного насоса НШМ 5-25	27
2.2. Геометричний та міцнісний розрахунок шестеренної пари насоса шестеренного НШМ 5-25	30
3. Технологічна частина	35
3.1. Розробка схеми монтажу насосу марки НШМ-5.....	35
3.1.1. Вибір такелажного оснащення та схеми монтажу насоса марки НШМ-5	35
3.1.2 Вибір методів вивірки насосу марки НШМ-5 на фундаменті. Вибір інструментів та пристосувань	39
3.2. Розробка технології ремонту вузла розпилювального пристрою насосу марки НШМ-5	44
3.2.1. Аналіз характерних причин виходу з ладу насоса марки НШМ-5. Розробка графіка планово-попереджувального ремонту насоса марки НШМ-5	44

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кутень Р.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Шинкарик М.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кравець О.І.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець О.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>4</i>	
					<i>гр. МО-41</i>		

3.2.2. Розробка технологічної документації на проведення ремонту насоса марки НШМ-5	54
3.2.3. Дефектування і сортування деталей насоса марки НШМ-5.....	59
3.3. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала насосу марки НШМ-5	63
3.3.1. Аналіз технічних умов вала	63
3.3.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки	65
3.3.3. Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів	67
3.3.4. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала насосу марки НШМ-5	70
3.3.5. Вибір ріжучого і вимірювального інструменту.....	73
3.3.6. Розрахунок режимів різання по операціях.....	76
3.3.7. Технічне нормування технологічного процесу	78
4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.	81
4.1 Заходи з охорони праці та техніки безпеки.....	81
4.2. Заходи з безпеки життєдіяльності.....	86
Висновки.....	91
Перелік посилань	93

Вступ

Молочна промисловість належить до провідних галузей харчової індустрії України, що характеризується безперервним виробництвом та жорсткими санітарно-гігієнічними вимогами до обладнання. Ключовою умовою ефективної роботи молокопереробних підприємств є надійна та безперебійна робота насосного обладнання, яке забезпечує транспортування в'язких харчових середовищ у технологічних лініях.

Шестеренний насос марки НШМ-5 знаходить широке застосування на підприємствах молочної галузі для перекачування в'язких продуктів – згущеного молока, вершків, кисломолочних мас та інших харчових середовищ підвищеної густини. Принцип об'ємного витіснення забезпечує стабільну подачу без кавітації та спінювання, що є критичним для збереження якості молочної сировини.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи [1] обумовлена тим, що своєчасне та якісне технічне обслуговування насосного обладнання є вирішальним чинником для забезпечення безперебійності виробничих процесів. Відмова насоса в умовах безперервного виробництва призводить до простою всієї технологічної лінії, псування харчової сировини та значних економічних збитків підприємства.

Практика свідчить, що значна частина відмов насосів зумовлена не конструктивними недоліками, а відсутністю систематичного технічного обслуговування, несвоєчасним виявленням дефектів та неправильним монтажем обладнання. Тому розроблення комплексної системи заходів з монтажу, технічного обслуговування та ремонту насоса НШМ-5 є практично значущим завданням, вирішення якого безпосередньо впливає на ефективність роботи підприємства.

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Кутень Р.В.</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шинкарик М.М.</i>					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>							6
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кравець О.І.</i>				<i>гр. МО-41</i>	
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець О.М.</i>					

У роботі поєднано теоретичний аналіз конструкції насоса з практичними інженерними розрахунками, що відповідає сучасному підходу до підготовки фахівців у галузі обладнання харчових виробництв. Результати роботи можуть бути використані безпосередньо на молокопереробних підприємствах як методична база для організації системи планово-попереджувальних ремонтів.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Аналітична частина.

1.1. Аналіз умов роботи і технічних характеристик

НШМ 5-25 — це шестеренний об'ємний насос промислового призначення, що виробляється переважно на заводі ТМ «СЛЕМЗ» (Харків) та низці інших підприємств.

Конструкція: два зубчасті ротори здійснюють зустрічний рух, створюючи розрідження на вході насоса. Перекачуване середовище переноситься зубами шестерень до виходу, і цикл безперервно повторюється.

У молочній промисловості нержавіючий шестеренний насос НШМ 5 застосовують для транспортування та точного дозованого переміщення високотехнологічних молочних продуктів із підвищеною в'язкістю, густиною та структурною складністю, де використання класичних відцентрових насосів є неефективним через ризик кавітації, падіння ККД або спінювання сировини. Головна інженерна задача цього агрегату полягає в забезпеченні стабільного, ламінарного потоку таких складних субстанцій, як згущене молоко (зокрема карамелізоване та варене), високожирні вершки, гарячі плавлені сирні маси, термостатна сметана, а також концентровані основи та суміші для морозива.

Завдяки принципу об'ємного витіснення рідини міжзубними порожнинами нержавіючих шестерень, насос працює як надійний транспортер у складі автоматизованих ліній фасування, систем подачі сировини на варочні агрегати та ділянок рециркуляції. При цьому конструкція проточної частини повністю адаптована під суворі санітарні вимоги молочних комбінатів: відсутність застійних зон та наявність високоякісного торцевого ущільнення дозволяють безперешкодно інтегрувати НШМ 5 у загальнозаводські контури безрозбірного миття (CIP) та термічної стерилізації паром (SIP), що гарантує мікробіологічну чистоту кожної партії продукції.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кутень Р.В.			1. Аналітична частина.	Літ.	Арк.
Перевір.		Шинкарик М.М.					8
Реценз.						гр. МО-41	
Н. Контр.		Кравець О.І.					
Затверд.		Пилипець О.М.					

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики насоса НШМ 5-25

Параметр	Значення / Характеристика	Примітка
Подача (продуктивність)	5,0 м³/год (83,3 л/хв)	Вказано для номінальних обертів
Тиск на виході (макс.)	2,5 кгс/см² (0,25 МПа / $\approx$ 2,5 бар)	Може змінюватися залежно від двигуна
Допускається вакуумметрична висота всмоктування	До 5,0 м	Здатність до самовсмоктування
Частота обертання валу	1450 об/хв	Номінальна швидкість синхронного двигуна
Потужність двигуна в агрегаті	1,5 кВт або 2,2 кВт	Підбирається під в'язкість рідини
Тип електродвигуна	АИР (загальнопромисловий) або 4ВР (вибухозахищений)	Вибухозахист потрібен для палива/нафти
Діапазон в'язкості рідини	Від $0,018 \cdot 10^{-4}$ до $22,0 \cdot 10^{-4}$ м²/с	Від 1,8 до 2200 сСт (сантистокс)
Максимальна температура рідини	До +70°C (базове) / До +150°C (спец. виконання)	Залежить від матеріалу ущільнень
Діаметр вхідного / вихідного патрубків	50 мм / 50 мм (Фланцеве або муфтове)	Залежить від заводу- виробника
Маса насоса (без двигуна та станини)	$\approx$ 36 кг	Повна вага агрегату з рамою — понад 70 кг

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.2. Опис будови і принципу роботи насоса

Основними робочими елементами насоса є дві зубчасті шестерні, що знаходяться у постійному зачепленні. Одна з них є ведучою і отримує обертальний рух від електродвигуна, тоді як друга виконує функцію веденої. Ведуча шестерня 2 встановлена на ведучому валу 4 за допомогою шпонкового з'єднання, що забезпечує надійну передачу крутного моменту. Ведена шестерня 3 жорстко закріплена на своєму валу методом запресовування, що виключає можливість її провертання під час роботи.

Для забезпечення високої корозійної стійкості та відповідності санітарно-гігієнічним вимогам харчового виробництва шестерні виготовляють із нержавіючої сталі. Корпус насоса виконаний із латуні, яка характеризується достатньою міцністю, зносостійкістю та стійкістю до впливу харчових середовищ. Корпус монтується на масивній чавунній основі 5, що слугує несучим елементом конструкції та безпосередньо приєднується до фланця електродвигуна.

Обертання ведучого та веденого валів здійснюється у підшипниках ковзання, роль яких виконують бронзові втулки 6 і 7, запресовані в основу та корпус насоса. Таке конструктивне рішення забезпечує плавну роботу механізму, зменшує зношування деталей і підвищує довговічність обладнання. Передача крутного моменту від електродвигуна до ведучого вала насоса реалізується за допомогою пальцевої муфти, яка компенсує незначні перекоси валів і забезпечує надійне з'єднання приводу з насосом.

Принцип роботи насоса полягає в захопленні продукту між зубцями шестерень і внутрішньою поверхнею корпуса. Під час виходу зубців із зачеплення на стороні всмоктування створюється розрідження, внаслідок чого продукт надходить у міжзубцеві порожнини. Далі рідина переноситься вздовж стінок корпуса від зони всмоктування до зони нагнітання. При повторному входженні зубців у зачеплення об'єм між ними зменшується, що забезпечує

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витіснення продукту в нагнітальний трубопровід. Завдяки такому принципу дії насос створює рівномірну подачу та забезпечує стабільний напір у технологічній системі.

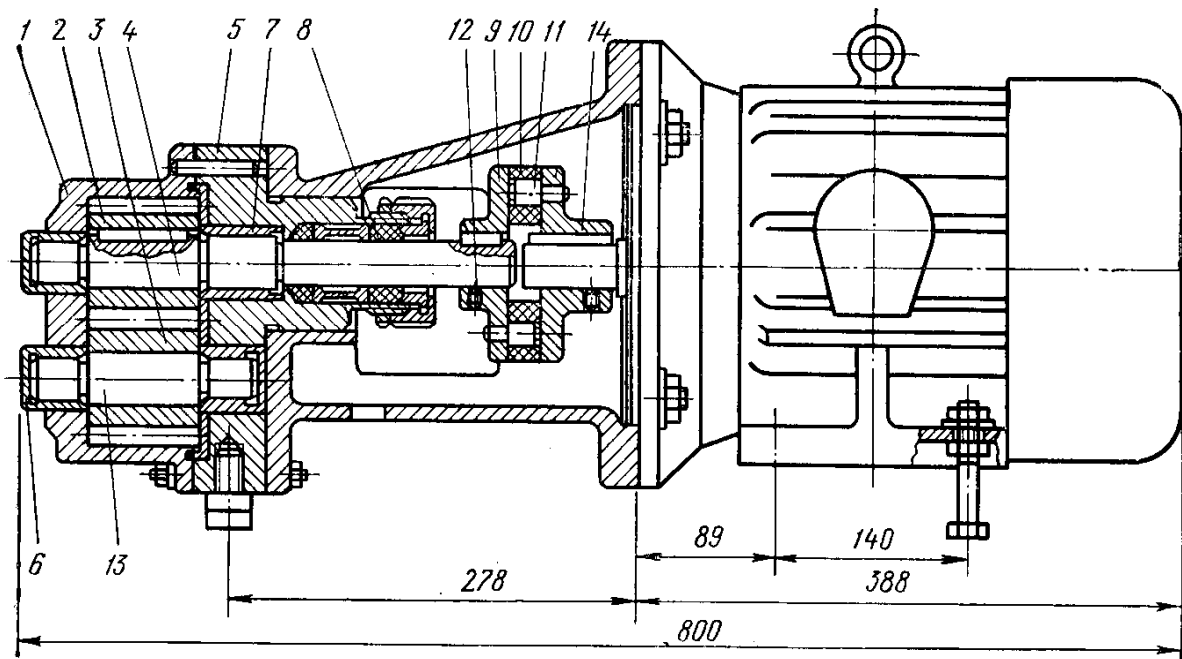


Рисунок 1.1. Насос НШМ-5: 1 – корпус; 2 – ведуча шестерня; 3 – ведена шестерня; 4 – ведучий вал; 5 – основа; 6, 7 – бронзові втулки; 8 – ущільнювальна набивка; 9 – ведена напівмуфта; 10 – кільце; 11 – палець муфти; 12 – кріпильний гвинт; 13 – вал веденої шестерні; 14 – ведуча напівмуфта.

Шестеренний насос НШМ 5 у харчовому нержавіючому виконанні являє собою спеціалізований гідродинамічний апарат об'ємного типу, конструкція якого повністю адаптована під суворі гігієнічні стандарти молочної промисловості. Основу цього агрегату складає масивний корпус із передньою кришкою, які відлиті з високоякісної аустенітної нержавіючої сталі марок AISI 304 або AISI 316L. Усі внутрішні робочі камери, що мають форму симетричної вісімки, піддаються ретельному електрохімічному поліруванню до досягнення дзеркального стану з показником шорсткості не більше 0,4–0,8 мікрометра. Така бездоганна гладкість поверхонь виключає появу мікропор і шорсткостей, у яких могли б затримуватися залишки молочного жиру, білка чи розвиватися колонії

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

бактерій. Приєднувальні патрубки насоса інтегровані безпосередньо в корпус і виконані у вигляді швидкорозбірних молочних з'єднань за стандартом DIN 11851, що дозволяє оперативно демонтувати трубопроводи для проведення інспекції чи ручного чищення.

Головними робочими органами насоса є дві шестерні зовнішнього зачеплення, виготовлені з аналогічної харчової нержавіючої сталі. Ведуча шестерня жорстко зафіксована на головному валу за допомогою призматичної шпонки і отримує обертальний момент від зовнішнього приводного механізму. Ведена шестерня розташована паралельно на відомому валу і обертається у протилежному напрямку виключно за рахунок зачеплення з ведучим колесом. Для зниження рівня шуму, мінімізації пульсацій потоку та забезпечення більш м'якого впливу на делікатні молочні маси зуби шестерень часто виконують косозубими. Важливою інженерною особливістю НШМ 5 є повна відсутність традиційних кулькових чи роликів підшипників у зоні контакту з продуктом, оскільки вони потребують мінерального мастила. Замість них вали спираються на чотири втулки ковзання, виготовлені з харчового композитного полімеру РЕЕК, які ефективно змащуються безпосередньо самим перекачуваним продуктом, будь то вершки чи молочна сироватка.

Герметичність внутрішньої камери та захист від потрапляння зовнішньої мікрофлори забезпечує динамічне торцеве ущільнення валу, розташоване в місці його виходу до редуктора. Воно складається з ідеально пригнаних одне до одного кілець із карбіду кремнію та графіту, а всі допоміжні еластomers виготовляються з сертифікованого фторкаучуку Viton або EPDM, стійких до молочних жирів та гарячих миючих розчинів. Також у передню кришку насоса інтегровано пружинний запобіжний клапан — байпас. Якщо тиск у вихідному трубопроводі критично зростає через випадкове перекриття засувки фасувального автомата, клапан автоматично відкривається і перепускає молочну масу по внутрішньому обхідному каналу назад на вхід, захищаючи корпус від розриву, а двигун від перевантаження.

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

Принцип роботи насоса НШМ 5 базується на циклічній зміні об'ємів внутрішніх камер під час обертання роторної групи. На першому етапі, коли зуби шестерень виходять із зачеплення в районі вхідного патрубка, у звільнених міжзубних западинах створюється зона локального вакууму. За рахунок виникнення різниці тисків густий і в'язкий молочний продукт, наприклад згущене молоко або сметана, долає сили власного внутрішнього тертя і всмоктується всередину насоса. На наступному етапі продукт повністю заповнює простори між зубами і переміщується ізольованими порціями вздовж верхньої та нижньої циліндричних стінок корпусу від входу до виходу. Продукт рухається виключно по периферії, не зазнаючи внутрішнього перемішування, стискання чи зсуву всередині самої камери, що дозволяє повністю зберегти цілісність білкових зв'язків та жирових кульок.

На фінальній стадії, коли шестерні досягають зони вихідного патрубка, їхні зуби знову входять у щільне зачеплення. Металеве тіло зуба однієї шестерні повністю займає западину іншої, працюючи за принципом поршня і буквально вичавлюючи нестисливу молочну масу у вихідний трубопровід. Завдяки високій в'язкості харчових середовищ мікроскопічні зазори між шестернями та корпусом надійно ущільнюються самим продуктом, що зводить внутрішні зворотні витоки до мінімуму. Це забезпечує стабільний, рівномірний напір та високий об'ємний ККД, який досягає 96–98%, дозволяючи використовувати насос НШМ 5 не лише для транспортування, а й для точного порційного дозування на лініях пакування. Одночасно з цим уся проточна частина розрахована на термічне розширення металу під час безрозбірного миття гарячими лужними розчинами СІР та стерилізації сухою парою SIP за температур до 134°C, що гарантує абсолютну мікробіологічну безпеку всього процесу переробки молока.

1.3. Аналіз шестерних насосів

Насоси об'ємної дії [2-8] належать до класу гідравлічних машин, принцип роботи яких базується на періодичній зміні об'єму робочої камери та

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

примусовому переміщенні рідини від всмоктувальної до нагнітальної порожнини. Залежно від характеру руху робочих органів їх поділяють на дві основні групи. До першої групи належать роторні насоси, в яких транспортування рідини здійснюється завдяки безперервному обертанню робочих елементів. До таких насосів відносяться шестеренні, пластинчасті, коловоротні, кулачкові та інші конструкції. Другу групу становлять насоси зі зворотно-поступальним рухом робочого органу, до яких належать поршневі, плунжерні та мембранні насоси. У цих машинах процес переміщення рідини відбувається за рахунок циклічного збільшення та зменшення об'єму робочої камери.

Важливою особливістю насосів об'ємної дії є їхня здатність створювати високий тиск у нагнітальному трубопроводі. Граничне значення тиску, яке може розвинути насос, визначається сукупністю конструктивних і експлуатаційних факторів. Насамперед воно залежить від механічної міцності робочих органів, точності виготовлення деталей, величини зазорів між рухомими та нерухомими елементами, надійності ущільнень, а також від потужності привідного електродвигуна. Чим вищою є точність виготовлення та жорсткість конструкції, тим меншими будуть внутрішні витоки і тим ефективніше насос працюватиме при підвищених тисках.

Теоретично продуктивність насоса об'ємної дії практично не залежить від тиску нагнітання. Тому графічна залежність між подачею та тиском у теоретичному випадку являє собою пряму лінію, паралельну осі тиску. Проте в реальних умовах експлуатації спостерігається певне відхилення від цієї ідеалізованої характеристики. Причиною цього є наявність внутрішніх перетікань рідини через технологічні зазори між корпусом насоса та його робочими органами. Із підвищенням тиску частина рідини починає перетікати із зони нагнітання назад у зону всмоктування, що призводить до поступового зменшення фактичної подачі. Саме тому реальна характеристика насоса має дещо спадний характер і відображає вплив об'ємних втрат на його роботу.

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

Однією з найважливіших умов безпечної експлуатації насосів об'ємної дії є захист обладнання від надмірного підвищення тиску. Аварійні ситуації можуть виникати внаслідок закриття запірної арматури на нагнітальній лінії, закупорювання трубопроводів, засмічення фільтрів або інших несправностей технологічної системи. Оскільки насоси об'ємної дії продовжують подавати практично сталий об'єм рідини незалежно від величини опору мережі, у таких випадках тиск у системі може швидко досягати небезпечних значень.

Для запобігання пошкодженню насоса та елементів трубопровідної системи застосовують спеціальні перепускні або запобіжні клапани. Вони можуть встановлюватися як безпосередньо в конструкції насоса, так і на нагнітальному трубопроводі. Принцип дії запобіжного клапана полягає в автоматичному відкритті проходу для рідини при досягненні встановленого граничного тиску. У результаті частина або весь потік рідини спрямовується з лінії нагнітання назад у всмоктувальну порожнину або приймальний резервуар. Така циркуляція дозволяє швидко знизити тиск у системі та запобігти руйнуванню деталей насоса, ущільнень і трубопроводів.

