

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

**магістра**

(освітній ступінь)

на тему:

**Обґрунтування параметрів  
силового агрегату машини ПРТ-3,2**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МСм

спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Машини сільськогосподарського виробництва

(шифр і назва спеціальності, спеціалізації)

Ратушняк Н.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Довбуш А.Д.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

(підпис)

Гевко Р.Б.

(прізвище та ініціали)

# Зміст

## Анотація

Вступ -----

### 1. Аналіз особливостей об'єкту проектування -----

1.1. Умови та вимоги до приготування робочих розчинів отрутохімікатів машиною ПРТ-3.2 -----

1.2. Будова, принцип роботи та технічна характеристика базової моделі приготовлювача-транспортувальника рідин ПТР-3,2 -----

1.3. Огляд машин-аналогів -----

1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи магістра -----

### 2. Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки -----

2.1. Розрахунок на міцність силового агрегату відцентрового насоса приготовлювача-транспортувальника рідин ПРТ-3.2 -----

2.2. Розрахунок зубчатих коліс силового агрегату на витривалість при згині -----

2.3. Розрахунок на міцність при згині максимальним навантаженням -----

### 3. Дослідження параметрів об'єкту розробки -----

3.1. Обґрунтування довговічності підшипників вхідного вала -----

3.2. Розрахунок підшипників вихідного вала -----

3.3. Обґрунтування параметрів вихідного вала -----

2.4. Обґрунтування параметрів шпонок -----

### 4. САПР сільськогосподарських машин -----

4.1. Методи та системи САПР сільськогосподарської техніки -----

4.2. Розробка моделі об'єкту проектування -----

|           |  |
|-----------|--|
| 4.3.      | Аналіз даних за результатами проектування -----  |
| <b>5.</b> | <b>Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі -----</b>                                     |
| 5.1.      | Аналіз конструктивних особливостей і технологічність деталі -----  |
| 5.2.      | Проектування технологічного процесу механічної обробки -----   |
| 5.3.      | Розробка спеціальних верстатних пристроїв -----  |
| <b>6.</b> | <b>Обґрунтування економічної ефективності -----</b>  |
| 6.1       | Організація інженерної діяльності як етап проектування<br>машин -----                                      |
| 6.2       | Оцінка технічного рівня виробу -----   |
| 6.3       | Економічна ефективність використання машини удосконаленої<br>конструкції -----                             |
| <b>7.</b> | <b>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях -----</b>   |
| 7.1       | . Державні нормативні акти з охорони праці -----   |
| 7.2       | Техніка безпеки при приготуванні робочих рідин для<br>хімічного захисту рослин -----                       |
| 7.3       | Безпека праці в надзвичайних ситуаціях -----   |
| <b>8.</b> | <b>Екологія -----</b>  |
| 8.1       | Вплив на довкілля хімічних препаратів, що<br>використовуються при сільськогосподарському виробництві ----- |
| 8.2       | Заходи щодо зменшення негативного впливу агрохімікатів на навколишнє<br>середовище -----                   |
|           | <b>Загальні висновки -----</b>   |
|           | <b>Перелік використаної літератури -----</b>   |
|           | <b>Додатки -----</b>   |

## Анотація

Необхідність удосконалення силового агрегату приготувальника транспортувальника рідин ПТР-3.2 виникла після проведення порівняння технічних характеристик машин-аналогів, зокрема закордонного виробництва. Як виявилось, що при закладених потужностях приводу насосного агрегату відцентровий насос має недостатню продуктивність, що негативно позначається на продуктивності всієї машини, а відповідно і собівартості виконуваної операції. Тому було прийнято рішення збільшити продуктивність насосного агрегату за рахунок встановлення відцентрового насоса більшої продуктивності, але такого щоб силова частина насосного агрегату залишалася старою, тобто можна використати існуючий привід. З цією метою діаметр робочого колеса було збільшено до 0,178 м з 0,145 м, де домоглися збільшення продуктивності насосного агрегату на 20%, що дозволило вийти на рівень світових аналогів.

Актуальним тепер стало перевірити на міцність силову частину насосного агрегату. Вихідні параметри для перевірки взяті в конструкторському бюро заводу-виготовлювача, а також зроблені деякі самостійні дослідження для визначення вихідних параметрів.

Робота складається з анотації, вступу, восьми розділів, використаної літератури та додатків. Основний матеріал викладено на \_\_\_\_ сторінках машинописного тексту, де міститься \_\_\_\_ малюнків та \_\_\_\_ таблиць. Додатки займають \_\_\_\_ сторінок. Графічний матеріал викладено на \_\_\_\_ листах формату А1.

В першому розділі роботи описано роботу машини, вказано на недоліки, обґрунтовано тему дипломної роботи. В другому та третьому - проведено необхідні розрахунки, що стосуються міцності силового агрегату. В четвертому розділі розроблена математична модель об'єкту проектування. Також виконано проектування технологічного процесу виготовлення деталі розробленого вузла машини. В дипломній роботі також пророблено питання економічної ефективності, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, екології, зроблені відповідні висновки.



## Вступ

У розв'язанні завдань щодо збільшення виробництва сільськогосподарської продукції важливе місце належить захисту сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб та бур'янів. Для подальшого розвитку виробництва передбачено вдосконалити хімічні засоби захисту рослин, повністю механізувати технологічні процеси їх зберігання та ефективного використання. Поряд з цим поставлено завдання вдосконалити технології захисту рослин, щоб виключити або значно зменшити шкідливий вплив пестицидів на навколишнє середовище, широко застосовувати методи захисту сільськогосподарських культур, не шкідливі для людини і тварин, технічно переозброїти сільське господарство.

Виходячи із цих завдань підвищуються основні технологічні та експлуатаційні вимоги до машин для захисту рослин і в першу чергу до їх технологічної надійності, якості виконання технологічного процесу, непродуктивних втрат препаратів у навколишнє середовище.

Тому метою роботи є поряд із запропонованим вдосконаленням насосного агрегату приготувача-транспортувальника забезпечення його високої надійності.

Також в роботі приділена серйозна увага міцнісним розрахункам силового агрегату, від яких безпосередньо залежить надійність та безвідмовність роботи машини в цілому. При проектуванні будь-якої машини не можна забувати про безпечність її експлуатування та вплив на навколишнє середовище. Ці питання враховані в роботі та зроблені відповідні висновки та рекомендації щодо зменшення шкідливого впливу та підвищення умов безпечного експлуатування.

# ОСНОВНА ЧАСТИНА

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

#### **1.1. Умови та вимоги до приготування робочих розчинів отрутохімкатів машиною ПТР-3.2**

Для роботи з машиною необхідно вивчити посібник по експлуатації "Санітарні правила по зберіганню, транспортуванню і використанню пестицидів (отрутохімкатів) в сільському господарстві", а також згідно [1], забороняється:

1. Допускати до роботи з машиною осіб віком до 18 років, матерів, які годують грудьми і вагітних жінок.

2. Забирати додому спецодяг.

3. Приймати їжу і палити на місці роботи.

4. Під час роботи змащувати машину, проводити усунення пошкоджень і доторкатися до деталей, які обертаються.

Огляд, регулювання, догляд за машиною проводиться тільки при виключеному тракторі, чи іншого джерела живлення.

5. Працювати з пошкодженими рукавами і негерметичними з'єднаннями.

6. Використовувати в будь-яких господарських цілях бак машини і тару від розчинів пестицидів.

7. Працювати без гумових рукавиць, фартуха, чобіт, а також окулярів, противогазу чи фільтруючого противогазового респіратора.

8. Транспортувати машини без страхуючого пристрою, з непід'єднаними і несправними гальмами і електрообладнанням.

9. Промивати бак і комунікацію поблизу водоймищ.

10. Починати роботу з виключеним чи несправним манометром.

11. Проводити роботи з колесами машини без встановлення домкрата.

12. Особи, які допущені до роботи з машиною, повинні пройти медичний огляд і періодично обстежуватися не рідше одного разу на 12 місяців.

13. Особи, які працюють з машиною, повинні дотримуватися правил особистої гігієни: руки перед роботою змазувати вазеліном, перед їдою і в кінці роботи знімати спецодяг, мити руки і лице теплою водою.

14. З'єднання машини з трактором повинні проводити два чоловіка - тракторист і допоміжний робочий.

15. При монтажі і демонтажі тяжких вузлів машини (цистерни, насосного агрегату) використовувати вантажопідйомні механізми, які є в господарстві.

16. Бачок для води мити руки під час експлуатації машини має бути заповнений водою.

17. Транспортування машини по дорогам загального користування проводиться згідно з "Правилами дорожнього руху".

18. Більш детальний інструктаж при роботі з машиною має проводитися на місці роботи спеціалістом, який керує роботою.

## **1.2. Будова, принцип роботи та технічна характеристика базової моделі машини ПТР-3,2**

Машина призначена для приготування розчинів, суспензій, емульсій з пастоподібних, кристалічних, порошкоподібних і рідких пестицидів і рідких мінеральних добрив (КАС), транспортування робочої рідини і заправлення обприскувачів і машин для внесення рідких мінеральних добрив [1].

Машина може використовуватись за допомогою брандспойта для побілки і дезінфекції тваринницьких ферм, побілки штаблів дерев та миття техніки.

Машина по кліматичному виконанню призначена для експлуатації у макрокліматичних районах з помірним кліматом "У" на відкритому повітрі категорія I по ГОСТ 15150-69.

Машина призначена для застосування у зонах України, крім районів гірського землеробства. [2-4].

По окремому заказу машина повинна поставлятися з пристроєм для роздріблення отрутохімікатів

Машина ПТР-3,2 напівпричіпна, агрегатується з тракторами класу 1,4 т. Конструктивно вона виконана напівпричепом, який приєднується до гідрогака трактора.

Машина складається із бака, відцентрового насоса, всмоктуючої і напірної комунікації і пристрою для приготування робочих рідин.

Показники призначення відповідають наведеним в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні дані приготовлювача-транспортувальника рідин ПТР-3,2

| Назва показників   | Величина |
|--|----------|
| Продуктивність за 1 год. основного часу:   |          |
| -при приготуванні 1% бордоської рідини, т.год.   | 14       |
| -при приготуванні 1% бордоської рідини, транспортуванні на віддаль від 1 до 10 км і заправці машин, т.км/год | 7,6-31,3 |

Продовження таблиці 1.1

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| -при транспортуванні і заправці машин на віддалі від 1 до 10 км, т.км/год  | 15,5-50                              |
| Продуктивність за 1 год експлуатаційного часу:   |                                      |
| -при приготуванні 1% бордоської рідини, т.год.   | 9                                    |
| -при приготуванні 1% бордоської рідини, транспортуванні на віддалі від 1 до 10 км і заправці машини, т.км/год              | 7-12,8                               |
| -при транспортуванні і заправці машин на віддалі від 1 до 10 км, т.км/год  | 5,76-16,5                            |
| Робоча швидкість руху, км/год  | 15-20                                |
| Агрегатування, трактор класу   | 1,4 т                                |
| Місткість баку, м <sup>3</sup> /л/ не менше  | 3,2/3200/                            |
| Робочий тиск у напірній системі, МПа, не менше   | 0,4                                  |
| Дорожній просвіт, мм, не менше   | 350                                  |
| Кількість персоналу по професіях, необхідного для обслуговування операцій, безпосередньо пов'язаних з роботою машини, чел: |                                      |
| -при приготуванні робочих рідин  | 2 (тракторист і допоміжний робітник) |
| -при транспортуванні і заправці машин  | 1 (тракторист)                       |
| Коефіцієнт надійності технологічного процесу   | 0,95                                 |
| Маса машини, кг, не більше:  |                                      |
| Суша (конструкційна) з комплектом робочих органів і пристроїв для виконання основної технологічної операції                | 2050                                 |
| суха (конструкційна) з повним комплектом робочих органів і пристроїв   | 2100                                 |

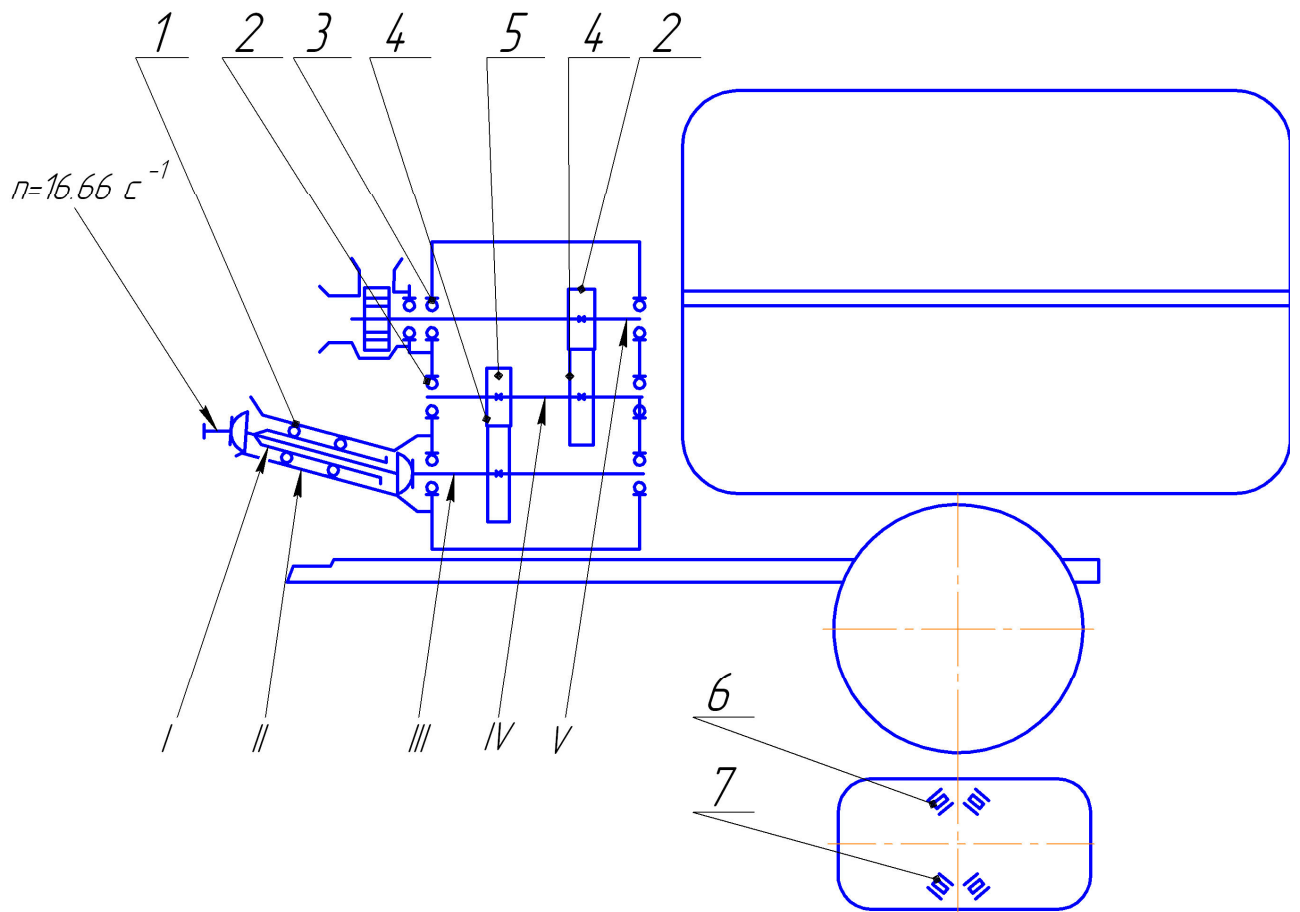
Закінчення таблиці 1.1

| Назва показників   | Величина |
|--|----------|
| експлуатаційна з комплектом робочих органів і пристроїв для виконання основної технологічної операції (при $\gamma = 1,2 \text{ г/см}^3$ ), кг | 5900     |
| Габаритні розміри в робочому та транспортному положенні, мм, не більше   |          |
| довжина  | 5500     |
| висота   | 2600     |
| ширина   | 2900     |
| Потужність необхідна для приводу робочих органів, кВт, не більше   | 30       |
| Оперативна трудомісткість переобладнання машин на інші операції, чол.-год, не більше   | 0,1      |
| Вимоги надійності:   |          |
| строк служби, років, не менше  | 7        |
| коефіцієнт готовності:   |          |
| за оперативним часом   | 0,985    |
| з врахуванням організаційного часу   | 0,98     |

### **Будова і робота базової моделі приготувальника-транспортувальника**

Кінематична схема машини передбачує відбір потужності від валу трактора /ВВП/ за допомогою телескопічної карданної передачі і передачі її над привід редуктора насосного агрегату [1].

Обертання робочому колесу насоса (рис. 1.1) передається від валу відбору потужності (ВВП) трактора через карданну передачу 1, через вали 2, 3, зубчасті колеса, шестерню редуктора насосного агрегату.

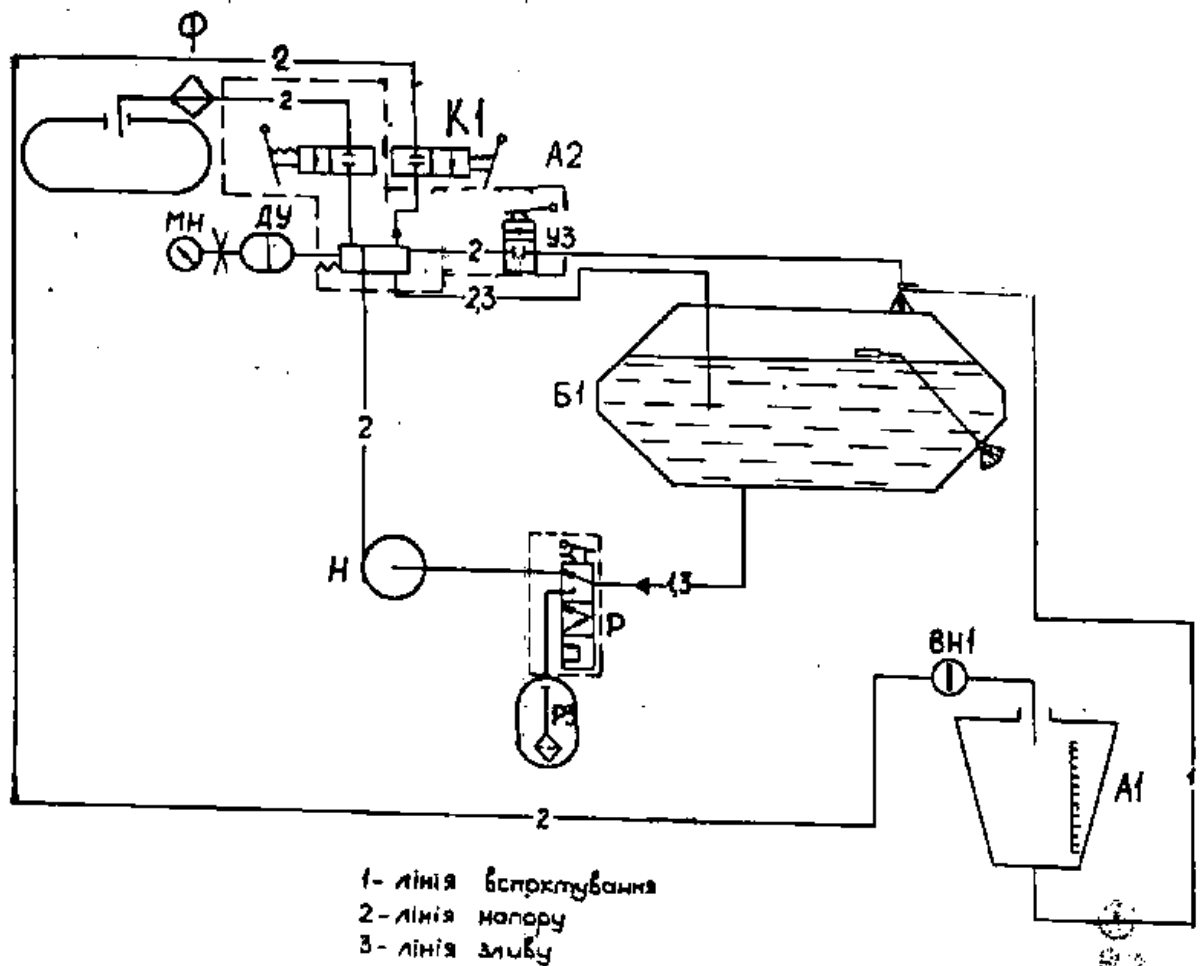


I, II - карданна передача; III, IV, V - вали редуктора насосного агрегату; 4 - колеса зубчаті  $Z = 46$ ; 5 - шестерня  $Z = 24$ ; 1- підшипник 180206; 2 - підшипник 310; 3 - підшипник 308; 6 - підшипник 7815 KI; 7- підшипник 7517

Рисунок 1.1 – Схема кінематична

Насосний агрегат складається із (одступінчатого редуктора і відцентрового насоса).

Гідравлічна схема машини передбачає заправку бака від спеціальних заправочних засобів через горловину бака, або власним заправним рукавом при допомозі власного відцентрового насосу.



А1 - пристрій для приготування рідин; Б1 – цистерна; А2 - регулятор тиску; Н - насосний агрегат; МН – манометр; К1 - запірний пристрій; Р – розподільник; ДУ- демпферний пристрій; Ф – фільтр; ВНІ - кульовий кран; РЗ - заправний рукав

Рисунок 1.2 – Гідравлічна схема

При приготуванні робочих рідин насос всмоктує воду із бака, препарат із пристрою для приготування рідин при допомозі струйного насосу і разом подаються в бак, де іде інтенсивне перемішування після чого через рукав проходить заправка бака інших засобів.

Конструктивно машина складається із рами з ходовою системою, баку, насосного агрегату і напірної комунікації, заправочного рукава, карданної передачі, пристрою для приготування робочих рідин і кузова для отрутохімікатів.

Рама зварної конструкції установлюється на вісь з колесами. Попереду рами розміщена причіпна серга для під'єднання до гідрогака трактора [2-4].

Бак машини виготовлений із склопластику з внутрішньої сторони покритий поліетиленом .



Насосний агрегат складається із редуктора і відцентрового самовсмоктуючого насоса.

Всмоктувальна і напірна комунікація служить для подачі рідини на струйний насос, пристрій для приготування робочих рідин, на перемішування і на заправку сторонніх ємкостей.

Регулятор витрат дозволяє вести плавне регулювання вливу робочої рідини. Контроль тиску в напірній комунікації проводиться по манометру.

Пристрій для приготування робочих рідин виготовляється із корозійностійких матеріалів.

Машина комплектується пневматичними гальмами і системою електрообладнання.

Використані в конструкції машини запозичені складальні одиниці і деталі, покупні вироби, матеріали використовуються у відповідності з своїми технічними характеристиками.

Виконання вимог безпеки і основних вимог ергономіки забезпечується наступними рішеннями:

розташування, конструкція складальних одиниць і механізмів машини забезпечує доступ до них і безпеку обслуговуючого персоналу при демонтажі і монтажі, експлуатації і ремонті;

під'єднання машини до трактора проводиться з допомогою гідрогака;

карданний вал має захисну загороду;

на видимих місцях машини повинні бути попереджувальні написи по техніці безпеки;

машина комплектується інструментом необхідним для технічного обслуговування в польових умовах і ящиком для його зберігання;

рівень рідини в баку визначається при допомозі рівноміра;

в конструкції машини передбачені пневматичні гальма і зовнішні світлові прилади.

Ергономічні показники:

зусилля на важелях керування, параметри середовища на робочому місці тракториста, обзорність не повинна перевищувати норм по ГОСТ 21752-76; ГОСТ 21753-76; ГОСТ І2.2.111-89.

## ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Машина вписується в комплекс технічних засобів по виконанню технологічних операцій зв'язаних з захистом рослин отрутохімкатами.

Найбільш раціональна організація робіт залежить від місця встановлення машини.

Для вибору місця встановлення машини необхідно [1]:

наявність джерела води;

наявність добрих під'їзних шляхів;

наявність місця для складання отрутохімкатів;

Підготовлений вибраний майданчик має бути покритий щебенем, шлаком, або піском.

Необхідно підготувати обладнання для роботи з машиною (відра, вода лопати).

При заповненні бака до необхідного рівня необхідно врахувати об'єм дозправки бака отрутохімкатами.

Забороняється одночасне змішування декількох пестицидів. Завантаження наступного пестициду повинна проводитися після повного вивантаження і змішування попереднього.

Порошок, вапно, мідний купорос необхідно розчиняти в пристрою для приготування робочих рідин розмиванням, повертаючи при цьому розмивочний пристрій на 180°.

Під час роботи необхідно слідкувати за станом фільтрів. Забивання фільтрів знижує продуктивність машини.

## ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ І ПОРЯДОК РОБОТИ

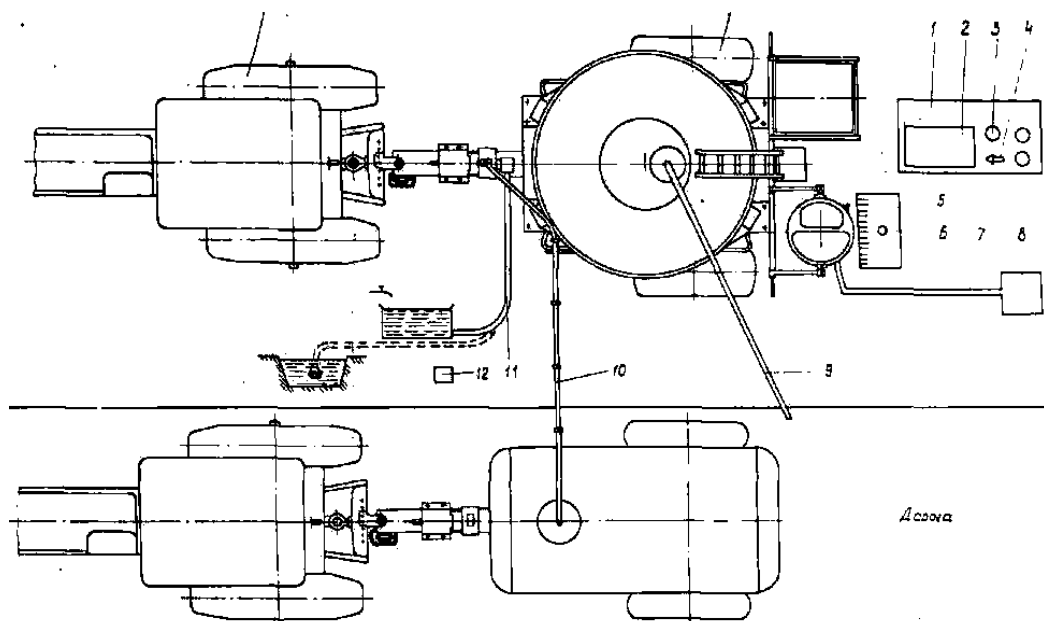
Машиною можна приготувати робочі рідини з двох компонентів - вода, пестицид і з трьох і більше компонентів - вода, і декілька різних пестицидів [1].

Концентрація робочих рідин може бути від 1 до 10 %, бордоської рідини від 1 до 4 %.

Необхідну концентрацію робочої рідини отримують шляхом вагового і об'ємного дозування вихідних компонентів. Вагову кількість пестициду визначають виходячи з об'єму робочої рідини  $3,2 \text{ м}^3 / 3200 \text{ л}$ .

Визначивши вагову кількість пестицидів» засипати кожний компонент окремо і визначивши візуально по знакам на обичайці об'єм бака, який займає даний пестицид. Надалі користуватися визначеними об'ємами.

Підготовка робочого місця до роботи (рис. 3).



- 1 - майданчик для отрутохімікатів; 2 - ящик для пастоподібних пестицидів;  
3- пестициди; 4 - вага; 5 - дерев'яний настил; 6 - робоче місце; 7 - канава для стоку;  
8- яма для стоку; 9 - заправний рукав; 10 - заправна штанга;  
11 - забірний рукав ; 12 - санітарний пункт

Рисунок 1.3 – Організація робочого місця

Для вибору місця встановлення машини необхідно:

- а) наявність джерела води. При роботі машини від штучного джерела необхідно мати накопичуючу ємкість, місткістю не менше  $4 \text{ м}^3$  (4000 л);
- б) наявність добрих під'їзних шляхів, бажано наскрізних, (щоб трактор з обприскувачем не розвертався);
- в) наявність місця для складування отрутохімікатів.

Підготувати вибраний майданчик. Майданчик має бути покритий щебенем, шлаком або піском і мати схил до стічної ями і стічну канаву шириною 0,3 м, глибиною 0,2 м.

Стічна яма має бути глибиною 1 м на відстані не менше 15 м від машини.

Підготувати обладнання, необхідне для роботи з машиною: вага, відра (4 шт.), лопати (2 шт.).

Підготувати пестициди.

Вапно повинно використовуватися тільки гашене і однорідної маси без грудок.

Заправити цистерну машини від автономних джерел води можна через спеціальний отвір в кришці цистерни.

Самозаправлення цистерни машини водою.

При відсутності обладнання для заправки цистерни через кришку, в машині передбачено спеціальний заправний рукав.

Для самозаправлення необхідно:

При першому заправленні машини залити в насос через заливну пробку воду.

Зняти корок з патрубку заправного рукава і розподільника.

Вставити патрубком заправного рукава в патрубком розподільника.

Опустити заправний рукав в ємкість з водою. Заправлення з водоймищ, річок, ставків забороняється.

Висунути шток розподільника до відказу і зафіксувати його затискачем.

Ручки регулятора тиску закрити, а гайку відкрутити максимально.

Плавню включити ВВП, поступово збільшуючи оберти до номінальних.

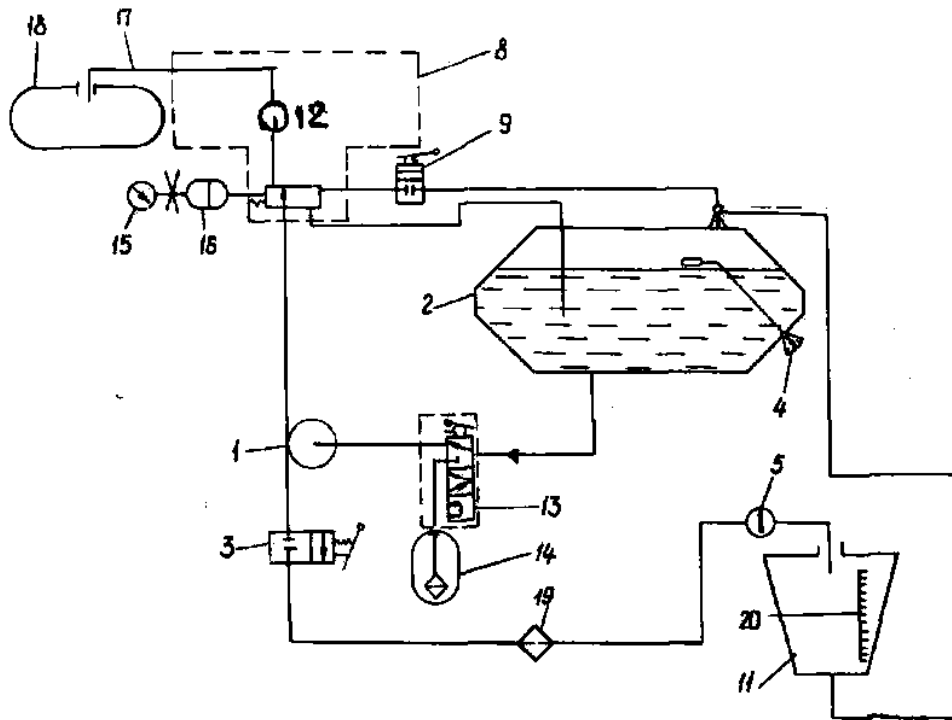
Спостерігаючи по шкалі рівнеміра наповнити цистерну водою.

Виключити ВВП трактора.

Від'єднати заправний рукав від патрубку розподільника.

Встановити пробки на патрубку розподільника і заправного рукава.

Приготування робочих рідин в цистерні (рис. 1.4).