При подальшому зростанні тиску клапан відкривається повністю і забезпечує повний перепуск перекачуваної рідини. У цьому режимі вся продуктивність насоса витрачається на внутрішню циркуляцію потоку, а корисна подача до споживача стає практично нульовою. Незважаючи на відсутність корисної роботи, такий режим є необхідним для забезпечення надійності обладнання та захисту його від аварійних навантажень. Завдяки застосуванню запобіжних клапанів значно підвищується довговічність насосів об'ємної дії та безпека експлуатації технологічних установок.

Шестеренні насоси є одним із найбільш поширених типів об'ємних насосів, що широко застосовуються у харчовій, хімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості. Принцип їх дії ґрунтується на зачепленні зубів шестерень, які утворюють замкнені порожнини, переміщуючи рідину від вхідного до вихідного патрубку без пульсацій і без зміни фізичних характеристик продукту [1].

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

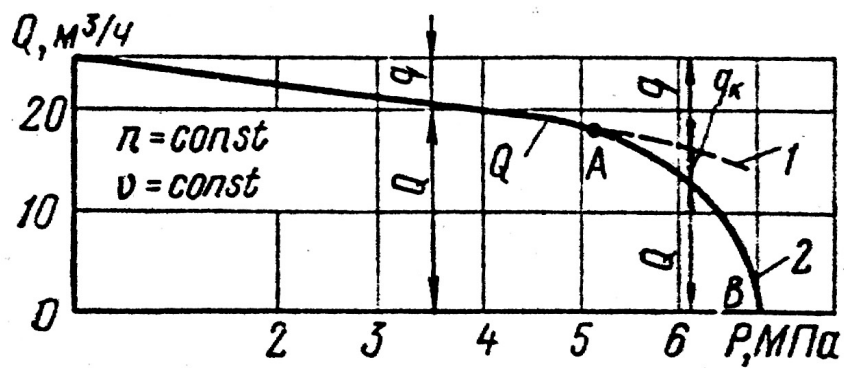


Рисунок 1.2.- Характеристика насоса об'ємної дії:

1 – теоретична характеристика насоса без внутрішніх перетікань; 2 – характеристика насоса при роботі запобіжного клапана; А – початок відкриття запобіжного клапана; В – повне відкриття клапана та перепуск рідини з нагнітальної лінії у всмоктувальну; q – внутрішні витоки рідини в насосі; q_k – витрата рідини через запобіжний клапан.

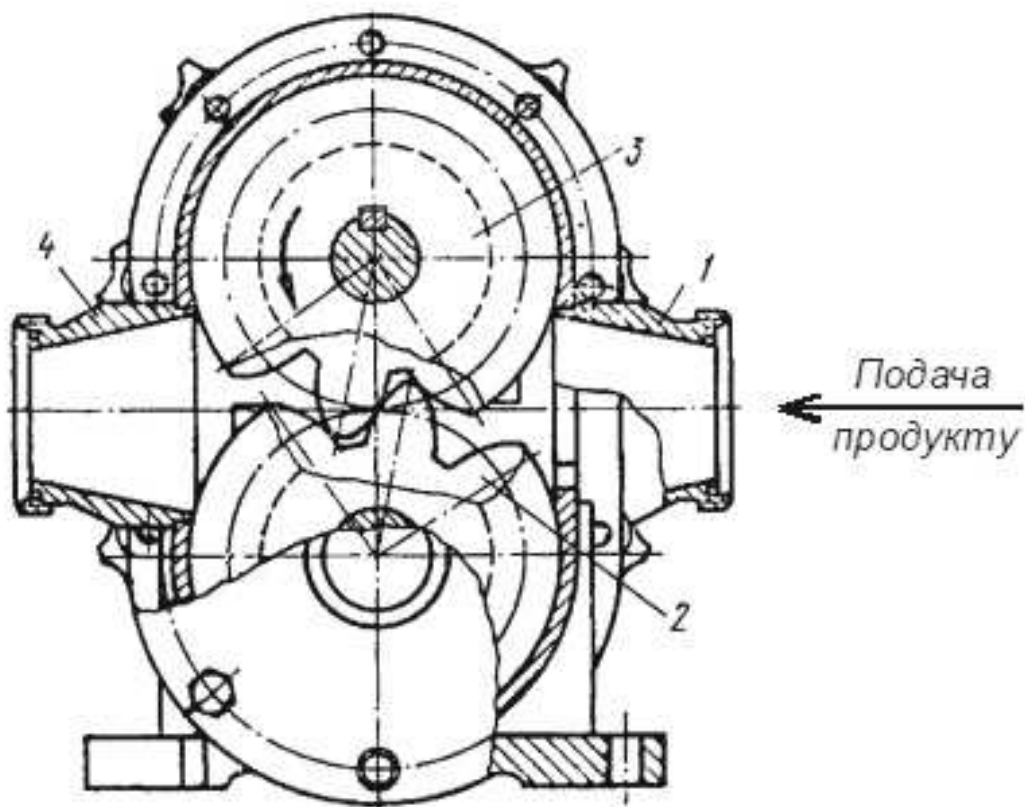


Рисунок 1.3- Схема конструкції шестерного насосу:
1, 4 – випускний і впускний патрубки; 2, 3 – шестерні.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 064.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

У харчовому виробництві насосне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні безперервності технологічних процесів: дозуванні інгредієнтів, перекачуванні в'язких мас, транспортуванні соусів, сиропів, олій, шоколаду, меду, пасти, желатину та інших харчових середовищ. Шестеренні насоси завдяки своїй конструктивній простоті, точності подачі та здатності працювати з продуктами широкого діапазону в'язкості (від 1 мПа·с до 1 000 000 мПа·с і вище) посідають особливе місце серед обладнання харчового машинобудування. Серед ключових переваг шестеренних насосів виділяють: стабільну об'ємну подачу, практично незалежну від протитиску в системі; здатність до самовсмоктування без попереднього заповнення; можливість реверсу потоку зміною напрямку обертання; компактні габарити при значній подачі та тиску.

Відповідно до вимог міжнародних стандартів, зокрема EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group) та 3-A Sanitary Standards (США), насосне обладнання для харчової промисловості повинно відповідати суворим санітарно-гігієнічним нормам: виготовлятися з харчових матеріалів, мати гладкі зварні шви без зазорів та мертвих зон, бути придатним до очищення на місці (CIP — Cleaning In Place) та стерилізації на місці (SIP — Sterilization In Place). Саме відповідність цим вимогам є одним із визначальних чинників при виборі шестеренного насоса для харчового виробництва.

Шестеренний насос належить до класу об'ємних насосів. На відміну від відцентрових насосів, де передача енергії рідині відбувається через кінетичну енергію, у шестеренних насосах рідина переміщується шляхом механічного захоплення та перенесення фіксованих об'ємів між зубами шестерень і корпусом. Принцип роботи можна описати у трьох фазах:

- фаза всмоктування: зуби ведучої та веденої шестерень виходять із зачеплення в зоні всмоктувального патрубку, збільшуючи вільний об'єм між зубами, тиск знижується і рідина надходить до насоса під дією різниці тисків;
- фаза транспортування: рідина захоплюється у западини між зубами та внутрішньою поверхнею корпусу і переноситься по периферії від зони всмоктування до зони нагнітання;

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

— фаза нагнітання: зуби входять у зачеплення в зоні нагнітального патрубку, витісняючи рідину під тиском у напірну магістраль.

Шестеренний насос складається з таких основних вузлів та деталей: корпус; торцеві кришки; ведуча шестерня; ведена шестерня; підшипники; ущільнення вала; приводний вал.

Корпус виконує функцію несучого елемента та утворює внутрішню порожнину для розміщення шестерень. У харчових насосах корпус виготовляється переважно з нержавіючої сталі AISI 316L або 304; внутрішня порожнина обробляється з шорсткістю $Ra \leq 0,8$ мкм або $Ra \leq 0,4$ мкм для СІР-придатних конструкцій. Торцеві кришки обмежують внутрішню порожнину насоса; у прецизійних конструкціях їх виготовляють з матеріалів підвищеної твердості (карбід вольфраму, легована сталь) для мінімізації зносу торцевих зазорів.

Ведуча шестерня з'єднана з приводним валом, а ведена шестерня обертається на нерухомій осі або підшипниковій опорі. Профіль зубів — переважно евольвентний або гелікоїдальний. Гелікоїдальні шестерні забезпечують нижчий рівень шуму та вібрацій і рівномірнішу подачу, однак створюють осьові сили, які необхідно компенсувати упорними підшипниками.

Ущільнення вала може бути механічним торцевим або сальниковим. У харчових насосах пріоритет надається механічним ущільненням з нейтральним промиванням або без промивання, що запобігає потраплянню мастила до продукту. Для продуктів з абсолютними вимогами до герметичності (наприклад, стерильні продукти) застосовуються конструкції з магнітним приводом, де вал повністю відсутній.

Класифікація шестеренних насосів наведена у таблиці 1.2.

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

Таблиця 1.2 – Класифікація шестеренних насосів

Ознака класифікації	Тип / виконання	Особливості
За типом зубів	Прямозубі	Проста конструкція, доступна ціна
	Гелікоїдальні	Низький шум, рівномірна подача, осьові навантаження
	Шевронні	Без осьових сил, компактність, складніше виготовлення
За розміщенням шестерень	Зовнішнє зачеплення	Стандартний тип, найбільш поширений
	Внутрішнє зачеплення	Компактніший, нижча пульсація, складніший у ремонті
За ущільненням вала	Механічне ущільнення	Без витоків, мінімальне обслуговування
	Магнітний привід	Абсолютна герметичність
За матеріалом корпусу	AISI 316L	Харчове виконання, CIP-придатний
	AISI 304	Менш корозійностійкий, економ-варіант

Основні технічні параметри шестеренних насосів харчового виконання наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні технічні параметри шестеренних насосів

Параметр	Стандартний діапазон	Прецизійний / спеціальний
Об'ємна подача Q	0,001–500 м³/год	0,0001–1000 м³/год
Тиск нагнітання	до 16 бар	до 100 бар
В'язкість продукту	1–100 000 мПа·с	до 1 000 000 мПа·с
Частота обертання	10–1500 об/хв	1–3000 об/хв
Температура продукту	–10 до +120°C	–30 до +250°C
Об'ємний ККД $\eta_{об}$	92–98%	95–99%
Точність дозування	$\pm 1\%$ – $\pm 2\%$	$\pm 0,1\%$ – $\pm 0,5\%$

Порівняльна оцінка шестеренних насосів з найбільш поширеними альтернативами у харчовій промисловості наведена у таблиці 1.4 (оцінки за 5-бальною шкалою).

Таблиця 1.4 – Порівняння типів насосів для харчової промисловості

Параметр	Шестеренний	Відцентровий	Перистальтичний	Гвинтовий
В'язкі продукти	5/5	1/5	4/5	5/5
Точність дозування	5/5	1/5	5/5	4/5
Продукти з частинками	2/5	1/5	5/5	5/5
CIP-придатність	4/5	5/5	3/5	4/5
Самовсмоктування	5/5	1/5	5/5	5/5
Тиск нагнітання	до 100 бар	до 10 бар	до 15 бар	до 60 бар

Шестеренні насоси знаходять широке застосування у різних підгалузях харчової промисловості завдяки унікальному поєднанню властивостей: здатності перекачувати продукти широкого діапазону в'язкостей, точності дозування, рівномірності подачі та відповідності санітарно-гігієнічним вимогам. Нижче розглянуто основні сфери їх застосування.

Молочна галузь є однією з найбільш вимогливих до насосного обладнання з точки зору санітарії. Шестеренні насоси в молочному виробництві застосовуються на таких ділянках технологічного процесу:

— перекачування незбираного молока та вершків при надходженні сировини на переробний завод, а також у міжопераційному транспортуванні між технологічними ємностями;

— транспортування кисломолочних продуктів з контрольованою деструкцією структури: йогурту (в'язкість 1 000–5 000 мПа·с), сметани (в'язкість 5 000–20 000 мПа·с), ряжанки, кефіру; при цьому низька швидкість обертання насоса (50–150 об/хв) забезпечує мінімальне механічне навантаження на структуру продукту;

— дозування молочних культур, заквасок та ферментів у точно визначених кількостях — застосовуються прецизійні шестеренні насоси з точністю дозування $\pm 0,5\%$;

— перекачування концентрованого молока та молочних паст на лініях виробництва сухого молока та молочних концентратів;

— подача вершкового масла та спреїв у розплавленому стані (40–55°C) на лінії фасування та рецептурного змішування.

Обов'язковою вимогою молочної промисловості є здатність насоса до SIP та SIP без розбирання, оскільки часта демонтажна мийка є економічно недоцільною при безперервних виробничих циклах. Рекомендована швидкість руху продукту в зоні зачеплення не повинна перевищувати 2–3 м/с, щоб уникнути перегріву і небажаних змін у складі продукту.

Шоколад і шоколадні маси є одними з найскладніших харчових продуктів з точки зору реології: вони є тиксотропними і псевдопластичними матеріалами,

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

тобто їх в'язкість зменшується при дії зсувних напруг. В'язкість темного шоколаду при температурі 40°C становить 3 000–8 000 мПа·с, молочного — 5 000–15 000 мПа·с, білого — 10 000–25 000 мПа·с. За таких характеристик відцентрові насоси є абсолютно непридатними, а шестеренні насоси — оптимальним рішенням.

Для роботи з шоколадом застосовуються насоси з гелікоїдальними або внутрішньощестеренними зубами, обладнані системою термостатування корпусу (водяна сорочка або електронагрів), що підтримує температуру 40–50°C та запобігає кристалізації какао-масла. Важливо, що насос має забезпечувати рівномірну подачу без пульсацій, оскільки нерівномірний потік шоколаду призводить до утворення бульбашок та дефектів у готовому виробі.

Крім шоколаду, у кондитерській галузі шестеренні насоси використовуються для: перекачування карамельної маси та нуги (в'язкість 10 000–100 000 мПа·с при температурі 80–100°C); транспортування марципанової та горіхової паст; подачі цукрових сиропів різних концентрацій; дозування кремових начинок та помадки на лінії глазурування та декорування; перекачування какао-масла та замінників какао-масла (CBE/CBR) на лінії темперування.

Для перекачування продуктів з включеннями (цілі горіхи, ягоди, шматочки фруктів) використовують насоси типу Gerotor (внутрішнє зачеплення) зі збільшеним зазором між зубами, що мінімізує механічне руйнування включень.

Рослинні олії (соняшникова, оливкова, пальмова, кокосова, ріпакова) та тваринні жири є майже ідеальними продуктами для шестеренних насосів завдяки своїм мастильним властивостям, що зменшують знос робочих поверхонь. В'язкість рослинних олій при 20°C становить 50–120 мПа·с, що відповідає оптимальному діапазону роботи шестеренного насоса.

Типові операції у виробництві олій та жирів: подача олії на лінії розливу та фасування в пляшки, каністри, цистерни; перекачування гідрованих жирів та маргаринів при температурах 50–70°C; транспортування пальмової олії — оскільки вона застигає при температурі нижче 25–30°C, системи оснащуються

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

підігрівом трубопроводів та насоса; перекачування рафінованих жирів на лінії виробництва кулінарних жирів і спредів; дозування ароматних та спеціальних олій у рецептурних системах.

Особливою перевагою в олійному виробництві є здатність шестеренних насосів до роботи при тисках до 100 бар, що дозволяє використовувати їх не лише для транспортування, а й у системах гідравлічного пресування та екстракції олій.

У пивоварінні шестеренні насоси застосовуються переважно там, де відцентрові насоси неефективні через підвищену в'язкість продукту або необхідність точного дозування:

- перекачування густого пивного сусла та солодових концентратів (в'язкість 5 000–50 000 мПа·с) після випарювання;

- транспортування дріжджів та дріжджових суспензій між бродильними танками та сепараторами; важливо, що низькошвидкісний шестеренний насос мінімально пошкоджує клітини дріжджів порівняно з відцентровим;

- подача хмелевих екстрактів, пивних сиропів та ароматичних добавок у системах рецептурного дозування;

- перекачування фруктових та ягідних пюре-добавок для крафтового пивоваріння та виробництва фруктових сидрів.

В алкогольній промисловості (виробництво вин, міцних дистилятів) шестеренні насоси застосовуються для перекачування виноградного сусла та мезги, транспортування коньячних спиртів і лікерів підвищеної в'язкості. Обов'язковою є відповідність матеріалів насоса вимогам до контакту з харчовими продуктами та алкоголем.

Томатна паста з концентрацією 28–36% сухих речовин має в'язкість 20 000–80 000 мПа·с та яскраво виражені псевдопластичні властивості. Шестеренні насоси, завдяки принципу позитивного витіснення, легко долають великий гідравлічний опір та забезпечують стабільну подачу навіть при значних коливаннях в'язкості продукту (наприклад, при зміні концентрації або температури).

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

Перелік основних продуктів соусної та консервної галузі, де застосовуються шестеренні насоси: майонез (в'язкість 5 000–20 000 мПа·с); гірчиця та хрін; кетчуп та томатні соуси; джеми та конфітюри з ягодами; фруктові пасти та повидло; рибні та м'ясні паштети.

При наявності в продукті дрібних частинок (насіння, шматочки овочів розміром до 3–5 мм) застосовуються насоси зі збільшеним міжзубним зазором або насоси з гумовими шестернями, що запобігають дробленню включень. Для великих шматочків (понад 5–8 мм) перевагу надають гвинтовим або перистальтичним насосам.

Лінії розфасовки та асептичного розливу соусів висувають до насосів особливі вимоги щодо точності дозування: відхилення маси нетто при фасуванні не повинно перевищувати $\pm 1\text{--}2\%$, що цілком забезпечується прецизійними шестеренними насосами.

Прецизійне дозування є одним з найважливіших застосувань шестеренних насосів у сучасному харчовому виробництві. Автоматизовані рецептурні системи на базі шестеренних насосів знаходять застосування у таких галузях:

— внесення рідких ароматизаторів, барвників та консервантів у потоці — насоси забезпечують подачу 0,1–50 л/год з точністю $\pm 0,5\%$ при безперервному технологічному процесі;

— дозування рідких вітамінних преміксів, омега-кислот та функціональних інгредієнтів у виробництві збагачених харчових продуктів і дитячого харчування;

— подача ферментних препаратів у молочній та хлібопекарській промисловості, де точність дозування безпосередньо впливає на якість готової продукції;

— багатокомпонентне змішування: у рецептурних системах кілька шестеренних насосів, керованих програмованим логічним контролером (ПЛК), забезпечують автоматичне дозування компонентів рецептури у заданих пропорціях з відхиленням не більше $\pm 0,2\text{--}0,5\%$;

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

— дозування рідких підсолоджувачів (рідкий цукор, ізоглюкоза, стевія в рідкій формі) на лініях виробництва безалкогольних напоїв та кондитерських виробів.

Сучасні прецизійні шестеренні насоси для дозування обладнуються серводвигунами з енкодерами зворотного зв'язку, що забезпечує точність регулювання частоти обертання $\pm 0,01\%$ та можливість реверсу для усунення крапель після дозування (функція suck-back). Інтеграція з SCADA-системами через промислові протоколи (Profibus DP, EtherNet/IP, Modbus TCP) дозволяє реалізувати повністю автоматизоване керування рецептурними процесами.