1 - насос; 2 - цистерна; 3, 6, 9 - запірні пристрої; 4 - рівнемір; 5, 12 - кульові крани; 8 - регулятор тиску; 11 - пристрій для приготування рідин; 13 - клапан запірний; 14 - заправний рукав; 15 - манометр; 16 – демпферний пристрій; 17 - рукав; 18 - стороння ємкість ; 19 - фільтр; 20 - рівнемір пристрою для приготування рідин

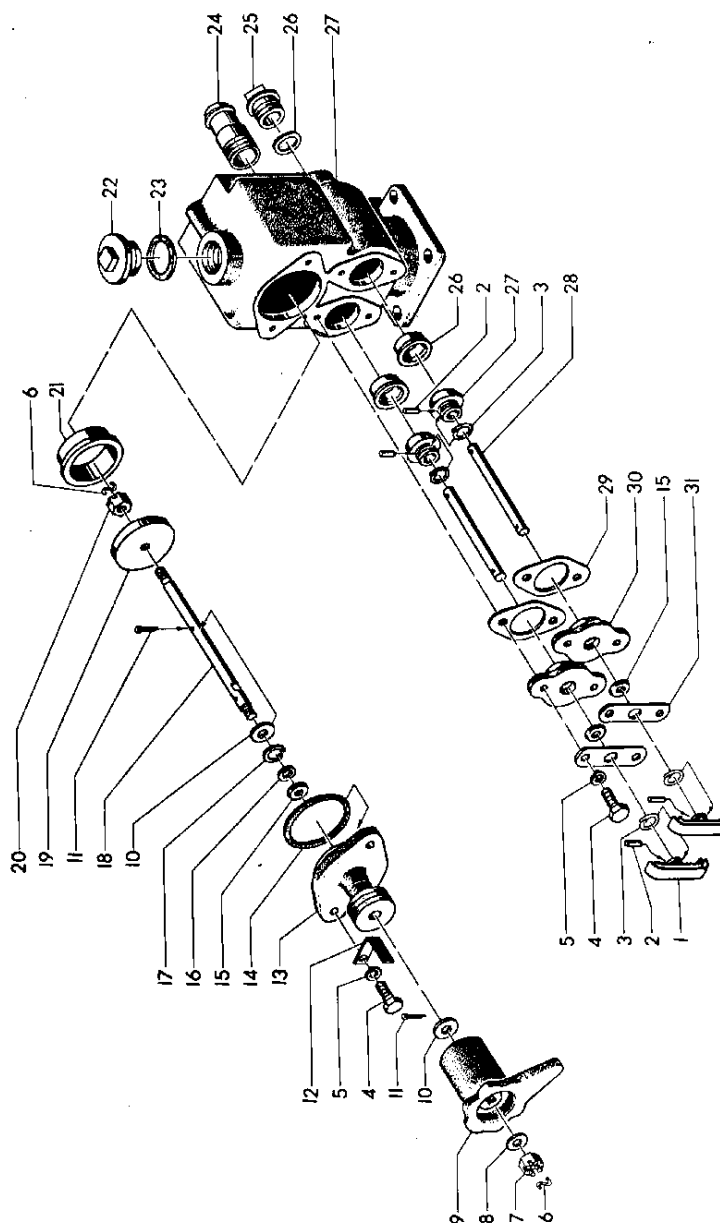
Рисунок 1.4 – Схема керування технологічним процесом:

Заповнити бачок (11) необхідним препаратом.

Забороняється одночасне змішування декількох пестицидів. Завантаження наступного пестициду повинна проводитися після повного завантаження і змішування попереднього.

Завантаження наступної порції проводиться тільки в порожній бачок (11). Максимальна кількість одноразового завантаження препарату в бачку 40 кг. Після заповнення препаратом кришка бачка пристрою має бути закрита. Шток розподільника (13) засунути. Відкрити крани (3,9).

Ручки регулятора тиску (1, рис. 1.5) і гайку 9 закрити.



1 - ручка; 2- фіксатор; 3 - кільце; 4 - болт М8-6gx25.58.019; 5 - шайба 8.65Г.019; 6 - проволочка НІ-І,6І; 7 - гайка М10-6Н.04.019; 8 - шайба 10.02.03.019; 9 – гайка; 10 - шайба 12x3.02. Ст3,019; 11- шплінт 3,2x20.019; Рисунок 1.5 –

### Регулятор тиску

Продовження під рисункового напису до рис. 1.5:

12- шкала; 13-кришка; 14-кільце 074-080-36-2-2; 15-манжета 1-20x12-6; 16- шайба; 17- кільце Б-20.65Г ЦІ5хр; 18-шток; 19-клапан; 20-гайка М10-Н.21Л2ХІ8НІОГ; 21-сідло; 22-пробка; 23 - прокладка; 24-ніпель; 25-корпус; 26- сідло; 27-клапан; 28-шток; 29-прокладка; 30-фланець; 31-пластина.

Включити насос (4, рис. 1.4).

При необхідності розмивання порошку, вапна, мідного купоросу відкрити кран (5). Спостерігати за заповненням по рівнеміру (20) повертаючи при цьому розмивочний пристрій на 180°.

Після завантаження закрити крани 3 і 5, гайку (9, рис. 1.5) відкрити перемішати.

Виключити насос.

Заправка сторонніх ємкостей (18 , рис. 1.4)

Шток розподільника (13) засунути.

Закрити крани (3, 9).

Ручки (1, рис. 1.5) регулятора тиску висунути, а гайку (9) закрити.

Включити насос (4, рис. 1.4) перемішати робочу рідину.

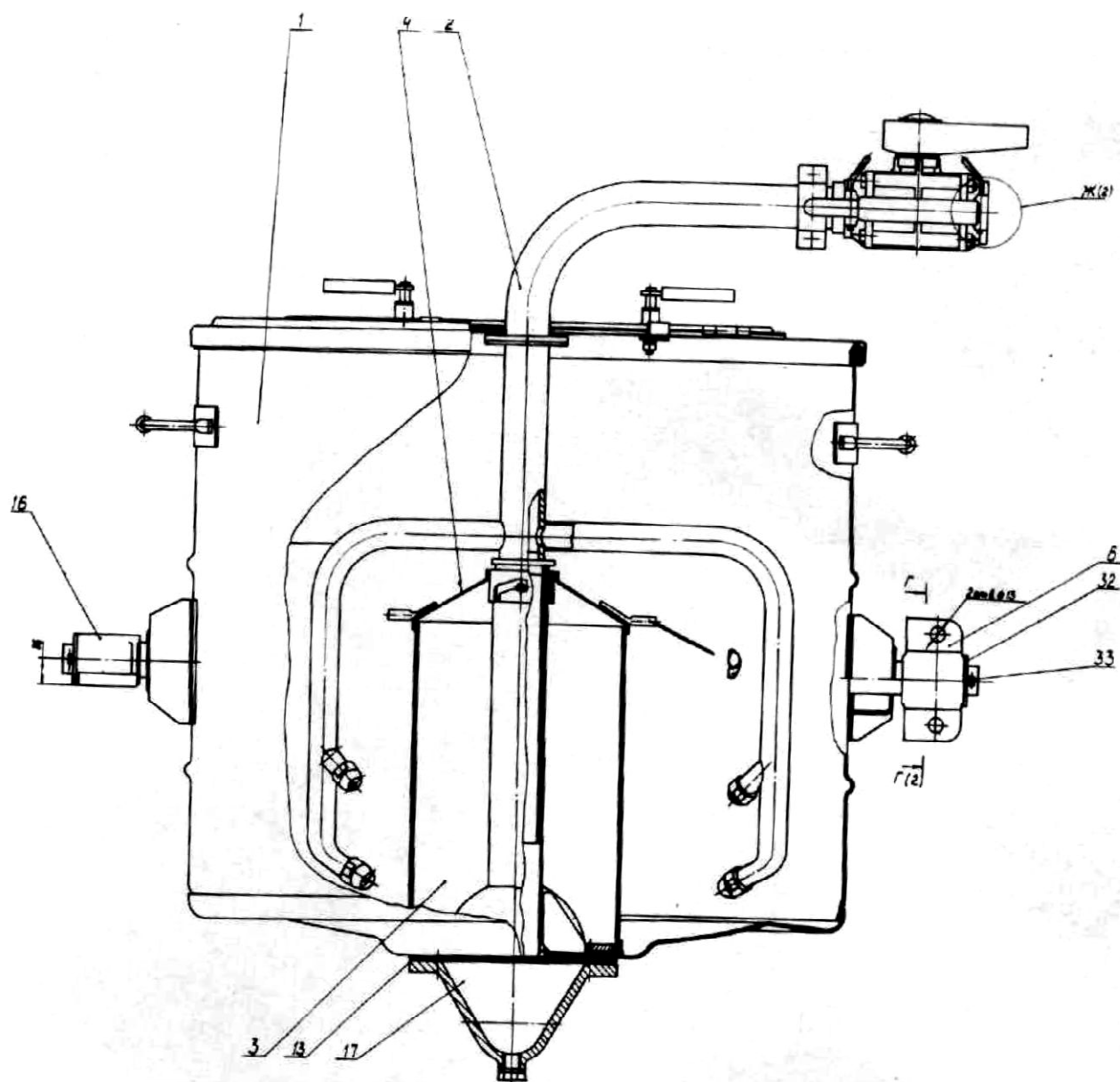
Опустити рукав (17) в горловину ємкості (18).

Відкрити ручки (1, рис. 1.5), закрити гайку (9, рис. 1.5).

При заповненому баку (18, рис. 1.4), відкрутити гайку (9, рис. 1.5) закрити ручки (I, мал. 1.5) регулятора тиску.

Виключити насос (4, рис. 1.4).

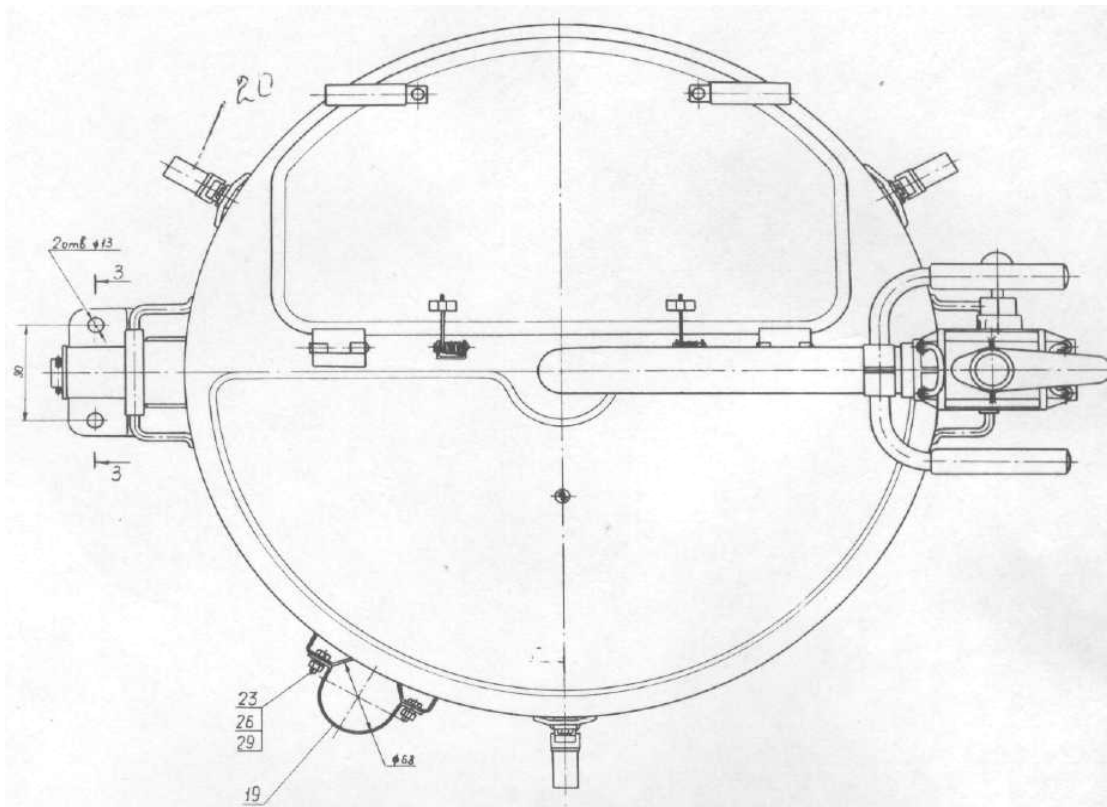
Ще одним дуже важливим вузлом машини є пристрій для приготування робочих рідин, будову на схемі розглянемо далі, рис. 1.6, а, б.



1 - бак; 2 - розмивач; 3 – фільтр; 4 - кришка; 5 - кільце; 6 - фіксатор; 8 - упор;  
 13 - прокладка; 16 - опора; 17 - кутник; 32 - шайба; 33 – шплінт.

Рисунок 1.6, а – Пристрій для приготування рідин:





19- скоба; 20 – замок; 23 – болт; 26 – гайка; 29 – шайба.

Рисунок 1.6, б – Пристрій для приготування рідин

### 1.3. Огляд машин-аналогів

Приготовлювач-транспортувальник рідин ПТР-3,2 призначений для приготування розчинів, суспензій, емульсій з пастоподібних, кристалічних, порошкоподібних, рідких пестицидів та рідких мінеральних добрив, транспортування і заправки обприскувачів і машин для внесення рідких добрив. Машина може використовуватись, за допомогою брандспойта, для побілки і дезинфекції тваринницьких ферм, побілки штаблів дерев та миття техніки [1].

Машина розроблена з метою забезпечення сільськогосподарського виробництва приготовлювачами робочих розчинів отрутохімкатів.

В зв'язку з розробкою технічного завдання на приготовлювач-транспортувальник рідин ПТР-3,2 проведено патентно-інформаційний пошук - відбір і аналіз проектних, рекламних та інших інформаційних матеріалів, а

також протоколів випробувань аналогічної зарубіжної техніки.

В результаті проведеного пошуку виявилось, що зарубіжні фірми і підприємства, що спеціалізуються на виробництві машин для хімічного захисту приділяють велике значення розробці машин і обладнання для приготування робочих рідин. При цьому, загальною тенденцією є створення таких установок, які, завдяки своїй мобільності, могли би бути максимально наближені до місця роботи обприскувачів. Тим самим зменшується час, необхідний для підвезення та заправки обприскувачів, підвищується його змінна продуктивність.

В ряді країн (Болгарія, Великобританія, Німеччина, Угорщина, Франція) випускаються спеціальні мобільні установки, які здійснюють приготування робочих одночасно з заправкою ними обприскувачів. Такі машини перевозяться в район проведення тракторами. На відміну від вітчизняної установки, більшість зарубіжних агрегатів для приготування робочих рідин не можуть готувати бордоську рідину, що, в умовах широкого її використання з нашої країни, це є суттєвим недоліком.

Основні моделі зарубіжних машин для приготування і транспортування робочих рідин типу ПТР-3,2 приведені на рис. 1.7-1.15.



Рисунок 1.7 – Агрегат для приготування робочих рідин АПЖ-12, Україна

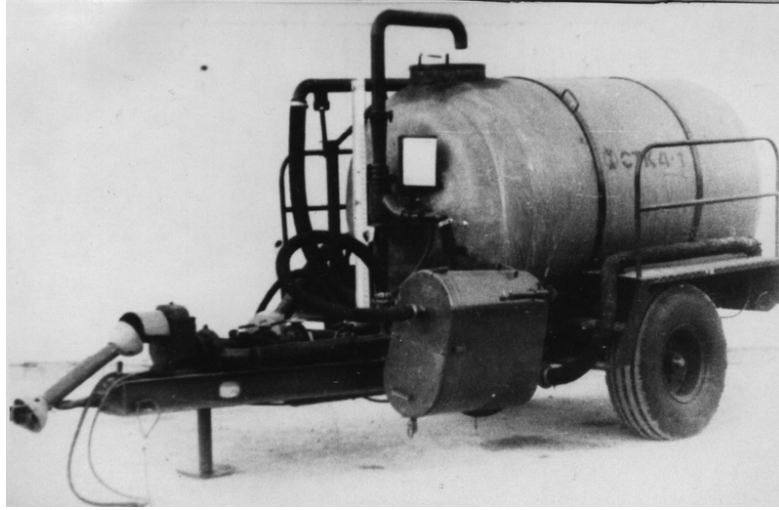


Рисунок 1.8 – Агрегат для приготування робочих рідин СТК-4, Болгарія



Рисунок 1.9 – Агрегат для приготування робочих рідин СТК-5, Болгарія

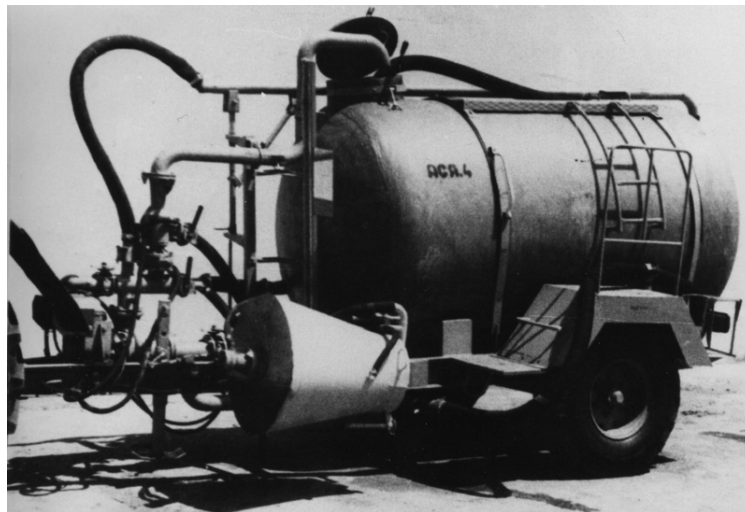


Рисунок 1.10 – Агрегат для приготування робочих рідин АСЯ-4, Болгарія



Рисунок 1.11 – Агрегат для приготування робочих рідин  
Пемікс-1003А, Угорщина



Рисунок 1.12 – Агрегат для приготування робочих рідин  
Пемікс-1004А, Угорщина



Рисунок 1.13 – агрегат для приготування робочих  
рідин СМ-4000, Франція



Рисунок 1.14 – Агрегат для приготування робочих рідин Willmixer,  
Великобританія

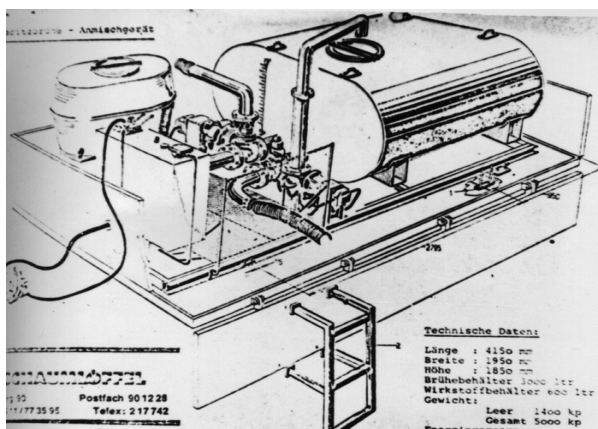


Рисунок 1.15 – Агрегат для приготування робочих рідин Schaumloffel,  
Німеччина

Результати проведеного пошуку технічних характеристик говорять про те, що в нашій країні в значних кількостях закуплялись агрегати приготування робочих рідин виробництва Угорщини, моделі Пемікс-10003А, Пемікс-1004 та Болгарії, моделі СТК-4, СТК-5, АСЯ- 4. Вони неодноразово проходили випробування на машино-випробувальних станціях країн СНД. По даним машинам отримані основні техніко-економічні показники для проведення порівняльного аналізу.

Що стосується установок англійського, німецького, французького виробництв, то дані про моделі таких агрегатів носять розрізнений характер.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок: на стадії розробки приготувлювач-транспортувальник рідин ПТР-3,2 за базу порівняння вітчизняного агрегату можна прийняти модель агрегату СТК-4 або АСЯ-4 болгарського виробництва, або Пемікс-1004 виробництва Угорщини.

#### **1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи магістра**

Тема дипломної роботи магістра «Обґрунтування параметрів силового агрегату машини ПРТ-3.2». Необхідність такого удосконалення виникла після проведення порівняння технічних характеристик машин-аналогів, зокрема закордонного виробництва. Як виявилось, що при закладених потужностях приводу насосного агрегату відцентровий насос має недостатню продуктивність, що негативно позначається на продуктивності всієї машини, а відповідно і собівартості виконуваної операції. Тому було прийнято рішення збільшити продуктивність насосного агрегату за рахунок встановлення відцентрового насоса більшої продуктивності, але такого щоб силова частина насосного агрегату залишалася старою, тобто можна використати існуючий привід. З цією метою діаметр робочого колеса було збільшено до 0,178 м з 0,145 м, де домоглися збільшення продуктивності насосного агрегату на 20%, що дозволило вийти на рівень світових аналогів.

Актуальним тепер стало перевірити на міцність силову частину насосного агрегату. Вихідні параметри для перевірки взяті в конструкторському бюро заводу-виготовлювача, а також зроблені деякі самостійні дослідження для визначення вихідних параметрів. До таких розрахунків можна віднести визначення сил, які діють при роботі насосного агрегату на вихідний вал редуктора [5-7]. Крім того було проведено розрахунок циліндричної косозубої передачі на міцність по контактних напругах і напругах згину; визначалась довговічність підшипників на валах насосного агрегату; визначалися навантаження, що діють на вали насосного агрегату, а також визначалась несуча здатність шпонок.

## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ

### РОЗРОБКИ

#### 2.1. Розрахунок на міцність силового агрегату відцентрового насоса приготувлювача-транспортувальника рідин ПТР-3.2

У зв'язку із збільшенням продуктивності насосного агрегату і доведенням її до продуктивності світових аналогів виникає необхідність для проведення певних перевірочних та уточнюючих розрахунків, які мають важливе значення при виготовленні відповідальних вузлів. Оскільки мова йде про машину заводського випуску, то в цьому напрямку, звичайно, є проведені вже певні дослідження, а саме – досліджено вихідні параметри (споживана потужність і т.д.), які наведені нижче. Цими даними і скористаємося для ведення наших розрахунків.

#### ТЕХНІЧНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. Потужність, передавана силовим агрегатом, N, кВт         | 28                      |
| 2. Частота кручення вхідного вала $n_2$ , $s^{-1}$ (об/хв.) | 16,66 (1000)            |
| 3. Кут нахилу карданного вала $\gamma$ , градус             | 15                      |
| 4. Тип передачі   | циліндрична<br>косозуба |
| 4.1. Передаточне число, $u$                                 | 3,7272                  |
| 4.2. Модуль нормальний $m_n$ , мм                           | 2                       |
| 4.3. Число зубів  |                         |
| - шестерні $z_1$  | 33                      |
| - колеса $z_2$  | 123                     |
| 4.4. Ширина вінця, мм                                       |                         |
| - шестерні, $b_1$   | 54                      |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| - колеса, $b_2$   | 50                          |
| 4.5. Ступінь точності коліс                                       | 7-B                         |
| 4.6. Кут нахилу зуба $\beta$ , градус                             | 12                          |
| 4.7. Напрямок лінії зуба  |                             |
| - шестерні  | праве                       |
| - колеса  | ліве                        |
| 4.8. Твердість робочих поверхонь                                  |                             |
| зубів - шестерні  | 48...56 HRC                 |
| - колеса  | 43...51 HRC                 |
| 4.9. Матеріал зубчатих коліс                                      | Сталь 40X-a<br>ГОСТ 4543-71 |
| 4.10. Коефіцієнт зміщення   |                             |
| - шестерні $X_1$  | 0,257                       |
| - колеса $X_2$  | 0                           |
| 4.11. Ділильний діаметр, мм                                       |                             |
| - шестерні $d_{w1}$   | 67,474                      |
| - колеса $d_{w2}$   | 251,495                     |
| 4.12. Кут зачеплення $\alpha_{tw}$ , градус                       | 20°54                       |
| 4.13. Шорсткість поверхонь шестерні і колеса $R'_a$ , мкм         | 25                          |
| 5. Насос  |                             |
| тип   | відцентровий                |
| діаметр колеса насоса $D_k$ , м                                   | 0,178                       |
| ширина вихідної щілини $S$ , м                                    | 9,10~3                      |
| маса робочого колеса насоса $m_k$ , кг                            | 2,8                         |
| густина робочої рідини, не більше $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>      | 1400                        |
| напір колеса $H$ , м  | 60                          |
| подача насоса $Q$ , л/хв (м <sup>3</sup> /с)                      | 1000 (0,0167)               |
| тиск на вході потоку в колесо $p_1$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )  | 0,04 (0,4)                  |
| тиск на виході потоку з колеса $p_2$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) | 0,7 (7)                     |



6. Числові параметри, необхідні для розрахунку підшипників вхідного вала (див. рис.2.2):

|  |     |
|--|-----|
| віддаль від вхідного кінця вала до підшипника А $l_1$ , мм     | 100 |
| віддаль від підшипника А до центра зубчатого колеса $l_2$ мм   | 81  |
| віддаль від центра зубчатого колеса до підшипника В $l_3$ , мм | 74  |
| віддаль від підшипника В до вихідного кінця вала $l_4$ , мм    | 8,5 |

7. Числові параметри, необхідні для розрахунку підшипників вихідного вала (див. рис. 2.4):

|   |      |
|---|------|
| віддаль від вхідного кінця вала до підшипника С $l_5$ , мм                              | 13,5 |
| віддаль від підшипника С до центра шестерні $l_6$ , мм                                  | 74   |
| віддаль від центра шестерні до підшипника Д $l_7$ , мм                                  | 71,5 |
| віддаль від підшипника Д до центра ваги робочого колеса відцентрового насоса $l_8$ , мм | 117  |

8. Дані, необхідні для розрахунку підшипників, приведені в табл. 2.3

9. Розрахунковий строк служби силового агрегату Т, год 2240

10. Дані про матеріали і розміри січень, необхідні для розрахунку валів, приведені в табл. 2.4 і 2.5

11. Шпонка І вхідного вала (рис. 2.5) силового агрегату: Шпонка 12x8x50  
умовне позначення ГОСТ 23360-78

ширина шпонки  $b_{ш_1}$ , мм 12

висота шпонки  $h_{ш_1}$ , мм 8

глибина паза в валу  $t_{н_1}$ , мм 5

довжина шпонки  $l_{ш_1}$ , мм 50

12. Шпонки вихідного вала (рис. 2.6) силового агрегату:

## шпонка II

|                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| умовне позначення                  | Шпонка 12x8x45<br>ГОСТ 23360-78 |
| ширина шпонки $b_{ш_2}$ , мм       | 12                              |
| висота шпонки $h_{ш_2}$ , мм       | 8                               |
| глибина паза в валу $t_{n_2}$ , мм | 5                               |
| довжина шпонки $l_{ш_2}$ , мм      | 45                              |

## Шпонка III

|                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| умовне позначення                  | Шпонка 5x5x36<br>ГОСТ 23360-78 |
| ширина шпонки $b_{ш_3}$ , мм       | 5                              |
| висота шпонки $h_{ш_3}$ , мм       | 5                              |
| глибина паза в валу $t_{n_3}$ , мм | 2                              |
| довжина шпонки $l_{ш_3}$ , мм      | 36                             |

## УМОВИ РОЗРАХУНКУ

1. Розрахунок циліндричної косозубої передачі на міцність по контактних напругах і напругах згину проводиться по методиці і формулах, приведених в [8].

2. Розрахунок підшипників проводимо по методиці, приведеній в [9].

3. При розрахунку підшипників приймаємо, що навантаження на підшипники являються зосередженими.

4. Розрахунок валів на статичну міцність проводимо по короткочасних пускових навантаженнях, які є максимально можливими навантаженнями, діючими на вал під час роботи машини.

5. Сумарні радіальні навантаження на підшипники розташовані в вертикальній площині.

6. Згинний момент  $M_{згп}$  викликаний гіроскопічним ефектом, згинає вал тільки в горизонтальній площині.

7. Сила інерції робочого колеса насоса  $P_{ін}$  діє тільки в вертикальному напрямі.

8. В зв'язку з знакозмінністю згинного моменту  $M_{крд}$ , викликаного гіроскопічним ефектом, розрахунок підшипників проводимо для найбільш навантаженого випадку.

### СХЕМА ОБ'ЄКТУ РОЗРАХУНКУ

1. Схема розміщення циліндричного зачеплення в корпусі силового агрегату з розрахунковими січеннями приведена на рис. 2.1.

2. Схема навантаження вхідного вала приведена на рис. 2.2.

3. Схема навантаження вихідного вала приведена на рис. 2.4.

### РОЗРАХУНОК

Розрахунок зубчатих коліс силового агрегату на міцність проводимо в табличній формі.

Дані для розрахунку і результати розрахунків приведені в табл. 2.1.

Розрахункова контактна напруга  $\sigma_H$ , МПа, визначається по формулі

$$\sigma_H = z_H \cdot z_M \cdot z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{W_{Ht} \cdot u + 1}{d_{w1} \cdot u}}, \quad (2.1)$$

де  $z_H$  - коефіцієнт, враховуючий форму спряжених поверхонь зубів;

$z_M$  - коефіцієнт, враховуючий механічні властивості матеріалів спряжених

зубчатих коліс,  $\frac{H^{1/2}}{мм}$ ;

$z_\varepsilon$  - коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній;

$W_{Ht}$  - питома розрахункова колова сила, Н/мм.

$d_{w1}$  - діаметр початкового кола шестерні, мм;

$u$  - передаточне число.

Питома розрахункова колова сила  $W_{Ht}$ , Н/мм, визначається по формулі

$$W_{нт} = \frac{F_{нт} \cdot K_{н\alpha} \cdot K_{н\beta} \cdot K_{н\nu}}{b_{w1}}, \quad (2.2)$$

де  $F_{нт}$  - вихідна розрахункова колова сила, Н;

$K_{н\alpha}$  - коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження між зубами;

$K_{н\beta}$  - коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження по ширині вінця;

$K_{н\nu}$  - коефіцієнт, враховуючий динамічне навантаження, яке виникає в зачепленні;

$b_{w1}$  - робоча ширина вінця шестерні, мм.

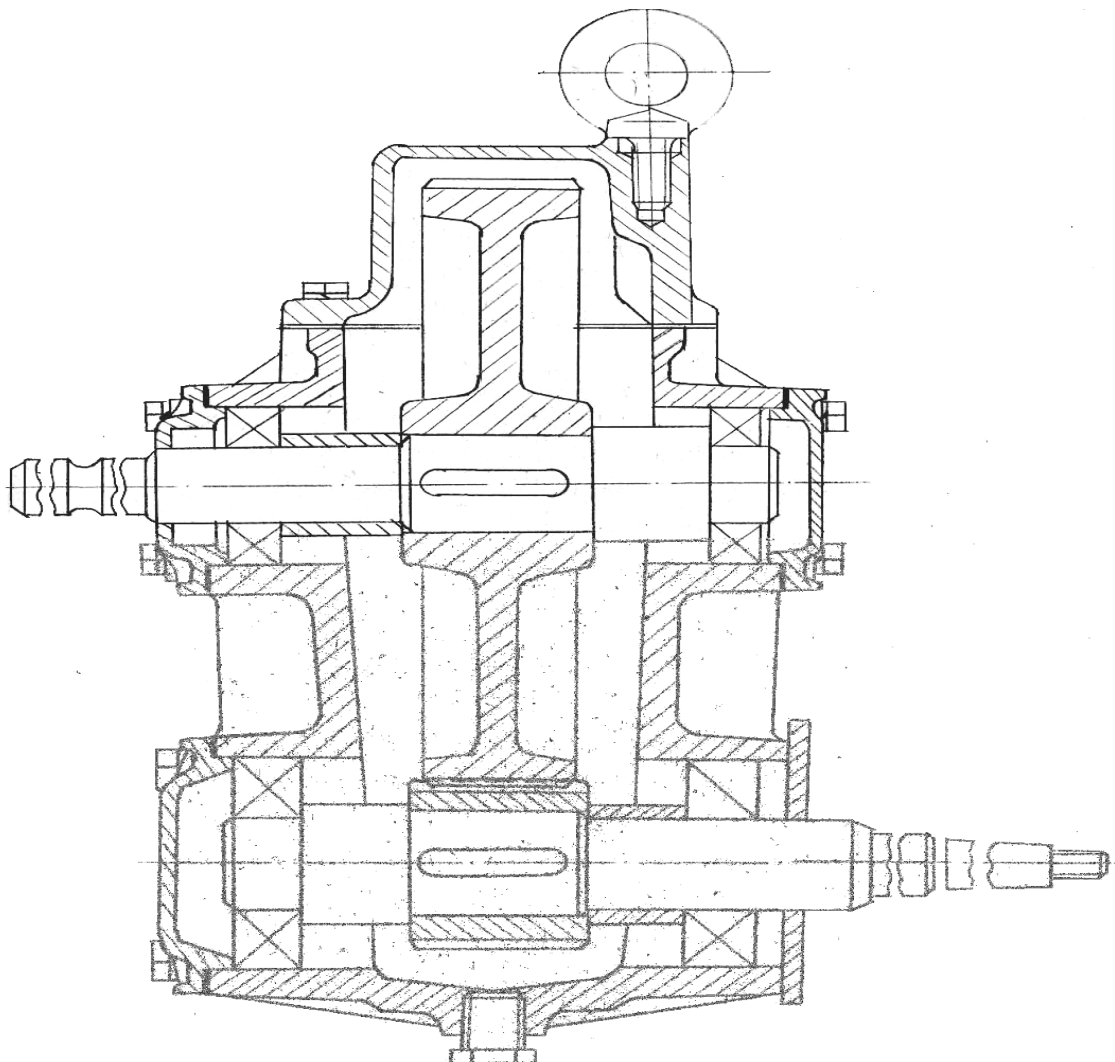


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення силового агрегату приводу відцентрового насоса

Допустима контактна напруга  $\sigma_{np}$ , МПа, визначається по формулі

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_{nlim}}{S_n} \cdot z_R \cdot z_v \cdot K_l \cdot K_{xn}, \quad (2.3)$$

де  $\sigma_{nlim}$  - гранична контактна витривалість поверхонь зубів при заданому числі циклів переміни напруги, МПа;

$z_R$  - коефіцієнт, враховуючий шершавість спряжених поверхонь зубів;

$z_v$  - коефіцієнт, враховуючий колову швидкість;

$K_l$  - коефіцієнт, враховуючий вплив змащення;

$K_{xn}$  - коефіцієнт, враховуючий розмір зубчатого колеса;

$S_n$  - коефіцієнти запасу міцності.