Шестеренні насоси є оптимальним вибором для перекачування однорідних в'язких харчових рідин при необхідності точного дозування та помірних і високих тисків нагнітання. Їх конструктивна простота, широкий діапазон в'язкостей, що перекачуються, здатність до самовсмоктування та відповідність сучасним санітарно-гігієнічним вимогам (EHEDG, 3-A, FDA) обумовлюють їх незамінність у харчовому виробництві. Водночас для продуктів з великими твердими включеннями (частинки понад 5 мм) доцільніше використовувати перистальтичні або гвинтові насоси, а для низьков'язких продуктів більш економічними є відцентрові насоси [4].

1.4. Мета і задачі кваліфікаційної роботи

Мета роботи полягає у розробленні комплексної системи обґрунтованих організаційно-технічних заходів з монтажу, технічного обслуговування та ремонту шестеренного насоса марки НШМ-5-25. Реалізація цієї системи має забезпечити підвищення надійності та довговічності насосного агрегату, стабільність технологічних параметрів процесу перекачування харчових продуктів на молокопереробних підприємствах, а також суттєве зниження експлуатаційних витрат на утримання обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

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

1. Проаналізувати конструктивні особливості, технічні характеристики та функціональні умови роботи шестеренного насоса НШМ-5-25 харчового виконання.

2. Провести огляд та порівняльний аналіз конструкцій аналогічних об'ємних насосів, що застосовуються у харчовій промисловості.

3. Виконати інженерний розрахунок робочих органів насоса: геометричний розрахунок шестеренної пари, гідравлічний розрахунок трубопровідної системи та енергетичний розрахунок з вибором приводного електродвигуна.

4. Виконати розрахунок міцності зубів шестерень за контактними напруженнями та напруженнями згинання з перевіркою запасів міцності.

5. Розробити схему монтажу насоса НШМ-5 з обґрунтуванням такелажного оснащення, методів вивірки на фундаменті та переліку монтажного інструменту.

6. Розробити науково обґрунтовану систему планово-попереджувальних ремонтів насоса з розрахунком структури ремонтного циклу та трудомісткості ремонтних робіт.

7. Розробити детальну технологічну документацію на проведення ремонтно-відновлювальних робіт, включаючи порядок складання вузла ведучого вала.

8. Провести дефектування деталей насоса після розбирання та розробити технологічний маршрут механічної обробки вала.

9. Розробити заходи із забезпечення безпеки праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації насосного обладнання.

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

2. Конструкторська частина

2.1. Інженерний розрахунок шестеренного насоса НШМ 5-25

1. Вихідні дані для розрахунку [9-13]

Робоче середовище: сметана (20% жирності, структурована пастоподібна рідина).

Температура продукту (T): +4°C ... +6°C.

Густина продукту (ρ): 1018 кг/м³.

Динамічна в'язкість (μ): 1,2 Па·с = 1200 цП.

Кінематична в'язкість (ν): $\nu = \mu/\rho = 1,2/1018 \approx 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с} = 1180 \text{ сСт}$.

Номінальна об'ємна подача (Q_{act}): 5,0 м³/год = $1,389 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} \approx 83,3 \text{ л/хв}$.

Робочий тиск нагнітання (P_{dis}): 0,25 МПа = 2,5 бар.

Частота обертання ротора (n): 1450 об/хв.

2. Визначення геометричних параметрів та робочого об'єму насоса

Номінальний робочий об'єм насоса за один оберт (V_{rev}) розраховується через об'ємну подачу при стандартній частоті обертання $n = 1450 \text{ об/хв}$ (24,17 об/с). Оскільки швидкість зсуву при стандартних обертах вища, об'ємний ККД для в'язкої сметани приймемо на рівні $\eta_v \approx 0,82$.

$$Q_{\text{act}} = V_{\text{rev}} \cdot n \cdot \eta_v$$

Звідси необхідний робочий об'єм за один оберт:

$$V_{\text{rev}} = Q_{\text{act}} / (n \cdot \eta_v) = 1,389 \cdot 10^{-3} / (24,17 \cdot 0,82) \approx 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{об} = 70,0 \text{ см}^3/\text{об}$$

При стандартних обертах (1450 об/хв) повна геометрія проточних робочих органів НМШ 5-25 забезпечує паспортну подачу до 5 м³/год саме за такого питомого об'єму зачеплення.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кутень Р.В.			2. Конструкторська частина		
Перевір.		Шинкарик М.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кравець О.І.					
Затверд.		Пилипець О.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						27	
					гр. МО-41		

3. Гідравлічний розрахунок та верифікація втрат тиску

Розрахунок руху сметани в нержавіючому технологічному трубопроводі внутрішнім діаметром $d = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$.

3.1. Швидкість течії продукту в трубі

$$v = 4 \cdot Q_{\text{act}} / (\pi \cdot d^2) = 4 \cdot 1,389 \cdot 10^{-3} / (3,1416 \cdot 0,05^2) \approx 0,71 \text{ м/с}$$

3.2. Число Рейнольдса (Re)

$$Re = v \cdot d / \nu = 0,71 \cdot 0,05 / 1,18 \cdot 10^{-3} \approx 30,1$$

Режим течії залишається ламінарним ($Re = 30,1 \ll 2300$).

3.3. Коефіцієнт гідравлічного тертя (формула Пуазейля)

$$\lambda = 64 / Re = 64 / 30,1 \approx 2,126$$

3.4. Втрати тиску по довжині ($L = 30 \text{ м}$)

$$\Delta P_{\text{lin}} = \lambda \cdot (L/d) \cdot (\rho \cdot v^2/2) = 2,126 \cdot (30/0,05) \cdot (1018 \cdot 0,71^2/2) \approx 327 \text{ 000 Па} \approx 0,33 \text{ МПа}$$

Для покриття цих втрат та подолання місцевих опорів (арматури, колін, вузлів фасування цеху) сумарний необхідний диференціальний тиск насоса приймаємо:

$$P_{\text{pump}} = 0,40 \text{ МПа} = 4,0 \text{ бар}$$

4. Розрахунок потужності на валу насоса та вибір електродвигуна

4.1. Корисна (гідравлічна) потужність

$$P_{\text{hyd}} = Q_{\text{act}} \cdot P_{\text{pump}} = 1,389 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \text{ 000} \approx 556 \text{ Вт}$$

4.2. Потужність на валу насоса

При стандартній частоті 1450 об/хв втрати на дисипацію та внутрішнє тертя (зсув) в'язкого продукту в зазорах між зубами шестерень збільшуються, тому гідромеханічний ККД приймемо $\eta_{\text{hm}} \approx 0,68$:

$$P_{\text{shaft}} = P_{\text{hyd}} / \eta_{\text{hm}} = 556 / 0,68 \approx 818 \text{ Вт}$$

4.3. Необхідна потужність електродвигуна

З урахуванням коефіцієнта технологічного запасу ($k = 1,2$) та ККД прямого муфтового з'єднання ($\eta_{\text{trans}} = 1,0$):

$$P_{\text{mot}} = P_{\text{shaft}} \cdot k / \eta_{\text{trans}} = 818 \cdot 1,2 / 1,0 \approx 982 \text{ Вт} \approx 0,98 \text{ кВт}$$

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

Згідно зі стандартним рядом промислових двигунів, обираємо трифазний асинхронний двигун потужністю 1,5 кВт зі стандартною частотою обертання 1450 об/хв (модель АИР80А4). Такий вибір забезпечує надійний пуск агрегату «на холодну» і дозволяє працювати напряду без проміжних редукторів.

5. Розрахунок крутного моменту

5.1. Кутова швидкість ведучого вала

$$\omega = 2\pi \cdot n / 60 = 2 \cdot 3,1416 \cdot 1450 / 60 = 151,84 \text{ рад/с}$$

5.2. Крутний момент на валу насоса

$$M_{tr} = P_{shaft} / \omega = 818 / 151,84 \approx 5,39 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Аналіз моменту: Оскільки робоча кутова швидкість висока, номінальний крутний момент є меншим, ніж при редукторному виконанні (5,39 Н·м проти 9,43 Н·м). Проте пусковий момент «зриву» тиксотропної структури сметани в момент запуску двигуна без частотного плавного пуску має значний пік. Пружна сполучна муфта розраховується з коефіцієнтом запасу 2,5 на піковий момент не менше 13,5 Н·м.

Таблиця 2.1- Підсумкова зведена таблиця розрахованих параметрів НМШ 5-25

Параметр	Значення	Одиниці	Технічний коментар
1	2	3	4
Робоче середовище	Сметана 20%	—	Температура +4°C...+6°C, пастоподібна структура
Номінальна подача (Q)	5,0	м³/год	Цільова продуктивність ділянки
Робоча частота обертання (n)	1450	об/хв	Стандартна (прямий привід від двигуна)
Розрахунковий тиск насоса (P)	0,40 (4,0)	МПа (бар)	З урахуванням опору магістралей цеху

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4
Швидкість продукту в трубі	0,71	м/с	В межах норми для молочних ліній
Потужність на валу (P_{shaft})	0,82	кВт	З урахуванням підвищених втрат на зсув
Потужність двигуна (P_{mot})	1,5	кВт	Модель АИР80А4 (1450 об/хв)
Номінальний крутний момент (M_{tr})	5,39	Н·м	Розрахунок муфти на злам: від 13,5 Н·м
Виконання проточної частини	Нержавіюча сталь	—	Харчовий допуск (сталь AISI 304 або AISI 316L)
Тип вузла ущільнення вала	Торцеве	—	Одинарне торцеве ущільнення під СІР-мийку цеху

2.2. Геометричний та міцнісний розрахунок шестеренної пари насоса шестеренного НШМ 5-25

Таблиця 2.2- Вихідні дані для розрахунку

Модуль, m	Число зубів, z	Ширина зуба, b	Крутний момент, Мтр
6,5 мм	10	45,5 мм	10,25 Н·м

Для завершення повного циклу проектування насоса НШМ 5-25 виконано детальний геометричний та міцнісний розрахунок шестеренної пари

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(евольвентного прямозубого зачеплення) на основі наведених вище базових параметрів. Розрахунок базується на стандартах машинобудування (ISO 6336 / ДСТУ ГОСТ 21354) та адаптований під специфіку харчових нержавіючих сталей (наприклад, AISI 304 / 12X18H10T).

1. Повний геометричний розрахунок зачеплення

Для стандартного зачеплення без зміщення (коефіцієнт зміщення вихідного контуру $x_1 = x_2 = 0$) та кута профілю інструменту $\alpha = 20^\circ$ визначено повну топологію зубів.

Таблиця 2.3- Параметри шестерні насоса НШМ 5-25

Параметр	Формула	Значення
Основний крок зуба, p_o	$p_o = \pi \cdot m \cdot \cos(\alpha)$	19,19 мм
Товщина зуба по ділильному колу, s	$s = \pi \cdot m / 2$	10,21 мм
Висота головки зуба, h_a	$h_a = m$	6,50 мм
Висота ніжки зуба, h_f	$h_f = 1,25 \cdot m$	8,125 мм
Повна висота зуба, h	$h = h_a + h_f$	14,625 мм
Діаметр основного кола, d_b	$d_b = d_d \cdot \cos(\alpha)$	61,08 мм
Радіус кривизни галтелі ніжки, r_f	$r_f = 0,38 \cdot m$	2,47 мм

$$p_o = 3,1416 \cdot 6,5 \cdot \cos(20^\circ) = 20,42 \cdot 0,9397 \approx 19,19 \text{ мм}$$

$$d_b = 65 \cdot \cos(20^\circ) = 65 \cdot 0,9397 \approx 61,08 \text{ мм} \quad (d_d = 65 \text{ мм — ділильний діаметр})$$

2. Кінематичний розрахунок (швидкості та перекриття)

Коефіцієнт торцевого перекриття

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

Коефіцієнт торцевого перекриття ($\varepsilon\alpha$) показує середню кількість зубів, що одночасно перебувають у зачепленні. Для $z = 10$ та $\alpha = 20^\circ$, з огляду на те, що шестерні однакові ($r_{a1} = r_{a2} = 39$ мм, $r_{b1} = r_{b2} = 30,54$ мм, $a = 65$ мм):

$$\varepsilon\alpha = [2 \cdot \sqrt{(39^2 - 30,54^2)} - 65 \cdot \sin(20^\circ)] / 19,19$$

$$\varepsilon\alpha = [2 \cdot 24,25 - 22,23] / 19,19 = 26,27 / 19,19 \approx 1,37$$

Оскільки $\varepsilon\alpha = 1,37 > 1$, зачеплення працюватиме плавно, без ударів.

Максимальна швидкість ковзання

Максимальна швидкість ковзання в зачепленні (v_s). Ковзання викликає механічне тертя та локальний нагрів продукту і досягає максимуму в точці входу зуба в зачеплення:

$v_s = \omega \cdot d_d \cdot \sin(\alpha) \cdot (\varepsilon\alpha / 2) \cdot 10^{-3}$, де $\omega = 78,54$ рад/с (з попереднього розрахунку)

$$v_s = 78,54 \cdot 65 \cdot 0,342 \cdot 0,685 \cdot 10^{-3} \approx 1,20 \text{ м/с}$$

3. Розрахунок міцності зубів за контактними напруженнями

Контактні напруження за Герцом (σ_H) визначають стійкість робочих поверхонь зубів до викришування (пітингу):

$$\sigma_H = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{[(F_t / (d_d \cdot b)) \cdot ((u+1)/u) \cdot K_H]}$$

Z_E — коефіцієнт пружності матеріалів. Для нержавіючої сталі AISI 304 ($E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$): $Z_E \approx 190 \text{ МПа}^{0,5}$

Z_H — коефіцієнт форми зуба, для $\alpha = 20^\circ$: $Z_H \approx 2,5$

Z_ε — коефіцієнт перекриття: $Z_\varepsilon = \sqrt{[(4 - \varepsilon\alpha)/3]} = \sqrt{[(4 - 1,37)/3]} \approx 0,936$

u — передавальне відношення. Оскільки шестерні однакові, $u = 1,0$

K_H — коефіцієнт динамічного навантаження: $K_H = 1,2$

Колове зусилля в зачепленні (F_t) діє за дотичною до ділильного кола і передає корисний момент (береться пусковий момент $M_{\max} = 20,5 \text{ Н} \cdot \text{м} = 20\,500 \text{ Н} \cdot \text{мм}$):

$$F_t = 2 \cdot M_{\max} / d_d = 2 \cdot 20\,500 / 65 \approx 630,77 \text{ Н}$$

Розрахунок діючих контактних напружень (σ_H):

$$\sigma_H = 190 \cdot 2,5 \cdot 0,936 \cdot \sqrt{[(630,77 / (65 \cdot 45,5)) \cdot (2/1) \cdot 1,2]}$$

$$\sigma_H = 444,6 \cdot \sqrt{(0,2132 \cdot 2,4)} = 444,6 \cdot \sqrt{0,5117} = 444,6 \cdot 0,7153 \approx 318 \text{ МПа}$$

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

Перевірка: допустиме контактне напруження для нержавіючої сталі AISI 304 після термообробки (об'ємна загартовка до HB $\approx$ 220...240) становить $[\sigma_H] \approx 450$ МПа. Оскільки σ_H (318 МПа) $<$ $[\sigma_H]$ (450 МПа), поверхні зубів повністю захищені від передчасного зносу та викришування (запас 29%).

4. Розрахунок зубів на витривалість за напруженнями згинання

Напруження згинання в небезпечному перерізі ніжки зуба (σ_F) визначає стійкість зуба до поломки при пікових пускових навантаженнях:

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\epsilon \cdot (F_t / (b \cdot m)) \cdot K_F$$

Y_F — коефіцієнт форми зуба (концентрація напружень у ніжці). Для $z = 10$: $Y_F \approx 4,35$

Y_S — коефіцієнт градієнта напружень: $Y_S \approx 1,03$

Y_ϵ — коефіцієнт кута нахилу/перекриття: $Y_\epsilon = 1/\epsilon\alpha = 1/1,37 \approx 0,73$

K_F — коефіцієнт розподілу навантаження: $K_F = 1,3$

Таблиця 2.4 Підсумкові геометричні та міцнісні параметри шестеренної пари НШМ 5-25

Параметр зачеплення	Точне значення
Основний крок зуба, p_o	19,19 мм
Повна висота зуба, h	14,625 мм
Діаметр основного кола, d_b	61,08 мм
Коефіцієнт торцевого перекриття	1,37 (безперервний рух)
Макс. швидкість ковзання в контакті	1,20 м/с
Розрахункове контактне напруження	318 МПа (запас 29%)
Розрахункове напруження згинання	9,06 МПа (запас $>1000\%$)

Розрахунок діючих напружень згинання (σ_F):

$$\sigma_F = 4,35 \cdot 1,03 \cdot 0,73 \cdot (630,77 / (45,5 \cdot 6,5)) \cdot 1,3$$

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

$$\sigma_F = 3,27 \cdot 2,132 \cdot 1,3 \approx 9,06 \text{ МПа}$$

Перевірка: допустиме напруження згинання для харчової хромонікелевої сталі становить $[\sigma_F] \approx 120 \dots 140 \text{ МПа}$. Оскільки σ_F (9,06 МПа) набагато менше $[\sigma_F]$ (120 МПа), зуби мають колосальний (понад 10-кратний) запас міцності на злам. Це необхідно для того, щоб насос міг безперешкодно “проковтнути” випадкові технологічні згустки переохолодженого цукрового сиропу чи карамелі під час пуску лінії.

Висновок: геометричні параметри зачеплення відповідають стандартному евольвентному профілю без зміщення, коефіцієнт торцевого перекриття $\varepsilon_\alpha = 1,37$ забезпечує плавну та безударну роботу передачі. Розрахунки на контактну витривалість та витривалість на згин підтверджують значний запас міцності зубів шестеренної пари за обраних матеріалів і режимів навантаження насоса НШМ 5-25.

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

3. Технологічна частина

3.1. Розробка схеми монтажу насосу марки НШМ-5

3.1.1. Вибір такелажного оснащення та схеми монтажу насоса марки НШМ-5

Шестеренні насоси марки НШМ-5-25 (або повні електронасосні агрегати на їхній основі) транспортуються з заводу-виробника у повністю зібраному та змонтованому вигляді на загальній опорній фундаментній плиті чи зварній сталевій рамі. Для забезпечення надійного захисту конструктивних елементів від механічних пошкоджень під час транспортування обладнання зазвичай пакують у щільні дерев'яні ящики промислового типу П-1.10, виготовлені відповідно до суворих нормативних вимог ГОСТ 10198-78. Перед укладанням насосного агрегату в транспортну тару вхідні й вихідні патрубки насоса обов'язково закривають тимчасовими герметичними заглушками або щільними фланцевими накладками. Це запобігає випадковому потраплянню сторонніх предметів, пилу, вологи та бруду всередину робочої камери. Всі необроблені та відкриті металеві робочі поверхні, включаючи вихідний кінець ведучого вала, ретельно покриваються спеціальним консерваційним антикорозійним мастилом.