Таблиця 2.1 – Розрахунок зубчатих коліс силового агрегату на міцність

| п/п | Назва параметру                             | Позначення | Розрахункові формули і вказівки по визначенню | Числові значення |
|-----|---|------------|---|------------------|
| 1   | 2   | 3          | 4   | 5                |
| 1.  | Число зубів шестерні                        | $z_1$      |   | 33               |
| 2.  | Число зубів колеса                          | $z_2$      |   | 123              |
| 3.  | Кут профілю інструменту, градус             | $\alpha$   | ГОСТ 13755-81                                 | 20°              |
| 4.  | Кут нахилу, градус                          | $\beta$    |   | 12°              |
| 5.  | Нормальний модуль, мм                       | $m_n$      |   | 2                |
| 6.  | Робоча ширина вінця, мм                     |            |   |                  |
|     | - шестерні                                  | $b_{w1}$   |   | 54               |
|     | - колеса                                    | $b_{w2}$   |   | 50               |
| 7.  | Частота кручення вихідного вала, с /об/хв./ | $n_1$      | $n_1 = n_2 \cdot u$                           | 62,13<br>/3227/  |

Продовження таблиці 2.1

|     |   |               |   |          |
|-----|---|---------------|---|----------|
| 8.  | Міжосьова відстань, мм                                  | $a_w$         |   | 160      |
| 9.  | Шорсткість поверхонь шестерні і колеса, мкм             | $R_a$         |   | 2,5      |
| 10  | Ділильна міжосьова відстань, мм                         | $a$           | $a = \frac{(z_1 + z_2)m_n}{2 \cos \beta}$   | 159,485  |
| 11  | Коловий /торцевий/ модуль, мм                           | $m_t$         | $m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$  | 2,045    |
| 12. | Кут профілю зуба в торцевому січенні, градус            | $\alpha_t$    | $\alpha_t = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}$   | 20°24    |
| 13. | Кут зачеплення, градус                                  | $\alpha_{tw}$ | $\alpha_{tw} = \arccos \left( \frac{a}{a_w} \cdot \cos \alpha_t \right)$                                  | 20°54    |
| 14. | Початковий діаметр зубчатих коліс, мм                   | $d_{w1}$      | $d_{w1} = \frac{2a_w}{u+1}; d_{w2} = \frac{2a_w \cdot u}{u+1}$  | 67, 693, |
|     |   | $d_{w2}$      |   | 252, 307 |
| 15. | Ділильний діаметр зубчатого колеса, мм                  | $d_1$         | $d_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{\cos \beta}; d_2 = \frac{z_2 \cdot m_n}{\cos \beta}$                          | 67, 474, |
|     |   | $d_2$         |   | 251, 496 |
| 16. | Коефіцієнт сумарного зміщення                           | $X_\Sigma$    | $X_\Sigma = X_1 + X_2$  | 0,257    |
| 17. | Коефіцієнт сприймаючого зміщення                        | $y$           | $y = \frac{a_w - a}{m_n}$   | 0,257    |
| 18. | Коефіцієнт зрівняльного зміщення                        | $\Delta y$    | $\Delta y = X_\Sigma - y$   | 0        |
| 19. | Коефіцієнт висоти головки вихідного контуру             | $h_a^*$       | ГОСТ 13755-81   | 1        |
| 20. | Коефіцієнт, враховуючий форму спряжених поверхонь зубів | $z_H$         | $z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\sin 2\alpha_{tw}}};$<br>$\sin \beta_b = \sin \beta \cdot \cos \alpha$ | 1,727    |

Продовження таблиці 2.1

|     |  |                      |   |         |
|-----|--|----------------------|---|---------|
| 21. | Коефіцієнт, враховуючий механічні властивості матеріалів спряжених зубчатих коліс, $H^{1/2}/\text{мм}$ | $z_m$                | [8]   | 275     |
| 22. | Діаметр вершин зубів, мм   | $d_{a_1}$            | $d_{a_1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1 - \Delta y) \cdot m$   | 72,502  |
|     |  | $d_{a_2}$            | $d_{a_2} = d_2 + 2(h_a^* + x_2 - \Delta y) \cdot m$   | 255,496 |
| 23. | Основний діаметр, мм   | $d_{b_1}$            | $d_{b_1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t$   | 63,242  |
|     |  | $d_{b_2}$            | $d_{b_2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t$   | 235,723 |
| 24. | Кут профілю зуба в точці на колі вершин, градус  | $\alpha_{a_1}$       | $\alpha_{a_1} = \arccos \frac{d_{b_1}}{d_{a_1}}$  | 27°46   |
|     |  | $\alpha_{a_2}$       | $\alpha_{a_2} = \arccos \frac{d_{b_2}}{d_{a_2}}$  | 22°41   |
| 25. | Коефіцієнт торцевого перекриття  | $\varepsilon_\alpha$ | ГОСТ 16532-70<br>$\varepsilon_\alpha = \frac{1}{\pi} \left( z_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{a_1} + z_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{a_2} - (z_1 + z_2) \operatorname{tg} \alpha \right)$ | 1,467   |
| 26. | Осьовий крок, мм   | $p_x$                | $p_x = \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta}$<br>ГОСТ 16532-70   | 30,2    |
| 27. | Коефіцієнт осьового перекриття   | $\varepsilon_\beta$  | $\varepsilon_\beta = \frac{b_{w_2}}{p_x}$   | 1,656   |
| 28. | Коефіцієнт, враховуючий сумарну довжину контактних ліній   | $z_\varepsilon$      | При $\varepsilon_\beta \geq 0,9$ $z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}$  | 0,826   |
| 29. | Вихідне розрахункове навантаження для шестерні і колеса, Нм  | $T_n$                | $T_{1n} = \frac{N}{n_1} \cdot 159,2;$   | 71,74   |
|     |  |                      | $T_{2n} = \frac{N}{n_2} \cdot 159,2$  | 267,4   |

## Продовження таблиці 2.1

|     |   |               |  |        |
|-----|---|---------------|--|--------|
| 30. | Вихідна розрахункова колова сила, Н   | $F_{нт}$      | $F_{нт} = \frac{2000 \cdot T_{1H}}{d_{w1}}$  | 2125,6 |
| 31. | Колова швидкість, м/с   | $V$           | $V = \frac{\pi \cdot d_{w2} \cdot n_2}{60}$  | 13,16  |
| 32. | Коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження між зубами                        | $k_{н\alpha}$ | Відповідно кресл. 4 [8]  | 1,085  |
| 33. | Параметр  | $\Psi_{bd}$   | $\Psi_{bd} = \frac{b_{w2}}{d_{w1}}$  | 0,74   |
| 34. | Коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження по ширині вінця                   | $k_{н\beta}$  | Рис. 5 [8]   | 1,07   |
| 35. | Коефіцієнт, враховуючий вплив погрешностей зачеплення на динамічне навантаження | $\delta_n$    | Табл.5 [8]   | 0,004  |
| 36. | Коефіцієнт, враховуючий вплив різниці кроків зачеплення шестерні і колеса       | $g_0$         | Табл.6 [8]   | 47     |
| 37. | Питома колова динамічна сила, Н/мм  | $w_{hv}$      | $w_{hv} = \delta_n \cdot g_0 \cdot v \cdot \sqrt{\frac{a_w}{u}}$   | 16,2   |
| 38. | Динамічна добавка   | $\gamma_n$    | $\gamma_n = \frac{w_{hv} \cdot b_{w2} \cdot d_{w1}}{2000 \cdot T_{1H} \cdot k_{н\alpha} \cdot k_{н\beta}}$ | 0,33   |
| 39. | Коефіцієнт, враховуючий динамічне навантаження, виникаюче в зачепленні          | $k_{hv}$      | $k_{hv} = 1 + \gamma_n$  | 1,33   |
| 40. | Питома розрахункова колова сила, Н/мм   | $w_{нт}$      | $w_{нт} = F_{нт} \cdot \frac{k_{н\alpha} \cdot k_{н\beta} \cdot k_{hv}}{b_{w2}}$                           | 65,64  |



Продовження таблиці 2.1

|     |   |                     |   |                            |
|-----|---|---------------------|---|----------------------------|
| 41. | Розрахункова напруга, МПа   | $\delta_H$          | $\delta_H = z_H \cdot z_M \cdot z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{w_{Ht} \cdot u + 1}{d_{w1} \cdot u}}$       | 435,04                     |
| 42. | Гранична контактна витривалість поверхні зуба, відповідна базовому числу циклів, МПа      | $\delta_{H \lim b}$ | Відповідно [8], табл. 8   | 1058,5                     |
|     |   |                     | $\delta_{H \lim b} = 17H_{HRC} + 200;$<br>$HRC_{\varrho_{1cp}} \quad 52 \quad HRC_{\varrho_{2cp}} \quad 47$ | 975,2                      |
| 43. | Еквівалентне число циклів переміни навантажень  | $N_{ne}$            | Відповідно [8]  | 500,9*10 <sup>6</sup>      |
|     |   |                     | $N_{ne} = 60 \cdot n \cdot T$   | 6<br>134,4*10 <sup>6</sup> |
| 44. | Базове число циклів переміни навантажень, відповідне довготривалій границі витривалості   | $N_{no}$            | Відповідно кресл. 10 [8]  | 90*10 <sup>6</sup>         |
| 45. | Коефіцієнт довговічності  | $k_{HL}$            | Відповідно кресл. 9[8]  | 1                          |
| 46. | Границя контактної витривалості поверхні зуба, відповідна еквівалентному числу циклів, Па | $\delta_{H \lim}$   | $\delta_{H \lim} = \delta_{H \lim b} \cdot k_{HL}$  | 1058,5<br>975,2            |
| 47. | Коефіцієнт запасу   | $S_H$               | Табл.7 [8]  | 1,2                        |
| 48. | Коефіцієнт, враховуючий шершавість спряжених поверхонь зубів                              | $z_R$               | Табл.7 [8]  | 0,95                       |
| 49. | Коефіцієнт, враховуючий вплив зміщення  | $k_L$               | [8]   | 1                          |
| 50. | Коефіцієнт, враховуючий розмір зубчатого колеса   | $k_{xH}$            | При $d_w \leq 700$ мм<br>приймаємо  | 1                          |
| 51. | Допустима контактна напруга для шестерні і колеса, МПа                                    | $\delta_{np}$       | $\delta_{np} = \frac{\delta_{H \lim}}{S_H} \cdot z_R \cdot z_v \cdot k_L \cdot k_{xH}$                      | 879,88<br>810,88           |

Продовження таблиці 2.1

|     |   |                          |  |        |
|-----|---|--------------------------|--|--------|
| 52. | Коефіцієнт, враховуючий колову швидкість  | $z_v$                    | Рис. 11 [8]  | 1,05   |
| 53. | Складові коефіцієнта торцевого перекриття, визначені початковими головками зубів  |                          | ГОСТ 16532-70  |        |
|     | - шестерні  | $\varepsilon_{\alpha_1}$ | $\varepsilon_{\alpha_1} = \frac{z_1}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{a_1} - \operatorname{tg} \alpha_{tw})$ | 0,76   |
|     | - колеса  | $\varepsilon_{\alpha_2}$ | $\varepsilon_{\alpha_2} = \frac{z_2}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{a_2} - \operatorname{tg} \alpha_{tw})$ | 0,707  |
| 54. | Коефіцієнти   | $k_1$                    | $k_1 = \frac{2\varepsilon_{\alpha_1} \cdot \pi}{z_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{tw}};$                   | 0,379  |
|     |   | $k_{11}$                 | $k_{11} = k_1 \cdot \frac{\varepsilon_{\alpha_2}}{\varepsilon_{\alpha_1}}$                                   | 0,353  |
| 55. | Коефіцієнти збільшення допустимої контактної напруги для поверхонь головок зубів шестерні і колеса відповідно значення для полюса | $\mu_{k_1}$              | $\mu_{k_1} = 1,64 \sqrt{\frac{200}{H_{HB}}}$   | 1,27   |
|     |   | $\mu_{k_2}$              | для $HRC_{э1cp} 52 = 505 HB$<br>і $HRC_{э2cp} 47 = 450 HB$   | 1,306  |
| 56. | Допустима контактна напруга для зони I, де головки зубів шестерні зачіпляються з ніжками зубів колеса, МПа                        | $\delta_{np1}$           | Приймається менше з двох значень<br>$\mu_{k_1} \cdot \delta_{np1} = 1117,45$<br>$\delta_{np2} = 810,63$      | 810,63 |

Продовження таблиці 2.1

|     |  |                  |   |  |
|-----|--|------------------|---|--|
| 57. | Допустима контактна напруга для зони П де головки зубів колеса зачіпляються з ніжками зубів шестерні, МПа  | $\delta_{np II}$ | Приймається менше з двох значень<br>$\delta_{np1} = 879,88$<br>$\mu_{k_2} \cdot \delta_{np2} = 1058,68$                                 | 879,88   |
| 58. | Коефіцієнти, враховуючі геометричні параметри зачеплення, від яких залежить навантажувальна властивість передачі в зоні I, де головки зубів шестерні зачіпляються з ніжками зубів колеса, і в зоні II, де головки зубів колеса зачіпляються з ніжками зубів шестерні | $\delta_1$       | $\delta_1 = 1 + 0,5k_{11} - 0,5 \cdot \frac{k_1}{u} - \frac{k_2}{3}$  | 1,126  |
|     |  | $\delta_{11}$    | $\delta_{11} = 1 - 0,5k_{11} + 0,5 \cdot \frac{k_1}{u} - \frac{k_2}{3}$   | 0,86   |
| 59. | Умовна допустима контактна напруга для косозубої передачі, МПа   | $\delta_{np}$    | $\delta_{np} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{\alpha_1} \cdot \delta_1 \cdot \sigma_{np1}^2 + \varepsilon_{\alpha_2}}{\varepsilon_{\alpha}}}$ | 839,17   |
| 60. | Порівняння розрахункової $\sigma_n$ і допустимої $\sigma_{np}$ напруг  | -                | $\sigma_n < \sigma_{np}$  | 435,04<br>839,17<br>Умова міцності виконується |
| 61. | Найбільше навантаження з числа підведених до передачі, навіть при одноразовій дії її на зуб, Н·м   | $T_{max}$        | $T_{max} = k_n \cdot T_n$<br>Де $k_n$ - коефіцієнт перевантаження, рівний 2,5   | 179,35<br>668,5                                |

|     |   |                     |  |  |
|-----|---|---------------------|--|--|
| 62. | Розрахункова напруга, створювана найбільшим навантаженням, МПа                    | $\delta_{H \max_1}$ | $\delta_{H \max_1} = \delta_{H1} \sqrt{\frac{T_{1 \max}}{T_{1H}}}$   | 687,86                                       |
| 63. | Допустима гранична напруга, МПа   | $\delta_{Hr \max}$  | Згідно [8] для зубів, підданих контурному гартуванню після нагрівання СВЧ<br>$\sigma_{Hr \max} = 40 \cdot HRC$ | 2020<br>1824                                 |
| 64. | Порівняння розрахункової $\sigma_{H \max}$ і допустимої $\sigma_{Hr \max}$ напруг | -                   | $\sigma_{H \max} < \sigma_{Hr \max}$   | 687.86<br>Умова міцності виконується<br>1824 |

## 2.2. Розрахунок зубчатих коліс силового агрегату на витривалість при згині

Дані для розрахунку і результати обчислень приведемо в табл. 2.2.

Розрахункова напруга зубів  $\sigma_F$ , МПа, при згині вираховується по формулі:

$$\sigma_F = y_F \cdot y_\varepsilon \cdot y_\beta \cdot \frac{w_{Ft}}{m_n}, \quad (2.4)$$

де  $y_F$  - коефіцієнт, враховуючий форму зуба;

$y_\varepsilon$  - коефіцієнт, враховуючий перекриття зубів;

$y_\beta$  - коефіцієнт, враховуючий нахил зубів;

$w_{Ft}$  - питома розрахункова колова сила, Н/мм;

$m_n$  - модуль, мм

Питома розрахункова колова сила  $w_{Ft}$ , Н/мм, вираховується по формулі:

$$w_{Ft} = F_{Ft} \cdot \frac{k_{F\alpha} \cdot k_{F\beta} \cdot k_{Fv}}{b_{w1}}, \quad (2.5)$$

де  $F_{Ft}$  - вихідна розрахункова колова сила, Н;

$k_{F\alpha}$  - коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження між зубами;

$k_{F\beta}$  - коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження по ширині вінця;

$k_{Fv}$  - коефіцієнт, враховуючий динамічне навантаження, яке виникає в зачепленні;

$b_{w1}$  - робоча ширина вінця шестерні, мм

Допустима напруга  $\sigma_{Fp}$ , МПа, при згині зубів в розрахунку на витривалість, визначається по формулі:

$$\sigma_{Fp} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} \cdot y_S \cdot y_R \cdot k_{xF}, \quad (2.6)$$

тут  $\sigma_{F\lim}$  - гранична витривалість зубів при згині, відповідна базовому числу циклів переміни напружень, МПа;

$y_S$  - коефіцієнт, враховуючий градієнт напруг і чутливість матеріалу до концентрації напруг; ,

$y_R$  - коефіцієнт, враховуючий шершавість перехідної поверхні;

$k_{xF}$  - коефіцієнт, враховуючий розміри зубчатого колеса;

$S_F$  - коефіцієнт запасу.

Таблиця 2.2 – Розрахунок зубчатих коліс силового агрегату на витривалість при згині

| № п/п | Назва параметрів   | Позначення    | Розрахункові формули, вказівки по визначенню   | Числові значення |
|-------|--|---------------|--|------------------|
| 1     | 2  | 3             | 4  | 5                |
| 1.    | Вихідне розрахункове навантаження на шестерні. Нм                                  | $T_{1F}$      | Навантаження постійне<br>$T_{1F} = T_{1H}$ (див.табл.2.1, п.20)  | 71,74            |
| 2.    | Вихідна розрахункова колова сила, Н  | $F_{Ft}$      | $F_{Ft} = F_{nt}$<br>(див.табл.2.1, п.21)  | 2125,6           |
| 3.    | Коефіцієнт, враховуючий розподіл навантаження між зубами                           | $k_{F\alpha}$ | При $\varepsilon_{\beta} > 1$<br>(див.табл.2.1, п.18)<br>$k_{F\alpha} = \frac{4 + (\varepsilon_{\alpha} - 1)(k - 5)}{4\varepsilon_{\alpha}}$ де $k$ - ступінь точності передачі по нормах контакту<br>$k = 7$<br>$\varepsilon_{\alpha} = 1,467$ (п.25 табл. 2.1) | 0,84             |
| 4.    | Коефіцієнт, враховуючий розподіл навантажень по ширині вінця                       | $k_{F\beta}$  | $\psi_{bd_1} = 0,8$ (див. рис. 24 [8])   | 1,14             |
| 5.    | Коефіцієнт, враховуючий вплив виду зубчатої передачі і профільної модифікації зуба | $\delta_F$    | табл. 10 [8]   | 0,006            |

Продовження таблиці 2.2

|      |   |                           |  |        |
|------|---|---------------------------|--|--------|
| 6.   | Коефіцієнт, враховуючий вплив різниці кроків зачеплення зубів шестерні і колеса                           | $g_0$                     | Див.табл.2.1, п.36   | 47     |
| 7.   | Питома колова динамічна сила, Н/мм  | $w_{Fv}$                  | $w_{Fv} = \delta_F \cdot g_0 \cdot v \cdot \sqrt{\frac{a_w}{u}}$   | 24,3   |
| 8.   | Коефіцієнт, враховуючий форму зуба шестерні   | $y_F$                     | Визначаємо по рис.27 [8] при<br>$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{33}{\cos^3 12^\circ} = 35,3$ і<br>$x_1 = 0,257$ | 3,56   |
| 9.   | Коефіцієнт, враховуючий динамічне навантаження  | $k_{Fv}$                  | $k_{Fv} = 1 + \frac{w_{Fv} \cdot b_{w1} \cdot d_1}{2000 \cdot T_{1F} \cdot k_{F\alpha} \cdot k_{F\beta}}$                  | 1,64   |
| 10.  | Коефіцієнт, враховуючий перекриття зубів  | $y_\varepsilon$           | Згідно табл.10 [8]   | 1      |
| II.  | Коефіцієнт, враховуючий нахил зуба  | $y_\beta$                 | $y_\beta = 1 - \frac{\beta}{140}$ , де $\beta$ - в градусах  | 0,914  |
| 12.  | Питома розрахункова колова сила, Н/мм   | $w_{Ft}$                  | $w_{Ft} = F_{Ft} \cdot \frac{k_{F\alpha} \cdot k_{F\beta} \cdot k_{Fv}}{b_{w1}}$   | 61,82  |
| ІІІ. | Розрахункова напруга на перехідній поверхні, МПа  | $\sigma_F$                | $\sigma_F = y_F \cdot y_\varepsilon \cdot y_\beta \cdot \frac{w_{Ft}}{m_n}$  | 100,58 |
| 14.  | Границя зламної витривалості зубів, відповідна базовому числу циклів переміни напружень для шестерні, МПа | $\sigma_{F \lim b}^\circ$ | Для зубчатих коліс з сталі 40Х по табл.15 [8] маємо<br>$\sigma_{F \lim b}^\circ = 500$                                     | 500    |

Продовження таблиці 2.2

|     |   |                   |   |  |
|-----|---|-------------------|---|--|
| 15. | Коефіцієнт, враховуючий вплив шліфування перехідної поверхні зуба   | $k_{Fg}$          | Для шестерні з не шліфованою перехідною поверхнею зубів                         | 1,0                                      |
| 16. | Коефіцієнт, враховуючий вплив деформаційного зміщення або електрохімічної обробки перехідної поверхні               | $k_{Fd}$          | Для шестерні з нешліфованою перехідною поверхнею зубів                          | 1,0                                      |
| 17. | Коефіцієнт, враховуючий вплив двостороннього прикладення навантаження   | $k_{Fc}$          | При односторонньому прикладенні навантаження                                    | 1  |
| 18. | Еквівалентне число циклів переміни напружень  | $N_{FE}$          | $N_{FE} = 60 \cdot n \cdot T$   | $500,9 \cdot 10^6$<br>$134,4 \cdot 10^6$ |
| 19. | Базове число циклів переміни напружень  | $N_{FO}$          | Табл.11 [8]   | $4 \cdot 10^6$                           |
| 20. | Коефіцієнт довговічності  | $k_{FL}$          | При $N_{FE} > N_{FO}$ приймаємо   | 1  |
| 21. | Границя витривалості зубів при згині, відповідна базовому числу циклів переміни напружень, МПа                      | $\sigma_{F \lim}$ | $\sigma_{F \lim} = \sigma_{F \lim b}^{\circ} \cdot k_{Fg} \cdot k_{Fd} \cdot k$ | 500                                      |
| 22. | Коефіцієнт, враховуючий нестабільність властивостей матеріалу зубчатого колеса і відповідальність зубчатої передачі | $S_F'$            | Для вірогідності незруйнованості 0,99 згідно табл.15 [8]                        | 1,75                                     |



Продовження таблиці 2.2

|     |  |               |   |  |
|-----|--|---------------|---|--|
| 23. | Коефіцієнт, враховуючий спосіб одержання заготовки шестерні                              | $S_F''$       | Для поковок і штамповок   | 1  |
| 24. | Коефіцієнт запасу  | $S_F$         | $S_F = S_F' \cdot S_F''$  | 1,75                                       |
| 25. | Коефіцієнт, враховуючий градієнт напруг і чутливість матеріалу до концентрації напружень | $y_s$         | Згідно рис.29 [8]   | 1,03                                       |
| 26. | Коефіцієнт, враховуючий шершавість перехідної поверхні                                   | $y_R$         | Згідно табл.11 [8]  | 1,2  |
| 27. | Коефіцієнт, враховуючий розміри зубчатого колеса   | $k_{xF}$      | По рис.30 [8]   | 1  |
| 28. | Допустима напруга при розрахунку витривалість, МПа                                       | $\sigma_{Fp}$ | $\sigma_{Fp} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{S_F} \cdot y_s \cdot y_R \cdot k_{xF}$ | 353,14                                     |
| 29. | Порівняння розрахункової $\sigma_F$ і допустимої $\sigma_{Fp}$ напруг                    | —             | $\sigma_F < \sigma_{Fp}$  | 100,58 < 353<br>Умова міцності виконується |

### 2.3. Розрахунок на міцність при згині максимальним навантаженням

Запобігання залишкових деформацій або крихкого злому зубів при дії максимального навантаження гарантується з заданим ступенем вірогідності при порівнянні найбільшої розрахункової напруги  $\sigma_{FM}$  МПа, з допустимою напругою  $\sigma_{FpM}$ , МПа, при виконанні умови

$$\sigma_{FM} \leq \sigma_{FpM} \cdot \quad (2.7)$$

Розрахунок проводиться для найменш міцного зубчатого колеса передачі.

Найбільша розрахункова напруга  $\sigma_{FM}$ , МПа, визначається згідно [8] по формулі

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \cdot \frac{T_{1FM}}{T_{1F}}, \quad (2.8)$$

де  $\sigma_F$  - розрахункова напруга, визначена по табл. 2.2, МПа;

$T_{1FM}$  - максимальне вихідне розрахункове навантаження на шестерні (максимальна з діючих за розрахунковий строк служби), Н·м;

$T_{1F}$  - вихідне розрахункове навантаження на шестерні, Н·м.

Допустиму напругу  $\sigma_{FpM}$ , МПа, визначаємо окремо для шестерні і колеса по формулі

$$\sigma_{FpM} = \frac{\sigma_{F \lim M} \cdot k_{FMg} \cdot k_{FMd}}{S_{FM}} \cdot y_s \cdot y_{RM} \cdot k_{xF}, \quad (2.9)$$

де  $y_s, k_{xF}$  - коефіцієнти, визначені по табл.2.1;

$y_{RM}$  - коефіцієнт, рівний 1.

Решту коефіцієнтів, які входять в формулу (2.9), визначаємо по табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок напружень і коефіцієнтів

| № п/п | Назва параметрів   | Позначення          | Розрахункові формули і вказівки   | Числові значення  |
|-------|--|---------------------|---|-------------------|
| 1.    | Гранична напруга, яка не визиває залишкових деформацій або крихкого злому зуба                 | $\sigma_{F \lim M}$ | Табл.19 [8]   | 2200              |
| 2.    | Коефіцієнт, враховуючий вплив шліфування перехідної поверхні                                   | $k_{FMg}$           | Табл.19 [8]   | 1,0               |
| 3.    | Коефіцієнт, враховуючий вплив деформаційного зміцнення перехідної поверхні                     | $k_{FMd}$           | Для коліс з твердістю поверхонь зубів більше HRC 45   | 0,95              |
| 4.    | Коефіцієнт запасу  | $S_{FM}'$           | Табл.19 [8]   | 1,75              |
| 5.    | Допустима напруга для шестерні і колеса, МПа   | $\sigma_{FpM}$      | $\sigma_{FpM} = \frac{\sigma_{F \lim M} \cdot k_{FMg} \cdot k_{FMd}}{S_{FM}'} \cdot y_s \cdot y_{RM}$ | 1230,11           |
| 6.    | Вихідне розрахункове навантаження (максимальне з діючі за розрахунковий строк служби), Н·м     | $T_{1FM}$           | $T_{1FM} = T_{1F} \cdot k_n$ де $k_n = 2,5$   | 179,35            |
| 7.    | Найбільша розрахункова напруга для шестерні, МПа   | $\sigma_{FM}$       | $\sigma_{FM} = \sigma_F \cdot \frac{T_{1FM}}{T_{1F}}$   | 242,95            |
| 8.    | Порівняння найбільшої розрахункової напруги $\sigma_{FM}$ з допустимою напругою $\sigma_{FpM}$ | -                   | $\sigma_{FM} \leq \sigma_{FpM}$   | 242,95<br><1230,1 |

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

#### 3.1. Обґрунтування довговічності підшипників вхідного вала

При роботі насосного агрегату на підшипники вхідного вала діють наступні навантаження:

- колова  $P_2$ , радіальна  $P_{r_2}$  і осьова  $P_{a_2}$  сили зубчатого зачеплення;
- згинний момент від карданної передачі  $M_{крд}$ .