Кріплення насосного агрегату до брусів днища дерев'яного ящика здійснюється за допомогою чотирьох потужних болтів із шайбами, які фіксуються через отвори в опорній рамі. Для унеможливлення самовільного викручування кріпильних елементів під впливом динамічних та вібраційних навантажень під час перевезення, болти додатково контрують і зв'язують м'яким сталевим дротом до транспортних кронштейнів. Комплект експлуатаційної документації, що включає оригінальний паспорт виробу, технічний опис та інструкцію (керівництво) з експлуатації Н42.878.00.000 РЭ, герметично упаковують у спеціальний вологозахисний поліетиленовий пакет і розміщують всередині ящика у надійно захищеному від механічних пошкоджень місці.

					<i>КРБ 064.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>3. Технологічна частина</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кутень Р.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Шинкарик М.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кравець О.І.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець О.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						35	
					<i>гр. МО-41</i>		

Розпакування шестеренного насоса НШМ-5 на об'єкті виконують у строго визначеній технологічній послідовності. Спочатку акуратно демонтують верхню кришку та бокові захисні щити дерев'яного ящика. Після цього оператори розконтровують та викручують фіксувальні транспортні болти в нижній частині тари, які безпосередньо з'єднують опорну плиту агрегату з дерев'яною основою. За допомогою вантажопідіймального механізму (наприклад, крана або тельфера) насосний агрегат плавно піднімають на висоту, достатню для безпечного вилучення тари, після чого обладнання переміщують на чистий монтажний майданчик цеху для проведення детального візуального огляду, перевірки комплектності та зняття шару консерваційного мастила з робочих поверхонь вала.

Комплексна технологія монтажу та переміщення в межах цеху. Загальна технологія монтажу обладнання, яке постачається у вигляді зібраних електронасосних блоків, передбачає послідовне виконання комплексу взаємопов'язаних операцій. До їхнього складу входять: транспортування обладнання з приоб'єктного складу безпосередньо до майданчика монтажу або укрупненого складання, повне розпакування та ретельна розконсервація всіх вузлів, проведення інструментальної ревізії, виконання необхідних зварювальних і такелажних операцій у межах виділеної монтажної зони, точна геометрична розмітка місць встановлення обладнання на фундаменті, безпосередній монтаж насоса у проєктне просторове положення, точна інженерна вивірка його розташування по осях та проведення комплексних випробувань на холостому ходу.

Переміщення важкого насосного агрегату від складу до безпосереднього місця його встановлення здійснюють переважно механізованим способом за допомогою внутрішньозаводського транспорту. Зважаючи на те, що повна маса агрегату типу НМШ 5-25 разом із рамою та комплектувальним електродвигуном може становити від 45 до 130 кг (залежно від потужності та виконання двигуна), для його транспортування в межах цеху найчастіше використовують спеціальні платформні візки вантажопідйомністю від 0,5 до 1,5 тонн, які обладнані м'якими

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прогумованими колесами для захисту підлоги. За умов обмеженого простору або за потреби переміщення по нерівних поверхнях проміжних ділянок, агрегат встановлюють на міцні дерев'яні чи металеві салазки. З метою суттєвого зменшення сили тертя та полегшення переміщення, під салазки підкладають сталеві котки однакового діаметра, що дозволяє плавно пересувати обладнання за допомогою засобів малої механізації, таких як електрокари або ручні лебідки.

Вибір такелажного оснащення та інженерна схема стропування. Безпосередній монтаж, підйом та встановлення шестеренного насоса НШМ-5 на залізобетонний чи сталевий фундамент виконують із використанням електричного тельфера або мостового крана, підвішеного до верхньої монорейкової колії. Для забезпечення повної безпеки праці та збереження геометричної точності обладнання, такелажні роботи починають із правильного підбору вантажопідіймальних засобів і розрахунку схеми стропування.

Вантажопідіймальні операції виконують за допомогою двогілкового стропа типу 2СТ (строп текстильний двогілковий) або канатного стропа 2СК вантажопідйомністю 1,0–2,0 тонни. Використання м'яких текстильних стропів є більш пріоритетним, оскільки вони мають високу еластичність, не деформують делікатні деталі насоса та повністю виключають пошкодження захисного лакофарбового покриття корпусу. Для підйому обирають строп із розрахунковим руйнівним (розривним) зусиллям гілок не менше 150–190 кН. Довжину гілок стропа підбирають таким чином, щоб кут між ними в процесі підйому не перевищував 90 градусів, оскільки збільшення цього кута призводить до критичного зростання внутрішніх розтягувальних зусиль у стропах.

Схема стропування шестеренного агрегату вимагає суворого дотримання правил безпеки. Стropування безпосередньо за вихідний кінець ведучого вала насоса, за захисний кожух муфти або за поодинокий рим-болт електродвигуна під час підйому всього моноблока в зборі категорично забороняється. Таке неправильне чіплення може призвести до вигину вала, порушення співвісності або падіння вантажу через руйнування різьби рим-болта. Гілки стропа підводять знизу під чавунну або зварну сталеву опорну раму агрегату методом «в обхоп» у

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

двох точках. Ці точки вибирають з обох боків від загального центра мас (ближче до важких частин насоса та статора двигуна) і надійно фіксують від ковзання, щоб гарантувати повністю горизонтальне положення агрегату без перекосів під час підйому та переміщення.

Процедура інструментальної вивірки, регулювання та пусконаладження. Під час опускання агрегату на підготовлену поверхню фундаменту контролюють точність його посадки на заздалегідь закладені анкерні (фундаментні) болти. Процес ретельної інженерної вивірки передбачає постійний контроль відповідності просторового розташування обладнання проєктним геометричним відміткам і центральним осям. Фахівці ретельно перевіряють строгу горизонтальність і вертикальність конструкції за допомогою брускового слюсарного рівня з точністю 0,05 мм/м, який встановлюють на оброблену площину нагнітального патрубку або безпосередньо на вал. За наявності відхилень, положення насоса НШМ-5 регулюють по висоті за допомогою встановлення плоских сталевих підкладок різної товщини під опорну раму.

Окремим найважливішим етапом є інструментальна перевірка співвісності валів насоса та електродвигуна. Навіть за умови постачання агрегату на єдиній рамі, після транспортування та затягування анкерів можливі мікродеформації. Співвісність перевіряють за допомогою радіально-осьових щупів, індикаторів годинникового типу або лазерних систем центрування на сполучній муфті. Допустиме радіальне та осьове зміщення валів не повинно перевищувати значень, вказаних у технічній документації (зазвичай не більше 0,1 мм).

Після завершення остаточного затягування анкерних болтів і повного затвердіння цементного розчину, яким підливали опорну раму, приступають до предпускових і пусконаладжувальних робіт. Перед першим пуском обов'язково перевіряють наявність, надійність і справність усіх захисних пристроїв, заземлення корпусу двигуна, а також систем автоматичного блокування та аварійного вимкнення електроживлення.

Особливу, підвищену увагу приділяють роботі вбудованого запобіжного клапана насоса НШМ-5. Цей клапан є критично важливим елементом безпеки:

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

він захищає робочі вузли насоса, корпусні деталі та підключені трубопроводи від руйнівних перевантажень тиском і забезпечує стабільну й безпечну експлуатацію всього гідравлічного контуру, автоматично скидаючи надлишок перекачуваної рідини назад у всмоктувальний патрубок у разі перевищення номінального робочого тиску.

У процесі безпосереднього налагодження здійснюють точне регулювання механізмів, контролюють герметичність торцевого чи сальникового ущільнення вала, перевіряють параметри роботи агрегату на всіх передбачених технологічних і швидкісних режимах відповідно до його паспортних характеристик. Додатково за допомогою приладів інструментального контролю перевіряють жорсткість опорних конструкцій під навантаженням, повну відсутність залишкових деформацій, амплітуду вібрацій корпусу та температуру нагрівання підшипникових вузлів і статора двигуна. Тільки після успішного і безперебійного завершення всіх етапів короточасних випробувань та підписання відповідного акта, шестеренний насос НШМ-5 офіційно допускається до введення в постійну промислову експлуатацію.

3.1.2 Вибір методів вивірки насосу марки НШМ-5 на фундаменті. Вибір інструментів та пристосувань

Монтаж шестеренного насоса марки НШМ-5-25 (або повного електронасосного агрегату на його основі) на залізобетонну чи металеву фундаментну основу передбачає виконання комплексу послідовних технологічно пов'язаних операцій. Ці операції спрямовані на забезпечення точного просторового розташування обладнання відповідно до вимог проєктно-конструкторської документації та створення оптимальних умов для його надійної, безперебійної й безпечної експлуатації протягом усього міжремонтного періоду. Процес монтажу включає ретельну підготовку місця встановлення, геометричну розмітку осей, розміщення первинних опорних елементів, безпосереднє встановлення насосного агрегату на фундамент, точний

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструментальний контроль його просторового положення, виконання будівельної підливки бетонним розчином та остаточне жорстке закріплення конструкції за допомогою фундаментних (анкерних) болтів.

Після завершення підготовки залізобетонного фундаменту, приймання його за актом та детальної перевірки всіх геометричних параметрів (висотних відміток, відстаней між осями колодязів тощо) виконують укладання базових опорних елементів (металевих пакетів підкладок), на які в подальшому встановлюють насосний агрегат. За допомогою вантажопідіймального обладнання (електричного тельфера) конструкцію переміщують у монтажну зону та акуратно розташовують на підготовлених опорах, суміщаючи отвори рами з анкерними болтами або колодязями. На цьому етапі здійснюють попереднє встановлення обладнання, що дозволяє інженерам і монтажникам оцінити відповідність його положення проєктним координатам, перевірити зазори та якісно підготуватися до проведення остаточної інженерної вивірки.

Для забезпечення необхідної точності монтажу шестеренного насоса НШМ-5 обов'язково проводять тривимірний контроль його положення в горизонтальній і вертикальній площинах, а також перевіряють висотні відмітки окремих базових поверхонь. Вивірка насосного обладнання є однією з найважливіших операцій всього монтажного процесу. Від її якості безпосередньо залежить правильність взаємодії внутрішніх механізмів, відсутність критичних напружень у корпусі, рівномірність розподілу динамічних навантажень на підшипникові вузли, мінімізація вібрації та загальна довговічність конструкції. Після завершення контрольних вимірювань і фіксації положення, вільний простір між нижньою опорною поверхнею рами обладнання та верхньою площиною фундаменту заповнюють спеціальним безусадковим підливальним розчином. Цей розчин забезпечує максимальне щільне прилягання конструкції до основи, фіксує регульовальні підкладки та гарантує рівномірну передачу статичних і динамічних навантажень від насоса на фундамент.

У випадках, коли будівельний фундамент виготовлений на спеціалізованих заводах або безпосередньо на об'єкті з надзвичайно високою інженерною

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точністю, а монтажні допуски жорстко витримані під час його спорудження, встановлення насосного агрегату НШМ-5 може виконуватися прогресивним методом безвивірочного монтажу. Такий спосіб передбачає автоматичне досягнення необхідного положення обладнання за осями й висотою без проведення тривалих додаткових регулювальних і підгоночних операцій після його встановлення. Точність у цьому випадку повністю забезпечується завчасним ідеально правильним розташуванням опорних елементів або спеціальних кондукторів відповідно до розрахункових координат і допустимих мікронних відхилень. Використання передового безвивірочного монтажу дозволяє істотно скоротити загальну тривалість монтажних робіт на об'єкті, значно зменшити трудомісткість процесу та підвищити його загальну економічну ефективність.

Коригування просторового положення насосного агрегату в горизонтальній площині виконують із застосуванням стаціонарних вантажопідіймальних механізмів, гвинтових монтажних пристроїв і малогабаритних домкратів. Усі необхідні мікропереміщення здійснюють у межах технологічних зазорів, що існують між стержнями фундаментних болтів та монтажними отворами базових елементів рами. Якщо конструкцією фундаменту заздалегідь передбачені глухі колодязі для встановлення фундаментних болтів, регулювання положення обладнання виконують у межах цих колодіїв до моменту їх заливки бетоном та остаточного закріплення. Для точного коригування висотного положення та забезпечення ідеальної горизонтальності вздовж і поперек вала використовують набори сталевих регулювальних прокладок, тонких каліброваних клинів або гвинтових опорних елементів спеціальної конструкції.

Після завершення всіх операцій з вивірки, центрування сполучної муфти насоса з двигуном та отримання необхідних нормативних показників точності, виконують остаточне жорстке закріплення агрегату НШМ-5 на фундаменті. Для цього фундаментні анкерні болти послідовно (хрест-нахрест) затягують із чітко розрахованим зусиллям за допомогою динамометричного ключа, значення якого

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначено технічною документацією заводу-виробника АО «ГМС Ливгидромаш». Надійна та рівномірна фіксація обладнання повністю виключає найменшу можливість його зміщення, розцентрування чи розхитування під час пуску та тривалої роботи, що гарантує загальну стабільність технологічного процесу перекачування середовищ.

Для якісного виконання всього спектра монтажних робіт, просторового регулювання, технічного обслуговування, центрування валів та проведення фінішних контрольних вимірювань використовують комплект спеціалізованого обладнання, вимірювальних приладів високої точності та слюсарно-монтажного інструменту. До складу основних засобів належать: рулетка для точного визначення лінійних розмірів і контролю габаритних монтажних відстаней; оптичний або лазерний нівелір для перевірки висотних відміток фундаменту; точний слюсарний та будівельний рівні для безперервного контролю горизонтальності робочих поверхонь; гвинтові домкрати для плавного піднімання та точного мікрометричного позиціонування важких вузлів; рим-болти для безпечного виконання такелажних операцій, а також універсальний набір слюсарно-монтажного інструменту, необхідного для складання, регулювання, підтягування ущільнень і остаточного закріплення окремих елементів конструкції.

монолітну фундаментну основу, вибір конкретних марок інструментів і пристроїв здійснюють з урахуванням специфічних умов монтажно́ї зони, маси обладнання (яка для НШМ-5 становить близько 40–120 кг) та суворих вимог до точності його встановлення. Повний розширений перелік основних інструментів, пристроїв, матеріалів та засобів інструментального контролю, які використовуються під час монтажу насоса НШМ-5, наведено в таблиці 3.1.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1.– Матеріали та інструменти для монтажу

№ п/п	Матеріали	к-сть	№ п/п	Інструменти	к-сть
1	2	3	4	5	6
1	Сталевий в'язальний дріт для фіксації елементів	2 кг	1	Набір ріжкових ключів 10–36 мм	1 компл.
2	Паронітові прокладки для фланців патрубків	4 шт.	2	Ключ двосторонній кільцевий колінчастий 22–62 мм	1 шт.
3	Масило консистентне (Литол-24) для монтажу валів	1 кг	3	Набір щупів №2 (0,02–1,0 мм) для центрування муфт	1 компл.
4	Манжети ущільнювальні (запасні) ГОСТ 6969-74	4 шт.	4	Молоток слюсарний з дерев'яною ручкою 0,8 кг	1 шт.
5	Антикорозійна ґрунтовка/фарба для рами та вузлів	1 кг	5	Рулетка вимірювальна металева (клас II), 5 м	1 шт.
6	Кріпильні вироби допоміжні (болти, гайки, шайби)	1 комплект	6	Штангенциркуль типу ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89	1 шт.
7	Строп текстильний двогілковий 2СТ вантаж. 2-3 т	1 шт.	7	Набір торцевих головок з тріскачкою та подовжувачем	1 компл.
8	Фундаментні анкерні болти з гайками та шайбами	4 компл.	8	Лопатка монтажна (лом підніжний короткий)	1 шт.
9	Прокладки регулювальні калібровані сталеві (тонкі)	1 комплект	9	Електротельфер канатної підвіски вантаж. до 3 т	1 шт.

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6
10	Підливальний безусадковий дрібнозернистий розчин	0,05 м³	10	Висок будівельний сталевий зі шнуром (для осей)	1 шт.
11	Електроди зварювальні типу УОНИ-13/55 (для рами)	2 кг	11	Рівень будівельний / слюсарний брусковий 1000 мм	1 шт.
12	Обтиральний матеріал (чисте ганчір'я, бавовна)	2 кг	12	Домкрат гвинтовий монтажний низький ДМ-5 (5 т)	1 шт.
13	Металеві опорні регулювальні підкладки (товсті)	8 шт.	13	Нівелір оптичний високої точності зі штативом	1 компл.
14	Рим-болти монтажні М12 ГОСТ 4751-73	4 шт.	14	Набір спеціальної крейди та маркерів для розмітки	1 компл.

3.2. Розробка технології ремонту вузла розпилювального пристрою насосу марки НШМ-5

3.2.1. Аналіз характерних причин виходу з ладу насоса марки НШМ-5. Розробка графіка планово-попереджувального ремонту насоса марки НШМ-5

Найбільш інтенсивному зношуванню в процесі експлуатації піддаються рухомі та спряжені елементи шестеренного насоса марки НШМ-5-25 (або електронасосного агрегату на його основі), зокрема робочі органи — ведучий і ведений ротори (шестерні), торцеві поверхні опорних втулок (підшипників ковзання), а також вали приводних механізмів і елементи торцевого чи сальникового ущільнення вала. Саме ці вузли працюють в умовах безперервного рідинного або граничного тертя, високого гідродинамічного тиску та значних знакозмінних навантажень, що суттєво прискорює втрату їхньої працездатності.

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

Додатковими зовнішніми та внутрішніми факторами, які негативно впливають на надійність роботи насосного обладнання, є вібраційні навантаження від погано відцентрованої муфти, пульсації тиску в магістралі, підвищена температура перекачуваного середовища (наприклад, гарячих мазутів чи олив) та наявність агресивних технологічних домішок. У сукупності ці чинники за наявності навіть дрібнодисперсних механічних частинок у рідині призводять до виникнення інтенсивного абразивного та корозійно-механічного зношування робочих поверхонь зубів шестерень та внутрішніх поверхонь корпусу й кришок насоса.

У разі значного загального зносу елементів качаючого вузла (роторів та втулок) доцільним є виконання їх комплексної одночасної заміни на новий ремкомплект, що обумовлено економічною недоцільністю тривалого відновлення окремих деталей через високу вартість прецизійних ремонтно-відновлювальних технологічних операцій. Бронзові або алюмінієві підшипникові втулки ковзання рекомендується піддавати плановій заміні не рідше ніж один раз на 1,5 року безперервної експлуатації, що забезпечує стабільність робочих зазорів, запобігає радіальному зсуву роторів та значно зменшує ризик аварійного заклинювання насоса. У випадку критичного зношення шийок валів приводу, відновлення їх працездатності здійснюють за допомогою методів електродугового чи газотермічного наплавлення зношених поверхонь з подальшою токарною та механічною обробкою — включаючи зняття надлишкового шару металу та остаточне шліфування до необхідних точних геометричних і шорсткісних параметрів.

Під час експлуатації обв'язувальних технологічних трубопроводів насосної установки поступово виникають характерні несправності у фланцевих, нарізних та муфтових з'єднаннях патрубків, а також у запірно-регулюючій та захисній арматурі, до якої належать вентиля, зворотні клапани та вбудований або магістральний запобіжний клапан. Додатково в процесі тривалої експлуатації спостерігаються корозійні ураження стінок труб, утворення мікротріщин, поява резонансних вібрацій через відсутність компенсаторів, а також ослаблення

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кріпильних елементів (болтів, гайок) трубопровідних систем і опорної рами. Усі ці дефекти вкрай негативно впливають на герметичність системи, призводять до витоків перекачуваного продукту або до підсосу повітря на всмоктувальній лінії, що повністю порушує працездатність об'ємного насоса.

Під час проведення поточного ремонту трубопроводів і запірної арматури здійснюють повне усунення нещільностей у з'єднаннях шляхом рівномірного підтягування нарізних стиків, встановлення ремонтних хомутів, заміни зношених паронітових або бензостійких гумових ущільнювальних прокладок, а також виконання інших відновлювальних операцій. Також оперативно здійснюється усунення дефектів фіксації трубопроводів із забезпеченням їх жорсткого та надійного закріплення у проектному положенні на опорах.

Регламентні огляди трубопровідних систем насосної установки рекомендується проводити з різною періодичністю залежно від типу середовища, що транспортується: паропроводи та технологічні імпульсні лінії — не рідше 8 разів на рік, масляні, паливні та конденсатопроводи — не менше 12 разів на рік (щомісячно), а допоміжні водопровідні системи охолодження — щонайменше 6 разів на рік.

Середній та капітальний ремонти трубопровідних систем включають комплекс розширених відновлювальних робіт, безпосередньо спрямованих на повне відновлення їхньої працездатності та суттєве продовження терміну служби. До таких робіт належать повна заміна зношених чи пошкоджених корозією ділянок труб, переварювання зварних стиків, місць приварювання штуцерів, фланців і ніпелів під манометри, а також локальне заварювання тріщин. За необхідності виконують зміну діаметрів або трасування магістралей із відновленням їхніх проектних технологічних ухилів для виключення утворення повітряних пробок. Також здійснюється обов'язкова заміна ущільнювальних прокладок у фланцевих з'єднаннях, повне оновлення сальникової набивки або торцевих елементів запірної арматури, а також ремонт або повна заміна несправних засувок, що гарантує відновлення абсолютної герметичності системи.

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

Основні характерні дефекти насосного агрегату зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. – Перелік характерних причин виходу з ладу насоса марки НШМ-5 і рекомендацій з їх усунення

№ п/п	Несправність / Дефект	Ймовірна причина виходу з ладу	Метод усунення несправності
1	2	3	4
1	Електропривід агрегату не вмикається при запуску	Пошкодження силової проводки, перегорання плавких запобіжників або спрацювання теплового реле захисту.	Провести дефектовку кабелю, замінити пошкоджений кабель, відновити контакти або налаштувати реле.
2	Надмірні вібрації та підвищений шум під час роботи агрегату	Знос, деформація або вигин ведучого вала насоса; критичний знос підшипникових втулок; порушення співвісності валів насоса та двигуна.	Замінити пошкоджений вал/втулки на нові; виконати повторне лазерне або індикаторне центрування муфти на рамі.
3	Двигун працює, але крутний момент не передається на ротори насоса	Повне руйнування пружних елементів сполучної муфти; зрізання або випадіння шпонки на ведучому валу насоса.	Провести розбирання захисного кожуха, замінити пружні зірочки/пальці муфти, встановити нову шпонку.

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4
4	Чути сильний гул електродвигуна, але робочі органи (шестерні) заклинені	Потрапляння великих механічних частинок у робочу камеру; заклинювання або захоплювання роторів через сухе тертя; повний знос втулок.	Розібрати насос, очистити внутрішню порожнину корпусу від задирів, замінити підшипникові втулки або ротори.
5	Насос працює, але подача рідини значно нижча за номінальну (4,0 м³/год) або повністю відсутня	Великі внутрішні зазори між шестернями та корпусом (високий зворотний перетік); засмічення всмоктувального фільтра; підсос повітря через ущільнення.	Провести ревізію зазорів качаючого вузла (замінити зношені деталі); очистити приймальний фільтр; підтягнути або замінити сальник/торцеве ущільнення.

Технічне обслуговування шестеренного насоса НШМ-5 передбачає систематичне виконання комплексу чітко регламентованих заходів, орієнтованих на тривале підтримання його справного технічного стану, забезпечення високої надійності та безпеки, а також ефективне попередження передчасного аварійного зношування вузлів та агрегатів. Сучасна система ТО включає щоденне, щомісячне та піврічне обслуговування, а також планове виконання ремонтів відповідно до встановлених міжремонтних інтервалів. Технічне обслуговування покупних агрегатів (наприклад, асинхронного електродвигуна) здійснюється в повній відповідності до вимог і часових регламентів, наведених в експлуатаційній документації конкретного заводу-виробника.

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

Щоденне технічне обслуговування включає постійний контроль основних технологічних робочих параметрів за приладами (манометрами, мановакуумметрами) та ретельну візуальну перевірку стану обладнання. У процесі виконання щоденних робіт оператору необхідно перевірити наявність мастила в підшипникових вузлах приводу, оцінити наявність конденсату або витоків продукту на зовнішніх поверхнях і деталях насоса. У разі виявлення витоків через ущільнення вала понад норму, слід негайно виконати підтягування букси сальника або запланувати заміну торцевого ущільнення. Додатково здійснюють візуальний контроль стану електрообладнання, панелі керування, цілісності ізоляції проводів та надійності заземлення рами, підключеного до загальноцехової системи захисного заземлення. Після цього шляхом активації автоматичного вимикача та натискання кнопки «ПУСК» короткочасно перевіряють працездатність агрегату, контролюють роботу блокувальних пристроїв та аварійної кнопки «СТОП». Запуск насоса без заповнення перекачуваною рідиною категорично заборонено, оскільки сухе тертя миттєво руйнує бронзові втулки.

Щомісячне технічне обслуговування охоплює всі без винятку операції щоденного регламенту, а також додаткові глибокі перевірки та регулювання, які виконуються після зняття захисного кожуха сполучної муфти. На цьому етапі детально контролюють технічний стан муфти, перевіряють зазори між її половинами, здійснюють огляд клемних коробок двигуна та внутрішніх елементів пускової апаратури на предмет наявності пилу та вологи. У разі виявлення конденсату в зоні шафи керування проводять ретельне просушування та заміну силікагелю в захисних мішечках пульта. Додатково перевіряють надійність усіх наявних електричних контактних з'єднань, блокувальних пристроїв і клемних затискачів, за потреби виконують їх очищення та підтягування. Контакти магнітних пускачів за наявності слідів підгорання акуратно очищають за допомогою дрібнозернистого наждачного паперу. Обов'язково вимірюють опір ізоляції обмоток електродвигуна після його повного відключення від мережі живлення — значення опору повинно

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

знаходитися в межах не менше 0,5...1,5 МОм (у разі зниження показників двигун демонтують та сушать у сушильній шафі). Додатково інструментально вимірюють фактичний опір захисного заземлення.

Піврічне технічне обслуговування включає виконання всіх без винятку операцій щомісячного регламенту, а також розширену інструментальну перевірку технічного стану всіх вузлів, механізмів та агрегатів насосної установки. За результатами огляду оцінюють реальний ступінь зношування зубів шестерень за допомогою штангенциркуля чи шаблонів, перевіряють відповідність робочого тиску нагнітання паспортним характеристикам (4,0 кгс/см²) та чітко визначають необхідність виконання малого чи середнього ремонту.

Капітальний ремонт насоса НШМ-5 передбачає повне розбирання всього обладнання з обов'язковим повузловим дефектуванням усіх деталей для точного визначення їх фактичного технічного стану. У процесі капітального ремонту виконують складні роботи з відновлення геометричної точності деталей корпусу, повну заміну роторів, втулок, торцевих ущільнень, відновлення експлуатаційних параметрів відповідно до технічних характеристик, а також заміну зношених підшипників електродвигуна. Додатково здійснюють повне оновлення захисних антикорозійних лакофарбових покриттів рами та корпусу. Після завершення ремонтних робіт проводять тривалі гідравлічні та механічні випробування насоса на стенді з підписанням акта приймання.

Окремо жорстко регламентується порядок проведення консервації насоса у разі його тимчасового виведення з експлуатації. Для цього всі внутрішні порожнини очищають від залишків робочого продукту, промивають нейтральною оливою, а зовнішні нефарбовані металеві поверхні, включаючи таблички з маркуванням, покривають захисним консерваційним мастилом К-17 відповідно до ГОСТ 10877-76 або пластичним мастилом ПВК згідно з ГОСТ 19537-83, що гарантує надійний захист від корозії під час тривалого зберігання на складі.

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

Структура ремонтних циклів для шестеренного насосного агрегату марки НШМ-5 має наступний вигляд:

$$K_1 - TO - M_1 - TO - M_2 - TO - M_3 - TO - M_4 - TO - M_5 - TO - C - TO - M_6 - TO - M_7 - TO - M_8 - TO - M_9 - TO - M_{10} - TO - K_2$$

Тривалість повного експлуатаційного циклу до проведення чергового капітального ремонту (К) насосного обладнання становить 36 місяців (напрацювання близько 12600 годин), до середнього ремонту (С) — 18 місяців, до малого (малого планового) ремонту (М) — 3 місяці, а до планового технічного огляду (ТО) — 1,5 місяця. Зазначені міжремонтні інтервали визначають чітку періодичність виконання планово-попереджувальних ремонтних заходів і є базовими для формування графіків технічного обслуговування.

Трудомісткість механічної частини ремонту промислового технологічного обладнання визначається за відомою інженерною залежністю:

$$T_{м.ч} = k \cdot R_m$$

де k — нормативний коефіцієнт, що враховує вид ремонтного впливу на машину та його нормативну питому трудомісткість, люд.-год;

R_m — категорія складності ремонту механічної частини даної машини. Для насоса НШМ-5-25 категорія складності становить $R_m = 2.0$.

Для визначення сумарної трудомісткості ремонтних робіт насоса за трирічний період використовуються нормативні значення коефіцієнта k для різних видів ППР. Зокрема, для технічного обслуговування (ТО) приймається $k = 1.0$, для малого ремонту (М) — $k = 7.0$, для середнього ремонту (С) — $k = 21.0$, а для капітального ремонту (К) — $k = 35.0$ люд.-год.

Загальна річна трудомісткість ремонтних робіт одного агрегату визначається шляхом підсумовування трудових витрат за всіма видами планово-попереджувальних впливів, що виконуються протягом розрахункового річного періоду:

$$12 \cdot 1.0 + 10 \cdot 7.0 + 1 \cdot 21.0 + 1 \cdot 35.0 = 138 \text{ люд.-год}$$

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розподіл обсягів робіт за видами технологічних операцій виконується шляхом множення загальної трудомісткості на відповідні нормативні частки виконання робіт:

- Слюсарні та складальні роботи: $138 \times 0.72 = 99.36$ люд.-год;
- Верстатні роботи (токарні, шліфувальні): $138 \times 0.20 = 27.60$ люд.-год;
- Інші види робіт (зварювальні, консерваційні): $138 \times 0.08 = 11.04$ люд.-год.

Отримані значення характеризують чітку структуру трудових витрат і використовуються для формування планових показників завантаження ремонтного персоналу цеху. Усі розраховані дані заносяться до відповідних граф річного графіка планово-попереджувальних ремонтів (ППР), наведеного нижче.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер _____

«___» _____ 2026 р.

Графік планово-попереджувального ремонту насоса марки НШМ-5 на 2026 рік

Відомості про обладнання

№ п/п	Найменування обладнання	Тип, марка	Інвентарний номер	Час введення в експл.	Останній ремонт в попер. році	Напрацювання з часу останнього ремонту	Тривалість ремонтного циклу	Тривалість періодів між ремонтами	Тривалість періодів між ТО
1	Шестеренний насосний агрегат	НМШ 5-25-4/4	Насос №3	2024	Грудень 2025 (ТО)	1 міс / 350 год	36 міс / 12600 год	3 міс / 1050 год	1,5 міс / 525 год

Помісячний план виконання ТО та ремонтів

Показник	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Напрацювання, год	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Вид ремонту/ТО	ТО	М	ТО	М	ТО	М	ТО	С	ТО	М	ТО	К
Трудовісткість, люд.-год	1.0	7.0	1.0	7.0	1.0	7.0	1.0	21.0	1.0	7.0	1.0	35.0

Підсумкова трудовісткість за рік

Всього трудоісткість, люд.-год	Слюсарні роботи, люд.-год	Верстатні роботи, люд.-год	Інші роботи, люд.-год
138	99.36	27.60	11.04

Умовні позначення

Позначення	Розшифрування	Коефіцієнт k
ТО	Технічне обслуговування	1.0
М	Малий плановий ремонт	7.0
С	Середній ремонт	21.0
К	Капітальний ремонт	35.0

Примітка: напрацювання прийнято з розрахунку однієї зміни роботи агрегату (орієнтовно 350 годин на місяць).

Розробники графіка:

Начальник ремонтного цеху: _____ (підпис)

Майстер з ремонту обладнання: _____ (підпис)

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.2. Розробка технологічної документації на проведення ремонту насоса марки НШМ-5

Керівництво процесами експлуатації та ремонту технологічного обладнання, а також пов'язаних з ним технологічних споруд, інженерних комунікацій і металоконструкцій здійснюється службою головного механіка підприємства. До структури цієї служби входить ремонтно-механічний цех, який перебуває в його функціональному підпорядкуванні та виконує основний обсяг ремонтно-відновлювальних робіт.

На відділ головного механіка покладається комплекс організаційно-технічних функцій, спрямованих на забезпечення безперебійної роботи обладнання та ефективної системи його технічного обслуговування. Зокрема, до основних функцій належать: систематичний контроль і нагляд за технічним станом обладнання; розроблення та формування річних і оперативних планів ремонтів; складання плану організаційно-технічних заходів у межах ремонтної служби; розробка та впровадження нових прогресивних технологічних процесів виконання ремонтних робіт із підвищенням їх продуктивності; контроль витрат і вартості ремонтних робіт; а також підготовка та подання щоквартальної звітності щодо виконання середніх і капітальних ремонтів основного технологічного обладнання.

Під час проведення ремонтних робіт обов'язковим етапом є розбирання вузлів і механізмів, деталі яких підлягають відновленню або заміні. Для забезпечення правильності виконання операцій розробляється необхідна технічна документація, зокрема схема розбирання (лист 4 графічної частини) та карта розбирання відповідного вузла, що регламентує послідовність виконання операцій.

Розбирання вузла виконується у встановленій технологічній послідовності, тоді як збирання здійснюється у зворотному порядку з обов'язковим дотриманням вимог до точності та якості складання. До складання вузлів

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висуваються підвищені вимоги щодо чистоти, точності посадок і стану контактних поверхонь деталей.

Перед складанням валів із встановленими на них елементами, зокрема роторами (шестернями), які фіксуються за допомогою шпонкових з'єднань, здійснюють ретельну перевірку стану посадочних поверхонь деталей. У разі виявлення забоїн, задирів або заусенців їх обов'язково усувають для забезпечення правильної посадки і надійної роботи з'єднань. Розміри призматичних шпонок і відповідних шпонкових пазів повинні відповідати вимогам чинних стандартів. Під час складання шпонку встановлюють у паз із використанням легких монтажних ударів, що забезпечує її правильну посадку без пошкодження поверхонь.

Перед складанням підшипникових вузлів (опорних втулок ковзання) виконують їх розконсервацію та ретельне очищення від консерваційних матеріалів і забруднень. Після цього деталі промивають у бензині або в підігрітому до температури близько 80 °С мінеральному маслі з метою забезпечення чистоти робочих поверхонь і зниження ризику передчасного зношування. Монтаж елементів на вали та в корпусні деталі здійснюють із дотриманням встановлених правил посадки та монтажу, що гарантує їх правильну роботу та довговічність.

Послідовність складання основного качаючого та опорного вузла агрегату — ведучого вала — розроблена на основі вихідних технологічних карт та специфікацій обладнання і наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Порядок складання вузла ведучого вала насоса марки НШМ-5

№ п/п	Операція і переходи	Інструмент, пристосування, матеріал	Технічні вимоги на складання	Профіль робітника, розряд робітника	Норма часу (хв)
1	2	3	4	5	6

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6
1	На основу (поз. 6) встановити корпус насоса (поз. 4).	—	Встановити співвісно, без перекосів.	Слюсар, II розряд	1,5
2	Встановити шпильки (поз. 22) в корпус насоса (поз. 4).	Плоскогубці / шпильковерт	Загвинтити до упору, без перекосу різьби.	Слюсар, II розряд	3,2
3	На вал ведучий (поз. 1) встановити шпонку призматичну (поз. 17).	Молоток, ручний прес	Щільне прилягання у пазу, без перекосу.	Слюсар, II розряд	1,5
4	На вал ведучий (поз. 1) напресувати шестерню (ротор) (поз. 2).	Ручний прес, оправка	До упору, перевірити точність посадки.	Слюсар, II розряд	2,5
5	На вал ведучий (поз. 1) напресувати шестерню (поз. 26).	Ручний прес, оправка	До упору, перевірити точність посадки.	Слюсар, II розряд	2,5

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6
6	Встановити на вал опорну втулку (поз. 7) та втулку (поз. 28).	Оправка, ручний прес	Встановити без перекосу.	Слюсар, II розряд	2,0
7	Встановити зібраний вал у зборі в корпус насоса (поз. 4).	—	Забезпечити плавність обертання від руки.	Слюсар, II розряд	4,0
8	Встановити кільця ущільнюючі (поз. 5) (4 шт.) у вузли ущільнення вала.	Круглогубці, викрутка	Рівномірно, без защемлення та перекосів.	Слюсар, II розряд	3,6
9	На ущільнювальні вузли накрутити гайки шестигранні (поз. 5).	Гайковий ключ	Перевірити надійність кріплення та герметичність.	Слюсар, II розряд	2,8
10	Встановити торцеву пластину (поз. 24) на корпус насоса.	—	Сумісити отвори під кріплення.	Слюсар, II розряд	0,8

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6
11	Закріпити пластину за допомогою болтів М14 х 60 (поз. 23).	Гайковий ключ	Затягувати рівномірно, перевірити надійність.	Слюсар, II розряд	2,2
12	Зафіксувати корпус на основі за допомогою болтів М10 х 60 (поз. 25).	Гайковий ключ	Затягувати навхрест, перевірити надійність.	Слюсар, II розряд	2,4
13	Встановити шайби плоскі (поз. 22) на раніше вкручені шпильки.	—	Без перекосу, щільно до поверхні.	Слюсар, II розряд	0,8
14	Остаточного зафіксувати вузол кріпильними гайками на шпильках.	Гайковий ключ	Контроль моменту затяжки за допомогою інструменту.	Слюсар, II розряд	1,8

Після завершення складання вузла ведучого вала виконується контроль зазорів між торцями шестерень та кришками насоса, перевіряється плавність прокручування качаючого блока, після чого агрегат НШМ-5 передається на стендові гідравлічні випробування для перевірки об'ємної подачі та герметичності ущільнень.

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

3.2.3. Дефектування і сортування деталей насоса марки НШМ-5

Підготовка насосного обладнання до виконання ремонтних робіт повинна здійснюватися у суворій технологічній послідовності, що забезпечує збереження комплектності вузлів і деталей та виключає можливість їх переплутування або встановлення на інші одиниці технологічного обладнання підприємства. Дотримання встановленого порядку розбирання є обов'язковою умовою якісного виконання ремонтних операцій і подальшого правильного складання насосного агрегату.