Крутний момент, який передається вхідним валом, дорівнює згідно п.20 табл. 2.1

$$M_{кр} = T_{2н} = 267,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Колова сила на зубчатому колесі  $P_2$ , Н визначається по формулі

$$P_2 = \frac{2M_{кр}}{d_{w_2}}, \quad (3.1)$$

де  $M_{кр}$  - крутний момент, який передається вхідним валом, Нм,

$d_{w_2}$  - початковий діаметр колеса, м.

$$P_2 = \frac{2 \cdot 267,4}{0,2523} = 2119,7 \text{ Н}.$$

Радіальна сила на зубчатому колесі  $P_{r_2}$ , Н, визначається по формулі

$$P_{r_2} = \frac{P_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{tw}}{\cos \beta}, \quad (3.2)$$

де  $P_2$  - колова сила, Н;

$\alpha_{tw}$  - кут зачеплення, градус;

$\beta$  - кут нахилу, градус

$$P_{r2} = \frac{2119,7 \cdot \operatorname{tg} 20^{\circ} 54}{\cos 12^{\circ}} = 827,52 \text{ Н.}$$

Осьова сила на зубчатому колесі  $P_{a2}$ , Н, визначається по формулі

$$P_{a2} = P_2 \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (3.3)$$

$$\text{тоді } P_{a2} = 2119,7 \cdot \operatorname{tg} 12^{\circ} = 450,6 \text{ Н}$$

Згинний момент від карданної передачі  $M_{кр\delta}$ , Н·м визначається по формулі

$$M_{кр\delta} = M_{кр} \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (3.4)$$

де  $M_{кр}$  - крутний момент, який передається вхідним валом, Н·м;

$\gamma$  - кут нахилу карданного вала, градус,

$$\text{тоді } M_{кр\delta} = 267,4 \cdot \operatorname{tg} 15^{\circ} = 71,65 \text{ Н·м.}$$

Визначення реакцій підшипника  $A$  (№ 208)

Реакція підшипника  $A$  на вал від силових факторів, діючих в вертикальній площині,  $R_A^B$ , Н, визначається по формулі:

$$R_A^B = \frac{P_{r2} \cdot l_3 - P_{a2} \cdot r_{w2}}{l_2 + l_3}, \quad (3.5)$$

$$R_A^B = \frac{827,52 \cdot 0,074 - 450,6 \cdot 0,126}{0,081 + 0,074} = 28,8 \text{ Н.}$$

В зв'язку з знакоперемінністю згинного моменту  $M_{кр\delta}$  створюваного карданом і діючого в горизонтальній площині, визначення реакції  $R_A^2$ , Н, проводиться по двохваріантній схемі:

при дії  $M_{кр\delta}$  проти годинникової стрілки

$$R_A^{2'} = \frac{M_{кр\delta} + P_2 \cdot l_3}{l_2 + l_3}, \quad (3.6)$$

$$R_A^{2'} = \frac{71,65 + 2119,7 \cdot 0,074}{0,081 + 0,074} = 1474,2 \text{ Н;}$$

- при дії  $M_{кр\delta}$  за годинниковою стрілкою

$$R_A^{2'} = \frac{-M_{кр\delta} + P_2 \cdot l_3}{l_2 + l_3}, \quad (3.7)$$

$$R_A^{2'} = \frac{-71,65 + 2119,7 \cdot 0,074}{0,081 + 0,074} = 549,7$$

Сумарна реакція підшипника  $A$  на вал  $R_A$ , Н, визначається по формулі

$$R_A = \sqrt{(R_A^b)^2 + (R_A^2)^2}; \quad (3.8)$$

- при дії  $M_{кр\delta}$  проти годинникової стрілки

$$R_A = \sqrt{28,8^2 + 1474,7^2} = 1474,5 \text{ Н;}$$

- при  $M_{крд}$  за годинниковою стрілкою

$$R_A = \sqrt{28,8^2 + 549,7^2} = 550,5 \text{ Н}$$

### Визначення реакції підшипника В (№ 208)

Реакція підшипника В на вал від силових факторів, діючих в вертикальній площині  $R_B^b$ , Н, визначається по формулі

$$R_A^B = \frac{P_{r2} \cdot l - P_{a2} \cdot r_{w2}}{l_2 + l_3}, \quad (3.9)$$

$$\text{маємо } R_A^B = \frac{827,52 \cdot 0,081 - 450,6 \cdot 0,126}{0,081 + 0,074} = 798,7 \text{ Н.}$$

Реакція підшипника В на вал від силових факторів, діючих в горизонтальній площині  $R_B^2$ , Н, визначається по формулі

При дії  $M_{крд}$  проти годинникової стрілки

$$R_B^{2'} = \frac{-M_{крд} + P_2 \cdot l_2}{l_2 + l_3}, \quad (3.10)$$

$$\text{тоді } R_B^{2'} = \frac{-71,65 + 2119,7 \cdot 0,081}{0,081 + 0,074} = 645,5 \text{ Н.}$$

- при дії  $M_{крд}$ , за годинниковою стрілкою

$$R_B^{2'} = \frac{M_{кр\delta} + P_2 \cdot l_2}{l_2 + l_3}, \quad (3.11)$$

$$\text{отримаємо } R_B^{2'} = \frac{71,65 + 2119,7 \cdot 0,081}{0,081 + 0,074} = 1570 \text{ Н.}$$

Сумарна реакція підшипника В на вал  $R_B$ , Н визначається по формулі (2.17):

- при дії  $M_{кр\delta}$  проти годинникової стрілки

$$R_B = \sqrt{798,7^2 + 645,5^2} = 1026,9 \text{ Н;}$$

- при  $M_{кр\delta}$  за годинниковою стрілкою

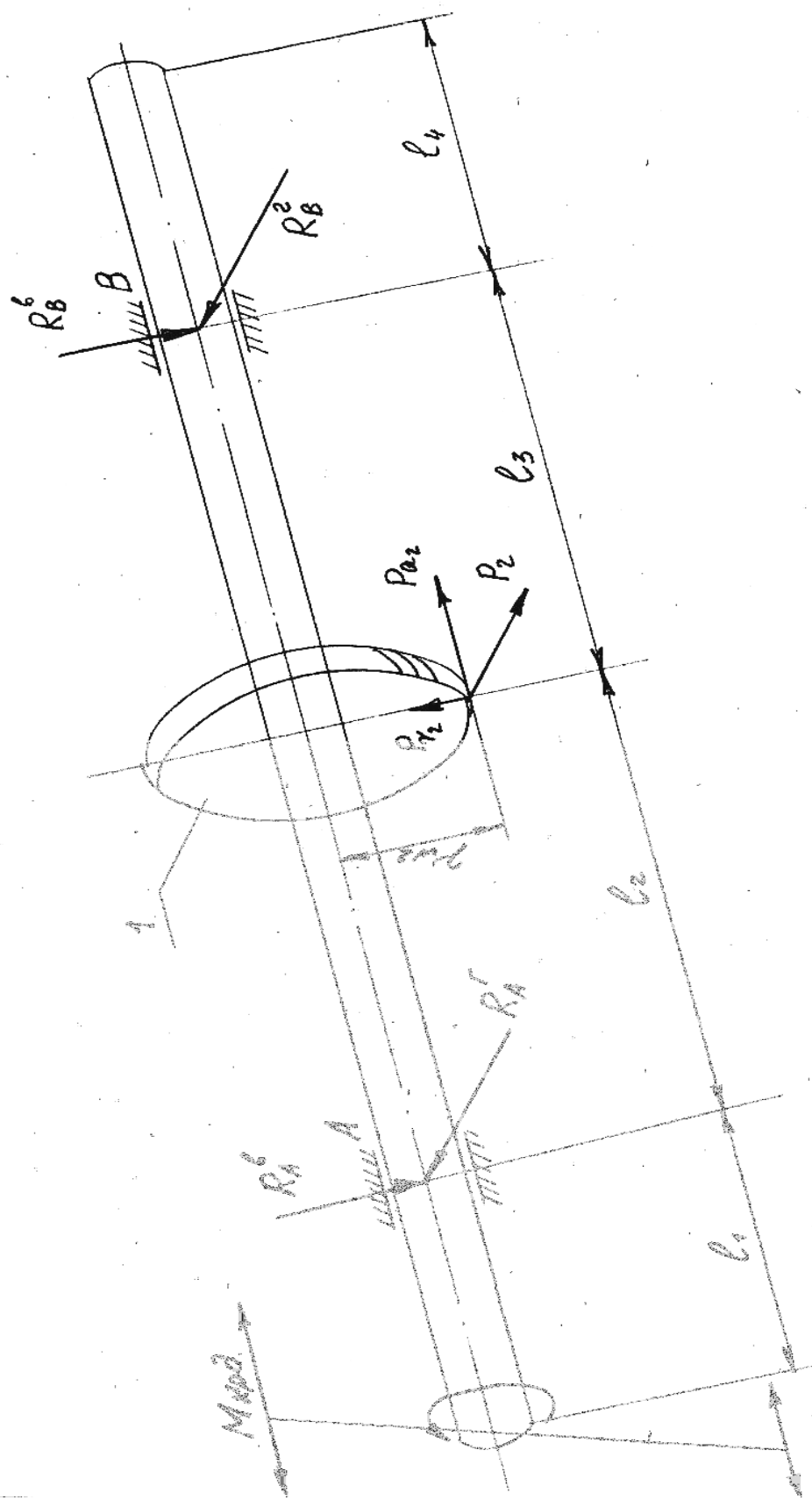
$$R_B = \sqrt{798,7^2 + 1570,0^2} = 1761,5 \text{ Н;}$$

Приведене навантаження для однорядних радіальних шарикопідшипників А і В (№ 308) має вид [9]:

$$Q = (x \cdot k_k \cdot R + y \cdot R_a) \cdot k_\delta \cdot k_t \quad (3.12)$$

$$\text{при } \frac{R_a}{k_k \cdot R} > l,$$





1 - колесо зубчатое

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема для визначення реакцій підшипників вхідного вала 208 підшипник

$$Q = R \cdot k_k \cdot k_\delta \cdot k_t,$$

$$\text{при } \frac{R_a}{k_k \cdot R} \leq l,$$

де  $R$  - радіальне навантаження, Н;

$R_a$  - осьове навантаження, Н;  $R_a = P_a = 450,6$  Н;

$x$  - коефіцієнт радіального навантаження, згідно [9]  $x = 0,56$ ;

$y$  - коефіцієнт осьового навантаження, згідно [9, 10] для відношення

$$\frac{R_a}{C_o} = \frac{450,6}{22400} = 0,02,$$

маємо  $y = 2,14$  і  $l = 0,2$ ;

$k_k$  - коефіцієнт кручення,  $k_k = 1$ ;

$k_b$  - коефіцієнт запасу,  $k_b = 1,3$ ;

$k_r$  - температурний коефіцієнт,  $k_r = 1$ .

Розрахунок проводимо для випадку дії  $M_{крд}$  проти годинникової стрілки при

$$\frac{R_{aA}}{k_k \cdot R_A} = \frac{450,6}{1474,5} = 0,306 > l = 0,2,$$

$$Q_A = (0,56 \cdot 1474,5 + 2,14 \cdot 450,6) \cdot 1,3 = 2327 \text{ Н}$$

при

$$\frac{R_{aB}}{k_k \cdot R_B} = 0 > l = 0,2$$

$$Q_B = 1026,9 \cdot 1,3 = 1335 \text{ Н}.$$

Розрахункова довговічність шарикопідшипників дорівнює

$$L_h = \frac{277,8}{n_2} \cdot \left( \frac{C}{Q} \right)^3, \quad (3.13)$$

де  $L_h$  - розрахункова довговічність підшипників А і В, год;

$n_2$  - частота кручення вхідного вала,  $c^{-1}$ ;

$C$  - динамічна вантажопідйомність, Н;

$Q$  - приведені навантаження на підшипники, Н

Необхідна умова довговічності підшипників має вид

$$L_{h_a} = \frac{277,8}{16,66} \cdot \left( \frac{41000}{2327} \right)^3 = 91200 \text{ год,}$$

$$L_{h_b} = \frac{277,8}{16,66} \cdot \left( \frac{41000}{1335} \right)^3 = 483000 \text{ год.}$$

Необхідна умова довговічності підшипників має вид

$$L_h \geq L_{h_{mp.}}$$

де  $L_h$  - розрахункова довговічність підшипників, год;

$L_{h_{mp.}}$  - необхідна довговічність підшипників, год;

$$91200 \text{ год} > 2240 \text{ год};$$

$$483000 \text{ год} > 2240 \text{ год.}$$

Умова довговічності виконується.

### 3.2. Розрахунок довговічності підшипників вихідного вала

При роботі насосного агрегату на вихідний вал діють наступні навантаження:

- колове  $P_1$ , радіальне  $P_{r1}$ , і осьове зусилля  $P_{a1}$  від циліндричного косозубого зачеплення;

- сила інерції робочого колеса насоса  $P_{in}$ , діюча постійно і тільки в вертикальній площині;

- поперечна сила  $R_n$ , діюча на поверхню колеса;

- згинний момент  $M_{зг}$ , створюваний гіроскопічним ефектом і навантажуючий вал тільки в горизонтальній площині;

- сила тяги  $F_T$ , діюча на робоче колесо насоса.

Сила інерції робочого колеса насоса  $P_{in}$ , Н, визначається по формулі:

$$P_{in} = m_k \cdot g \cdot k_{дин}, \quad (3.14)$$

де  $m_k$  - маса робочого колеса насоса, кг;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$k_{дин}$  - коефіцієнт динамічного навантаження.

$$P_{in} = 2,8 \cdot 5 \cdot 9,81 = 137,34 \text{ Н.}$$

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса  $R_{yn}$ , Н, визначається по формулі

$$R_{yn} = S \cdot D_k \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{Hd}{2}, \quad (3.15)$$

де  $S$  - ширина каналу колеса на виході (ширина вихідної щілини), м;

$D_k$  - діаметр робочого колеса насоса, м;

$\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>;

$H_d$  - динамічний напір колеса, м.

Динамічний напір колеса  $H_d$ , м, визначаємо по формулі

$$H_d = \frac{g \cdot H_m^2}{2u^2}, \quad (3.16)$$

де  $H_m$  - теоретичний напір колеса, м;

$u$  - колова швидкість на виході з лопатевої системи, м/с

$$H_m = \frac{H}{\eta_2}, \quad (3.17)$$

де  $H$  - напір колеса, м;

$\eta_2$  - гідравлічний к.к.д.;

$$\text{тоді } H_m = \frac{60}{0,85} = 70,6 \text{ м.}$$

Колова швидкість  $u$ , м/с на виході з лопатевої системи дорівнює

$$u = \frac{\pi n_1}{30} \cdot R_k, \quad (3.18)$$

де  $n_1$  - число обертів вихідного вала, об/хв;

$R_k$  - радіус робочого колеса, м,

маємо

$$u = \frac{3,14 \cdot 3727}{30} \cdot 0,089 = 34,72 \text{ м/с.}$$

Підставляючи числові значення у формулу (3.16), знаходимо

$$Hd = \frac{9,81 \cdot 70,6^2}{2 \cdot 34,72^2} = 20,28 \text{ м.}$$

Підставляючи числові значення у формулу (3.15), маємо

$$R_{yn} = 0,009 \cdot 0,178 \cdot 1400 \cdot 9,81 \cdot \frac{20,28}{2} = 223,1 \text{ Н.}$$

Поперечна сила, діюча на внутрішню поверхню лопатевого колеса  $R_{вн}$ , Н, рівна

$$R_{вн} = -S \cdot D_k \cdot \rho \cdot \frac{v_k^2}{2}, \quad (3.19)$$

де  $S$  - ширина вихідної щілини, м;

$D_k$  - діаметр робочого колеса насоса, м;

$\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$v_k$  - швидкість, яка вираховується по формулі

$$v_k = \frac{Q}{\pi \cdot D_k \cdot S}, \quad (3.20)$$

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$D_k$  - діаметр колеса насоса, м;

$S$  - ширина вихідної щілини, м

$$v_k = \frac{0,0167}{3,14 \cdot 0,178 \cdot 0,009} = 3,32 \text{ м/с.}$$

Тоді

$$R_{\text{вн}} = -0,009 \cdot 0,178 \cdot 1400 \cdot \frac{3,32^2}{2} = -24,72 \text{ Н.}$$

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса,  $R_{\text{н}}$ , Н, визначається по формулі

$$R_{\text{н}} = R_{\text{ун}} + R_{\text{вн}}, \quad (3.21)$$

де  $R_{\text{ун}}$  - поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса, Н;

$R_{\text{вн}}$  - поперечна сила, діюча на внутрішню поверхню лопатевого колеса, Н.

$$R_{\text{н}} = 223,1 - 24,72 = 198,4 \text{ Н.}$$

Сила тяги, діюча на робоче колесо насоса,  $F_T$ , Н, визначається по формулі

$$F_T = F_{\text{н}} - F_{\text{в}}, \quad (3.22)$$

де  $F_{\text{н}}$  - величина осьової сили, діючої на зовнішню поверхню колеса, Н;

$F_{\text{в}}$  - сила, діюча на внутрішню поверхню колеса, Н

Осьова сила, діюча на зовнішню поверхню колеса  $F_{\text{н}}$ , Н, визначається по формулі

$$F_{\text{н}} = \rho \cdot \pi \cdot g \cdot (R_1^2 - r_{\text{вн}}^2) \left[ H_p - \frac{u^2}{8g} \left( 1 - \frac{R_1^2 + r_{\text{вн}}^2}{2R_k^2} \right) \right], \quad (3.23)$$

де  $\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$R_1$   $r_{\text{вн}}$  - радіуси, показані на рис. 3.2,

$R_1 = 0,0325$  м;  $r_{\text{вн}} = 0,02$  мм;

$H_p$  - потенціальний напір колеса насоса, м;

$u$  - колова швидкість на виході з лопатевої системи, м/с;

$R_k$  - радіус робочого колеса насоса, м.

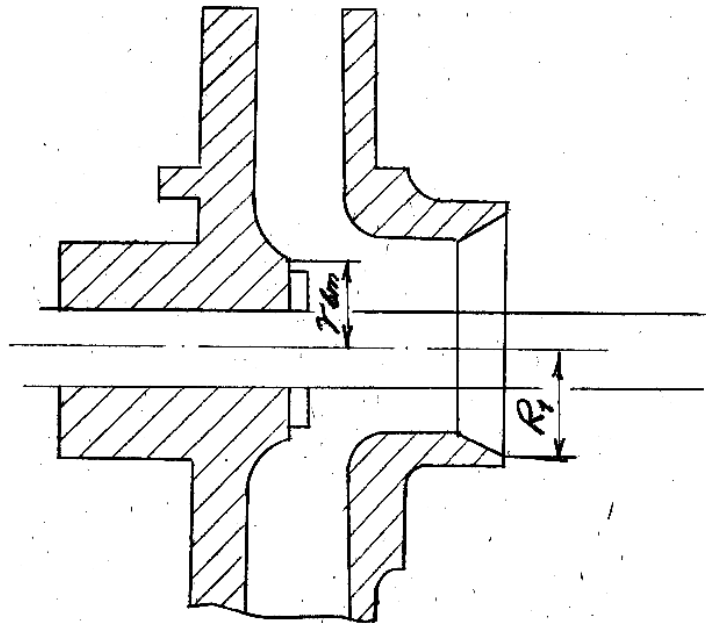


Рисунок 3.2 – Схема робочого колеса

Потенціальний напір колеса насоса  $H_p$ , м, визначається по формулі

$$H_p = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho}, \quad (3.24)$$

де  $\rho_2$  - тиск на виході потоку з колеса, кгс/м<sup>2</sup>;

$\rho_1$  - тиск на вході потоку в колесо, кгс/м<sup>2</sup>

$\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>

$$H_p = \frac{70000 - 4000}{1400} = 47,14 \text{ м.}$$

Тоді

$$F_n = 14003,149,81(0,0325^2 - 0,02^2) \left[ 47,14 - \frac{34,72^2}{8 \cdot 9,81} \left( 1 - \frac{0,0325^2 + 0,02^2}{2 \cdot 0,089^2} \right) \right] = 939,38 \text{ Н.}$$



Сила, діюча на внутрішню поверхню колеса,  $F_g$ , Н, визначається згідно [11] по формулі

$$F_g = \rho \cdot Q \cdot v_o, \quad (3.25)$$

де  $\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$v_o$  - швидкість входу потоку в колесо, м/с.

Швидкість входу потоку в колесо  $v_o$ , м/с визначаємо згідно [11] по формулі

$$v_o = (0,06..0,08) \sqrt[3]{Q \cdot n_1^2}, \quad (3.26)$$

де  $n_1$  - частота кручення вихідного вала, об/хв;

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с

$$v_o = (0,08) \sqrt[3]{0,0167 \cdot 3727^2} = 4,9 \text{ м/с.}$$

Підставляючи числові значення в формули (3.25) і (3.22), знаходимо

$$F_g = 1400 \cdot 0,0167 \cdot 4,9 = 114,6 \text{ Н;}$$

$$F_T = 939,38 - 114,6 = 824,78 \text{ Н.}$$

Згинний момент, створюваний гіроскопічним ефектом і навантажуючий вал тільки в горизонтальній площині,  $M_{zir}$ , Н·м, визначається по формулі

$$M_{zir} = I \cdot 2\pi n_1 \cdot \omega_1, \quad (3.27)$$

де  $I$  - момент інерції маси робочого колеса насоса;

$n_1$  - частота кручення робочого колеса насоса, с<sup>-1</sup>;

$\omega_1$  - максимальне значення кутової швидкості повертання осі вентилятора в вертикальній площині відносно осі ходових коліс приготувлювача-транспортувальника, рад/с;

на підставі дослідних даних приймаємо  $\omega_1 = 0,91$  рад/с.

Момент інерції маси робочого колеса насоса  $I$ , кг·м<sup>2</sup>, визначається по формулі

$$I = \frac{2 \cdot m_k \cdot R_k^2}{3}, \quad (3.28)$$

де  $m_k$  - маса робочого колеса насоса, кг;

$R_k$  - радіус робочого колеса насоса, м

$$I = \frac{2 \cdot 2,8 \cdot 0,089^2}{3} = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^3.$$

Підставляючи числові значення у формулу (3.27), знаходимо

$$M_{зир.} = 0,015 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 62,13 \cdot 0,91 = 5,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначення реакції підшипника С (№ 308)

Реакція підшипника С на вал від силових факторів, діючих в вертикальній площині,  $R_c^b$ , Н, визначається по формулі

$$R_c^b = \frac{P_{r1} \cdot l_7 + P_{a1} \cdot r_{w1} - (R_n + P_{in}) \cdot l_8}{l_6 + l_7}, \quad (3.29)$$

де  $r_{w1}$  - початковий діаметр шестерні, м;

$$P_{r1} = P_{r2} \text{ і } P_{a1} = P_{a2}$$

$$R_c^b = \frac{827,52 \cdot 0,0715 + 450,6 \cdot 0,0338 - (198,4 + 137,34) \cdot 0,117}{0,074 + 0,0715} = 241,35 \text{ Н}.$$

Реакція підшипника С на вал від силових факторів, діючих в горизонтальній площині,  $R_c^z$ , Н, визначається по формулі

$$R_c^z = \frac{P_1 \cdot l_7 - M_{\text{гip.}}}{l_6 + l_7}, \quad (3.30)$$

де  $P_1 = P_2$ .

$$R_c^z = \frac{2119,7 \cdot 0,0715 - 5,3}{0,074 + 0,0715} = 1005,2 \text{ Н}.$$

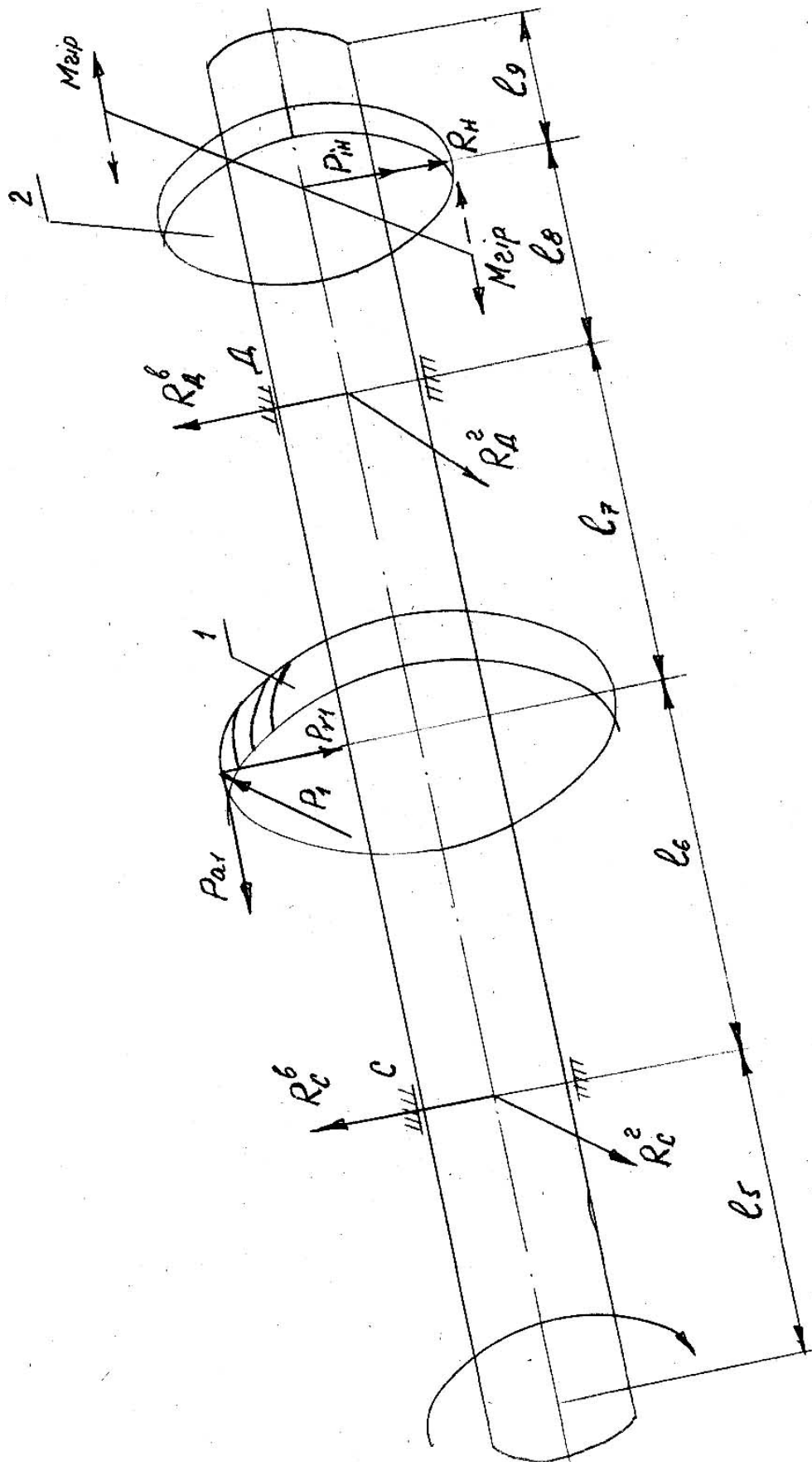
Визначення реакцій підшипника Д (№ 308).

Реакція підшипника Д на вал від силових факторів, діючих в вертикальній площині,  $R_D^y$ , Н, визначається по формулі

$$R_D^y = \frac{P_{r1} \cdot l_6 + P_{a1} \cdot r_{w1} + (R_n + P_{in}) \cdot (l_6 + l_7 + l_8)}{l_6 + l_7}, \quad (3.31)$$

$$R_D^y = \frac{827,52 \cdot 0,074 + 450,6 \cdot 0,0338 + (198,4 + 137,34) \cdot (0,074 + 0,0715 + 0,117)}{0,074 + 0,0715} = 921,9 \text{ Н}.$$

Реакція підшипника Д на вал від силових факторів, діючих в горизонтальній площині,  $R_D^z$ , Н, визначається по формулі



1 - шестірня; 2 - робоче колесо насоса

Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для визначення реакцій підшипників вихідного вала:

$$R_D^z = \frac{P_1 \cdot l_6 - M_{\text{гip.}}}{l_6 + l_7}, \quad (3.32)$$

$$\text{тоді } R_D^z = \frac{2119,7 \cdot 0,074 - 5,3}{0,074 + 0,0715} = 1114,2 \text{ Н}.$$

Сумарні реакції підшипників С і Д  $R_c$  і  $R_D$ , Н:

$$R_c = \sqrt{241,35^2 + 1005,2^2} = 1033,8 \text{ Н};$$

$$R_D = \sqrt{921,9^2 + 1114,5^2} = 1446,4 \text{ Н}.$$

Приведене навантаження для однорядних радіальних шарикопідшипників має вид [9]

$$Q = (x \cdot k_k \cdot R + y R_a) k_\sigma \cdot k_T, \quad (3.33)$$

$$\text{при } \frac{R_a}{k_k \cdot R} > l$$

$$Q = R \cdot k_k \cdot k_\sigma \cdot k_T \quad (3.34)$$

$$\text{при } \frac{R_a}{k_k \cdot R} \leq l$$

де  $R$  - радіальне навантаження, Н;

$R_a$  - осьове навантаження, Н;

$x$  - коефіцієнт радіального навантаження;

$y$  - коефіцієнт осьового навантаження;

$k_k$  - коефіцієнт кручення;

$k_\sigma$  - коефіцієнт запасу

$k_T$  температурний коефіцієнт.

Дані, необхідні для розрахунку підшипників вихідного вала і розрахунок приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок підшипників вихідного вала

| Назва параметру                           | Позначення | Джерело, формула, пояснення                   | Значення |       |
|---|------------|---|----------|-------|
|   |            |   | C        | D     |
| Позначення підшипника на рисунку          |            |   | C        | D     |
| Умовне позначення підшипника (типорозмір) |            |   | 308      | 308   |
| Динамічна вантажопідйомність, Н           | $C$        | [10]  | 41000    | 41000 |
| Статична вантажопідйомність, Н            | $C$        |   | 22400    | 22400 |
| Фактори приведення навантаження           | $x$        | [9]   | 0,56     | 0,56  |
|   | $y$        | [9]   | 2,3      | 2,23  |
|   | $l$        | [9]   | 0,19     | 0,2   |
| Частота кручення вала, $c^{-1}$           | $n_1$      |   | 62,13    |       |
| Необхідна довговічність, год.             | $L_{hmp}$  |   | 2240     |       |
| Коефіцієнт кручення                       | $k_k$      | Для кручення внутрішнього кільця              | 1        |       |
| Коефіцієнт запасу                         | $k_\sigma$ | Приймаємо, виходячи з умов роботи підшипників | 1,3      |       |

Продовження таблиці 3.1

|   |       |   |                |               |
|---|-------|---|----------------|---------------|
| Коефіцієнт температури                              | $k_T$ |   | 1              |               |
| Величина радіального навантаження                   | $R$   |   | 1033,8         | 1446,4        |
| Зовнішнє осьове навантаження, Н                     | $R_a$ | $R_{ac} = 0$<br>$R_{ab} = F_T - P_{a1}$   | 0              | 374,2         |
| Допоміжна величина                                  |       | $R_a / k_k \cdot R$   | 0              | 0,26          |
| Еквівалентне динамічне навантаження, Н              | $Q$   | При $R_a / k_k \cdot R > l$<br>$Q = (k_k \cdot x \cdot R + y \cdot R_a)$<br>При $R_a / k_k \cdot R < l$<br>$Q = R \cdot k_k \cdot k_\sigma \cdot k_T$ | 1344           | 2137,8        |
| Довговічність                                       | $L_h$ |   | 127000         | 31540         |
| Порівняння розрахункової довговічності з необхідною |       | Повинна задовольнятися умова $L_h \geq L_{hmp}$   | 127000 > >2240 | 31540 > >2240 |

### 3.3. Обґрунтування параметрів вихідного вала

#### Розрахунок вала на статичну міцність і витривалість.

Розрахунок вала на статичну міцність зводиться до визначення коефіцієнта запасу міцності вала по границі текучості  $n_T$  і в порівнянні одержаного значення з величиною мінімально допустимого коефіцієнта запасу міцності по границі текучості  $[n_T]$ . При  $n_T \geq [n_T]$  вал володіє достатнім запасом статичної міцності.

Розрахунок вала на витривалість зводиться до визначення в його небезпечному сеченні коефіцієнта запасу міцності по границі витривалості  $n$  і в порівнянні одержаного значення з мінімально допустимим коефіцієнтом запасу міцності по границі витривалості  $[n]$ . При  $n \geq [n]$  вал володіє достатнім запасом міцності по границі витривалості.

Реакції в опорах вхідного вала знайдені по формулах (3.5)-(3.7), (3.9)-(3.11).

Будуємо епюру згинних моментів в вертикальній і горизонтальній площинах, а також епюру сумарних згинних моментів (рис. 3.4). Для розглядуваних січень в вертикальній площині маємо:

$$M_{згI}^g \text{ зліва} = -R_A^g \cdot l_2 = -28,8 \cdot 0,081 = -2,33 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.35)$$

$$M_{згI}^g \text{ справа} = -R_A^g \cdot l_2 - P_{a_2} \cdot r_{w_1} = -28,8 \cdot 0,081 - 450,6 \cdot 0,126 = -59,11 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.36)$$

$$\begin{aligned} M_{згII}^g &= -R_A^g \cdot (l_2 + 0,028) + P_{r_2} \cdot 0,028 - P_{a_2} \cdot r_{w_2} = \\ &= -28,8 \cdot (0,081 + 0,028) + 827,52 \cdot 0,028 - 450,6 \cdot 0,126 = -36,74 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Для розглядуваних січень в горизонтальній площині маємо

$$M_{згI}^z = M_{крд.} - R_A^z \cdot l_2; \quad (3.38)$$

- при дії  $M_{крд.}$  по годинниковій стрілці

$$M_{згI}^z = 71,65 - 1474,2 \cdot 0,081 = - 47,76 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- при дії  $M_{крд.}$  проти годинникової стрілки



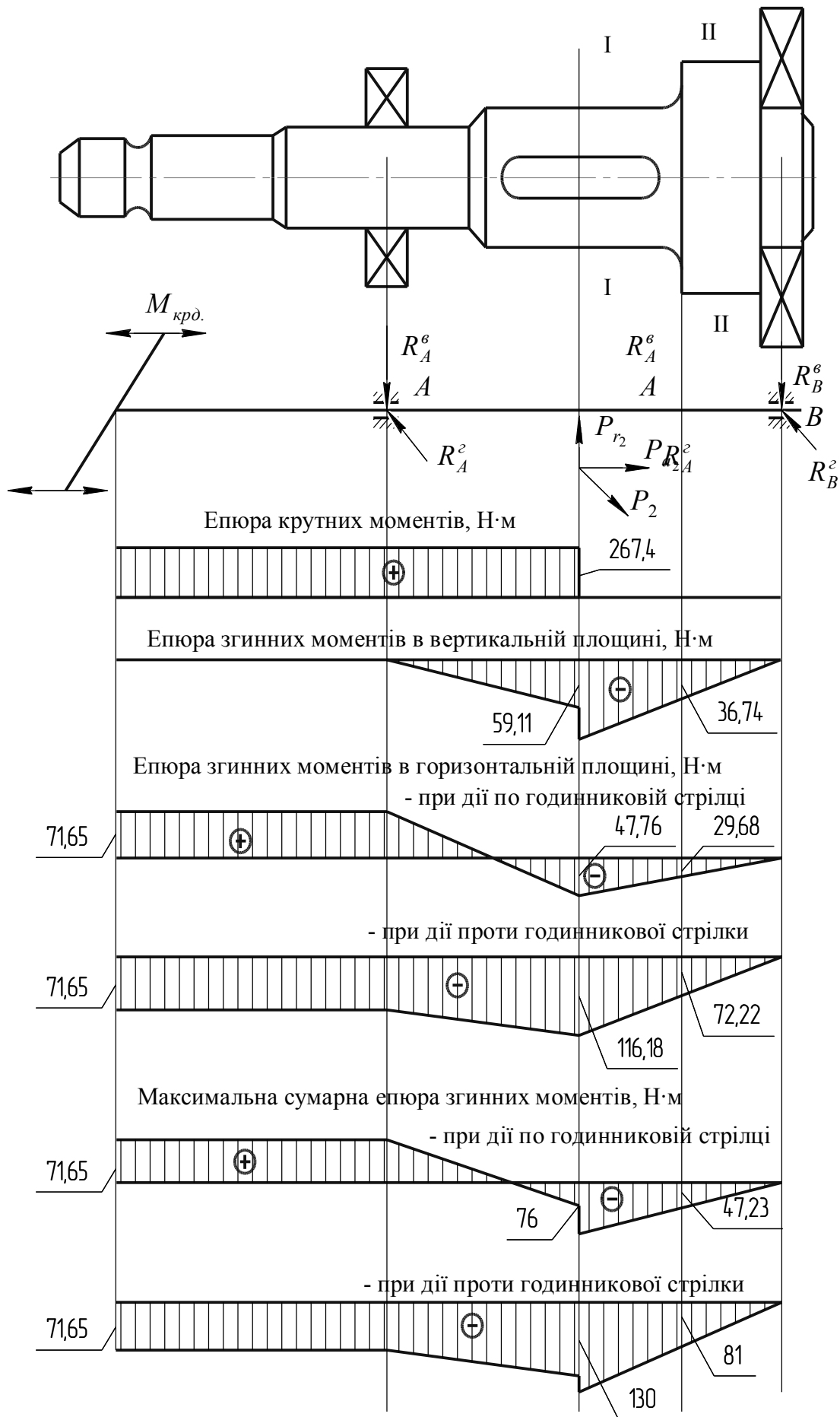


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема вхідного вала

$$M_{32I}^z = -71,65 - 549,7 \cdot 0,081 = -116,18 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Відповідно

$$M_{32II}^z = M_{крд.} - R_A^z \cdot (l_2 + 0,028) + P_2 \cdot 0,028;$$

$$M_{32II}^z = 71,65 - 1474,2 \cdot (0,081 + 0,028) + 2119 \cdot 0,028 = -29,68 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{32II}^z{}' = -71,65 - 549,7 \cdot (0,081 + 0,028) + 2119 \cdot 0,028 = -72,22 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Епюру сумарних згинних моментів будуємо по формулі:

$$M_{32.\text{max}} = \sqrt{(M_{32}^e)^2 + (M_{32}^z)^2}, \quad (3.39)$$

- при дії  $M_{крд.}$  по годинниковій стрілці

$$M_{32.\text{max}I} = \sqrt{(-59,11)^2 + (-47,76)^2} = 76 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{32.\text{max}II} = \sqrt{(-36,74)^2 + (-29,68)^2} = 47,23 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

при дії  $M_{крд.}$  проти годинникової стрілки

$$M_{32.\text{max}I}{}' = \sqrt{(-59,11)^2 + (-116,18)^2} = 130 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{32.\text{max}II}{}' = \sqrt{(-36,74)^2 + (-72,22)^2} = 81 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Уточнений розрахунок вала на статичну міцність і витривалість виконуємо

в табличній формі (таблиця 3.2).