Розбирання обладнання виконується поетапно у визначеній послідовності: спочатку від'єднують насос від електродвигуна та демонтують приводні елементи муфти, далі знімають кріпильні деталі, торцеву пластину та кришки корпусу, після чого здійснюють демонтаж качаючого вузла — ведучого вала у зборі з робочими шестернями та опорними втулками. Усі демонтовані вузли та деталі під час розбирання розміщують на спеціально підготовлених складальних щитах (верстатах) із невеликими бортиками, що запобігає їх довільному зміщенню, втраті або механічному пошкодженню прецизійних поверхонь у процесі виконання ремонтних робіт.

У процесі розбирання проводять попередню оцінку технічного стану деталей із визначенням ступеня їх зношування. Перед початком інструментальних дефектаційних операцій усі деталі ретельно очищають від забруднень, нагару та залишків мастильних чи перекачуваних матеріалів, а також знежирюють за допомогою промивних розчинів для забезпечення якісного контролю робочих поверхонь. З метою запобігання помилкам при повторному складанні на спряжені деталі корпусу, кришок та втулок наносять однакові маркувальні позначки кернером або стійкою фарбою, що дозволяє повністю зберегти їх первинне взаємне положення.

Величину зношування деталей визначають із використанням стандартних вимірювальних методик та контрольно-вимірювального інструменту

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

(штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів нутромірів). Посадочні місця вала під опорні втулки ковзання та підшипники повинні мати чисту, гладку поверхню без задирів, подряпин, слідів захоплення і тріщин, оскільки наявність цих дефектів призводить до порушення правильної роботи всього вузла, підвищення вібрації та падіння об'ємного ККД насоса. Шпонкові канавки на ведучому валу повинні мати паралельні, рівні стінки без механічних пошкоджень і розбиття, а їх геометричні розміри перевіряються за допомогою відповідних шаблонів, калібрів або штангенциркуля.

Під час контролю різьбових з'єднань (шпильок корпусу, кріпильних болтів і гайок) основну увагу приділяють якості поверхні різьби та її геометричній цілісності. Допустимими вважаються незначні дефекти, тоді як пошкодження у вигляді зриву різьби більше ніж на 1,5 витка є неприпустимими та вимагають обов'язкової заміни шпильки або болта на новий кріпильний елемент. Незначні пошкодження (невелика зім'ятість витків) можуть бути усунені шляхом калібрування та відновлення різьби за допомогою слюсарних мітчиків або плашок відповідного розміру. Розтяг або деформація різьби не повинні перевищувати 0,5 кроку на кожні 10 витків різьбової частини. Також суворо контролюють стан граней гайок і головок болтів, на яких не допускаються значні вм'ятини, згладжування кутів або деформації під ключ.

Перед складанням або подальшою експлуатацією ущільнювальні вузли та підшипникові елементи змащують консистентними мастилами типу Л, М, Т, УСс-1 або Литол-24, що забезпечує значне зниження тертя при пуску, надійний захист від корозії та підвищення довговічності елементів насоса.

На основі розбирання та дефектації деталей ведучого вала, корпусу і кріплення складається відомість дефектів.

Після проведення дефектації та точного встановлення технічного стану всіх деталей вузла ведучого вала та корпусу виконують їх сортування за ступенем придатності до подальшої експлуатації, поділяючи на три основні групи:

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

Таблиця 3.4. –

ВІДОМІСТЬ ДЕФЕКТІВ

на капітальний ремонт шестеренного насоса марки НШМ-5

інв. № Насос №3, встановленого в насосному цеху

№ п/п	Деталь, яка має дефект	Дефект	Спосіб усунення	Найменування запасних деталей і матеріалів	Кількість	Трудовісткість, люд.-год	Оцінка стану при здачі в ремонт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вал ведучий (поз. 1)	Зношення посадочних поверхонь шийок під опорні втулки, дрібні подряпини.	Відновлення робочої поверхні (наплавлення з подальшою токарною обробкою та шліфуванням).	—	—	3,5	Задовільний
2	Шестерня ведуча (поз. 2)	Зношення або викришування робочих поверхонь зубів шестеренного зачеплення.	Заміна деталі на нову з ремкомплекту.	Шестерня ротора НШМ-5	1 шт.	1,5	Незадовільний
3	Шестерня ведена (поз. 26)	Нерівномірне зношення торцевих поверхонь, подряпини від тертя.	Заміна деталі на нову у зборі з парною.	Шестерня ротора НШМ-5	1 шт.	1,5	Незадовільний
4	Втулка опорна (поз. 7, 28)	Критичний радіальний знос внутрішнього діаметра втулки ковзання, задири.	Повна заміна опорних елементів на нові.	Втулка підшипникова (бронза)	2 шт.	2,0	Незадовільний

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Кільця ущільнюючі (поз. 5)	Руйнування, втрата еластичності матеріалу, значні механічні пошкодження (витоки).	Заміна комплекту елементів ущільнення вала.	Кільця ущільнювальні гумотехнічні	1 компл. (4 шт.)	1,2	Незадовільний
6	Пластина торцева (поз. 24)	Механічна деформація площини корпусної деталі, корозійні раковини.	Виготовлення нової деталі або шліфування площини прилягання на верстаті.	Пластина торцева корпусу	1 шт.	2,5	Незадовільний
7	Корпус насоса (поз. 4)	Зношення внутрішніх робочих колодязів (камери розрядження та нагнітання).	Відновлення геометрії внутрішньої порожнини розточуванням під ремонтний розмір роторів.	—	—	5,0	Задовільний

Для забезпечення правильної ідентифікації поточного стану деталей на базі ремонтної дільниці застосовують наочну систему кольорового маркування. Деталі, що підлягають відновленню та ремонту, позначають умовними кольоровими мітками (зеленого або жовтого кольору) безпосередньо у місцях, де виявлено дефекти або необхідно виконати верстатні операції. Забраковані деталі, які визнані повністю непридатними до подальшого використання, маркують червоною фарбою, що дозволяє надійно уникнути їх випадкового чи помилкового повторного застосування у процесі складання насосного агрегату.

Усі остаточні результати інженерного контролю, мікрометричних вимірювань і дефектування обов'язково фіксуються у наведеній спеціальній дефектній відомості. Її заповнення здійснюється безпосередньо в процесі

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

розбирання та промивання обладнання, що дає змогу оперативно документувати фактичний технічний стан кожної одиниці.

3.3. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала насосу марки НШМ-5

3.3.1. Аналіз технічних умов вала

Для характеристики деталі [14-17] та її технічних умов виготовлення приведемо ескіз деталі з позначеними поверхнями (рисунок 3.1).

Деталь відноситься до класу ступенчастих валів і має циліндричні, торцеві, конічні та плоскі поверхні.

Робочими поверхнями деталі, тобто поверхнями, за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення у вузлі (сприймає крутний момент, радіальні навантаження чи забезпечує точне обертання в підшипникових опорах), є точні циліндричні шийки:

- Поверхня 3 (лівий хвостовик $\varnothing 28$ мм).
- Поверхня 12 (середня відповідальна шийка $\varnothing 38$ мм з точним допуском і високими вимогами до шорсткості).
- Поверхня 16 (правий довгий хвостовик $\varnothing 34$ мм).

Основними базуючими поверхнями, за допомогою яких визначається положення самого вала у вузлі або на стадії обробки (в центрах верстата), є:

- Поверхні центрових отворів, виконані на торцях 1 та 19.
- Поверхня 8 ($\varnothing 38$ мм) як опорна шийка.

Допоміжними базуючими поверхнями, за допомогою яких визначається положення інших спряжених деталей (шківів, зубчастих коліс, муфт тощо) у вузлі відносно даного вала, є:

- Поверхні шпоночних пазів 7 та 17 (визначають кутове та осьове положення деталей, що передають крутний момент).
- Торцеві уступи (галтелі) 6 та 14 (фіксують деталі від осевого зсуву).

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

Вільними поверхнями, які не виконують відповідального службового призначення в механізмі, але необхідні для отримання замкнутого геометричного контуру на робочому кресленні, полегшення збирання або виходу інструменту, є:

- Конічні фаски 2 та 18 (служують для зручності монтажу).
- Технологічні канавки для виходу шліфувального круга 4, 10, 15.
- Проміжні шийки невідповідального призначення 5, 11, 13.

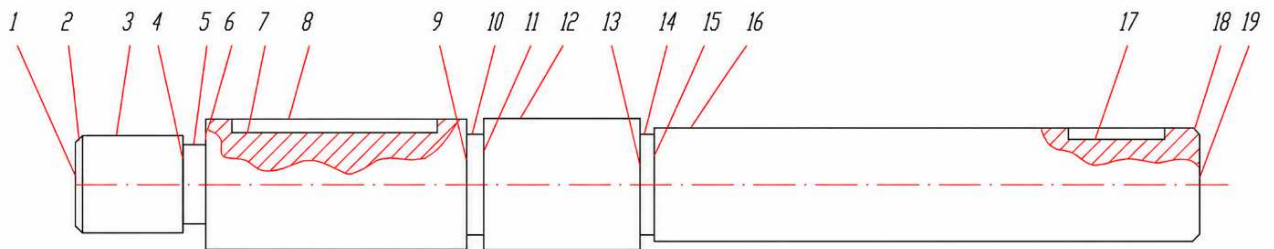


Рисунок 3.1 - Ескіз деталі з позначенням поверхонь)

Деталь виготовлена зі сталі 40Х (конструкційна легована хромиста сталь), механічні властивості якої наведено в таблиці 3.5. Цей матеріал забезпечує високу поверхневу твердість після термічної обробки та достатню в'язкість серцевини вала для роботи в умовах значних знакозмінних навантажень.

Таблиця 3.5. – Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ ГОСТ 1050-88 в %.

C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	Ti
0,38-0,41	0,17-0,32	0,5-0,9	0,08	0,85-1,12	0,03	0,04	0,08

Таблиця 3.6 - Механічні властивості сталі 40Х

Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості, σ_T , МПа	Межа витривалості при згині, σ_{-1} , МПа	Твердість за Бріннелем, МПа	Відносне видовження, %
510-570	380-460	350-400	1670	21-23

Таблиця 3.7 – Аналіз технічних умов вала насосу марки НШМ-5.

Позначення поверхні	Технічна умова або вимога	Метод досягнення	Метод контролю
1, 19	Забезпечення точності по 14 квалітету з чистотою поверхні Ra 12,5	-Чорнове точіння	Штангенциркуль ШЦ-2-250-0,1 ГОСТ 166-88
2, 18	Забезпечення точності по 14 квалітету	-Чорнове точіння	Фаскомір, або шаблон
3, 8, 12, 16	Забезпечення точності по 6 квалітету і шорсткість 6,3	Точіння: -чорнове - напівчистове - шліфування чистове - шліфування тонке	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-88
5, 10, 14	Забезпечення точності по 14 квалітету і шорсткість 12,5	-Чорнове точіння	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-88
4, 6, 9, 11, 13, 15	Забезпечення точності по 14 квалітету і шорсткість 12,5	-Чорнове точіння	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-88
7, 17	Забезпечення точності по 7 квалітету і шорсткість 6,3	Фрезерування шпоночною фрезою	-- // --

3.3.2. Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки

Аналіз конструктивно-технологічних особливостей деталі показує, що вона є типовим ступінчастим валом із максимальною різницею діаметрів

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

ступенів від Ø24 мм до Ø38 мм та загальною довжиною 328 мм. Матеріал деталі — конструкційна сталь (наприклад, Сталь 45 або аналогічна, що забезпечує необхідну міцність).

Для виготовлення деталей типу «ступінчастий вал» у машинобудуванні зазвичай використовують такі види заготовок:

1. Гарячекатаний або холоднокатаний круглий прокат (ГОСТ 2590-88 / ГОСТ 7417-75).
2. Штамповка (на ковальсько-штампувальних автоматах, ГKM або молотах).
3. Вільна ковка (на ковальських молотах або пресах).

Вільна ковка характеризується низьким коефіцієнтом використання металу (КВМ) та великими припусками на механічну обробку. Її доцільно застосовувати лише в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва для великогабаритних деталей. Для даного вала цей метод є економічно неефективним.

Гарячештампована заготовка (штамповка) дозволяє отримати форму, яка максимально наближена до готової деталі (зі ступенями), що забезпечує високий КВМ та мінімальний об'єм подальшої механічної обробки (чорнового точіння). Проте проектування та виготовлення штампів потребує значних початкових витрат, що виправдовує себе лише в умовах великосерійного або масового виробництва.

Прокат (круглий гарячекатаний) є найбільш універсальним і технологічним варіантом. Він має стабільні механічні властивості, точні геометричні розміри та низьку початкову вартість вихідного матеріалу. Основним недоліком є необхідність зняття значного об'єму стружки на ступенях малих діаметрів (Ø24, Ø28). Проте для умов дрібносерійного та серійного виробництва цей метод є найбільш гнучким та економічно виправданим, оскільки не потребує спеціального оснащення (штампів).

Враховуючи геометрію вала:

- максимальний зовнішній діаметр: Ø38 мм;

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

- довжина заготовки з урахуванням припусків на торці (по 2...3 мм на сторону): близько 334 мм.

Для забезпечення надійної технологічної бази та гарантованого зняття знеуглецьованого поверхневого шару прокату на максимальному ступені ($\varnothing 38$ мм), вибираємо круглий гарячекатаний прокат звичайного типу за ГОСТ 2590-88 із номінальним діаметром $\varnothing 42$ мм (або $\varnothing 40$ мм за умови підвищеної точності прокату).

Такий вибір забезпечує:

- мінімальну собівартість вихідної заготовки;
- достатній припуск для виконання всіх технологічних переходів (від чорнового точіння до тонкого шліфування ступенів під точні квалітети);
- сприятливе розташування волокон металу вздовж осі вала, що позитивно впливає на міцнісні характеристики деталі під час експлуатації.

Як заготовку для виготовлення ступінчастого вала приймаємо сортовий гарячекатаний прокат круглого перерізу за ГОСТ 2590-88, діаметром $\varnothing 42$ мм, який розрізається на штучні заготовки довжиною 334 ± 1 мм на заготівельній операції (наприклад, на стрічкопилковому верстаті).

3.3.3. Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів

Розрахунок припусків виконуємо розрахунково-аналітичним методом за методикою проф. В. М. Кована.

Оскільки виконувати детальний аналітичний розрахунок за формулою Кована для кожної з 19 поверхонь недоцільно (це зайняло б десятки сторінок), припуски на решту поверхонь призначаємо за дослідно-статистичним методом (згідно з ГОСТ 26645-85 або довідником технолога-машинобудівника).

Нижче наведено зведену карту міжопераційних розмірів та припусків для всього вала.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.8 – Зведена таблиця міжопераційних розмірів та припусків для всіх поверхонь вала

Пове рхня	Назва	Номиналь- ний розмір, мм	Квалітет / Ra, мкм	Технологічні етапи обробки	Припуск на діаметр (2z), мм	Міжопера- ційний розмір, мм
1	2	3	4	5	6	7
1, 19	Торці вала	328 (загальна довжина)	IT14 / Ra 12,5	1. Заготовка (прокат) 2. Чорнове підрізання торців 3. Чистове підрізання торців	– 4,0 2,0	334,0 330,0 328,0
2, 18	Фаски	2 × 45°	IT14 / –	1. Точіння фаски (суміщено з чистовим точінням)	–	2 × 45°
3	Лівий хвостовик	Ø28	IT6 / Ra 6,3	1. Заготовка (прокат) 2. Чорнове точіння 3. Напівчистове точіння 4. Чистове шліфування	– 11,4 2,2 0,4	Ø42,0 Ø30,6 Ø28,4 Ø28,0
4, 6, 9, 11, 13, 15	Канавки / проточки	Ø24, Ø30	IT14 / Ra 12,5	1. Врізне точіння канавок (після напівчистового точіння суміжних поверхонь)	–	Ø24,0 Ø30,0
5, 10, 14	Галтелі / заплечики	–	IT14 / Ra 12,5	1. Обробка прохідно- упорним різцем під час точіння ступенів	–	Конструк- тивні розміри
8	Ліва велика шийка	Ø38	IT6 / Ra 6,3	1. Заготовка (прокат) 2. Чорнове точіння 3. Напівчистове точіння 4. Чистове шліфування	– 3,6 0,26 0,14	Ø42,0 Ø38,4 Ø38,14 Ø38,0

Продовження таблиці 3.8.

1	2	3	4	5	6	7
12	Середня шийка	Ø38	IT6 / Ra 1,6 (тонке шліф.)	1. Заготовка (прокат) 2. Чорнове точіння 3. Напівчистове точіння 4. Чистове шліфування 5. Тонке шліфування	– 3,6 0,26 0,11 0,03	Ø42,0 Ø38,4 Ø38,14 Ø38,03 Ø38,0
16	Правий довгий хвостовик	Ø34	IT6 / Ra 6,3	1. Заготовка (прокат) 2. Чорнове точіння 3. Напівчистове точіння 4. Чистове шліфування	– 7,6 0,26 0,14	Ø42,0 Ø34,4 Ø34,14 Ø34,0
7, 17	Шпоночн і паз	Розміри за стандартом	IT7 / Ra 6,3	1. Фрезерування шпоночною фрезою за один або два проходи	–	Глибина та ширина за ГОСТ

Для точних поверхонь (6 квалітет: Ø38, Ø34) припуски розподіляються на чорнову, напівчистову обробку та шліфування.

Для поверхонь 14 квалітету (Ø28, Ø24, Ø30) обробка виконується в 1–2 проходи точіння без шліфування.

Розміри шпоночних пазів (7, 17) та фасок (2, 18) контролюються на фінішних етапах.

Для Ø34 (поверхня 16): оскільки прокат має діаметр Ø42, під час чорнового точіння знімається значний шар металу ($2z = 7,6$ мм на діаметр, тобто глибина різання $t = 3,8$ мм за один або два проходи). Далі припуски збігаються зі стандартними для шліфування.

Для Ø28 (поверхня 3): тут об'єм зняття металу на чорновому етапі ще більший ($2z = 11,4$ мм), тому чорнове точіння цієї ділянки рекомендується виконувати за 2–3 проходи для зниження навантаження на різальний інструмент та запобігання деформації вала.

3.3.4. Розробка технологічного маршруту механічної обробки вала насосу марки НШМ-5

На основі аналізу конфігурації ступінчастого вала, вимог до точності розмірів, взаємного розташування поверхонь та шорсткості розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки.

Таблиця 3.9 – Технологічний маршруту механічної обробки вала насосу марки НШМ-5.

№ операції	Назва операції (переходу)	Поверхня (номер)	Базова поверхня	Технологічна база	Обладнання
1	2	3	4	5	6
010	Фрезерно-центрувальна				Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-71М
	1. Фрезерувати торці вала в розмір L=328 мм	1, 19	Зовнішній прокат Ø42	Чорнова база (дві призми, осьовий упор)	
	2. Центрувати отвори з двох сторін (Форма А Ø4)	Центрові отвори	Зовнішній прокат Ø42	Чорнова база (дві призми)	
015	Токарна чорнова				Токарно-гвинторізний верстат 16K20
	1. Чорнове обточування ступеня в розмір Ø34,4 мм	16	Центрові отвори	Центри верстата та повідковий хомутик	

Продовження таблиці 3.9.

1	2	3	4	5	6
	2. Чорнове обточування шийок в розмір Ø38,4 мм	12, 8	Центрові отвори	Центри верстата та повідковий хомутик	
	3. Чорнове обточування хвостовика в розмір Ø30,6 мм	3	Центрові отвори	Центри верстата та повідковий хомутик	
020	Токарна напівчистова				Токарно-гвинторізний верстат 16K20
	1. Напівчистове обточування шийки в розмір Ø34,14 мм	16	Центрові отвори	Центри верстата	
	2. Напівчистове обточування шийок в розмір Ø38,14 мм	12, 8	Центрові отвори	Центри верстата	
	3. Напівчистове обточування хвостовика в розмір Ø28,4 мм	3	Центрові отвори	Центри верстата	
	4. Точити ліву фаску в розмір 2×45°	2	Центрові отвори	Центри верстата	
025	Токарна канавочна				Токарно-гвинторізний верстат 16K20
	1. Проточити канавки виходу шліфувального круга (Ø30)	11, 15	Центрові отвори	Центри верстата	

Продовження таблиці 3.9.

1	2	3	4	5	6
	2. Проточити технологічну канавку (Ø24)	4	Центрові отвори	Центри верстата	
	3. Точити праву фаску в розмір 2×45°	18	Центрові отвори	Центри верстата	
030	Фрезерна				Шпоночно-фрезерний верстат 692D
	1. Фрезерувати шпоночні пази остаточно за кресленням	7, 17	Шийки та 16	Зовнішні циліндричні поверхні (призми)	
045	Круглошліфувальна чистова				Універсальний круглошліфувальний верстат 3У12
	1. Чистове шліфування ступенів під розмір перед фінішем	8, 12, 16	Центрові отвори	Центри верстата	
	2. Чистове шліфування лівого хвостовика остаточно в Ø28	3	Центрові отвори	Центри верстата	
050	Круглошліфувальна тонка				Точний круглошліфувальний верстат 3У12ВФ11
	1. Остаточне тонке шліфування шийки в розмір Ø38h6	12	Центрові отвори	Центри верстата	

3.3.5. Вибір ріжучого і вимірювального інструменту

Для завершення технологічного проектування виберемо різальний та вимірювальний інструменти для кожної операції розробленого маршруту. Інструмент підбирається відповідно до типу обробки, матеріалу деталі (конструкційна сталь) та вимог до точності (від IT14 до IT6).

Таблиця 3.10 – Вибір ріжучого і вимірювального інструменту.

№ операції	Назва операції	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
010	Фрезерно-центрувальна		
	1. Фрезерувати торці вала	Фреза торцева насадна зі вставними ножами $\varnothing 100$ мм, ГОСТ 24359-80 (ножі — твердий сплав Т5К10)	Штангенциркуль ШЦ-II-400-0,05 ГОСТ 166-89 (діапазон 0–400 мм, ціна поділки 0,05 мм)
	2. Центрувати отвори	Свердло центрувальне комбіноване Форма А $\varnothing 4$ мм, ГОСТ 14952-75 (матеріал — швидкорізальна сталь Р6М5)	Шаблон для центрових отворів, калібр-пробка конусна
015	Токарна чорнова		
	1. Чорнове обточування ступеня $\varnothing 34,4$ мм	Різець токарний прохідний відігнутий 25×16 мм, ГОСТ 18877-73 (пластина — твердий сплав Т5К10)	Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89 (лінійні розміри), ШЦ-II-250-0,05 (діаметри)
	2. Чорнове обточування шийок $\varnothing 38,4$ мм	Різець токарний прохідний відігнутий 25×16 мм, ГОСТ 18877-73 (пластина — твердий сплав Т5К10)	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4
	3. Чорнове обточування хвостовика $\varnothing 30,6$ мм	Різець токарний прохідний відігнутий 25×16 мм, ГОСТ 18877-73 (пластина — твердий сплав Т5К10)	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89
020	Токарна напівчистова		
	1. Напівчистове обточування шийки $\varnothing 34,14$ мм	Різець токарний прохідний прямий 25×16 мм, ГОСТ 18878- 73 (пластина — твердий сплав Т15К6)	Мікрометр гладкий МК 50-1 ГОСТ 6507-90 (діапазон 25–50 мм, ціна поділки 0,01 мм)
	2. Напівчистове обточування шийок $\varnothing 38,14$ мм	Різець токарний прохідний прямий 25×16 мм, ГОСТ 18878- 73 (пластина — твердий сплав Т15К6)	Мікрометр гладкий МК 50-1 ГОСТ 6507-90 (діапазон 25–50 мм)
	3. Напівчистове обточування хвостовика $\varnothing 28,4$ мм	Різець токарний прохідний прямий 25×16 мм, ГОСТ 18878- 73 (пластина — твердий сплав Т15К6)	Мікрометр гладкий МК 50-1 ГОСТ 6507-90
	4. Точити ліву фаску 2×45°	Різець токарний прохідний упорний 25×16 мм, ГОСТ 18879-73 (пластина — твердий сплав Т15К6)	Шаблон радіусний і фасковий, штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1
025	Токарна канавочна		
	1. Проточити канавки виходу круга ($\varnothing 30$, b=6)	Різець прорізний (канавочний) спеціальний, ширина бруска b=6 мм (пластина — твердий сплав Т15К6)	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 (контроль ширини та глибини канавки)
	2. Проточити технологічну канавку ($\varnothing 24$, b=6)	Різець прорізний (канавочний) спеціальний, ширина бруска b=6 мм (пластина — твердий сплав Т15К6)	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4
	3. Точити праву фаску 2×45°	Різець токарний прохідний упорний 25×16 мм, ГОСТ 18879-73 (матеріал Т15К6)	Шаблон кутовий 45°, штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1
030	Фрезерна		
	1. Фрезерувати шпоночні пази	Фреза шпоночна циліндрична з конічним хвостовиком Ø10 мм (та відповідного номіналу пазу), ГОСТ 9140-78, Р6М5	Штангенглибиномір ШГ-200 ГОСТ 162-90 (контроль глибини пазу), калібр-пробка шпоночна
045	Круглошліфувальна чистова		
	1. Чистове шліфування ступенів перед фінішем	Круг шліфувальний прямого профілю ПП 400х50х127 14А 25Н С2 7 К5 ГОСТ 2424-83 (Електрокорунд нормальний)	Мікрометр гладкий МК 50-1 ГОСТ 6507-90, важільна скоба СР-50 ГОСТ 11098-75
	2. Чистове шліфування лівого хвостовика в Ø28 мм	Круг шліфувальний ПП 400х50х127 14А 25Н С2 7 К5 ГОСТ 2424-83	Мікрометр гладкий МК 50-1 ГОСТ 6507-90 (контроль фінішного розміру Ø28)
050	Круглошліфувальна тонка		
	1. Остаточне тонке шліфування шийки в розмір Ø38h6	Круг шліфувальний ПП 400х40х127 25А 12Н М3 6 К5 ГОСТ 2424-83 (Електрокорунд білий, м'якої зернистості)	Важільний мікрометр МР-50 ГОСТ 4381-80 (ціна поділки 0,002 мм) або калібр-скоба ПР-НЕ для розміру Ø38h6

3.3.6. Розрахунок режимів різання по операціях

Проведено розрахунок параметрів для основних технологічних переходів (токарних, фрезерних та шліфувальних). Результати розрахунків зведено в таблицю.

Таблиця 3.11 – Розрахунок режимів різання

№ оп.	Назва операції, переходи	L, мм	i	V, м/хв	n, об/хв	t, мм	S, мм/об (мм/зуб)	Sm, мм/хв	To, хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
010	Фрезерно-центрувальна:									
	1. Фрезерувати торці вала 1, 19	46	2	70	560	3,0	0,15	120	0,38	4,5
	2. Центрувати отвори з двох сторін	7	1	10	400	2,0	0,08	120	0,25	2,8
015	Токарна чорнова:									
	1. Чорнове обточування ступеня 16 (Ø34,4)	16	1	66	500	3,8	0,45	225	0,72	4,2
	2. Чорнове обточування шийок 12, 8 (Ø38,4)	38	1	66	500	1,8	0,50	250	0,34	4,2
	3. Чорнове обточування хвостовика 3 (Ø30,6)	53	1	66	500	3,7	0,40	200	0,18	4,2
020	Токарна напівчистова:									
	1. Напівчистове обточування шийки 16 (Ø34,14)	16	1	86	800	0,13	0,20	160	1,01	1,2
	2. Напівчистове обточування шийок 12, 8 (Ø38,14)	28	1	96	800	0,13	0,20	160	0,53	1,1

Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	3. Напівчистове обточування хвостовика 3 (Ø28,4)	43	1	76	800	0,11	0,20	160	0,21	1,1
	4. Точити ліву фаску 2 (2×45°)	4	1	76	800	2,0	0,10	80	0,03	1,2
025	Токарна канавочна:									
	1. Проточити канавки 11, 15 (Ø30, b=6)	4	2	48	400	3,0	0,08	32	0,13	1,5
	2. Проточити канавку 4 (Ø24, b=6)	4,0	1	35	400	2,0	0,08	32	0,09	1,0
	3. Точити праву фаску 18 (2×45°)	2,0	1	53	500	2,0	0,10	50	0,04	1,0
030	Фрезерна:									
	1. Фрезерувати шпоночні пази 7, 17	45	1	23	600	5,0	0,04	48	0,94	2,2
045	Круглошліфувальна чистова:									
	1. Шліфувати ступені 8, 12, 16	160	1	35***	600**	0,07	1 (125*)	20 (15000)	1,30	5,5
	2. Шліфувати лівий хвостовик 3 (Ø28)	32	1	35***	600**	0,07	1 (12*)	20 (12000)	0,22	4,5
050	Круглошліфувальна тонка:									
	1. Остаточньо шліфувати шийку 12 (Ø38h6)	51	1	35	500	0,015	1 (12)	12 (6000)	0,65	4,0

3.3.7. Технічне нормування технологічного процесу

Розрахуємо елементи штучного часу (Тшт) для кожної операції розробленого маршруту в умовах одиничного (односерійного) виробництва.

В одиничному виробництві час на встановлення та зняття деталі (Туст) задається на всю операцію в цілому (оскільки деталь встановлюється один раз на верстат), а допоміжний час на керування верстатом (Тк) та вимірювання (Твим) розраховується для кожного переходу окремо.

Таблиця 3.12 – Розрахунок штучного часу по операціях технологічного процесу

№ опер.	Назва операції та технологічні переходи	То, хв	Туст, хв	Тк, хв.	Твим, хв	Тв, хв	Топ, хв	Тобс. відп, хв	Тшт, хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Фрезерно-центрувальна	0,80	1,70			2,33		0,16	2,49
	1. Фрезерувати торці вала 1, 19	0,38	—	0,25	0,25	0,50	0,88	0,06	0,94
	2. Центрувати отвори з двох сторін	0,25	—	0,15	0,25	0,40	0,65	0,05	0,70
015	Токарна чорнова	1,20	2,90			4,14		0,29	4,43
	1. Чорнове обточування ступеня 16 (Ø34,4)	0,72	—	0,35	0,30	0,65	1,37	0,10	1,47
	2. Чорнове обточування шийок 12, 8 (Ø38,4)	0,34	—	0,25	0,30	0,55	0,89	0,06	0,95

Продовження таблиці 3.12.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3. Чорнове обточування хвостовика 3 (Ø30,6)	0,18	—	0,20	0,30	0,50	0,68	0,05	0,73
020	Токарна напівчистова	1,20	3,45			5,23		0,37	5,60
	1. Напівчистове обточування шийки 16 (Ø34,14)	1,01	—	0,30	0,35	0,65	1,66	0,12	1,78
	2. Напівчистове обточування шийок 12, 8 (Ø38,14)	0,53	—	0,25	0,35	0,60	1,13	0,08	1,21
	3. Напівчистове обточування хвостовика 3 (Ø28,4)	0,21	—	0,25	0,35	0,60	0,81	0,06	0,87
	4. Точити ліву фаску 2 (2×45°)	0,03	—	0,15	0,25	0,40	0,43	0,03	0,46
025	Токарна канавочна	0,80	2,30			2,56		0,18	2,74
	1. Проточити канавки 11, 15 (Ø30, b=6)	0,13	—	0,25	0,30	0,55	0,68	0,05	0,73
	2. Проточити канавку 4 (Ø24, b=6)	0,09	—	0,20	0,30	0,50	0,59	0,04	0,63
	3. Точити праву фаску 18 (2×45°)	0,04	—	0,20	0,25	0,45	0,49	0,03	0,52
030	Фрезерна	1,50	2,45			3,39		0,24	3,63

Продовження таблиці 3.12.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					79

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1. Фрезерувати шпоночні пази 7, 17	0,94	—	0,45	0,50	0,95	1,89	0,13	2,02
045	Круглошліфувальна чистова	1,40	3,15			4,67		0,47	5,14
	1. Шліфувати ступені 8, 12, 16	1,30	—	0,40	0,50	0,90	2,20	0,22	2,42
	2. Шліфувати лівий хвостовик 3 (Ø28)	0,22	—	0,25	0,60	0,85	1,07	0,11	1,18
050	Круглошліфувальна тонка	1,40	2,90			3,55		0,36	3,91
	1. Остаточнo шліфувати шийку 12 (Ø38h6)	0,65	—	0,40	1,10	1,50	2,15	0,22	2,37

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

4.1 Заходи з охорони праці та техніки безпеки

Питанням охорони праці [18, 19] та гарантування безпеки життєдіяльності на підприємствах харчової промисловості присвячено значну кількість наукових і практичних публікацій, у яких детально описано методики, інженерно-технічні та організаційні засоби захисту людини від шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Цій же меті служить розвинена нормативно-правова база України, яка в сучасних умовах повністю відійшла від радянських міждержавних стандартів та будівельних норм. Правове регулювання безпеки праці на підприємстві базується на Законі України «Про охорону праці», Кодексі цивільного захисту України, а також на профільних нормативно-правових актах, серед яких ключове значення мають НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском», НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», а також сучасні стандарти безпечності машин, оцінювання ризиків та проектування електрообладнання промислових установок (ДСТУ EN ISO 12100, ДСТУ EN 60204-1). Технологічний процес апаратного цеху молокозаводу забезпечується комплексом взаємопов'язаного обладнання, призначеного для приймання, пастеризації, охолодження, резервування та подальшого транспортування рідких і в'язких молочних продуктів (молока, вершків, згущених сумішей). Основним силовим вузлом ділянки перекачування є електронасосний агрегат на базі шестеренного насоса марки НМШ-5 (модифікації НМШ-5-25) з асинхронним електродвигуном, які змонтовані на спільній сталевій рамі-основі та з'єднані сполучною муфтою. Насос інтегрований у загальноцехову систему нержавіючих технологічних трубопроводів, що оснащені запірно-регулюючою арматурою (дисковими затворами, триходовими кранами) та контрольно-вимірювальними приладами (манометрами, датчиками тиску і витратомірами).

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кутень Р.В.			4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Шинкарик М.М.								81	
Консульт.		Кравець О.І.						гр. МО-41			
Н. Контр.		Кравець О.І.									
Затверд.		Пилипець О.М.									

Вимогами з безпечної та надійної експлуатації насосного агрегату НМШ-5 у складі лінії молокозаводу передбачається висока якість його складання та суворе дотримання точності монтажних робіт після проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Під час технічного обслуговування цього вузла слід ретельно встановлювати ущільнювальні прокладки, торцеві або манжетні ущільнення для запобігання витокам харчової сировини під тиском. Основними небезпечними чинниками під час роботи насосних агрегатів у цеху є підвищений рівень вібрації від дисбалансу валів, гідродинамічний шум завихрень рідини, рухомі елементи (муфта, вал), а також ризик ураження електричним струмом. Останній фактор суттєво зростає у зв'язку зі специфікою молочного виробництва: постійна підвищена вологість у приміщенні, регулярне використання води та дезінфікуючих лужно-кислотних розчинів для миття обладнання (CIP-мийка), а також ризик проливання жировмісних рідких продуктів на підлогу цеху. Для мінімізації та усунення цих ризиків передбачено жорсткий монтаж обладнання на віброізолювальні основи (гумові амортизатори або підлиті безусадкові фундаменти з облаштованими дренажними трапами для зливу рідин) та обов'язкове виконання захисного заземлення корпусу насоса, електродвигуна і металевої рами згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Під час штатного функціонування підтікання продукту або мийних розчинів крізь ущільнення ведучого вала насоса не повинно перевищувати встановлених нормативних значень (для торцевих ущільнень — повна герметичність), а експлуатація несправного агрегату в разі зачіпання шестерень за корпус, критичного зносу втулок чи виникнення аномального шуму й стуку категорично забороняється. Джерелом живлення привода насоса НМШ-5 є трифазна промислова електромережа напругою 380 В (частотою 50 Гц), що зумовлює необхідність суворого дотримання правил техніки безпеки під час роботи з електрообладнанням в умовах вологого цеху, а також з гідравлічними комунікаціями, що функціонують під надлишковим тиском (до 4,0 кгс/см²). Робочі елементи качаючого вузла насоса конструктивно розміщені в закритому герметичному металевому корпусі, тому за умов нормального

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічного режиму не становлять безпосередньої небезпеки для персоналу. Проте через високі оберти вала установка є джерелом локальної вібрації та шуму. Крім того, під час руху молочних продуктів по трубопроводах можуть накопичуватися заряди статичної електрики. Для запобігання іскроутворенню весь агрегат і обв'язувальні трубопроводи мають бути надійно заземлені для забезпечення електростатичного захисту, а всі відкриті елементи механічних приводів та сполучна муфта повинні повністю закриватися захисними знімними кожухами із нержавіючої сталі. До обслуговування, санітарної обробки та керування насосним агрегатом НМШ-5 допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли обов'язковий медичний огляд (із отриманням особистої медичної книжки для роботи на підприємствах харчової промисловості), спеціальне професійне навчання, вступний та первинний інструктажі з охорони праці на робочому місці з відповідним фіксованим записом у журналі реєстрації. Перед початком зміни оператор цеху зобов'язаний візуально пересвідчитися у повній справності апарату, надійності підключення заземлювального провідника до загального контуру, цілісності захисного кожуха муфти, відсутності витоків молока чи олив. Первинний пуск обладнання здійснюється короткочасно в холостому режимі для перевірки правильного напрямку обертання вала (вказано стрілкою на корпусі) та відсутності нехарактерних шумів чи надмірної вібрації. У разі виявлення будь-якого дефекту насос необхідно негайно зупинити кнопкою аварійного вимкнення та викликати чергового майстра або слюсаря ремонтно-механічного цеху (РМЦ). Під час роботи насоса НМШ-5 заборонено знімати захисні огороження муфти, закручувати болти або гайки на елементах під тиском, підтягувати ущільнення під час обертання вала, а також виконувати будь-які інші операції, що не передбачені робочою технологічною інструкцією. Усі ремонтні, очисні, регулювальні роботи, а також ручне змащування деталей під час роботи електродвигуна категорично заборонені. У разі виникнення аварійної ситуації, різкого стрибка тиску вище норми, перевантаження двигуна чи появи запаху горілої ізоляції через потрапляння вологи, апарат негайно знееструмлюють за допомогою окремого загального автоматичного вимикача або