Розрахунок вихідного вала.

Реакції в опорах вала знайдені по формулах (3.29)-(3.32).

Будуємо епюру згинних моментів в вертикальній і горизонтальній площинах, а також епюру сумарних згинних моментів (рис. 3.5)

Для розглядуваних січень в вертикальній площині маємо

$$M_{32I}^e = R_c^e \cdot (l_6 - 0,0265), \quad (3.40)$$

$$M_{32I}^e = 241,35 \cdot (0,074 - 0,0265) = 11,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{32II}^e (\text{зліва}) = R_c^e \cdot l_6, \quad (3.41)$$

$$M_{32II}^e (\text{зліва}) = 241,35 \cdot 0,074 = 17,86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{32II}^e (\text{справа}) = R_c^e \cdot l_6 - P_{a1} \cdot r_{w1}, \quad (3.42)$$

$$M_{32II}^e (\text{справа}) = 241,35 \cdot 0,074 - 450,6 \cdot 0,0338 = 2,63 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблиця 3.2 – Визначення коефіцієнтів запасу міцності по границі текучості і коефіцієнтів запасу міцності по границі витривалості в розрахункових січеннях вала I-I і II-II (див рис. 3.4)

| Показник   | Позначення        | Джерело, формула, пояснення | Значення                                     |                   |
|--|-------------------|-----------------------------|--|-------------------|
| Матеріал вала  | -                 |                             | Сталь 40Х-б                                  |                   |
| Твердість серцевини вала, НВ або HRC <sub>3</sub>                | -                 |                             | 42...51 HRC 25...31,8<br>600 350 200 270 150 |                   |
| Механічні характеристики матеріалу, МПа                          | $\sigma_{\sigma}$ |                             | 600  |                   |
|  | $\sigma_T$        |                             | 350  |                   |
|  | $\tau_{\tau}$     |                             | 200  |                   |
|  | $\sigma_{-1}$     |                             | 270  |                   |
|  | $\tau_{-1}$       |                             | 150  |                   |
| Позначення розрахункового січення на рис. 5                      | -                 | Вихідні дані                | I-I  | II-II             |
| Концентратори напруг в зоні розглядуваного січення               | -                 |                             | Шпонка<br>12x8x50                            | галтель           |
| Шершавість або стан поверхні в зоні січення                      | -                 |                             | $2,5\sqrt{\quad}$                            | $2,5\sqrt{\quad}$ |
| Спосіб поверхневого зміцнення вала в зоні розглядуваного січення | -                 |                             | ТВЧ $h$ 1,5..2,5                             |                   |

Продовження таблиці 3.2

|  |            |  |                    |                    |
|--|------------|--|--------------------|--------------------|
| Вид посадки<br>посадженої на вал -<br>деталі в зоні січення              |            |  | КОВЗНА             |                    |
| Висота буртика<br>(див.рис.3.4), мм                                      | $h$        |  | -                  | 2,5                |
| Радіус переходу<br>(див.рис.3.4), мм                                     | $r$        |  |                    | 1                  |
| Форма і розміри<br>січення, мм   |            |  | Круг<br>$d_g = 42$ | Круг<br>$d_g = 42$ |
| Площа січення, мм <sup>2</sup>   | $F$        | $F = 0,785 d_g^2 - \frac{bh}{2}$                         | 1337               | 1385               |
| Момент опору згину,<br>мм <sup>3</sup>                                   | $W_{32}$   | $W_{32} = \frac{\pi d_g^3}{32} - \frac{bh(2D-h)^2}{16D}$ | 6445               | 7270               |
| Момент опору<br>кручення, мм <sup>3</sup>                                | $W_k$      | $W_k = 2W_{32} - \frac{bh(2D-h)^2}{16D}$                 | 13715              | 14540              |
| Коефіцієнт можливого<br>перевантаження вала<br>(динамічності)            | $k_g$      |  | 1,5                | 1,5                |
| Допоміжні<br>розрахункові величини                                       | -          | $\frac{h}{r}$  | —                  | 2,5                |
|  |            | $\frac{r}{d}$  | -                  | 0,024              |
| Ефективні коефіцієнти<br>концентрації<br>нормальних і дотичних<br>напруг | $k_\sigma$ |  | 1,46               | 2,024              |
|  | $k_\tau$   |  | 1,54               | 1,67               |
| Коефіцієнт якості<br>поверхні  | $\beta_n$  |  | 0,87               | 1*                 |

Продовження таблиці 3.2

|   |                  |  |       |              |
|---|------------------|--|-------|--------------|
| Коефіцієнт поверхневого зміцнення   | $\beta_{ypr}$    | [12]   | 1,6   | 2,6          |
| Коефіцієнт впливу асиметрії циклу напруг при згині і крученні на границі витривалості                   | $\psi_{\sigma}$  |  | 0,1   | 0,1          |
|   | $\psi_{\tau}$    |  | 0,05  | 0,05         |
| Мінімально допустимі значення коефіцієнтів запасів міцності по границі текучості і границі витривалості | $[n_T]$          |  | 1,8   | 1,8          |
|   | $[n]$            |  | 1,8   | 1,8          |
| Коефіцієнти концентрації нормальних і дотичних напруг в розглядуваних січеннях вала                     | $(k_{\sigma})_D$ | $(k_{\sigma})_D = \left( k_{\sigma} + \frac{1}{\beta_n} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{ypr}}$ | 1     | 0,78(2,18)** |
|   | $(k_{\tau})_D$   | $(k_{\tau})_D = \left( k_{\tau} + \frac{1}{\beta_n} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{ypr}}$     | 1,06  | 0,64(1,71)** |
| Номінальний крутний момент, передаваний січенням, Н·м   | $M_{кр}$         | табл.2.1   | 267,4 |              |
| Максимально можливий крутний момент, Н·м  | $M_{кр \max}$    | $M_{кр \max} = k_g \cdot M_{кр}$   | 401,1 |              |
| Максимальний згинний момент в січенні, який відповідає номінальному навантаженню, Н·м                   | $M_{\max}$       | рис. 2.5   | 130   | 81,0         |

Продовження таблиці 3.2

|  |                 |  |        |       |
|--|-----------------|--|--------|-------|
| Мінімальний згинний момент, який відповідає номінальному навантаженню, з врахуванням знака напруг, Н·м | $M_{\min}$      | $M_{\min} = -M_{\max}$                                     | -130   | -81,0 |
| Максимально можливий згинний момент, Н·м   | $M_{\max \max}$ | $M_{\max \max} = k_g \cdot M_{\max}$                       | 195    | 121,5 |
| Осьова сила, яку передає січення, з врахуванням знаку визваних нею напруг, Н                           | $A$             |  | 450,6  | 450,6 |
| Максимальна нормальна напруга згину, МПа   | $\sigma_{\max}$ | $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{32}} + \frac{A}{100F}$ | 20,51  | 11,43 |
| Максимальна нормальна напруга циклу згину, МПа   | $\sigma_{\min}$ | $\sigma_{\min} = \frac{M_{\min}}{W_{32}} + \frac{A}{100F}$ | -19,83 | -10,8 |
| Амплітуда циклу нормальних напруг, МПа   | $\sigma_a$      | $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$       | 20,17  | II,I  |
| Середнє значення циклу нормальних напруг, МПа  | $\sigma_m$      | $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$       | 0,34   | 0,32  |
| Максимальна напруга циклу кручення, МПа  | $\tau_{\max}$   | $\tau_{\max} = \frac{M_{kp}}{W_k}$                         | 19,5   | 18,4  |

Продовження таблиці 3.2

|   |                      |  |           |            |
|---|----------------------|--|-----------|------------|
| Амплітуда циклу кручення, МПа   | $\tau_a$             | $\tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2}$   | 9,75      | 9,2        |
| Середня напруга циклу кручення, МПа   | $\tau_m$             | $\tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2}$   | 9,75      | 9,2        |
| Максимально можлива нормальна напруга, МПа  | $\sigma_{\max \max}$ | $\sigma_{\max \max} = \frac{M_{\max \max}}{W_{32}} + \frac{k_g A}{100}$        | 30,81     | 17,16      |
| Максимально можлива дотична напруга, МПа  | $\tau_{\max \max}$   | $\tau_{\max \max} = k_g \tau_{\max}$   | 29,25     | 27,6       |
| Коефіцієнти запасів міцності по границі текучості по нормальних і дотичних напругах   | $n_{T\sigma}$        | $n_{T\sigma} = \sigma_T / \sigma_{\max \max}$                                  | 11,36     | 20,4       |
|   | $n_{T\tau}$          | $n_{T\tau} = \tau_T / \tau_{\max \max}$  | 6,8       | 7,25       |
| Коефіцієнт запасу міцності вала по границі текучості                                  | $n_T$                | $n_T = \frac{n_{T\sigma} \cdot n_{T\tau}}{\sqrt{n_{T\sigma}^2 + n_{T\tau}^2}}$ | 5,8       | 6,83       |
| Оцінка результатів  | -                    | Повинна дотримуватись умова $n_T \geq [n_T]$                                   | 5,8 > 1,8 | 6,83 > 1,8 |
| Коефіцієнт запасів міцності по границі витривалості по нормальних і дотичних напругах | $n_\sigma$           | $n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \tau_a + \psi_\sigma \tau_m}$      | 13,4      | 11,1       |
|   | $n_\tau$             | $n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{(k_\tau)_D \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$              | 13,86     | 9,26       |
| Коефіцієнт запасу міцності вала по границі витривалості                               | $n$                  | $n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$               | 9,6       | 7,11       |
| Оцінка результату   |                      | Повинна дотримуватись умова $n \geq [n]$                                       | 9,6 > 1,8 | 7,11 > 1,8 |

\* Коефіцієнт якості поверхні приймаємо рівним 1, так як січення II-II знаходиться скраю посадженої на вал деталі.

\*\* В дужках вказано значення коефіцієнта, створюване посадженою на вал деталлю.

$$M_{32III}^e = R_c^e \cdot (l_6 + l_7) - P_{r_1} \cdot l_7 - P_{a_1} \cdot r_{w_1}, \quad (3.43)$$



# Розрахункова схема вихідного вала

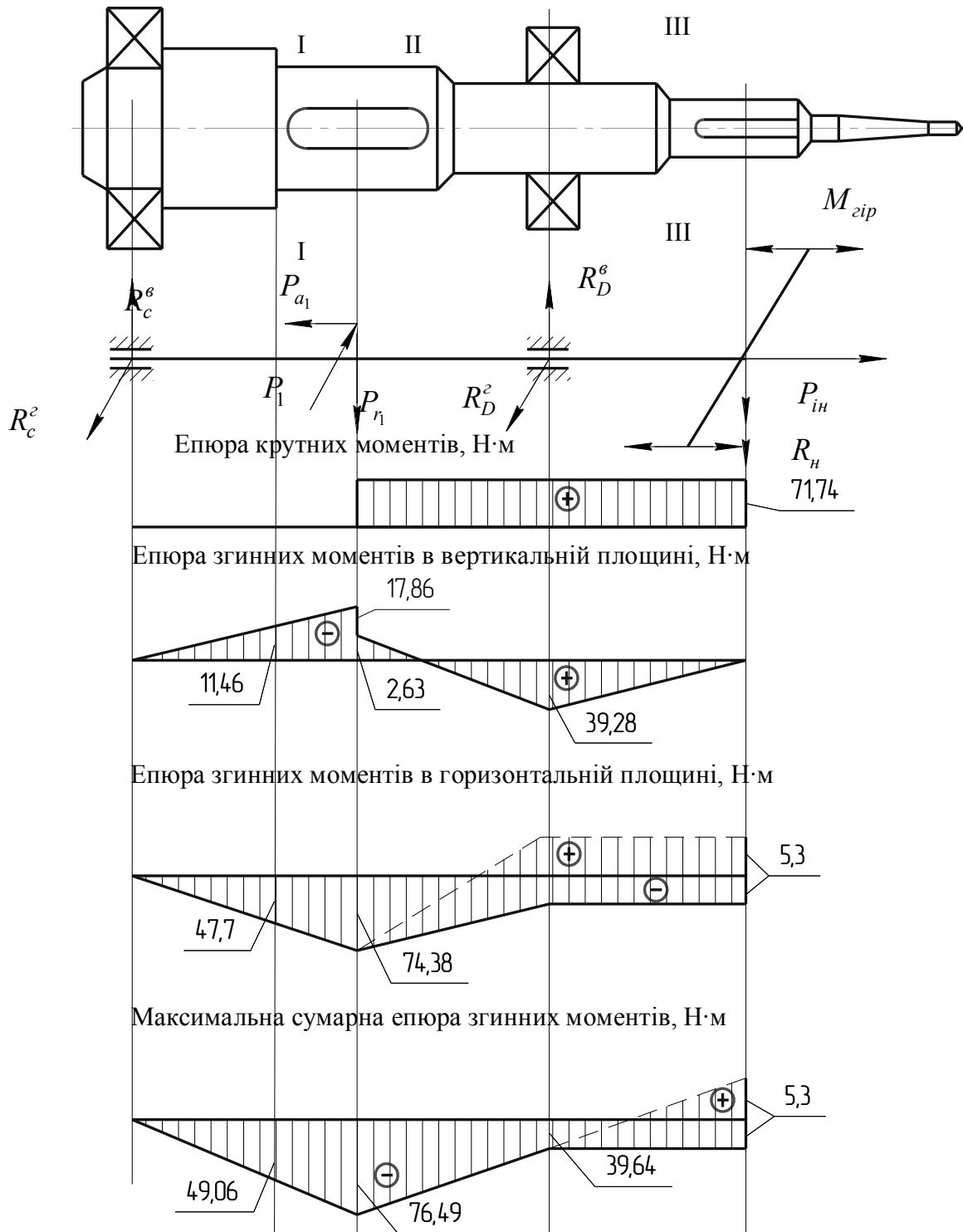


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема вихідного вала

$$M_{32III}^e = 241,35 \cdot (0,074 + 0,0715) - 827,52 \cdot 0,0715 - 450,6 \cdot 0,0338 = -39,28 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Для розгляду січень в горизонтальній площині масмо (для найбільш навантаженого випадку –  $M_{2ip}$  направлений проти годинникової стрілки)

$$M_{32I}^z = -R_c^z \cdot (l_6 - 0,0265), \quad (3.44)$$

$$M_{32I}^z = -1005,2 \cdot (0,074 - 0,0265) = -47,7 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{32II}^z = -R_c^z \cdot l_6, \quad (3.45)$$

$$M_{32II}^z = -1005,2 \cdot 0,074 = -74,38 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{32III}^z = -R_c^z \cdot (l_6 + l_7) + P_1 \cdot l_7, \quad (3.46)$$

$$M_{32III}^z = -1005,2 \cdot (0,074 + 0,0715) + 2119,7 \cdot 0,0715 = 5,3 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Епюру сумарних згинних моментів будуємо по формулі (3.47).

$$M_{32 \max I} = \sqrt{11,46^2 + 47,7^2} = 49,06 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{32 \max II} = \sqrt{17,86^2 + 74,38^2} = 76,49 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{32 \max III} = \sqrt{39,28^2 + 5,3^2} = 39,64 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{32 \max IV} = 5,3 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Уточнений розрахунок вала на статичну міцність і довговічність виконуємо

в табличній формі (таблиця 3.3).

### 3.4. Обґрунтування параметрів шпонок

Перевірка несучої властивості призматичної шпонки вхідного вала.

Робоча довжина шпонки  $l_p$ , мм, з округленими торцями визначається по формулі

$$l_{p1} = l_{ш1} - b_{ш1}, \quad (3.47)$$

де  $l_{ш1}$  - довжина шпонки, мм;

$b_{ш1}$  - ширина шпонки, мм;

тоді

$$l_{p1} = 50 - 12 = 38 \text{ мм.}$$

Глибина врізання шпонки в вал  $t_{ш}$  мм, визначається формулі

$$t_{ш} = 0,4 \cdot h_{ш}, \quad (3.48)$$

де  $h_{ш}$  - висота шпонки, мм;

$$t_{ш} = 0,4 \cdot 8 = 3,2 \text{ мм}$$

Таблиця 3.3 – Визначення коефіцієнтів запасу міцності по границі текучості і коефіцієнтів запасу по границі витривалості в розрахункових січеннях вала I-I і II-II

| Показник   | Позначення          | Джерело, пояснення | формула | Значення                  |                          |
|--|---------------------|--------------------|---------|---------------------------|--------------------------|
| Матеріал вала  | -                   |                    |         | Сталь 40X13-б             |                          |
| Твердість серцевини вала, HB або HRC <sub>3</sub>                | -                   |                    |         | ≥ HRC <sub>3</sub> 41,55  |                          |
| Механічні характеристики матеріалу вала, МПа                     | $\sigma_{\epsilon}$ |                    |         | 800                       |                          |
|  | $\sigma_T$          |                    |         | 650                       |                          |
|  | $\tau_{\tau}$       |                    |         | 390                       |                          |
|  | $\sigma_{-1}$       |                    |         | 360                       |                          |
|  | $\tau_{-1}$         |                    |         | 210                       |                          |
| Позначення розрахункового січення на рис. 2.6                    | -                   | Вихідні дані       |         | I-I                       | II-II                    |
| Концентраторні напруги в зоні розглядуваного січення             | -                   |                    |         | галтель                   | шпонка<br>12 x 8 x<br>45 |
| Шершавість або стан поверхні в зоні січення                      | -                   |                    |         | $2,5/\sqrt{\quad}$        | $2,5/\sqrt{\quad}$       |
| Спосіб поверхневого зміцнення вала в зоні розглядуваного січення | -                   |                    |         | ТВЧ $h \geq 1,5\text{мм}$ |                          |
| Вид посадки посадженої на вал деталі в зоні січення              | -                   |                    |         |                           | ковзна                   |

Продовження таблиці 3.3

|  |               |  |                                     |                                     |
|--|---------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Висота буртика<br>(див.рис.3.5), мм                                      | $h$           |  | 3                                   | -                                   |
| Радіус переходу<br>(див.рис.2.6), мм                                     | $r$           |  | 0,5                                 | —                                   |
| Форма і розміри січення,<br>мм   |               |  | Круг<br>діаметро<br>м<br>$d_g = 42$ | Круг<br>діаметро<br>м<br>$d_g = 42$ |
| Площа січення, мм <sup>2</sup>   | $F$           | $F = 0,785 d_g^2 - \frac{bh}{2}$                         | 1385                                | 1337                                |
| Момент опору згину, мм   | $W_{32}$      | $W_{32} = \frac{\pi d_g^3}{32} - \frac{bh(2D-h)^2}{16D}$ | 7270                                | 6445                                |
| Момент опору кручення,<br>мм   | $W_k$         | $W_k = 2W_{32} - \frac{bh(2D-h)^2}{16D}$                 | 14540                               | 13715                               |
| Коефіцієнт можливого<br>перевантаження вала<br>(динамічності)            | $k_g$         |  | 1,5                                 | 1,5 _                               |
| Допоміжні розрахункові<br>величини                                       | -             | $h/r$  | 6                                   | -                                   |
|  | -             | $r/d$  | 0,012                               | -                                   |
| Ефективні коефіцієнти<br>концентрації<br>нормальних і дотичних<br>напруг | $k_\sigma$    |  | 2,3                                 | 1,62                                |
|  | $k_\tau$      |  | 2,34                                | 1,88                                |
| Коефіцієнт якості<br>поверхні  | $\beta_n$     |  | 1*                                  | 0,83                                |
| Коефіцієнт поверхневого<br>зміцнення                                     | $\beta_{упр}$ | [12]   | 2,8                                 | 2,2                                 |

Продовження таблиці 3.3

|  |                  |  |                  |      |
|--|------------------|--|------------------|------|
| Коефіцієнт впливу асиметрії циклу напруг при згині і крученню на границі витривалості          | $\Psi_{\sigma}$  |  | 0,1              | 0,1  |
|  | $\Psi_{\tau}$    |  | 0,05             | 0,05 |
| Мінімально допустимі значення коефіцієнтів запасу міцності по границі текучості і витривалості | $[n_T]$          |  | 1,8              | 1,8  |
|  | $[n]$            |  | 1,8              | 1,8  |
| Коефіцієнт концентрації нормальних і дотичних напруг в розглядуваному січенні вала             | $(k_{\sigma})_D$ | $(k_{\sigma})_D = \left( k_{\sigma} + \frac{1}{\beta_n} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{yup}}$ | 0,82<br>(2,57)** | 0,83 |
|  | $(k_{\tau})_D$   | $(k_{\tau})_D = \left( k_{\tau} + \frac{1}{\beta_n} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{yup}}$     | 0,84<br>(1,95)** |      |
| Номінальний крутний момент, передаваний січенням, Нм   | $M_{кр}$         | табл.2.1   | 71,74            |      |
| Максимально можливий крутний момент, Н.м   | $M_{кр \max}$    | $M_{кр \max} = k_g \cdot M_{кр}$   | 107,61           |      |

Продовження таблиці 3.3

|  |                 |  |        |        |
|--|-----------------|--|--------|--------|
| Максимальний згинний момент в січєнні, який відповідає номінальному навантаженню, Н.м                  | $M_{\max}$      | рис. 2.6   | 49,06  | 76,49  |
| Мінімальний згинний момент, який відповідає номінальному навантаженню, з врахуванням знаку напруг, Н.м | $M_{\min}$      | $M_{\min} = - M_{\max}$                                    | -49,06 | -76,49 |
| Максимально можливий згинний момент, Н.м   | $M_{\max \max}$ | $M_{\max \max} = k_g \cdot M_{\max}$                       | 73,6   | 114,7  |
| Осьова сила, яка передається січєнням, з врахуванням знаку визваних нею напруг, Н                      | $A$             |  | 0      | -450,6 |
| Максимальна нормальна напруга згину, МПа   | $\sigma_{\max}$ | $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{32}} + \frac{A}{100F}$ | 6,75   | 11,53  |
| Мінімальна нормальна напруга циклу, згину, МПа   | $\sigma_{\min}$ | $\sigma_{\min} = \frac{M_{\min}}{W_{32}} + \frac{A}{100F}$ | -6,75  | -12,2  |
| Амплітуда циклу нормальних напруг, МПа   | $\sigma_a$      | $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$       | 6,75   | 11,86  |
| Середня напруга циклу нормальних напруг, МПа   | $\sigma_m$      | $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$       | 0      | 3,38   |

Продовження таблиці 3.3

|   |                      |  |            |            |
|---|----------------------|--|------------|------------|
| Максимальна напруга циклу кручення, МПа   | $\tau_{\max}$        | $\tau_{\max} = \frac{M_{кр}}{W_k}$   | 4,9        | 5,23       |
| Амплітуда циклу кручення, МПа   | $\tau_a$             | $\tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2}$   | 2,45       | 2,615      |
| Середня напруга циклу кручення, МПа   | $\tau_m$             | $\tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2}$   | 2,45       | 2,615      |
| Максимально можлива нормальна напруга, МПа  | $\sigma_{\max \max}$ | $\sigma_{\max \max} = \frac{M_{\max \max}}{W_{32}} + \frac{k_g A}{100F}$       | 10,12      | 17,3       |
| Максимально можлива дотична напруга, МПа  | $\tau_{\max \max}$   | $\tau_{\max \max} = k_g \tau_{\max}$   | 7,35       | 7,85       |
| Коефіцієнт запасу міцності по границі текучості по нормальних і дотичних напругах     | $n_{T\sigma}$        | $n_{T\sigma} = \sigma_T / \sigma_{\max \max}$                                  | 64,2       | 37,6       |
|   | $n_{T\tau}$          | $n_{T\tau} = \tau_T / \tau_{\max \max}$  | 53,1       | 49,7       |
| Коефіцієнт запасу міцності вала по границі текучості                                  | $n_T$                | $n_T = \frac{n_{T\sigma} \cdot n_{T\tau}}{\sqrt{n_{T\sigma}^2 + n_{T\tau}^2}}$ | 40,9       | 30,0       |
| Оцінка результату   | -                    | Повинна дотримуватись умова<br>$n_T \geq [n_T]$                                | 40,9 > 1,8 | 30,0 > 1,8 |
| Коефіцієнти запасу міцності по границі витривалості по нормальних і дотичних напругах | $n_\sigma$           | $n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \tau_a + \psi_\sigma \tau_m}$      | 20,8       | 35,4       |



Продовження таблиці 3.3

|  |          |   |            |            |
|--|----------|---|------------|------------|
|  | $n_\tau$ | $n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{(k_\tau)_D \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$ | 42,9       | 80,3       |
| Коефіцієнти запасу міцності вала по границі витривалості | $n$      | $n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$  | 18,7       | 32,4       |
| Оцінка результату  |          | Повинна дотримуватись умова<br>$n \geq [n]$                       | 18,7 > 1,8 | 32,4 > 1,8 |

\* Коефіцієнт якості поверхні приймаємо рівним 1, так як січення I-I знаходиться скраю посадженої на вал деталі.

\*\* В дужках вказано значення коефіцієнта, створюване посадженою на вал деталлю

Розрахунок міцності шпонки на зминання виконуємо по формулі

$$\sigma_{зм} = \frac{2M_{кр}}{z \cdot l_p \cdot d_\epsilon \cdot t_{ш}} < [\sigma_{зм}], \quad (3.49)$$

де  $M_{кр}$  - крутний момент, який передається шпоночним з'єднанням, Н·м;

$$M_{кр} = T_{2н} = 267,4 \text{ Н·м (див. табл. 2.1);}$$

$z$  - число шпонок в шпоночному з'єднанні,  $z = 1$ ;

$l_p$  - робоча довжина шпонки, м;

$d_\epsilon$  - діаметр вала в розглядуваному січенні,  $d_{\epsilon_1} = 0,042$  м;

$t_{ш}$  - глибина врізної шпонки в вал, м;

$[\sigma_{зм}]$  - допустима напруга зминання, МПа .

Якщо втулка нерухома відносно вала, то  $[\sigma_{зм}] \approx (0,3..0,5)\sigma_T$  згідно [13]

$$[\sigma_{зм}] \approx (0,3..0,5) \cdot 350 = 0,4 \cdot 350 = 140 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 267,4}{1 \cdot 0,038 \cdot 0,042 \cdot 0,0032} = 104,715 \text{ МПа} .$$

Умова міцності виконується

$$104,715 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа} .$$

### **Перевірка несучої здатності шпонок вихідного вала**

Робоча довжина шпонки згідно формули (3.47) дорівнює

$$l_{p2} = 45 - 12 = 33 \text{ мм} ;$$

$$l_{p3} = 36 - 5 = 31 \text{ мм} .$$

Глибина врзання шпонки в вал визначається згідно формули (3.48)

$$t_{u1} = 0,4 \cdot 8 = 3,2 \text{ мм} ;$$

$$t_{u2} = 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ мм} .$$

Розрахунок міцності шпонок на зминання проводимо по формулі

$$\sigma_{зм2} = \frac{2 \cdot 71,74}{1 \cdot 0,033 \cdot 0,042 \cdot 0,0032} = 32,35 \text{ МПа} ;$$

$$\sigma_{зм3} = \frac{2 \cdot 71,74}{1 \cdot 0,031 \cdot 0,0259 \cdot 0,002} = 89,35 \text{ МПа} .$$

Умова міцності виконується

$$32,35 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа} ;$$

$$89,35 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа} .$$

**СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА**  
**РОЗДІЛ 4**  
**САПР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

**4.1. Методи та системи САПР сільськогосподарської техніки**

Різні можливості та невидимі кордони застосування обчислювальної техніки для автоматизації проектування визначаються рівнем формалізації науково–технічних знань у галузі сільськогосподарського машинобудування. Що глибша розроблена теорія того чи іншого класу технічних систем, то більші можливості об'єктивно існують для автоматизації процесу їх проектування [14].

Застосування ЕОМ при проектно–конструкторських роботах свого розвитку минуло кілька стадій і зазнало значних змін. З появою обчислювальної техніки було зроблено упор на автоматизацію проектних завдань, мають чітко виражений розрахунковий характер, коли реалізовувалися методики, зорієнтовані ручне проектування. Потім, принаймні накопичення досвіду, почали створювати програми автоматизованих розрахунків на основі методів обчислювальної математики (параметрична оптимізація, метод кінцевих елементів тощо). З впровадженням спеціалізованих термінальних пристроїв з'являються універсальні програми для ЕОМ для рішення як розрахункових, і деяких рутинних проектних завдань (виготовлення креслень, специфікацій, текстових документів і т. п.). У останні роки приділяють значну увагу автоматизації розрахунково–конструкторських робіт при проектуванні типових вузлів і агрегатів, коли синтез конструкції проводиться евристично, а основні параметри вибираються і оптимізуються в інтерактивному режимі діалогу проектувальника і ЕОМ.

Проте на всіх таких стадіях автоматизації проектування інженеру крім вивчення інструкцій по експлуатації і написання програм доводиться пізнавати ряд питань. З іншого боку, під час використання в проектуванні спеціалізованих з об'єктів розрізнених пакетів прикладних програм (ППП) інженер змушений щоразу знову кодувати і вводити інформацію згідно з інструкцією ППП.

Відзначені недоліки призводять до того, що часткова автоматизація не справила суттєвого впливу на підвищення якості і продуктивності проектування технічних систем і засобів в цілому.

Рішення проблем автоматизації проектування з допомогою ЕОМ ґрунтується на системному підході, тобто утворенні і запровадженні САПР – систем автоматизованого проектування технічних об'єктів, які вирішують суть завдань від аналізу завдання до розробки повного обсягу конструкторської і технологічної документації. Це досягається з допомогою об'єднання сучасних засобів і математичного забезпечення, параметри і характеристики яких вибираються з максимальним урахуванням особливостей завдань проектно-конструкторського процесу. САПР представляє собою великі організаційно-технічні системи, які з комплексу коштів автоматизації проектування, взаємозалежного з підрозділами конкретної проектно-організації.

Під автоматизацією проектування розуміють систематичне застосування ЕОМ у процесі проектування при науково обґрунтованому розподілі функцій між проектувальником і ЕОМ і науково обґрунтованому виборі методів машинного рішення задач [15].

Мета автоматизації – підвищити якість проектування, знизити матеріальні на нього, скоротити терміни проектування й ліквідувати зростання кількості інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням і конструюванням.

Науково обґрунтований розподіл функцій між людиною і ЕОМ передбачає, що людина має виконувати завдання, що носять творчий характер, а ЕОМ — завдання, вирішення яких піддається алгоритмізації.

Істотною відмінністю автоматизованого проектування від неавтоматизованого є можливість заміни дорогого фізичного моделювання — математичним моделюванням. У цьому слід пам'ятати одну найважливішу обставину: під час проектування число варіантів безмежне. Тому не можна порушувати завдання створення універсальної САПР, а потрібно вирішувати питання проектування конкретного сімейства сільськогосподарських машин.

До сформування САПР необхідно [16]:

удосконалювати проектування з урахуванням застосування математичних методів і обчислювальної техніки;

автоматизувати процеси пошуку, обробітку ґрунту і видачі інформації;

використовувати методи оптимального і варіантного проектування; застосовувати ефективні математичні моделі проєктованих об'єктів, комплектуючих виробів і матеріалів;

створювати банки даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідних для автоматизованого проектування об'єктів;

підвищувати якість оформлення проєктної документації;

підвищувати творчу частку праці проєктувальників з допомогою автоматизації нетворчих робіт;

уніфікувати і стандартизувати методи проектування;

підготовляти й вести перепідготовку спеціалістів;

Комплекс заходів автоматизації проектування включає методичне, лінгвістичне, математичне, програмне, технічне, інформаційне і організаційне забезпечення.

## 4.2. Розробка моделі об'єкту проектування

Розрахунок підшипників вихідного вала виконуємо з допомогою ПП MathCAD [17].

При роботі насосного агрегату на вихідний вал діють наступні навантаження [1]:

– колове  $P_1$ , радіальне  $P_{r1}$ , і осьове зусилля  $P_{a1}$  від циліндричного косозубого зачеплення;

– сила інерції робочого колеса насоса  $P_{in}$ , діюча постійно і тільки в вертикальній площині;

– поперечна сила  $R_n$ , діюча на поверхню колеса;

– згинний момент  $M_{зир}$ , створюваний гіроскопічним ефектом і навантажуючий вал тільки в горизонтальній площині;

– сила тяги  $F_T$ , діюча на робоче колесо насоса.

Сила інерції робочого колеса насоса  $P_{ін}$ , Н.

Дано:

$m_k$  – маса робочого колеса насоса, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$k_{дин}$  – коефіцієнт динамічного навантаження.

$$m_k := 2.8 \cdot \text{kg} \quad g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$k_{дин} := 5$$

Тоді сила інерції:

$$P_i := m_k \cdot k_{дин} \cdot g$$

$$P_i = 137.293 \text{ N}$$

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса  $R_{yn}$ , Н.

$S$  – ширина каналу колеса на виході (ширина вихідної щілини), м;

$D_k$  – діаметр робочого колеса насоса, м;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$Hd$  – динамічний напір колеса, м.

Динамічний напір колеса  $Hd$ , м, визначаємо по формулі:

$$Hd = \frac{g \cdot H_m^2}{2u^2}, \quad (4.1)$$

де  $H_m$  – теоретичний напір колеса, м;

$u$  – колова швидкість на виході з лопатевої системи, м/с

$$H_m = \frac{H}{\eta_2}, \quad (4.2)$$

де  $H$  – напір колеса, м;

$\eta_2$  – гідравлічний к.к.д.;

Дано:

$$H := 60 \cdot \text{m}$$

$$\eta_2 := 0.85$$

$$H_m := \frac{H}{\eta_2}$$

$$H_m = 70.588 \text{ m}$$

Колова швидкість  $u$ , м/с на виході з лопатевої системи дорівнює

$$u = \frac{\pi n_1}{30} \cdot R_k, \quad (4.3)$$

де  $n_1$  – число обертів вихідного вала, об/хв;

$R_k$  – радіус робочого колеса, м

Дано:

$$n_1 := 3727 \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

$$R_k := 0.089 \cdot \text{m}$$

$$u := \frac{\pi \cdot n_1 \cdot R_k}{30}$$

$$u = 34.736 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Підставляючи числові значення

$$H_d := \frac{g \cdot H_m^2}{2u^2}$$

$$H_d = 20.249 \text{ m}$$

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса  $R_{yh}$ , Н, визначається по формулі:

$$R_{yh} = S \cdot D_k \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{Hd}{2}. \quad (4.4)$$

Дано:

$$\rho := 1400 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$S := 0.009 \cdot \text{m}$$

$$D_k := 0.178 \cdot \text{m}$$

$$R_{yh} := S \cdot D_k \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{Hd}{2}$$

$$R_{yh} = 222.68 \text{ N}$$

Поперечна сила, діюча на внутрішню поверхню лопатевого колеса  $R_{вн}$ , Н, рівна

$$R_{вн} = -S \cdot D_k \cdot \rho \cdot \frac{v_k^2}{2}, \quad (4.5)$$

де  $S$  – ширина вихідної щілини, м;

$D_k$  – діаметр робочого колеса насоса, м;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$v_k$  – швидкість, яка вираховується по формулі:

$$v_k = \frac{Q}{\pi \cdot D_k \cdot S}, \quad (4.6)$$

Тоді

$Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$D_k$  – діаметр колеса насоса, м;

$S$  – ширина вихідної щілини, м

Дано:



$$Q := 0.0167 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_k := \frac{Q}{\pi \cdot D_k \cdot S}$$

$$V_k = 3.318 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого колеса,  $R_n$ , Н, визначається по формулі

$$R_n = R_{yh} + R_{bn}$$

Тоді

$$R_h := R_{yh} + R_{bn}$$

$$R_{bn} := -S \cdot D_k \cdot \rho \cdot \frac{V_k^2}{2}$$

$$R_{bn} = -12.347 \text{ N}$$

$$R_h = 210.332 \text{ N}$$

Отже, поперечна сила, що діє на зовнішню поверхню лопатевого колеса буде рівною 210,3 Н.

#### 4.3. Аналіз даних за результатами проектування

Дослідження впливу продуктивності насоса на поперечну силу, що діє на лопатеве колесо [17].

Дано:

$$Q := 0.01 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, 0.011 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \dots 0.02 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_k(Q) := \frac{Q}{\pi \cdot D_k \cdot S}$$

$$V_k(Q) =$$

|       |             |
|-------|-------------|
| 1.987 | m<br>—<br>s |
| 2.186 |             |
| 2.384 |             |
| 2.583 |             |
| 2.782 |             |
| 2.98  |             |
| 3.179 |             |
| 3.378 |             |
| 3.577 |             |
| 3.775 |             |
| 3.974 |             |

Тоді

$$R_{bn}(Q) := -S \cdot D_k \cdot \rho \cdot \frac{V_k(Q)^2}{2}$$

$$R_{bn}(Q) =$$

|         |   |
|---------|---|
| -4.427  | N |
| -5.357  |   |
| -6.375  |   |
| -7.482  |   |
| -8.677  |   |
| -9.961  |   |
| -11.334 |   |
| -12.795 |   |
| -14.344 |   |
| -15.982 |   |
| -17.709 |   |

Поперечна сила, діюча на зовнішню поверхню лопатевого

$$R_h(Q) := R_{yh} + R_{bn}(Q)$$

Rh(Q) =

|         |   |
|---------|---|
| 218.252 | N |
| 217.323 |   |
| 216.304 |   |
| 215.198 |   |
| 214.002 |   |
| 212.718 |   |
| 211.346 |   |
| 209.885 |   |
| 208.335 |   |
| 206.697 |   |
| 204.971 |   |

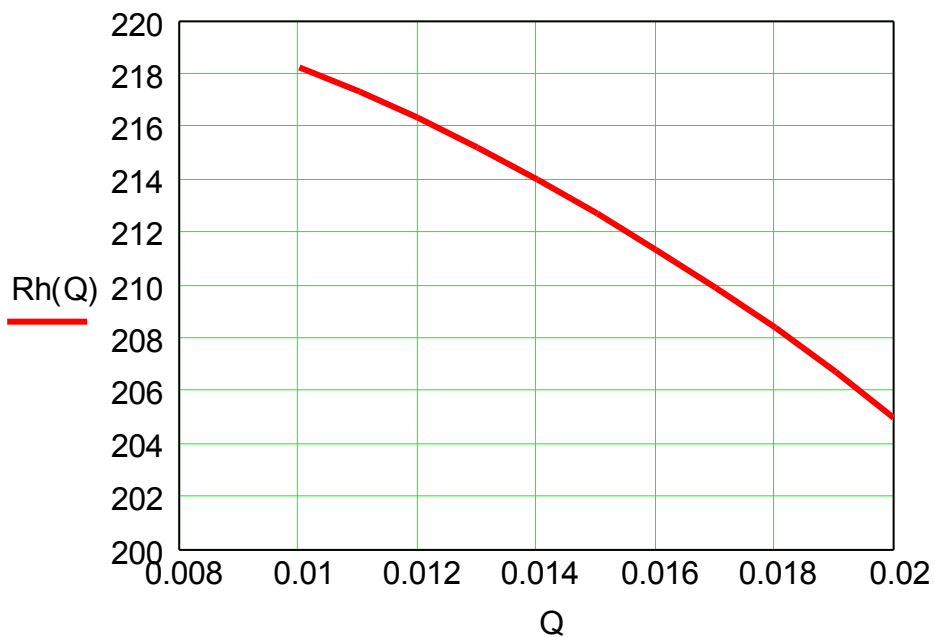


Рисунок 4.1 – Графік залежності поперечної сили від продуктивності насоса

Звідси видно, що для забезпечення поставлених параметрів продуктивності агрегату зростання продуктивності насоса служить розвантаженням поперечної сили. Це буде спостерігатися до значення продуктивності  $0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ , далі почнеться ріст з від'ємним знаком.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

#### 5.1. Аналіз конструктивних особливостей і технологічність деталі

##### Опис призначення та конструкції деталі. Аналіз технічних умов

Обойма ПРТ-52.107 входить в склад машини ПРТ-3,2, в якості опорної деталі.

Обойма являє собою диск з отвором для стійки, на одному з торців деталі зроблені різеві отвори для кріплення. Деталь працює під навантаженням в нерухомому з'єднанні при температурних режимах.

При співвідношенні  $L/D = 92 / 276 = 0,33 < 0,5$  це диск, що відноситься до деталей класу – тіло обертання типу кілець, дисків, блоків, шківів, втулок, стаканів тощо.

Характеристика обойми.

Обойма виготовляється із сталі 45 ГОСТ 1050-74, що застосовується для деталей підвищеної міцності, що працюють при невеликих швидкостях і середніх питомих навантаженнях.

Деталь має поверхню  $\varnothing 178$ , в якій встановлена стійка, на проточках якої встановлені і приварені денця ємності бака, а одна з торцевих площин прилягає до фланця стійки і через болтове з'єднання закріплена до корпусу вихідного вала редуктора.

Точність поверхонь обойми:

$\varnothing 178$  H7 – 7 клас точності, різь M16-6g (6 отворів) – по 6 класу точності, проточки  $\varnothing 200$  h12 та  $\varnothing 246$  h12 – по 12 класу точності, решта поверхонь виконані з точністю по 14 класу точності.

Шорсткість поверхонь обойми:

$\varnothing 178$  H7 –  $R_a$  3,2 мкм,  $\varnothing 246$  та  $\varnothing 200$  –  $R_a$  12,5 мкм, , різь M16-6g (6

отворів) –  $R_a$  3,2 мкм, решта поверхонь -  $R_a$  25 мкм.

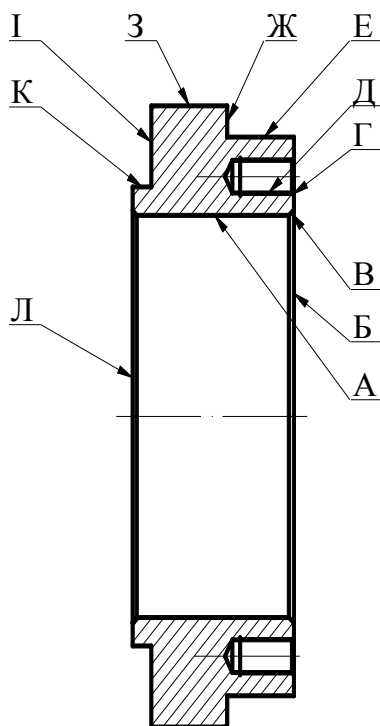


Рисунок 5.1 – Ескіз обойми з позначенням поверхонь, що обробляються

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу обойми.

Сталь 45 ГОСТ 1050-74 – вуглецева конструкційна сталь з нормальним вмістом марганцю.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад сталі 45 ГОСТ 1050-74 (%)

| C             | Si            | Mn      | Cr        | S    | P     | Cu   | Ni   |
|---------------|---------------|---------|-----------|------|-------|------|------|
|               |               |         | не більше |      |       |      |      |
| 0,72-<br>0,50 | 0,17-<br>0,37 | 0,5-0,8 | 0,25      | 0,04 | 0,035 | 0,25 | 0,25 |

Таблиця 5.2 – Механічні властивості сталі 45

| $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup> | $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> | $\delta_s$ , % | $\psi$ , % | $a_n$ , Дж/см <sup>2</sup> | НВ               |                |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------|------------|----------------------------|------------------|----------------|
| не менше                       |                                |                |            |                            | Гаряче<br>катана | Відпа-<br>лена |
| 350                            | 600                            | 16             | 40         | 55                         | ≤ 240            | ≤ 197          |

Технологічні властивості сталі 45 :

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 700.

Важко зварювальна сталь. Спосіб зварювання: РДЗ, КТЗ.

Необхідний підігрів і наступна термообробка.

Оброблюваність різанням:

$K_v$  (твердий сплав)=1,0,  $K_v$  (швидкоріжуча сталь)=1,0.

Сталь має добрі штампувальні і ливарні властивості.

### Технологічний контроль креслення деталі

Конфігурація контуру не викликає утруднень при проведенні механічної обробки деталі. При співвідношенні  $L/D = 92 / 276 = 0,33 < 0,5$  – деталь “диск” – тіло обертання.

Обойма має відносно великий отвір у співвідношенні до діаметра фланця, тому при певних умовах, велика кількість матеріалу піде в стружку при механічній обробці деталі.

Розміри і контур обойми дозволяють виготовляти деталь на універсальному обладнанні з застосуванням прогресивних інструментів і продуктивних режимів різання.

З огляду на конструкцію деталі очевидно, що робочими поверхнями є: А, Б, Д, Ж, І; решта поверхонь – перехідні (другорядні), що утворюють контур деталі.

Таблиця 5.3 – Аналіз поверхонь, що обробляються по точності і шорсткості

| Позначення поверхонь | Назва поверхонь і їх характеристика                              | Кількість поверхонь | Квалітет точності | Параметр шорсткості $R_a$ , мкм | Квалітет шорсткості, клас чистоти | Заходи по реалізації техвимог                 |
|----------------------|--|---------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| А                    | Отвір $\varnothing 178$ Н7 – внутрішня циліндрична поверхня      | 1                   | Н7                | 3,2                             | 5                                 | Свердління, точіння, розточування, шліфування |
| Б,Л                  | Торець деталі – зовнішня кругова плоска поверхня, розмір $92h14$ | 2                   | h14               | 25                              | 3                                 | Фрезерування, точіння                         |
| В                    | Фаска $2 \times 45^\circ$ - внутрішня конічна поверхня           | 2                   | IT14/2            | 25                              | 3                                 | Точіння                                       |
| Г                    | Фаска $1,6 \times 45^\circ$ - внутрішня конічна поверхня         | 6                   | IT14/2            | 25                              | 3                                 | Зенкування                                    |
| Д                    | Різь М16х1-6g – метрична внутрішня різь                          | 6                   | 6g                | 3,2                             | 5                                 | Свердління, різенарізання мітчиком            |

Кінець таблиці 5.3

|   |  |   |        |      |   |         |
|---|--|---|--------|------|---|---------|
| Е | ∅ 246 h12 –<br>зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | 1 | H12    | 12,5 | 4 | Точіння |
| Ж | Уступ 38 –<br>зовнішня кругова<br>плоска поверхня  | 1 | IT14/2 | 25   | 3 | Точіння |
| З | ∅ 278 h14 –<br>зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | 1 | h14    | 25   | 3 | Точіння |
| І | Уступ 10 –<br>зовнішня кругова<br>плоска поверхня  | 1 | IT14/2 | 25   | 3 | Точіння |
| К | ∅ 200 h12 –<br>зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | 1 | h12    | 12,5 | 4 | Точіння |

**Аналіз технологічності конструкції деталі обойма ПРТ-52.107**

Кількісні показники технологічності деталі

Визначаємо коефіцієнт точності обробки:

$$K_{mi} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{11} = 0,91 \quad (5.1)$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності:

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 6 + 7 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 3}{22} = 11,3, \text{ приймаємо } T_{cp} = 11.$$

при  $K_{mi} = 0,91$  – деталь відноситься до технологічних.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості:

$$B_{mi} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{1}{4} = 0,25, \quad (5.2)$$



де  $B_{cp}$  – середній клас шорсткості:

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3 \cdot 13 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 7}{22} = 3,7, \text{ приймаємо } B_{cp} = 4.$$

при  $K_{mn} = 0,25$  – деталь неважкооброблювана і відноситься до технологічних.

## 5.2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

### Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Обойма відноситься до деталей типу дисків і має доволі великий центральний отвір.

Можливими методами отримання заготовки може бути використано:

- а) відливки або штамповки в масовому виробництві;
- б) поковки або сортовий прокат в одиничному виробництві (при проведенні ремонтних робіт на механічній ділянці підприємства).

Варіант 1.

Розрахуємо параметри заготовки обойми – поковки-кільця, яку можна отримати вільним куванням, призначивши необхідні припуски і відхилення.

Маса деталі:

$$m_g = V \cdot \gamma = \left( \frac{\pi \cdot 27,6^2}{4} \cdot 9,2 - \frac{\pi \cdot (27,6^2 - 20^2)}{4} \cdot 1 - \frac{\pi \cdot (27,6^2 - 24,6^2)}{4} \cdot 3,8 - \frac{\pi \cdot 17,8^2}{4} \cdot 9,2 \right) \times 7,85 = 19,35(\text{кг})$$

Маса поковки:

$$m_{пок} = V \cdot \gamma = \left( \frac{\pi \cdot 29,3^2}{4} - \frac{\pi \cdot 15,7^2}{4} \cdot 10,5 \right) \cdot 7,85 = 39,6(\text{кг}).$$

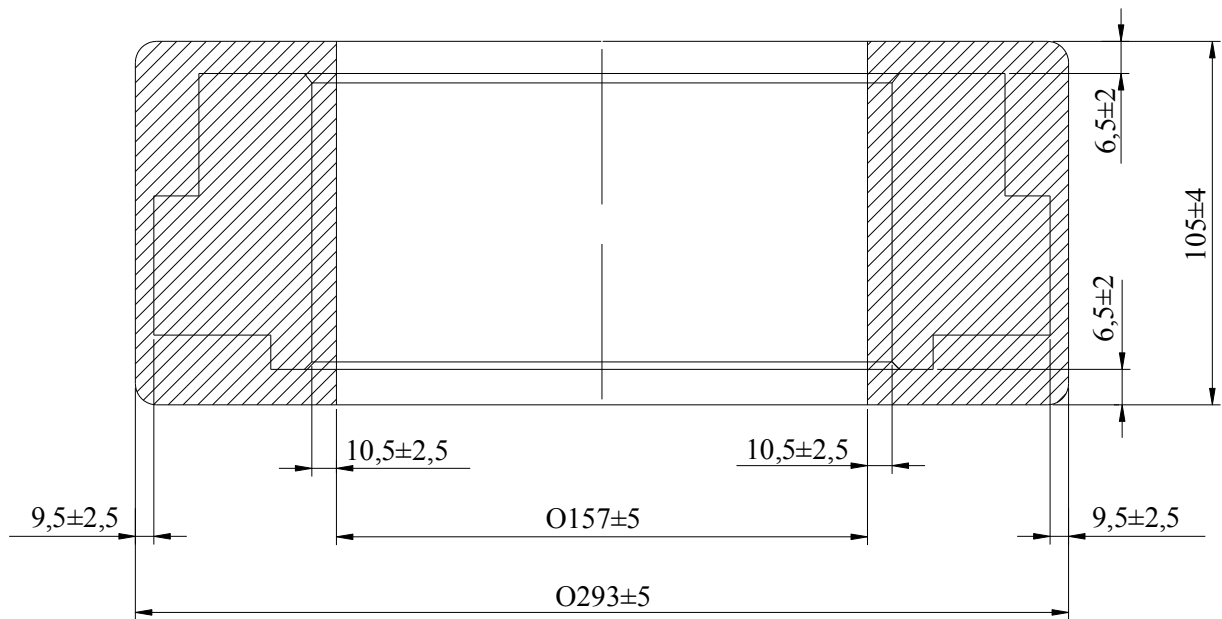


Рисунок 5.2 – Ескіз заготовки-поковки

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{вмпок}} = \frac{m_g}{m_{\text{пок}}} = \frac{19,35}{39,6} = 0,46$$

$$K_{\text{вмпок}} = 0,46 > K_{\text{вмпок}}^{\text{норм}} = 0,38 \dots 0,40$$

Варіант 2.

Використовуємо сортовий прокат круглої гарячекатаної сталі 45 ГОСТ 1050-74 діаметром 280 мм звичайної точності прокатки ( $280_{-3,0}^{+1,2}$  мм).

$$K_{\text{круг}} = \frac{280 - B}{45} \frac{\text{ГОСТ} 2590 - 71}{\text{ГОСТ} 1050 - 74}$$

Маса заготовки:

$$m_{\text{пр}} = V \cdot \gamma = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \gamma = \frac{3,14 \cdot 28^2}{4} \cdot 9,8 \cdot 7,85 = 47,35 (\text{кг})$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{вмпр}} = \frac{m_d}{m_{\text{пр}}} = \frac{19,35}{47,35} = 0,41$$

$$K_{\text{внр}} = 0,41 < K_{\text{внр}}^{\text{норм}} = 0,45 \dots 0,50$$

Порівняємо вартість заготовок по методу виготовлення.

Деталь, яка виготовляється методом вільного кування на молотках:

$$Ц_1 = (S_1 \cdot m_{\text{пок}} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi}) - (m_{\text{пок}} - m_g) \cdot S_{\text{відх}}, \quad (5.3)$$

де  $S_1$  – базова вартість 1 кг заготовки-поковки,

$S_1 = 3,52$  грн (прайс-лист);

$K_T$  – коефіцієнт, що залежить від класу точності, для 2 класу точності  $K_T = 1,0$ ;

$K_C$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності, для 2 групи складності  $K_C = 0,83$ ;

$K_B$  – Коефіцієнт, що залежить від матеріалу і маси штампування,  $K_B = 1,2$  – для маси поковки до 40 кг;

$K_M$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу поковки,  $K_M = 1,0$  – для сталі 45;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, який залежить від серійності випуску деталей,  $K_{\Pi} = 1,0$  для одиничного виробництва.

$S_{\text{відх}}$  – вартість 1 кг стружки.

$$Ц_1 = (3,52 \cdot 39,6 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1) - (39,6 - 19,35) \cdot 0,3 = 132,73(\text{грн}).$$

Деталь, що виготовлена з сортового прокату:

$$Ц_2 = S_2 \cdot m_{\text{пр}} - (m_{\text{пр}} - m_g) \cdot S_{\text{відх}} \quad (5.4)$$

де  $S_2$  – базова вартість 1 кг сортового прокату,  $S_2 = 2,84$  грн (  $\varnothing 300$  – прайс-лист).

$$Ц_2 = 47,35 \cdot 2,84 - (47,35 - 19,35) \cdot 0,3 = 126,97(\text{грн})$$

Таблиця 5.4 – Порівняльна таблиця вибору заготовки

| Параметр                                      | I варіант   | II варіант                        |
|---|-------------|-----------------------------------|
| Вид заготовки                                 | Поковка     | Сортовий прокат $\varnothing 280$ |
| Коефіцієнт використання матеріалу             | 0,46        | 0,41                              |
| Нормативний коефіцієнт використання матеріалу | 0,38...0,40 | 0,45...0,50                       |
| Вартість заготовки, грн.                      | 132,73      | 126,97                            |

Враховуючи вартість заготовки, можливу відсутність поковки і одночасну необхідність оперативного виконання ремонтних робіт в якості заготовки приймаємо сортовий прокат.

### Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів

Визначимо міжопераційні розміри, припуски і допуски при механічній обробці зовнішнього діаметра  $\varnothing 272h14_{(-1,30)}$ .

Заготовка – сортовий прокат  $\varnothing 280_{-3,0}^{+1,2}$  мм. Технологічний маршрут обробки складається з чорнового і чистового точіння. Обробка виконується в трьохкулачковому самоцентруючому патроні.

Мінімальний припуск при обробці зовнішніх поверхонь (двосторонній припуск) визначається по формулі :

$$2Z_{\min} = 2 \left[ (R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (5.5)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  - висота мікронерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  - глибина дефектного шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  - сумарні відхилення розташування поверхонь на попередньому переході;

$\varepsilon_i$  - погрішність установки заготовки на переході, що виконується.

Для заготовки – сортовий прокат:

$$R_{z_{заг}} = 320 \text{ мкм} .$$

$$h_{заг} = 400 \text{ мкм} .$$

Величину просторових відхилень (овальність, кривизна профілю) приймаємо:

$$\Delta_{\Sigma заг} = \frac{\delta_{заг}}{4} = \frac{(1,2 + 3,0)}{4} = 1,05 (\text{мм}) = 1050 (\text{мкм}) \quad (5.6)$$

$$\varepsilon_{заг} = 0 .$$

Для чорнового точіння:

$$R_{z1} = 125 \text{ мкм}$$

$$h_1 = 120 \text{ мкм}$$

$$\Delta_1 = \frac{\Delta \sum_{zag}}{2} = \frac{1050}{2} = 525 (\text{мкм})$$

$\varepsilon_1 = 350 \text{ мкм}$  - установка в трьохкулачковому патроні .

Для чистового точіння:

$$R_{z2} = 63 \text{ мкм} (R_a 12.5 \text{ мкм})$$

$$h_2 = 60 \text{ мкм}$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_1}{2} = \frac{525}{2} = 260 (\text{мкм})$$

$$\varepsilon_2 = 100 \text{ мкм}$$

Мінімальний припуск:

$$\begin{aligned} 2Z_{\min 1} &= 2 \left[ (R_{z\text{zag}} + h_{\text{zag}}) + \sqrt{\Delta_{\text{zag}}^2 + \varepsilon_1^2} \right] = 2 \left[ (320 + 400) + \sqrt{1050^2 + 350^2} \right] = \\ &= 2 \cdot 1825 = 3,65 (\text{мм}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2Z_{\min 2} &= 2 \left[ (R_1 + h_1) + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} \right] = 2 \left[ (125 + 120) + \sqrt{525^2 + 100^2} \right] = \\ &= 2 \cdot 780 = 1,56 (\text{мм}) \end{aligned}$$

Розрахунковий розмір  $d_p$ :

$$d_{p1} = d_{\min 2} + 2Z_{\min 2} = 270,70 + 1,56 = 272,26 (\text{мм}),$$

де  $d_{\min 2} = 272h14 = 272 - 1,3 = 270,7$  .

$$d_{p\text{zag}} = d_{p1} + 2Z_{\min 1} = 272,26 + 3,65 = 275,91 (\text{мм}).$$

Найбільші граничні розміри:

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + \delta_2 = 270,70 + 1,3 = 272,0 (\text{мм}),$$

де  $\delta_2 = 1,30$  (з креслення).

$$d_{\max 1} = d_{p1} + \delta_1 = 272,26 + 1,5 = 273,76 (\text{мм}),$$

де  $\delta_1 = 1,50$  (приймаємо).

$$d_{\max \text{zag}} = d_{p\text{zag}} + \delta_{\text{zag}} = 275,91 + 4,2 = 280,11 (\text{мм}),$$

де  $\delta_{\text{zag}} = (1,2 + 3,0) = 4,2 (\text{мм})$  (для прокату).

Граничні значення припусків  $Z^{np}$ :

$$2Z_{\max 2}^{np} = d_{\max 1} - d_{\max 2} = 273,76 - 272,0 = 1,76(\text{мм}).$$

$$2Z_{\max 1}^{np} = d_{\max \text{заг}} - d_{\max 1} = 280,11 - 272,76 = 7,36(\text{мм}).$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = d_{\min 1} - d_{\min 2} = d_{p1} - d_{p2} = 272,26 - 270,7 = 1,56(\text{мм}).$$

$$2Z_{\min 1}^{np} = d_{\min \text{заг}} - d_{\min 1} = 275,91 - 272,26 = 3,65(\text{мм}).$$

Перевірка:

$$2Z_{\max 1}^{np} - 2Z_{\min 1}^{np} = 7,36 - 3,65 = 3,70$$

$$\delta_{\text{заг}} - \delta_1 = 4,2 - 0,5 = 3,70$$

$$3,70 = 3,70$$

$$2Z_{\max 2}^{np} - 2Z_{\min 2}^{np} = 1,76 - 1,56 = 0,2$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 1,5 - 1,3 = 0,2$$

$$0,2 = 0,2$$

Отже, припуски призначені вірно.