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кнопки «СТОП» (що повинна мати вологозахищене виконання IP65). Величина опору захисного заземлення при цьому не повинна перевищувати 4 Ом. По закінченню зміни обладнання за потреби піддають санітарній СІР-мийці, перевіряють температуру підшипникових втулок і корпусу двигуна (яка не повинна перевищувати 70–80 °С) та передають інформацію про технічний стан наступній зміні. Профілактичні регламентні огляди, планово-попереджувальні (малі, середні) та капітальні ремонти мають здійснюватися суворо за графіком, затвердженим головним інженером молокозаводу, і лише за умови повного відключення електродвигуна від електромережі з витяганням запобіжників, блокуванням пускової кнопки та обов'язковим вивішуванням на пускових пристроях заборонних плакатів безпеки: «Не вмикати! Працюють люди». Перед розбиранням самого насоса для ремонту необхідно повністю відсікти його від технологічної лінії цеху за допомогою запірних засувок, скинути залишковий тиск у системі та повністю злити залишки продукту чи промивної рідини з корпусу через зливні пробки. Пожежна небезпека на ділянці експлуатації насосного обладнання може виникнути переважно внаслідок короткого замикання або перевантаження в обмотках електродвигуна, пусковій апаратурі чи через підпал мастильних матеріалів при їх витоку на гарячі поверхні двигуна. Тому виробнича зона цеху обов'язково комплектується первинними засобами пожежогасіння, зокрема вуглекислотними (типу ВВ) або порошковими (типу ВП) вогнегасниками, які дозволено використовувати для гасіння електроустановок під напругою, а також пожежними кран-комплектами. Загалом під час проєктування цехів молокозаводів та монтажу технологічного устаткування обов'язково забезпечуються нормовані параметри виробничих проходів, де головні проходи в місцях постійного перебування працівників становлять не менше 1,5 м, проходи вздовж віконних прорізів — не менше 1,0 м, проходи для регулярного огляду та налаштування контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) — не менше 0,8 м, а проходи для періодичного огляду трубопроводів, фланцевих з'єднань і запірної арматури лінії перекачування молока — не менше 0,7 м. Ширина головних проїздів та проходів

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

між автоматизованими чи механізованими лініями за їхніми осями має бути не меншою за 2,4 м, а технологічні розриви між окремими насосними агрегатами, машинами чи ємностями (танками), встановленими в один ряд, повинні становити не менше 0,35 м для забезпечення вільного доступу слюсарів під час ремонту та дефектування. Одними з найбільш поширених ризиків на переробних підприємствах є саме механічні небезпеки, пов'язані з наявністю відкритих рухомих частин обладнання, як-от ланцюгові, пасові, зубчасті передачі, вали чи внутрішні мішалки в ємностях для зберігання молока. Оцінювання та зниження цих ризиків регламентується сучасними стандартами безпечності машин, а захисні дверцята чи кожухи великих агрегатів цеху повинні мати зручні механізми відкривання та пристрої автоматичного блокування. Завдяки використанню кінцевих електричних вимикачів або фотоелектричних датчиків, будь-яка спроба відкрити кришку, зняти кожух або перетнути оператором світловий промінь у небезпечній зоні лінії пастеризації чи фасування призводить до миттєвого розриву кола живлення магнітного пускача, що повністю зупиняє привід машини та запобігає травмуванню персоналу. Експлуатація обладнання цеху, пов'язаного з відкритими технологічними місткостями, ваннами тривалої пастеризації чи перекачуванням гарячих середовищ (гарячого молока, сироватки, пари), супроводжується інтенсивним виділенням вологи, шкідливих парів та конвективного тепла. Для асиміляції цих виділень і створення нормальних санітарно-гігієнічних умов на робочих місцях влаштовують локальну припливно-витяжну вентиляцію у вигляді місцевих відсосів або витяжних зонтів над тепловим обладнанням, а на фіксованих робочих місцях із високим тепловим опроміненням передбачають повітряне душування. Параметри мікроклімату, включаючи температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря у робочій зоні цеху молокозаводу, мають суворо відповідати вимогам сучасних Державних санітарних норм (ДСН 3.3.6.042-99) для запобігання перегріву чи переохолодженню персоналу.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Заходи з безпеки життєдіяльності

Організація комплексної системи безпеки життєдіяльності [20,21] персоналу в межах апаратного цеху сучасного молокозаводу є базовою умовою для забезпечення безперебійного виробничого процесу, збереження здоров'я працівників та повної ліквідації ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного чи природного характеру. Специфіка роботи апаратного цеху переробного підприємства пов'язана з постійним функціонуванням великої кількості складного обладнання, що працює під надлишковим тиском, транспортуванням значних об'ємів гарячих харчових середовищ, системним використанням концентрованих хімічних реагентів для санітарної обробки комунікацій, а також експлуатацією потужних насосних агрегатів, зокрема шестеренних насосів марки НМШ-5. Усі ці фактори створюють складне виробниче середовище, яке вимагає впровадження жорстких інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів для гарантування повної безпеки життєвого простору.

Забезпечення оптимальних та комфортних умов життєдіяльності безпосередньо на робочих місцях апаратників і слюсарів-ремонтників базується на суворому дотриманні чинних державних санітарних норм щодо мікроклімату та освітленості промислових приміщень. Оскільки переробка молока та виробництво готової продукції супроводжуються постійним виділенням значної кількості конвективного тепла від пастеризаційних установок і вторинної пари, в апаратному цеху функціонує потужна загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням та автоматичним регулюванням. Над зонами можливого скупчення пари, точками відбору проб та теплообмінниками додатково змонтовані локальні витяжні зонти. Це дозволяє ефективно асимілювати вологу і підтримувати параметри повітряного середовища в межах, визначених ДСН 3.3.6.042-99, де оптимальна температура в холодний період року становить від вісімнадцяти до двадцяти градусів за Цельсієм, у теплий

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

період не перевищує двадцяти п'яти градусів, а відносна вологість повітря стабільно утримується в діапазоні від шістдесяти до сімдесяти п'яти відсотків.

Робочі зони навколо шестеренних насосів НМШ-5, резервуарів-танків та пультів керування автоматикою обладнані раціонально спроектованим штучним освітленням, яке гармонійно поєднується з природним світлом через віконні прорізи. З огляду на специфіку цеху, де щозміни проводиться вологе прибирання, всі освітлювальні прилади, силова апаратура та пускові блоки мають високий рівень волого- та пилозахищеного виконання з класом захисту не нижче IP65, що повністю виключає ризик короткого замикання або пробою на корпус при потраплянні водяних бризок. Поруч із робочим функціонує повністю незалежне аварійне та евакуаційне освітлення, яке автоматично вмикається від акумуляторних батарей у разі раптового знеструмлення підприємства і забезпечує видимість для безпечного виходу людей.

Окремим важливим аспектом безпеки життєдіяльності в апаратному цеху є захист персоналу від хімічної небезпеки під час проведення обов'язкової щозмінної санітарної обробки обладнання, технологічних трубопроводів та безпосередньо внутрішніх робочих камер насосів НМШ-5. Для видалення щільних білкових відкладень та молочного жиру застосовується безрозбірне миття за допомогою централізованих СІР-систем, які використовують гарячі циркуляційні розчини каустичної соди з концентрацією до двох відсотків та азотної кислоти з концентрацією до одного відсотка за температури середовища до вісімдесяти п'яти градусів за Цельсієм. Щоб повністю виключити фізичний контакт працівників із агресивними речовинами, процеси приготування, циркуляції, нейтралізації та дозування мийних концентратів є повністю автоматизованими, а самі магістралі мають суцільнозварну конструкцію з нержавіючої сталі з мінімальною кількістю фланцевих з'єднань. Ті працівники, які залучені до підключення гнучких шлангів або технічного обслуговування арматури СІР-станції, у обов'язковому порядку забезпечуються спецодягом та засобами індивідуального захисту, включаючи прогумовані хімічно стійкі фартухи, довгі нітрилові рукавиці, герметичні захисні окуляри або повні лицьові

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маски, а також спецвзуття з нековзною підошвою. Безпосередньо в цеху, у кроковій доступності від насосних агрегатів, облаштовані стаціонарні гідранти та спеціальні аварійні фонтанчики, підключені до системи чистої проточної води, що дозволяє миттєво промити очі або шкіру в разі випадкового дисперсного сплеску реагенту під час стикування комунікацій.

Попередження та ефективна ліквідація наслідків аварійних ситуацій в апаратному цеху нерозривно пов'язані з контролем гідродинамічних параметрів роботи насосів об'ємного типу. Оскільки шестеренний насос НМШ-5 працює за принципом витіснення рідини замкненими порожнинами шестерень, будь-яке випадкове або помилкове перекриття запірної арматури на нагнітальному трубопроводі під час роботи електродвигуна призводить до миттєвого, майже неконтрольованого стрибка тиску в системі. Це може спричинити руйнування корпусу насоса, розрив зварних швів труб і фланців, а також призвести до небезпечного травмування персоналу потужним струменем гарячого продукту. Для нівелювання цього ризику в конструкцію самого насоса НМШ-5 штатно інтегровано гідравлічний запобіжний клапан, який виконує роль байпаса і при перевищенні встановленого робочого тиску автоматично перепускає надлишок рідкого молочного продукту зі сторони нагнітання назад у всмоктувальну порожнину насоса. Технологічна обв'язка трубопроводів у цеху додатково дублюється зовнішніми пружинними клапанами, які налаштовані на спрацьовування при критичному тиску і забезпечують безпечне скидання робочого середовища в закриту дренажну систему. Сама підлога апаратного цеху має спеціальне конструктивне виконання з покриттям кислототривкою керамічною плиткою та чітко розрахованими похилами в сторону каналізаційних трапів і лотків, які зверху щільно закриті рівними металевими решітками. Така конфігурація повністю запобігає утворенню калюж води, жиру чи залишків молока, суттєво знижуючи ризик падіння чи травмування працівників на слизьких поверхнях під час виконання поточних операцій.

Усі працівники апаратного цеху молокозаводу проходять регулярні комплексні інструктажі, навчання та практичні тренування з питань цивільного

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисту, пожежної безпеки та загального курсу безпеки життєдіяльності. Чітко визначений та відпрацьований до автоматизму алгоритм дій персоналу при виникненні основних видів надзвичайних ситуацій гарантує збереження життєдіяльності колективу. При виявленні перших ознак виникнення пожежі, таких як поява задимлення, іскріння пускової апаратури або характерний запах горілої ізоляції обмоток електродвигуна насоса, оператор зобов'язаний негайно зупинити весь технологічний процес за допомогою найближчої кнопки аварійного вимкнення та повністю знеструмити ділянку або весь цех шляхом відключення головного силового рубильника в розподільчому щиті. Після цього здійснюється негайне повідомлення оперативно-рятувальної служби за телефоном сто один, сповіщається керівництво заводу, і за умови відсутності прямої загрози для життя працівники приступають до локалізації осередку загоряння за допомогою первинних засобів пожежогасіння, використовуючи цехові вогнегасники вуглекислотного або порошкового типу, які офіційно дозволені для застосування в електроустановках під напругою.

У разі раптової розгерметизації гідравлічної системи, фланців чи корпусних деталей насоса під тиском, працівники повинні негайно захистити обличчя руками, відійти на безпечну віддаль від траєкторії викиду рідини чи пари, після чого дистанційно, з центрального загальноцехового щита керування, повністю зупинити роботу насосного агрегату НМШ-5. Наступним кроком є повне перекриття корінних ручних або пневматичних засувки подачі молока з великих резервуарів-танків для локалізації витoku, а пошкоджена зона негайно огорожується сигнальною стрічкою до прибуття чергової слюсарної бригади ремонтно-механічного цеху. Якщо ж відбувається нещасний випадок, пов'язаний із травмуванням або ураженням працівника електричним струмом у вологому середовищі, першочерговою дією є негайне звільнення потерпілого від контакту з токоведучими частинами шляхом вимкнення відповідного автомата живлення або за допомогою безпечних діелектричних підручних предметів, наприклад, сухої дерев'яної підставки. Після цього терміново викликається швидка медична допомога за телефоном сто три та цеховий медичний персонал, а до їхнього

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прибуття потерпілому надається перша невідкладна долікарська допомога, яка залежно від характеру ураження включає проведення штучного дихання, непрямого масажу серця чи накладання чистих стерильних пов'язок на ділянки термічних або хімічних опіків.

Організована та безпечна евакуація всього персоналу з приміщення апаратного цеху у випадку масштабної та неконтрольованої надзвичайної ситуації здійснюється суворо за чітко визначеними і найкоротшими маршрутами, які детально відображені на затверджених схемах і планах евакуації, розміщених на стінах цеху. Усі чинні евакуаційні виходи обладнані зеленими світловими показниками з написом «ВИХІД», які підключені до системи безперебійного живлення і світяться постійно. Для забезпечення вільного і швидкого руху людей усі проходи, коридори, тамбури та підступи до дверей завжди підтримуються в ідеальній чистоті та за жодних обставин не захлаблюються порожньою тарою, демонтованими деталями насосів під час ремонтів ППР чи будь-якими іншими сторонніми предметами. Виконання цих інженерних, санітарних та організаційних заходів допомагає підтримувати стабільну роботу апаратного цеху молокозаводу, мінімізує ризик виробничого травматизму та забезпечує безпечні й належні умови праці для всього персоналу.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У кваліфікаційній роботі розроблено комплексну систему організаційно-технічних заходів з монтажу, технічного обслуговування та ремонту шестеренного насоса марки НШМ-5-25 харчового виконання, призначеного для перекачування в'язких молочних продуктів.

У ході виконання роботи вирішено такі задачі:

Виконано аналіз конструктивних особливостей та умов роботи насоса НШМ-5-25. Встановлено, що насос є шестеренним об'ємним агрегатом промислового призначення з подачею 5,0 м³/год та максимальним тиском 2,5 кгс/см², адаптованим до роботи в безрозбірних системах санітарного очищення CIP/SIP.

Проведено огляд та порівняльний аналіз конструкцій об'ємних насосів різних типів. Показано переваги шестеренних насосів для перекачування в'язких харчових середовищ порівняно з відцентровими, перистальтичними та гвинтовими аналогами – зокрема, за показниками точності дозування, самовсмоктування та незалежності подачі від протитиску.

Виконано повний інженерний розрахунок насоса НШМ-5-25 для умов перекачування згущеного молока ($\rho = 1310 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 3,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$). Визначено оптимальні геометричні параметри шестеренної пари: модуль $m = 6,5 \text{ мм}$, ширина шестерень $b = 45,5 \text{ мм}$, зовнішній діаметр $d_a = 78 \text{ мм}$. Режим течії продукту в трубопроводі – ламінарний ($Re = 13,24$). Обраний електродвигун потужністю 1,5 кВт забезпечує необхідний крутний момент 10,25 Н·м при 750 об/хв.

Перевірка міцності зубів шестерень підтвердила надійність конструкції: контактні напруження становлять 318 МПа при допустимих 450 МПа (запас 29%), а напруження згинання – лише 9,06 МПа при допустимих 120 МПа (понад 10-кратний запас).

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кутень Р.В.			Висновки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Шинкарик М.М.								91	
Реценз.								гр. МО-41			
Н. Контр.		Кравець О.І.									
Затверд.		Пилипець О.М.									

Розроблено схему монтажу насоса НШМ-5 з обґрунтуванням вибору такелажного оснащення (стропа 2СТ вантажопідйомністю 2–3 т). Визначено методи вивірки агрегату на фундаменті з точністю 0,05 мм/м та перелік монтажних інструментів відповідно до таблиці 3.1.

Розроблено систему планово-попереджувального ремонту насоса зі структурою ремонтного циклу тривалістю 36 місяців (К–ТО–М×10–С–М×5–К). Розрахована річна трудомісткість ремонтних робіт становить 138 люд.-год, з них 99,36 люд.-год – слюсарні роботи.

Розроблено технологічну документацію на ремонт вузла ведучого вала насоса, що включає 14 послідовних операцій складання із зазначенням інструменту, технічних вимог та норм часу.

Проведено дефектування деталей насоса після капітального ремонту. Встановлено, що зношені шестерні та підшипникові втулки підлягають заміні, вал та корпус потребують відновлення, ущільнювальні кільця замінюються комплектно.

Розроблено заходи з безпеки праці та охорони праці при обслуговуванні насосного обладнання, а також заходи захисту від техногенних аварій та пожежного захисту виробничих об'єктів.

Розроблені заходи з монтажу, технічного обслуговування та ремонту шестеренного насоса НШМ-5 можуть бути впроваджені на молокопереробних підприємствах для підвищення надійності та довговічності насосного обладнання, стабілізації технологічних параметрів і зниження витрат на утримання виробничих ліній.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Вітенько Т., Ворощук В. Навчально-методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 – «Механічна інженерія». ФОП Паляниця, 2024. 48 с.
2. Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв : навчальний посібник. Київ : ЦНЛ, 2007. 337 с.
3. Бабанов І.Г. та ін. Інноваційне обладнання молокопереробних підприємств. Київ: ТОВ «ІНКОС», 2019. 718 с.
4. Дацишин О. В. Машини та обладнання переробних підприємств. - К.: Вища освіта, 2005.
5. Шинкарик, М. М., Ворощук, В. Я. Технологічне обладнання консервної промисловості : навч. посібник. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 284 с.
6. Гончаренко, Г. М., Дуб, В. В., Гончаренко, В. В. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв : довідник. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
7. Гладушняк, О. К. Технологічне обладнання консервних заводів : підручник. Херсон : Грінь Д. С., 2015. 348 с. ISBN 978-617-7243-92-1.
8. Бендера, І. М., Стрельчук, О. Я., Семенов, О. М. Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв : лабораторний практикум. Кам'янець-Подільський : Сисин О. В., 2007. 204 с.
9. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 164 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>Кутень Р.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Шинкарик М.М.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кравець О.І.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець О.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						93	
					<i>гр. МО-41</i>		

- 10.Самойчук К.О. та ін. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник. Київ: ПрофКнига, 2020. 428 с.
- 11.Вітенько, Т. М. Сучасні підходи до конструювання і моделювання робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв / Т. М. Вітенько, В. Я. Ворошук. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: третя міжнародна науково-практична конференція, 4–6 вересня 2019 р. / під ред. Дейниченко Г. В. – ХДУХТ, 2019. – С. 108–109.
- 12.Кіркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Розрахунки і проектування деталей машини. - Харків. Основа, 1991.- 275с.
- 13.Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин.– К.: Вища школа, 1993.– 556с.
- 14.Григурко І.О., Брендуля М.Ф., Доценко С.М. Технологія машинобудування (дипломне проектування) Навчальний посібник. — Львів: Новий світ-2000, 2011. — 770 с.
- 15.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.
- 16.Дячун А. Є. «Технологія обробки типових деталей та складання машин» : методичний посібник з виконання курсового проекту / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. — Тернопіль : ТНТУ , 2016. — 75 с.
- 17.Структура технологічного процесу ремонтного виробництва : методичні вказівки з дисципліни «Технологія ремонту та відновлення деталей машин» для практичних занять і самостійної роботи студентів всіх форм навчання та дистанційної освіти / Укладачі : Радик Д.Л., Ткаченко І.Г., Радик М.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 56 с.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 18.Ткачук К.Н. та ін. Основи охорони праці: підручник. 2-ге вид. Київ: Основа, 2006. 448 с.
- 19.Одарченко М.С. та ін. Основи охорона праці. Харків: Стиль-Издат, 2017. 334 с.
- 20.Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 156 с.
- 21.Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Тернопіль: ФОП Паляниця.

					КРБ 064.00.00.000 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		