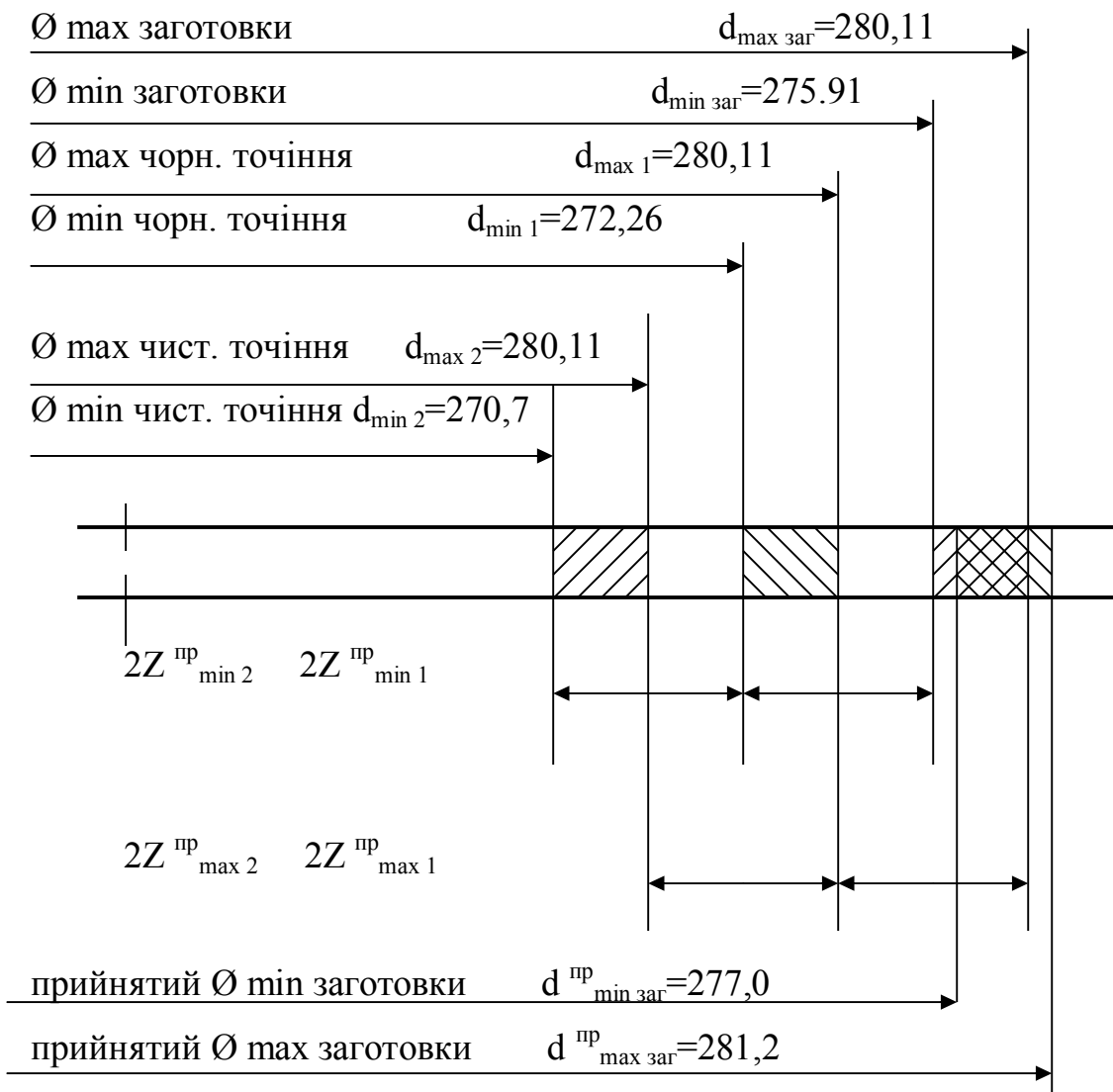


Рисунок 5.3 – Графічна схема міжопераційних припусків

Таблиця 5.5 – Зведена таблиця припусків і допусків поверхні  $\varnothing 272h14_{(-1,30)}$ .

| Технологічні переходи обробки валу $\varnothing 272h14_{(-1,30)}$ | Елементи припуску |     |          |               | Розрахунковий припуск $2Z_{min}$ МКМ | Розрахунковий діаметр $d_p$ ММ | До-Пуск $\delta$ , ММ | Граничні розміри, ММ |           | Граничні значення припусків, МКМ |            |
|---|-------------------|-----|----------|---------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|------------|
|   | $R_z$             | $h$ | $\Delta$ | $\varepsilon$ |                                      |                                |                       | $d_{min}$            | $d_{max}$ | $2Z_{min}$                       | $2Z_{max}$ |
| Заготовка   | 320               | 400 | 1050     | -             | -                                    | 275,91                         | 4,2                   | 275,91               | 280,11    | -                                | -          |
| Точіння   | 125               | 120 | 525      | 350           | 2·1835                               | 272,26                         | 1,5                   | 272,26               | 273,76    | 2·1835                           | 3680       |
|   | 63                | 525 | 260      | 100           | 2·780                                | 270,7                          | 1,3                   | 270,7                | 272,0     | 2·780                            | 2·880      |

На решту оброблених поверхонь корпусу припуски і допуски приймаємо

### Розробка технологічного маршруту механічної обробки обойми

Таблиця 5.6 – Вибір варіанту механічної обробки деталі

| Поверхня базування                                  | Поверхня обробки | Метод обробки  |  | Обладнання                 |                              | Різальний інструмент                                 |  |
|---|------------------|--|--|----------------------------|------------------------------|--|--|
|   |                  | I варіант  | II варіант   | I варіант                  | II варіант                   | I варіант  | II варіант   |
| Сортовий прокат Ø280 З <sub>1</sub> ,Л <sub>1</sub> | Б                | Чистове точіння  | Чистове точіння  | Токарно гвинторіз. верстат | Токарно револьверний верстат | Різець токарний прохідний                            | Різець токарний прохідний                            |
|   | Е,Ж              | -//-   | -//-   | -//-                       | -//-                         | -//-   | -//-   |
|   | А <sub>1</sub>   | Центрування, свердління, розсвердлювання, розточування | Центрування, свердління, розсвердлювання, розточування | -//-                       | -//-                         | Свердла центральне, спіральне, різець розточувальний | Свердла центральне, спіральне, різець розточувальний |
|   | В <sup>1</sup>   | точіння  | -//-   | -//-                       | -//-                         | Різець фасочний                                      | Різець фасочний                                      |
| Е,Б   | Л                | Чистове точіння  | Точіння  | -//-                       |                              | Різець прохідний                                     | Різець прохідний                                     |
|   | К,І              | -//-   | Чистове точіння  | -//-                       |                              | -//-   | -//-   |
|   | З                | -//-   | -//-   | -//-                       |                              | -//-   | -//-   |
|   | В <sup>2</sup>   | Точіння  | Точіння  | -//-                       |                              | Різець фасочний                                      | -//-   |



Кінець таблиці 5.6

|     |                |                      |                    |                                 |                              |                   |                  |
|-----|----------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| Л,З | Д <sub>1</sub> | Свердління           |                    | Вертикально-свердильний верстат |                              | Свердло спіральне |                  |
|     | Г              | Зенкування           |                    | -//-                            |                              | Зенкер            |                  |
|     | Д              | Різена-різання       |                    | -//-                            |                              | Мітчик            |                  |
| Е,Б | А              | Внутрішнє шліфування | Точне розточування | Внутрішліфувальний верстат      | Токарно-револьверний верстат | Круг шліфувальний | Різець розточний |

Таблиця 5.7 – Технологічний маршрут механічної обробки обойми

| № операції / установ         | Переходи   | Оброблювані поверхні                | Базові поверхні             |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| 005/А<br>Токарно-револьверна | 1. Підрізати торець деталі<br>2. Точити $\varnothing 246h12_{(-0,046)}$ на довжину $38 \pm 0,31$<br>3. Центрувати отвір А6,3 ГОСТ 14034-74.<br>4. Свердлити отвір $\varnothing 20$ на прохід.<br>5. Розсвердлити отвір $\varnothing 40$ на прохід.<br>6. Розточити отвір $\varnothing 176H12^{(+0,4)}$ на прохід.<br>7. Точити фаску $2 \times 45^\circ$ . | Б<br>Е, Ж<br><br><br><br><br>А<br>В | Зовнішня поверхня заготовки |
| 005/Б                        | 9. Підрізати торець деталі в розмір $92h14_{(-0,87)}$<br>10. Точити $\varnothing 272h14_{(-1,30)}$ на довжину 54 мм.<br>11. Точити уступ $\varnothing 200h12_{(-0,46)}$ на довжину $10 \pm 0,18$ .<br>12. Точити фаску $2 \times 45^\circ$ .   | Л<br><br>З<br><br>К, І<br><br>В     | Попередньо оброблені Е,Б    |

Кінець таблиці 5.7

|  |  |                |                                  |
|--|--|----------------|----------------------------------|
| <p>010<br/>Вертикально-свердлильна</p> | <p>1. Свердлити 6 отворів Ø14,95 на глибину 34 мм одночасно.<br/>2. Зенкувати 6 фасок 1,5x45° одночасно.<br/>3. Нарізати в 6 отворах різь М16х1-6g на глибину 28 мм.</p> | <p>Г<br/>Д</p> | <p>Попередньо оброблені І, 3</p> |
| <p>015<br/>Внутрішньо-шліфувальна</p>  | <p>1. Шліфувати отвір Ø178H7<sup>(+0,018)</sup> на прохід.</p>   | <p>А</p>       | <p>Попередньо оброблені І, 3</p> |

### Розрахунок режимів різання

Аналітичний розрахунок проведемо для операції 005 “Токарно-револьверна”.

Перехід 1. Підрізати торець обойми.

Визначаємо швидкість різання по формулі:

$$V = \frac{C_v \cdot K_V}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \quad (5.7)$$

$$V = \frac{273 \cdot 0,83}{180^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,35^{0,2}} = \frac{273 \cdot 0,83}{2,82 \cdot 1,18 \cdot 0,81} = 84,1 (м / хв)$$

де:  $C_v$  – коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал і умови роботи,  $C_v=273$ ;

$T$  – стійкість різця,  $T=180$  хв (приймаємо);

$t$  – глибина різання,  $t=3,0$  мм (приймаємо);

$S$  – подача інструмента, при  $R_a25$ ,  $S=0,35$  мм/об ;

$m, x_v, y_v$  – показники степені .

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{\phi_v} \cdot K_{uv} \cdot K_{cuv} \cdot K_{ov} = 1 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,83, \quad (5.8)$$

$$K_{mv} = 1 \quad (\text{сталь 45}); \quad K_{cuv} = 1 \quad (\text{прокат});$$

$$K_{\phi_v} = 0,83 \quad (\phi = 90^\circ); \quad K_{ov} = 1 \quad (\text{без охолодження}).$$

$$K_{uv} = 1 \quad (\text{T15K6});$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{обр}} = \frac{1000 \cdot 84,1}{3,14 \cdot 280} = 95,6(\text{об/хв}). \quad (5.9)$$

Приймаємо по паспорту верстата  $n=100$  об/хв. Тоді:

$$V_{факт} = \frac{\pi D n}{1000} = 87,9(\text{м/хв}). \quad (5.10)$$

Розрахуємо силу різання по формулі:

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot V^n \cdot K_{pz} \quad (5.11)$$
$$P_z = 3000 \cdot 3^1 \cdot 0,35^{0,75} \cdot 87,9^{-0,15} \cdot 1 = 3000 \cdot 3 \cdot 0,455 \cdot 0,51 \cdot 1 = 2192(\text{Н})$$

Потужність різання знайдемо по формулі:

$$N_{риз} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}; \quad (5.12)$$
$$N_{риз} = \frac{2192 \cdot 87,9}{1020 \cdot 60} = 3,15(\text{кВт})$$

Перехід 4. Свердлити отвір  $\varnothing 20$  на прохід.

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{zv} \cdot K_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} = \frac{9,2 \cdot 20^{0,4} \cdot 1}{15^{0,2} \cdot 10^0 \cdot 0,4^{0,5}} = \frac{9,2 \cdot 3,32 \cdot 1}{1,72 \cdot 1 \cdot 0,63} = 30,1(\text{м/хв}), \quad (5.13)$$

$C_v=9,2$ ;

$t=10$  мм (приймаємо);

$D=20$  мм;

$S=0,4$  мм/об .

$T=15$  хв .

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{обр}} = \frac{1000 \cdot 30,1}{3,14 \cdot 20} = 479(\text{об/хв}). \quad (5.14)$$

Приймаємо по паспорту верстата  $n=500$  об/хв. Тоді:

$$V_{факт} = \frac{\pi D n}{1000} = 31,4(\text{м/хв}). \quad (5.15)$$

Знайдемо крутний момент при свердлінні по формулі:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^{zm} \cdot t^{xm} \cdot S^{ym} \cdot K_m; \quad (5.16)$$
$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 20^2 \cdot 10^0 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1 = 66,3(\text{Нм})$$

Визначаємо необхідну потужність на різання по формулі:

$$N_{\text{дв}} = \frac{2M_{\text{кр}} \cdot V}{D};$$
$$N_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 66,3 \cdot 0,52}{20} = 3,47(\text{кВт}) \quad (5.17)$$

Решту обчислень заносимо в таблицю режимів обробки.

Таблиця 5.8 – Зведена таблиця режимів механічної обробки обойми

| № операції | Назва операції, обладнання                            | № переходу  | Зміст переходу   | Режими обробки   |  |   |  |   |   |   | T <sub>шт.</sub> , хв |
|------------|---|---|--|--|--|---|--|---|---|---|-----------------------|
|            |   |   |  | Довжина обробки L, мм  | Глибина різання t, мм                  | Число проходів і  | Подача S, мм/об                                  | Хвилина подача S <sub>н</sub> , мм/хв.      | Частота обертання п, об/хв  | Швидкість різання V, м/хв   |                       |
| 1          | 2   | 3   | 4  | 5  | 6                                      | 7   | 8  | 9   | 10  | 11  | 12                    |
| 005        | Токарно-револьверна Токарно-револьверний верстат 1365 | 1.<br>2.<br>3.<br>4.<br>5.<br>6.<br>7.<br>8.<br>9.<br>10.<br>11.<br>12. | Підрізати торець деталі<br>Точити Ø246h12 <sub>(-0,046)</sub> на довжину 38±0,31<br>Центрувати отвір А6,3 ГОСТ 14034-74.<br>Свердлити отвір Ø20 на прохід.<br>Розсвердлити отвір Ø40 на прохід.<br>Розточити отвір Ø176Н12 <sup>(+0,4)</sup> на прохід.<br>Точити фаску 2,5x45°.<br>Переустановити деталь.<br>Підрізати торець деталі в розмір 92h14 <sub>(-0,87)</sub><br>Точити Ø272h14 <sub>(-1,30)</sub> на довжину 54 мм.<br>Точити уступ Ø200h12 <sub>(-0,46)</sub> на довжину 10±0,18.<br>Точити фаску 2,5x45°. | 145<br>43<br>15<br>110<br>120<br>100<br>10<br>55<br>60<br>45<br>10 | 3<br>5<br>3,15<br>10<br>10<br>5<br>2,5 | 1<br>3<br>1<br>1<br>1<br>14<br>1<br>1<br>1<br>2<br>2<br>1 | 0,35<br>0,35<br>0,15<br>0,4<br>0,5<br>0,3<br>0,3 | 35<br>0,35<br>150<br>200<br>125<br>75<br>75 | 100<br>100<br>1000<br>500<br>250<br>250<br>250<br>100<br>100<br>100<br>100<br>250 | 87,9<br>87,9<br>19,7<br>31,4<br>31,4<br>138,2<br>138,2<br>87,9<br>87,9<br>62,8<br>138,2 | 56,46                 |

| 1   | 2   | 3              | 4   | 5             | 6                 | 7           | 8  | 9                 | 10  | 11   | 12    |
|-----|---|----------------|---|---------------|-------------------|-------------|--|-------------------|---|--|-------|
| 010 | Вертикально-свердлильна. Вертикально-свердильний верстат 2А-125 | 1.<br>2.<br>3. | 1. Свердли 6 отворів Ø14,95 на глибину 34 мм почергово.<br>2. Зенкувати 6 фасок 1,5x45° почергово.<br>3. Нарізати в 6 отворах різь М16x1-6g на глибину 28 мм. | 40<br>8<br>35 | 7,5<br>1,5<br>1,0 | 1<br>1<br>8 | 0,35<br>0,50<br>1,0                          | 210<br>300<br>250 | 600<br>600<br>250   | 28<br>28<br>12,6   | 13,65 |
| 015 | Внутрішні-фувальна. Внутрішні-фувальний верстат 3А251           | 1.             | Шліфувати отвір Ø178Н7 <sup>(+0,018)</sup> на прохід.   | 100           | 1,0               |             | S <sub>пол</sub> =<br>0,008<br>мм/дв.<br>хід |                   | n <sub>кр.</sub> =<br>3820<br>об/хв.<br>n <sub>лет.</sub> =<br>46,5<br>об/хв. | V <sub>кр.</sub> =<br>30 м/с<br>V <sub>лет.</sub> =<br>40,9<br>м/хв. | 20,24 |

## Вибір різального і вимірного інструменту

При виборі враховувалася інструментальна номенклатура ремонтного цеху підприємства і максимально застосовувався стандартний інструмент.

| Таблиця 5.9 – Різальний і вимірний інструмент |                     |  |   |  |
|---|---------------------|--|---|--|
| № операції                                    | Назва операції      | № пере ходу                                      | Інструмент  |  |
|   |                     |  | різальний   | Вимірний   |
| 1   | 2                   | 3  | 4   | 5  |
| 005   | Токарно-револьверна | 1,2, 9, 10, 11<br>3.<br>4.<br>5.<br>6.<br>7, 12. | <p>Різець 2103-0071: Т15К10 ГОСТ 18879-73, токарний прохідний з пластиною твердого сплаву, упорний, вигнутий з <math>\varphi=90^\circ</math>, <math>hxb=20x16</math>; <math>L=120</math> мм.</p> <p>Свердло 2317-0009 (А6,3) ГОСТ 14952-73, центровочне комбіноване для отворів <math>60^\circ</math> без запобіжного конуса типу А, виконання 2, діаметром 6,3 мм; <math>L=74</math>; <math>l=9,2</math>.</p> <p>Свердло 2301-0069 (20) ГОСТ 10903-77, спіральне з конічним хвостовиком, <math>\varnothing d=20</math> мм нормальної точності; <math>d=20,0</math>; <math>L=238</math>; <math>l=140</math> мм.</p> <p>Свердло 2301-0137 (40) ГОСТ 10903-77, спіральне з конічним хвостовиком; <math>d=40,0</math>; <math>L=349</math>; <math>l=200</math> мм.</p> <p>Різець 2140-0030: Т15К10 ГОСТ 18882-73, токарний розточний з пластинкою твердого сплаву для обробки наскрізних отворів з <math>\varphi=60^\circ</math>; <math>hxb=25x25</math>; <math>L=240</math>мм; <math>l=140</math> мм; <math>D_{\min}</math> розточенного отвору – 34 мм.</p> <p>Різець 2136-0714 ГОСТ 18875-73, фасочний з швидко ріжучої сталі двосторонній з <math>\varphi=45^\circ</math>; <math>h_{хв}=25x16</math>; <math>L=120</math>мм; <math>l=40</math> мм.</p> | Штанген-циркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80<br>Штанген-циркуль ШЦ-Ш-300-0,02<br>ГОСТ 166-80 |

| 1   | 2                       | 3  | 4   | 5   |
|-----|-------------------------|--|---|---|
| 010 | Вертикально-свердлильна | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.</li> <li>2.</li> <li>3.</li> </ol> | <p>Свердо 2300-0090 (14,95) ГОСТ 886-77, спіральне з циліндричним хвостовиком d=14,95мм; L=220; l=144 мм.</p> <p>Зенковка 2353-0,136 ГОСТ 14953-80, конічна з кутом при вершині 90° (тип10); d<sub>0</sub>=9,0; D=31,5; L=124; l=32 мм.</p> <p>Мітчик 2620-1608(M16x01) ГОСТ3266-81, машинно-ручний для нарізання при метричній різі діаметром d=16, кроком p=1,0мм; L=90; l=32 мм.</p> | Штангенциркуль<br>ШЦ-I-125-0,1<br>ГОСТ 166-80;<br>Фас комір;<br>Пробка-калібр<br>M16x1-6g |
| 015 | Внутрішлфувальна        | 1.   | <p>Круг ПП150x30 24А 40 СТ1 6К 35 м/с кл. А1, ГОСТ 2424-75.</p> <p>Круг шліфувальний DxH=150x30, з електрокорунда білого марки 24 А, зернистістю 40, твердість СТ2, структурою 6 на керамічній зв'язці, з максимальною швидкістю V<sub>кр max</sub> =35 м/с. Клас точності А1.</p>  | Нутромір<br>мікрометричний з межами вимірювання 75-575 мм або контрольна пробка<br>Ø178H7 |



## Вибір обладнання і його технічна характеристика

### Токарно-револьверний верстат 1365

|   |            |
|---|------------|
| 1. Найбільший діаметр прутка, мм                                  | 65         |
| 2. Найбільший діаметр заготовки, мм:                              |            |
| над станиною  | 500        |
| над супортом  | 320        |
| 3. Віддаль від торця шпинделя до площини револьверної головки, мм | 275-1000   |
| 4. Число обертів шпинделя, об/хв                                  | 34-1500    |
| 5. Найбільше повздовжнє переміщення револьверного супорта, мм     | 725        |
| 6. Найбільше переміщення поперечного супорта, мм:                 |            |
| повздовжнє  | 725        |
| поперечне   | 270        |
| 7. Подачі, мм/об:   |            |
| повздовжнього супорта   | 0,09-270   |
| поперечного супорта   | 0,045-1,35 |
| 8. Потужність електродвигуна, кВт                                 | 14,0       |

### Вертикально-свердлильний верстат 2А-125

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 1. Найбільший діаметр свердління, мм | 25      |
| 2. Найбільше переміщення, мм :       |         |
| шпинделя,                            | 175     |
| шпинд. бабки                         | 200     |
| 3. Число обертів шпинделя, об/хв     | 97-1360 |
| 4. Подачі на 1 оберт шпинделя, мм    | 0,1-81  |
| 5. Потужність електродвигуна, кВт    | 2,8     |

## Внутрішліфувальний верстат 3A251

|  |            |
|--|------------|
| 1. Найбільший розмір оброблюваної деталі, мм             | 420/490    |
| 2. Найменший і найбільший діаметр шліфованого отвору, мм | 500-200    |
| 3. Найбільша довжина шліфованого отвору, мм              | 200        |
| 4. Найбільше переміщення шліф. бабки, мм                 | 500        |
| 5. Швидкість переміщення стола, м/хв.                    | 0,3-100    |
| 6. Число обертів шпинделя, об/хв:                        |            |
| шліфувального круга                                      | 3700-10000 |
| передньої бабки  | 130-500    |
| 7. Найменша і найбільша поперечна подача, мм             | 0,001-0,07 |
| 8. Найменший та найбільший діаметр шліф круга, мм        | 40-150     |
| 9. Найбільша ширина шліфкруга, мм                        | 50         |
| 10. Потужність електродвигуна, кВт                       | 4,5        |

### **Технічне нормування техпроцесу**

Норми часу визначаємо аналітично для операції 005 “Токарно-револьверна”, а решту обираємо по нормативах.

Норма штучного часу визначається по формулі:

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{обс} + T_{відп}, \quad (5.18)$$

де  $T_0$  – основний (технологічний) час;

$T_d$  – допоміжний час;

$$T_d = T_{уст} + T_{кер} + T_{вим} \quad (5.19)$$

$T_{обс}$ ,  $T_{відп}$  – час на обслуговування верстата, відпочинок та фізичні потреби.

$$T_{обс} = T_{відп} = 4,5\% T_{оп}.$$

Операційний час  $T_{оп}$  визначається по формулі:

$$T_{оп} = T_o + T_d. \quad (5.20)$$

Розрахуємо основний час для всіх переходів операції 005 Токарно-револьверної.

1. Підрізати торець деталі.

$$T_o = \frac{L_p \cdot x \cdot i}{S_m} = \frac{145 \cdot 1}{35} = 4,14(\text{хв}).$$

2. Точити  $\varnothing 246$  на довжину 38.

$$T_o = \frac{43 \cdot 3}{35} = 3,68(\text{хв}).$$

3. Центрувати отвір А6,3.

$$T_o = \frac{15 \cdot 1}{150} = 0,1(\text{хв}).$$

4. Свердлити отвір  $\varnothing 20$  на прохід.

$$T_o = \frac{110 \cdot 1}{200} = 0,55(\text{хв}).$$

5. Розсвердлити отвір  $\varnothing 40$  на прохід.

$$T_o = \frac{120 \cdot 1}{125} = 0,96(\text{хв}).$$

6. Розточити отвір  $\varnothing 176$ .

$$T_o = \frac{L_{px} \cdot i}{S_m} = \frac{100 \cdot 14}{75} = 18,7(\text{хв}).$$

7. Точити фаску  $2,5 \times 45^\circ$ .

$$T_o = \frac{10}{75} = 0,13(\text{хв}).$$

9. Підрізати торець деталі.

$$T_o = \frac{55}{35} = 1,57(\text{хв}).$$

10. Точити  $\varnothing 272$  на довжину 54 мм.

$$T_o = \frac{60 \cdot 2}{35} = 3,43(\text{хв}).$$

11. Точити уступ  $\varnothing 200$  на довжину 10 мм.

$$T_o = \frac{45 \cdot 2}{35} = 2,57(\text{хв}).$$

12. Точити фаску  $2,5 \times 45^\circ$ .

$$T_o = \frac{10}{75} = 0,13(\text{x}\theta).$$

$$\sum T_o = 35,95(\text{x}\theta).$$

Отже:

$$T_\delta = T_{yct} + T_{ker} + T_{eum} = 8,0 + 3,85 + 4,0 = 15,85(\text{x}\theta).$$

$$T_{on} = T_o + T_\delta = 35,95 + 15,85 = 51,8(\text{x}\theta).$$

$$T_{o\delta c} = T_{e\delta n} = 0,045 \cdot T_{on} = 0,045 \cdot 51,8 = 2,33(\text{x}\theta).$$

$$T_{um} = T_o + T_\delta + T_{o\delta c} + T_{e\delta n} = 35,95 + 15,85 + 2,33 \cdot 2 = 56,46(\text{x}\theta).$$

Таблиця 5.10 – Зведена таблиця норм часу по операціях технологічного процесу механічної обробки обойми

| № операції | Назва операції          | № переходу | Основний (технологічний) час $T_0$ , хв | Додатковий час |           |           | $T_{обс}$ , хв | $T_{відп}$ , хв | $T_{шт}$ , хв |
|------------|-------------------------|------------|---|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------------|---------------|
|            |                         |            |   | $T_{уст}$      | $T_{кер}$ | $T_{вим}$ |                |                 |               |
| 005        | Токарно-револьверна     | 1.         | 4,14                                    | 8              | 3,85      | 4         | 2,33           | 2,33            | 56,46         |
|            |                         | 2.         | 3,68                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 3.         | 0,10                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 4.         | 0,55                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 5.         | 0,96                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 6.         | 18,7                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 7.         | 0,13                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 8.         | -                                       |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 9.         | 1,57                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 10.        | 3,43                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 11.        | 2,57                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 12.        | 0,13                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         |            |   |                |           |           |                |                 |               |
| 010        | Вертикально-свердлильна | 1.         | 1,15                                    | 2,5            | 1,5       | 0,5       | 0,56           | 0,56            | 13,65         |
|            |                         | 2.         | 0,16                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         | 3.         | 6,72                                    |                |           |           |                |                 |               |
|            |                         |            |   |                |           |           |                |                 |               |
| 015        | Внутрішні-фувальна      | 1.         | 8,6                                     | 8              | 1,5       | 0,5       | 0,84           | 0,84            | 20,24         |

$$\sum_{n=1}^3 T_{um} = 90,35(\text{хв})$$

Розраховуємо кількісні показники використання обладнання.

Коефіцієнт використання верстата по основному часу визначається по

формулі:

$$\eta_0 = \frac{\sum T_0}{T_{\text{шт}}} \quad (5.21)$$

1. Для токарно-револьверного верстата 1365:

$$\eta_0 = \frac{35,95}{56,46} = 0,64.$$

2. Для вертикально-свердильного верстата 2A125:

$$\eta_0 = \frac{8,03}{13,65} = 0,59.$$

3. Для внутрішліфувального верстата 3A251:

$$\eta_0 = \frac{8,6}{20,24} = 0,425.$$



Рисунок 5.4 – Графік використання обладнання за основним часом

Коефіцієнт використання обладнання по потужності визначається по формулі:

$$\eta_N = \frac{N_{\text{пиз}}}{N_{\text{верст}}} . \quad (5.22)$$

1. Для токарно-револьверного верстата 1365:

$$\eta_N = \frac{3,47}{14} = 0,25 .$$

2. Для вертикально-свердильного верстата 2A125:

$$\eta_N = \frac{2,1}{2,8} = 0,75 .$$

3. Для внутрішньо-шліфувального верстата 3A251:

$$\eta_N = \frac{1,3}{4,5} = 0,29 .$$

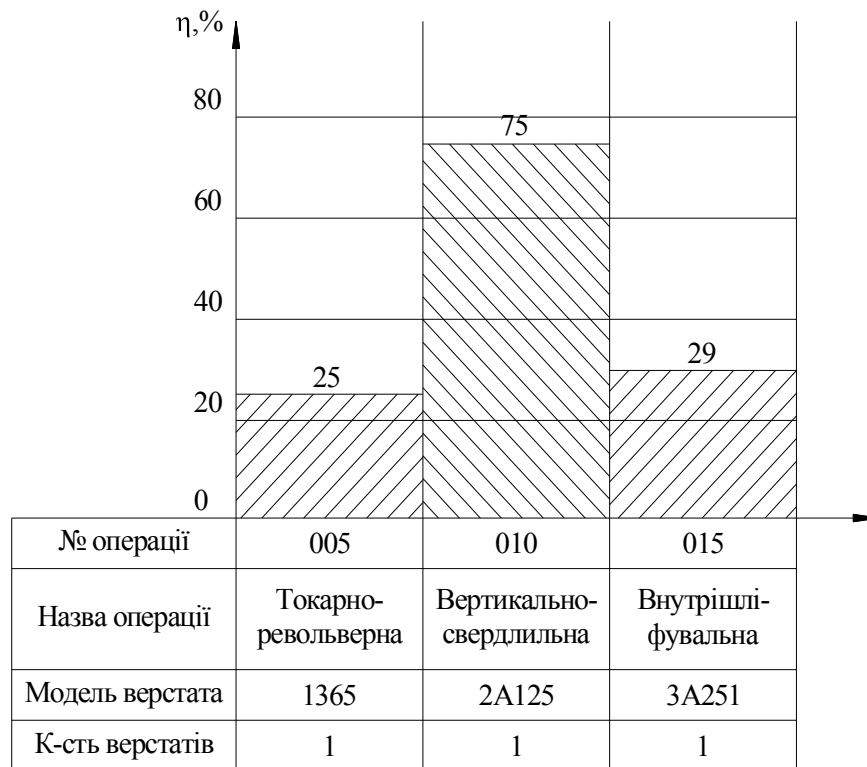


Рисунок 5.5 – Графік використання обладнання за потужністю

### **5.3. Розробка спеціальних верстатних пристроїв**

#### **Опис призначення, будови і роботи пристроїв**

Опишемо приспособлення - кондуктор, який призначений для базування деталі обойма ПРТ-52.107 при свердлінні шести отворів  $\varnothing 15$  мм.

Приспособлення складається із корпусу (2), на якому встановлені по боках дві колони (7). В центрі розміщено опору, до якої прикріплене кільце (8) за допомогою чотирьох гвинтів (17). Дане кільце має такий профіль, що забезпечує базування деталі на ньому. На двох колонах (13), що встановлені на корпусі (2), піднімається і опускається кондукторна плита (3), яка опускається і піднімається разом із свердлильною головкою і притискає деталь за допомогою пружин (6). безпосередньо під час свердління до кільця (8) по верхній площинні. Фіксація деталі від повороту при свердлінні в горизонтальній площинні забезпечується силою тертя між самою деталлю і кондукторною плитою.

Необхідна точність розташування отворів на деталі забезпечується втулками (24), які кріпляться до кондукторної плити (3) за допомогою шайби (10), яка в свою чергу кріпиться до неї болтом (13).

При встановленні деталі в приспособлення вона базується по орієнтованому отвору діаметром 60 мм і торцю. Збазована кондукторна прижимна плита дає можливість витримати технічні вимоги до розміщення оброблюваних отворів діаметром  $\varnothing 14,95$  мм.



## РОЗДІЛ 6

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### 6.1. Організація інженерної діяльності як етап проектування машин

Різноманітні сторони інженерної діяльності – прикладні дослідження, конструювання виробів, технологічні розробки, проектування оснащення і спеціального обладнання пряма участь в організації і управлінні виробництвом – мають своїм безпосереднім результатом створення, застосування і при необхідності вдосконалення системи норм: трудових витрат, предметів праці, засобів праці.

Інженерні проекти визначають і характер виробництва конкретних виробів: що, як, якими засобами проводити. Нарешті, інженерні проекти багато в чому зумовлюють найближчі і віддалені результати виготовлення даної продукції.

Від тих або інших результатів інженерних проектів, наприклад, від продуктивності машин, що виготовляються, термінів їх служби і т. п., залежать дуже важливі показники планів по виробництву, зокрема об'єми випуску конкретних машин, приладів, апаратів. При плануванні праці, матеріально-технічного забезпечення, використання виробничих потужностей, собівартості продукції виходять з об'ємів виробництва і прогресивних норм, які, у свою чергу, встановлюються в інженерних проектах, а надалі удосконалюються в процесі все тій же інженерній діяльності.

Жодною мірою не зменшуючи роль і значення власне планування, обліку і аналізу господарської діяльності, хотілося б підкреслити їх залежність від наявності якісних результатів інженерної діяльності: оптимальних параметрів нового або удосконалюваного старого виробу;

якнайкращої для даних умов виробництва системи норм; а також високих експлуатаційних показників вироблюваного виробу з позицій економії праці і умов, в яких протікатиме ця праця. Таким чином, і проміжні, і кінцеві результати управлінської і, перш за все, планової діяльності виникають в певній залежності від якості праці інженера. З деякими обмеженнями, пов'язаними з якістю праці економістів, що формують план і що беруть участь в контролі і регулюванні ходу виконання цього плану, можна говорити про те, що проміжні і кінцеві результати управлінської і планової діяльності до певної міри є і результатами інженерної діяльності.

Мета будь-якого інженерного проекту може бути досягнута декількома шляхами, технічно різно можливими, але економічно пов'язаними з різними витратами і ефектами. Очевидно, перед інженером встає завдання про пошук якнайкращих з погляду економіки і соціальних наслідків шляхів рішення поставленої задачі [24].

Навряд чи необхідно говорити про сумну і поширену практику, коли недостатньо розроблений проект, веде до численних доробок, доопрацювань даного виробу, а іноді і перших серій вироблених машин, приладів, апаратів і інших виробів.

Існує перевірена методика висунення варіантів конструкції, а зараз і технології з подальшим відбором оптимальних рішень. Є з причини функціонально-вартісного аналізу (ФВА), у всіх його різновидах.

Слід мати на увазі, що варіантність, можливість застосування декількох технічних рішень властиві не тільки всьому проекту машини, але і кожній окремій його частині. Можна, наприклад, виконати вал з вуглецевої або різних марок легуваних сталей, причому під заданий крутний момент, розміри валів з різних матеріалів істотно мінятимуться.

Вибране інженером приватне рішення по кожному елементу проекту може викликати різну потребу в ресурсах, формувати різні підсумкові результати проекту в цілому. Досвід підказує, що залежно від зовнішніх умов доцільний перехід від одного конкретного інженерного рішення (ІР) до іншого. При малих об'ємах виробництва, наприклад, для отримання круглої

деталі вигідно застосувати універсальний токарний верстат, при їх збільшенні спочатку ефективніше використання токарно-револьверного верстата, потім токарного автомата одношпindelного, потім багатошпindelного автомата і т.д. Так само при малих об'ємах виробництва застосовуються дешеві одногніздові прес-форми, а при зростанні випуску продукції потрібне поступове збільшення гніздної, використання дорожчих, але і продуктивніших прес-форм.

Вибір варіантів приватних ІР частково зумовлюється при встановленні оптимального варіанту загального ІР, всього проекту в цілому. Проте більшість приватних ІР виникають на подальших стадіях конструювання. Тут може допомогти один з різновидів ФВА – прорахунок конструкції по Ю. М. Соболеву, Але цей прорахунок має якісний характер. Він застосовується при поступовому спрощенні форм і розмірів конкретної деталі з метою зменшення витрат на її виготовлення. Разом з тим при прорахунок конструкції виробу важко встановити абсолютні витрати на виготовлення варіантів деталей, що зіставляються, особливо якщо їх форми і порядок виробництва істотно розрізняються.

Слід мати на увазі, що інженер при розрахунку економічних показників стикається з великими труднощами. Визначення, наприклад, приведених витрат прямим рахунком на кожен деталіоперацію потребує 28-40 початкових даних. Трудомісткість таких розрахунків за наявності довідкової літератури складає 1,5-3 год. Адже для даної деталіоперації може виникнути необхідність опрацювання варіантів не поодиночі, а по декількох приватним ІР: вибору устаткування, пристосування, інструменту декількох видів і типорозмірів, режимів роботи і т.п. Тим часом технолог на розробку однієї технологічної операції має близько 5 год.

Тому вибір варіанту конкретного ІР проводиться по досвіду інженера без докладного економічного обґрунтування, яке якщо і виникає, то лише при необхідності підрахувати економію від раціоналізаторської пропозиції.

Проте перевірка здійснених інженерних проектів виявила, що не завжди традиційний по досвіду вибір ІР і економічним. Контрольні економічні

розрахунки показали, що до 60% реалізованих приватних ІР виявилися не вигідними для народного господарства.

Важливим завданням даного дослідження також з'явилося формування довідкового матеріалу в допомогу інженерів і економістів, що вибирає оптимальні ІР. Є підстави вважати, що після перевірки і щодо нескладної прив'язки їх до умов даного підприємства або цілої галузі ці довідкові матеріали могли б стати нормативами тривалої дії, що забезпечують потреби експрес-оцінки обраних варіантів загальних і приватних ІР.

## 6.2. Оцінка технічного рівня виробу

Порівняльний аналіз значень якості виробу проводиться для всіх конструктивних варіантів і має два етапи: експертний та розрахунковий [25].

Експертний етап передбачає порівняння значень показників якості нового виробу за варіантами з показниками базового виробу та може призвести до наступних результатів:

а) всі показники даного варіанту перевищують базові більше, ніж на 5 %. Даний варіант вважається проектом і піддається подальшій розробці, в тому числі і економічному обґрунтуванню;

б) всі показники даного варіанту гірші базових більше, ніж на 3 %. Даний варіант виключається із подальшої розробки;

в) деякі показники варіантів кращі, деякі гірші від базових. Тут необхідний наступний розрахунковий етап.

Розрахунковий етап передбачає визначення значень відносних показників якості нового виробу за варіантами згідно до формул:

- для бажаних показників:

$$q_i = \frac{k_{2i}}{k_{1i}}, \quad (6.1)$$

- для небажаних показників:

$$q_i = \frac{k_{1i}}{k_{2i}}, \quad (6.2)$$

де  $k_{2i}$  - показник якості нового виробу;

$k_{1i}$  - показник якості базового виробу;

$i = 1 \dots n$  - номенклатура показників якості.

#### Карта технічного рівня і якості продукції

1. Найменування виробу: приготівлювач-транспортувальник рідин ПТР-3.2.
2. Область застосування: хімічний захист і сільському господарстві.
3. Коротка характеристика виробу:
  - продуктивність за годину основного часу при приготуванні 1% бордоської рідини 14 т/год;
  - робоча швидкість 20 км/год;
  - місткість баку 3,2 м<sup>3</sup>.
  - споживана потужність 28 кВт.
4. Річний економічний ефект визначається аналітичним шляхом.
5. Орієнтована вартість машини: 95000 грн.

Визначаємо значення відносних показників якості нового виробу за варіантами згідно формул [26].

$$q_1 = \frac{14}{11.2} = 1.25; \quad q_2 = \frac{3.2}{3.2} = 1.00;$$

$$q_3 = \frac{20}{20} = 1.00; \quad q_4 = \frac{0.95}{0.93} = 1.02;$$

$$q_5 = \frac{26}{28} = 0.93; \quad q_6 = \frac{100}{100} = 1.00;$$

$$q_7 = \frac{100}{100} = 1.00; \quad q_8 = \frac{80}{60} = 1.33.$$

Розраховуємо узагальнений показник за формулою

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (6.3)$$

де  $Q$  – узагальнений показник якості продукції;

$n$  – кількість показників, що складають номенклатуру.

$$Q = \frac{1}{8} (1,25 + 1,00 + 1,00 + 1,02 + 0,93 + 1,00 + 1,00 + 1,33) = 1,07.$$

Проектом вважається варіант нового виробу, у якого  $Q > 1,05$ .

Результати розрахунків заносимо у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Карта технічного рівня і якості продукції (форма 2 ГОСТ2.116-84)

| Група, назва, одиниця показників якості виробу             | Бажаність “+”, “-” | Значення за конструктивними варіантами |               |      |
|--|--------------------|--|---------------|------|
|  |                    | Базового виробу, $k_1$                 | Нового виробу |      |
|  |                    |  | $k_2$         | $q$  |
| 1. Призначення   |                    |  |               |      |
| Продуктивність: га/год                                     | +                  | 11,2                                   | 14            | 1,25 |
| Місткість баку, м <sup>3</sup>                             | +                  | 3,2                                    | 3,2           | 1,00 |
| Робоча швидкість, км/год                                   | +                  | 20                                     | 20            | 1,00 |
| 2. Надійність  |                    |  |               |      |
| Коефіцієнт надійності при виконанні технологічного процесу | +                  | 0,93                                   | 0,95          | 1,02 |
| 3. Використання ресурсів                                   |                    |  |               |      |
| Споживана потужність, кВт                                  | -                  | 26                                     | 28            | 0,93 |
| Витрати на виготовлення передачі, %                        | +                  | 100                                    | 100           | 1,00 |

#### Продовження таблиці 6.1

|  |   |     |     |      |
|--|---|-----|-----|------|
| 4. Обмеження шкідливих дій                           |   |     |     |      |
| Простота експлуатування передачі, %                  | + | 100 | 100 | 1,00 |
| 5. Стандартизація і уніфікація                       |   |     |     |      |
| Відношення уніфікованих вузлів до не уніфікованих, % | + | 60  | 80  | 1,33 |

### **6.3. Економічна ефективність використання машини удосконаленої конструкції**

При розрахунку показників економічної ефективності основними є прямі експлуатаційні витрати: відрахування на реновацію, капітальний та поточний ремонт, технічне обслуговування, оплату праці, затрати на паливно-мастильні матеріали, а також якість та кількість продукції, яку одержують від порівнювальних машин.

Економічна ефективність приготувальника-транспортувальника досягається за рахунок заміни відцентрового насоса більш продуктивним, або іншими словами – з більшим діаметром робочого колеса. В такий спосіб при виконанні перевірочних розрахунків залишаємо стару силову частину насосного агрегату, ставимо більш продуктивний відцентровий насос і тим самим збільшуємо продуктивність машини в цілому.

Економічну оцінку ефективності внесених змін машини виконуємо згідно “ГОСТ 23728-88. Методи економічної оцінки. Техніка сільськогосподарська ”, шляхом порівняння затрат на базову та модернізовану машину [26].

Приведені затрати на одиницю виробітку (на 1 м<sup>3</sup>) визначаються за формулою

$$\Pi = I + KE, \quad (6.4)$$

де  $I$  - прямі експлуатаційні затрати на одиницю виробітку;

$K$  - капітальні вкладення на одиницю виробітку;

$E$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні затрати на одиницю виробітку

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Phi, \quad (6.5)$$

де  $Z$  - затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу;

$\Gamma$  - затрати на паливно-мастильні матеріали;

$P$  - затрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт;

$A$  - затрати на реновацію;

$\Phi$  - інші затрати (при наявності).

Необхідні характеристики для розрахунку економічної ефективності базової і удосконаленої машини наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності базової та удосконаленої машин

| Показники                    | Базовий варіант | Новий варіант |
|------------------------------|-----------------|---------------|
| 1                            | 2               | 3             |
| 1. Характеристики машин      |                 |               |
| 1.1 Машини, які порівнюються | ПТР-3.2         | ПТР-3.2-1     |



## Продовження таблиці 6.2

| 1   | 2      | 3      |
|---|--------|--------|
| 1.2 Оптова ціна машин, грн.                                     | 93200  | 95000  |
| 1.3 Продуктивність за годину<br>основного часу, га/год          | 11,2   | 14     |
| 1.4 Кількість обслуговуючого<br>персоналу, чол.                 | 1      | 1      |
| 1.5 Витрати пального, кг/м <sup>3</sup>                         | 0,4    | 0,30   |
| 1.6 Марка трактора  | MT3-80 | MT3-80 |
| 1.7 Ціна трактора, грн.   | 215000 | 215000 |
| 1.8 Нормативне річне завантаження,<br>год.:                     |        |        |
| - трактора  | 1800   | 1800   |
| - с/г машини  | 300    | 400    |
| 2 Інші показники  |        |        |
| 2.1 Коефіцієнт переводу<br>оптової ціни в балансову             | 1,1    | 1,1    |
| 2.2 Коефіцієнт ефективності<br>капітальних вкладень             | 0,2    | 0,2    |
| 2.3 Процент відчислень на реновацію<br>по основній роботі:      |        |        |
| - на сільськогосподарську техніку;                              | 14,3   | 14,3   |
| - на трактор  | 12,5   | 12,5   |
| 2.5 Процент відрахувань на:                                     |        |        |
| - поточний ремонт і техогляд для<br>основної роботи с/г машини; | 10     | 10     |
| - на капітальний ремонт;  | 2      | 2      |
| - поточний ремонт і техогляд для<br>основної роботи трактора    | 14,9   | 14,9   |

Продовження таблиці 6.2

| 1   | 2  | 3  |
|---|----|----|
| 2.6 Розряд обслуговуючого персоналу на основній роботі                  | VI | VI |
| 2.7 Погодинна ставка тракториста (з врахуванням всіх видів доплат) грн. | 40 | 40 |
| 2.8 Ціна 1 л пального, грн.   | 29 | 29 |

Затрати праці у людино-годинах на одиницю наробітку при виконанні машиною виробничого процесу визначаємо за формулою [27]

$$T = \frac{L}{W}, \quad (6.6)$$

де  $L$  - кількість виробничого персоналу на обслуговуванні техніки;

$W$  - продуктивність машини.

Затрати на реновацію машини на одиницю наробітку

$$A = \frac{B \cdot a}{W \cdot T_3}, \quad (6.7)$$

де  $a$  - коефіцієнт відчислення на реновацію;

$T_3$  - річне завантаження технічних засобів;

$B$  - балансова ціна машини.

Капітальні вкладення на машину на одиницю наробітку визначаємо за формулою [28]

$$K = \frac{B}{W \cdot T_3}. \quad (6.8)$$

Затрати на технічне обслуговування і ремонти поточний і капітальний визначаємо за формулою

$$P = \frac{B(C_T + C_K)}{W_{експ} \cdot T_3}, \quad (6.9)$$

де  $C_T$  - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування;

$C_K$  - коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

$W_{експ}$  - продуктивність агрегату за 1 годину експлуатаційного часу.

Затрати на паливно-мастильні матеріали на одиницю наробітку визначаємо за формулою [27]:

$$Г = q \cdot Ц, \quad (6.10)$$

де  $q$  - розхід паливно-змащувальних матеріалів на одиницю наробітку;

$Ц$  - ціна 1 л палива.

Балансова ціна машини

$$B = Ц' \cdot k, \quad (6.11)$$

де  $Ц'$  - оптова ціна машини;

$k$  - коефіцієнт переводу з оптової ціни на балансову.

Розрахунок затрат праці, експлуатаційних витрат і приведених витрат на базову і нову машину та енергетичний засіб подано у таблиці 6.4.

Таблиця 6.3 – Розрахунок затрат праці, приведених і експлуатаційних витрат

| Базовий варіант –<br>машина ПТР-3.2   | Новий варіант –<br>машина ПТР-3.2-1   | Різниця<br>показників |
|---|---|-----------------------|
| 1   | 2   | 3                     |
| $T_B = \frac{2}{11,2} = 0,18$ люд/га  | $T_H = \frac{2}{14} = 0,14$ люд/га  | 0,04                  |
| $З_B = \frac{40}{1} = 40$ грн   | $З_H = \frac{40}{1} = 40$ грн   | 0                     |
| $A_B = \frac{1,1 \cdot 93200 \cdot 0,143}{11,2 \cdot 300} = 4,36$<br>грн/ м <sup>3</sup>        | $A_H = \frac{1,1 \cdot 95000 \cdot 0,143}{14 \cdot 400} = 2,67$<br>грн/ м <sup>3</sup>        | 1,7                   |
| $A_T = \frac{1,1 \cdot 215000 \cdot 0,125}{11,2 \cdot 1800} = 1,47$<br>грн/м <sup>3</sup>       | $A_T = \frac{1,1 \cdot 215000 \cdot 0,125}{14 \cdot 1800} = 1,17$<br>грн/м <sup>3</sup>       | 0,29                  |
| $P_B = \frac{1,1 \cdot 93200 \cdot (0,1 + 0,02)}{11,2 \cdot 300} = 3,66$<br>грн/ м <sup>3</sup> | $P_H = \frac{1,1 \cdot 95000 \cdot (0,1 + 0,02)}{14 \cdot 400} = 2,24$<br>грн/ м <sup>3</sup> | 1,42                  |
| $P_T = \frac{1,1 \cdot 215000 \cdot 0,149}{11,2 \cdot 1800} = 1,75$<br>грн/ м <sup>3</sup>      | $P_T = \frac{1,1 \cdot 215000 \cdot 0,149}{14 \cdot 1800} = 1,4$<br>грн/ м <sup>3</sup>       | 0,35                  |
| $P_{П.Б} = P_B + P_T =$<br>$= 3,66 + 1,75 = 5,41$ грн/м <sup>3</sup>                            | $P_{П.Н} = P_H + P_T =$<br>$= 2,24 + 1,4 = 3,64$ грн/ м <sup>3</sup>                          | 1,77                  |
| $\Gamma_T = 0,4 \cdot 29 = 11,6$ грн/ м <sup>3</sup>  | $\Gamma_T = 0,3 \cdot 29 = 8,7$ грн/ м <sup>3</sup>   | 2,9                   |
| $I_B = A_B + P_B =$<br>$= 4,36 + 3,66 = 8,03$ грн/ м <sup>3</sup>                               | $I_H = A_H + P_H =$<br>$= 2,67 + 2,24 = 4,91$ грн/ м <sup>3</sup>                             | 3,12                  |

Продовження таблиці 6.3

|  |   |       |
|--|---|-------|
| $I_T = A_T + P_T + \Gamma_T + Z_{(B)} =$ $= 1,47 + 1,75 + 11,6 + 40 = 54,81$ <p style="text-align: center;">грн/ м<sup>3</sup></p> | $I_T = A_T + P_T + \Gamma_T + Z_H =$ $= 1,17 + 1,4 + 8,7 + 40 = 51,27 \text{ грн/ м}^3$                     | 3,54  |
| $I_{П.Б} = I_B + I_T =$ $= 8,03 + 54,81 = 62,84 \text{ грн/ м}^3$  | $I_{П.Н} = I_H + I_T =$ $= 1,17 + 51,27 = 56,18 \text{ грн/ м}^3$   | 6,66  |
| $K_B = \frac{1,1 \cdot 932000}{11,2 \cdot 300} = 30,51$ <p style="text-align: center;">грн/ м<sup>3</sup></p>                      | $K_H = \frac{1,1 \cdot 95000}{14 \cdot 400} = 18,66$ <p style="text-align: center;">грн/ м<sup>3</sup></p>  | 11,85 |
| $K_T = \frac{1,1 \cdot 215000}{11,2 \cdot 1800} = 11,73$ <p style="text-align: center;">грн/ м<sup>3</sup></p>                     | $K_T = \frac{1,1 \cdot 215000}{14 \cdot 1800} = 9,39$ <p style="text-align: center;">грн/ м<sup>3</sup></p> | 2,35  |
| $K_{П.Б} = K_B + K_T =$ $= 30,51 + 11,73 = 42,24 \text{ грн/ м}^3$   | $K_{П.Н} = K_H + K_T =$ $= 18,66 + 9,39 = 28,05 \text{ грн/ м}^3$   | 14,2  |
| $\Pi_B = I_{ПБ} + K_{ПБ} E =$ $= 62,84 + 42,24 \cdot 0,2 =$ $= 71,29 \text{ грн/ м}^3$   | $\Pi_H = I_{ПН} + K_{ПН} E =$ $= 56,18 + 28,05 \cdot 0,2 =$ $= 61,79 \text{ грн/ м}^3$                      | 9,5   |

Розрахунок річного економічного ефекту від виробництва і використання нової техніки [26], винаходів і рацпропозицій у сільськогосподарському машинобудуванні та нових засобів праці довгочасного використання з кращими якісними характеристиками здійснюється розробниками і виробниками цих засобів праці за формулою:

$$E_{\Phi} = \left[ \Pi_B \cdot \frac{B_H}{B_B} \cdot \frac{P_{П.Б}}{P_{П.Н}} + \frac{(I'_B - I'_H) - E_H (K'_H - K'_B)}{P_{П.Н} \cdot E_H} - \Pi_H \right] \cdot A_2, \quad (6.12)$$

де  $\Pi_B$  – приведені затрати на одиницю базового комплексу;

$\Pi_H$  – приведені затрати на одиницю нового комплексу;

$B_H$  і  $B_B$  – відповідно річні об'єми роботи, виконувані при використанні одиниці базового і нового засобу праці, у натуральних одиницях:

$$B_B = 11,2 \cdot 400 = 4480 \text{ м}^3; B_H = 14 \cdot 400 = 5600 \text{ м}^3.$$

$\frac{B_H}{B_B}$  – коефіцієнт обліку росту продуктивності одиниці нового засобу порівняно з

базовим;  $\frac{B_H}{B_B} = 1,25;$

$A_2$  – річний обсяг виробництва нових знарядь праці в розрахунковому році, в натуральних одиницях,  $A_2 = 10$  шт.

$\frac{P_{П.Б}}{P_{П.Н}}$  – коефіцієнт врахування зміни строку служби нового засобу праці

порівняно з базовим;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності,  $E_H = 0,2;$

$I'_B$  і  $I'_H$  – річні експлуатаційні витрати споживача при використанні ним базового і нового засобу праці у розрахунку на об'єми робіт, які виконуються з допомогою нового засобу праці. У цих затратах враховується тільки частина амортизації, яка призначена на капітальний ремонт засобів праці, тобто без врахування витрат на їх відновлення.

Ці показники визначаються за формулами:

$$I'_B = I_{П.Б} \cdot B_H = 62,84 \cdot 5600 = 351900 \text{ грн};$$

$$I'_H = I_{П.Н} \cdot B_H = 56,18 \cdot 5600 = 314600 \text{ грн};$$

$K'_B$  і  $K'_H$  – річні капітальні вкладення споживача на машину (одиницю напрацювання) при використанні ним базового і нового комплексів, визначаються за формулами:

$$K'_B = K_{П.Б} \cdot B_H = 42,24 \cdot 5600 = 236600 \text{ грн};$$

$$K'_H = K_{П.Н} \cdot B_H = 28,05 \cdot 5600 = 157100 \text{ грн};$$

Підставимо отримані значення у формулу (6.12)

$$E_{\phi} = \left[ 371,29 \cdot 1,25 \cdot \frac{5,41}{3,64} + \frac{(351900 - 314600) - 0,2 \cdot (157100 - 236600)}{3,64 \cdot 0,2} - 61,79 \right] \cdot 10 = 731900 \text{ грн.}$$

На одну машину  $E'_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{A_2} = \frac{731900}{10} = 73190 \text{ грн.}$

Термін окупності удосконаленої машини визначаємо за формулою:

$$T_{OK} = \frac{K'_H}{E'_{\phi}} = \frac{157100}{73190} = 2,15 \text{ р.} \quad (6.13)$$

За знайденими показниками видно, що пропонуване вдосконалення є економічно обґрунтованим.

## РОЗДІЛ 7

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 7.1. Державні нормативні акти з охорони праці

Спеціальними законодавчими актами є державні нормативні акти з охорони праці (ДНАОП). Це — правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання [29].

Вимогам нормативних актів з охорони праці мають відповідати:

умови праці на кожному робочому місці;

безпека технологічних процесів, машин, механізмів, обладнання й інших засобів виробництва;

стан засобів колективного та індивідуального захисту;

санітарно–побутові умови.

Державні нормативні акти з охорони праці залежно від сфери дії поділяються на міжгалузеві та галузеві.

Міжгалузевий нормативний акт про охорону праці — це ДНАОП загальнодержавного користування, дія якого поширюється на всі підприємства, установи, організації незалежно від відомчої (галузевої) належності та форм власності.

Галузевий нормативний акт про охорону праці — це ДНАОП, дія якого поширюється на підприємства, установи, організації певної галузі.

Повний перелік чинних нормативних документів з охорони праці в Україні наведено в «Державному реєстрі міжгалузевих та галузевих актів про охорону праці», який діє з 1995 р. Він включає 2000 нормативних актів (правил, норм, положень, інструкцій тощо), а також 350 міждержавних стандартів безпеки праці (ГОСТ ССБТ) і близько 40 Державних стандартів України (ДСТУ).

Функцію головної організації з опрацювання ДНАОП виконує Національний науково–дослідний інститут охорони праці, який входить до



системи органів державного нагляду за охороною праці. У кожній галузі народного господарства визначається базова організація з опрацювання нормативних актів про охорону праці.

Згідно із Законом України «Про охорону праці» (ст. 34) прийняття нових, перегляд і скасування державних міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці проводяться органами державного нагляду за охороною праці за участю інших державних органів.

Державні міжгалузеві та галузеві нормативні акти про охорону праці переглядаються в міру впровадження досягнень науки і техніки, що сприяють поліпшенню безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, але не рідше одного разу на десять років.

Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці

Згідно із Законом України «Про охорону праці» за порушення законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці (розділ VIII) встановлені різні види відповідальності: дисциплінарна, адміністративна, матеріальна, кримінальна. Передбачена відповідальність як підприємств, так і самих працівників.

Дисциплінарна відповідальність регулюється Кодексом законів про працю і передбачає такі види покарання, як догана та звільнення.

Адміністративна відповідальність — це відповідальність посадових осіб і працівників перед органами державного нагляду, що полягає у застосуванні до них штрафних санкцій. Умови притягнення до адміністративної відповідальності передбачені Кодексом України про адміністративні правопорушення. Ст. 41 КУпАП передбачає, що порушення вимог законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці тягне за собою накладення штрафу на винних осіб.

Контроль і нагляд за дотриманням законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці, з безпеки проведення робіт здійснюють органи державного нагляду за охороною праці. Інспектори цього департаменту розглядають справи про адміністративні правопорушення та накладають адміністративні стягнення.

Законом України «Про охорону праці» та Положенням про порядок накладання штрафів на підприємства, установи та організації за порушення

нормативних актів про охорону праці встановлено відповідальність підприємств у вигляді штрафу за:

порушення актів законодавства, правил, норм, інструкцій про охорону праці, які є обов'язковими для виконання ;

невиконання розпоряджень посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці з безпеки, гігієни праці та виробничого середовища.

Такі штрафи накладаються за підсумками комплексної перевірки стану охорони праці на підприємстві посадовими особами департаменту в таких розмірах:

головою департаменту — до 2 % місячного фонду заробітної плати підприємства, з якого стягується штраф;

начальниками територіальних управлінь — до 1 %;

начальниками інспекцій — до 0,5 %.

Максимальний розмір штрафу, що накладається на підприємство, не може перевищувати 2 % місячного фонду зарплати.

Підприємство також сплачує штраф за кожний нещасний випадок на виробництві та професійне захворювання, що сталися з його вини, а саме в разі:

нешасного випадку, що не призвів до стійкої втрати працездатності працівника — у розмірі, визначеному з розрахунку середньомісячного заробітку потерпілого за період його тимчасової непрацездатності;

нешасного випадку, що призвів до стійкої втрати працездатності та професійного захворювання — у розмірі, визначеному з розрахунку половини середньомісячного заробітку потерпілого за кожний відсоток втрати ним професійної працездатності;

смерті потерпілого — у розмірі дворічного заробітку потерпілого.

Якщо встановлено факт приховання нещасного випадку, власник сплачує штраф у 10-кратному розмірі.

За передачу замовникові у виробництво і застосування конструкторської, технологічної та проектної документації, яка не відповідає вимогам санітарних норм, розробник цієї документації сплачує штраф у розмірі 25 % вартості розробки.

Матеріальною відповідальністю передбачено відшкодування збитків, заподіяних підприємствами працівникам (або членам їх сімей), які постраждали від нещасного випадку чи профзахворювання.

Кримінальна відповідальність за порушення правил охорони та безпеки праці передбачена ст. 135, 218, 219 і 220 Кримінального кодексу України. Ст. 135 містить загальне поняття складу та суб'єкта злочину. Суб'єктом злочину з питань охорони праці є будь-яка службова особа підприємства, установи, організації незалежно від форм власності, а також громадянин — власник підприємства чи уповноважена ним особа. Згідно з цією статтею порушення вимог законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці посадовою особою підприємства, установи, організації незалежно від форм власності, громадянином — власником підприємства чи уповноваженою ним особою, якщо це порушення створило небезпеку для життя або здоров'я громадян, карається виправними роботами на строк до одного року або штрафом до 15 мінімальних розмірів заробітної плати. Те саме діяння, якщо воно спричинило нещасні випадки з людьми, карається позбавленням волі на строк до чотирьох років.

Шляхи порушення вимог законодавчих актів про охорону праці можуть бути різними. Порушення може виявитися в не проведенні відповідного інструктажу, відсутності або несправності спеціальних засобів для безпечної роботи механізмів, обладнання, засобів індивідуального захисту (маски, захисних окулярів, спеціального одягу), в неналежній перевірці працівниками знання техніки безпеки і т. ін.

## **7.2. Техніка безпеки при приготуванні робочих рідин для хімічного захисту рослин**

Якщо узагальнити, то у сільськогосподарському виробництві широко застосовуються хімічні засоби боротьби з шкідниками і хворобами сільськогосподарських рослин. Багато активних речовин, що застосовуються для обробки рослин або ґрунту, шкідливі для людей і тварин. Шкідливість

застосовуваних речовин різна, а тому й різні засоби захисту від них.

Перш ніж приступити до обслуговування машин необхідно вивчити інструкції про поводження з хімічно активними речовинами, суворо їх дотримуватися і перевіряти відповідність машин вимогам охорони праці.

Машини, призначені для боротьби з шкідниками та хворобами сільськогосподарських рослин повинні мати автоматичні пристрої для подачі отрутохімікатів до робочих органів, безпечні регульовальні пристрої, а також пристрої, що гарантують від проникнення отрутохімікатів назовні, механізовану заправку ємкостей, приготування сумішей та розчинів без затрат ручної праці.

Нагнітальні комунікації машин, на яких встановлено насоси, що розвивають тиск понад  $0,7 \text{ кг/см}^2$ , мають бути обладнані манометрами та запобіжними клапанами [30].

На машинах з отрутохімікатами повинні бути бачки з водою для миття рук обслуговуючого персоналу.

Ємкості, призначені для водного розчину аміаку, мають бути обладнані дихальними клапанами. Щоб уникнути вибуху пари аміаку, не можна закривати шланги та трубопроводи вентилями з обох кінців.

Особи, які обслуговують машини під час роботи з отрутохімікатами, повинні пройти спеціальний медичний огляд та інструктаж щодо безпечних методів роботи. До роботи з отрутохімікатами не допускаються підлітки молодші від 18 років, вагітні жінки, матері-годувальниці, а також механізатори з захворюваннями органів зору, серцево-судинної та нервової систем, шлунку, нирок, печінки та ін.

Пестициди, що використовуються для захисту рослин від шкідників і хвороб, отруйні і небезпечні для життя людини, а також тварин і птиці. Працювати з пестицидами дозволяється лише в спеціальному одязі (комбінезоні, гумових чоботах і рукавицях), а з пило- і газоподібними речовинами – в захисному спецодязі і взутті з запобіжними окулярами та респіраторами.

Під час роботи з отрутохімікатами, що випаровуються або з яких виділяються гази (ціанплав, хлорпікрин), застосовуються промислові протигази. Під час обприскування або обпилювання отрутохімікатами обличчя і руки треба

змащувати вазеліном. Спецодяг і засоби індивідуального захисту для роботи з отрутохімікатами треба зберігати у спеціальних ізольованих приміщеннях.

Прати такий спецодяг у водоймах, озерах та річках забороняється. Натільну білизну під час роботи з отрутохімікатами треба міняти через два–три дні. Ємкості для зберігання отрутохімікатів треба щільно закривати, щоб не було витоків. Обпилювання та обприскування під час сильного вітру проводити не бажано, бо пара або пил хімікатів можуть потрапити на необроблювану ділянку і завдати шкоди людям та тваринам, що там знаходяться.

Щоб уникнути отруєння організму під час роботи з отрутохімікатами, не можна курити, пити і приймати їжу. Перед курінням або прийняттям їжі треба старанно вимити з милом руки і обличчя.

Працювати з отрутохімікатами дозволяється не більш як 6 годин, а при сухому протруєнні з сильно діючими отрутами – 4 години. Потім працівника переводять на інші роботи.

Після закінчення обприскування всю тару треба промити 3 – 4%–ним розчином пральної соди на спеціально відведеній площадці і здати на склад, а паперові мішки спалити. Склади для зберігання отрутохімікатів і протруєного насіння треба розміщувати на відстані не менш як 50 м від житлових і виробничих приміщень.

Захист культурних рослин від шкідників і збудників хвороб проводять під керівництвом агронома господарства. При роботі з пестицидами необхідно виконувати правила, викладені в «Санітарних правилах по зберіганню, транспортуванню і використанню пестицидів у сільському господарстві».

При приготуванні робочих розчинів і сумішей слід дотримуватися наступних вимог.

До початку приготування робочого розчину або сумішей перевірте відповідність препаратів їхньому найменуванню й призначенню.

Перед початком роботи огляньте робоче місце, переконайтеся, що у робочій зоні відсутні сторонні особи, тварини, непотрібні машини й механізми, проїзди й проходи вільні, небезпечні місця (ями, колодязі тощо) огорожені, а територія не захаращена сторонніми предметами, тарою тощо.

Огляньте обладнання, переконайтесь у наявності огорожень приводів і обертових частин машин і механізмів.

Перевірте наявність та справність засобів механізації для приготування робочих розчинів пестицидів і заправки обприскувачів (насоси, мішалки, герметичні ємності, шланги, помпи).

Переконайтесь в герметичності з'єднань магістралей у машинах, що використовуються для приготування робочих розчинів і сумішей. Через з'єднання не повинно бути просочувань та краплепадін рідини.

На машинах, які працюють під тиском, перевірте справність манометрів. На манометрі повинна бути пломба або клеймо з датою перевірки, скло повинно бути цілим, на шкалі повинна бути червона риска або припаяна до корпусу металева пластинка червоного кольору, яка показує дозволений тиск, стрілка манометра повинна повертатися в нульове положення при з'єднанні внутрішньої порожнини приладу з атмосферою, переконайтесь, що строк їх чергової перевірки не минув.

Перевірте наявність і надійність контакту заземлюючого проводу електрифікованих машин і обладнання.

Вимоги безпеки під час роботи [31, 32].

Робочі розчини готуйте на спеціальних розчинних вузлах або пунктах із використанням засобів механізації виробничих процесів і під контролем спеціалістів. На пунктах необхідно мати: апаратуру для приготування робочих розчинів, резервуари з водою, баки з герметичними кришками і пристрої для наповнення резервуарів обприскувача (насос, ежектор, шланги), вагу, дрібний інвентар, метеорологічні прилади, а також аптечку, мило, рушник, умивальник.

Кількість препаратів, які знаходяться на майданчику, не повинна перевищувати норму одноденного використання. Крім тари з препаратами, на майданчику повинні знаходитися ємності з водою та гашеним вапном.

Не допускайте сторонніх осіб у місця приготування робочих розчинів і сумішей пестицидів, рідких комплексних агрохімікатів і хімічних консервантів і в місця їхнього внесення.

Для приготування робочих розчинів пестицидів, агрохімікатів

використовуйте пересувні агрегати або стаціонарні станції для заправки типу СЗС–10. Не допускайте приготування робочих розчинів пестицидів вручну.

Під час заповнення резервуарів обприскувачів знаходьтеся з навітряного боку. Не допускайте попадання пестицидів на взуття, одяг і відкриті частини тіла. При випадковому попаданні пестициду на відкриті частини тіла терміново видаліть його за допомогою ватних тампонів, а потім ці місця промийте мильною водою.

Для приготування розчинів консервантів у приймальний бак (ємність) спочатку налейте воду, і тільки потім, додайте необхідну кількість консерванту. У протилежному випадку можливі опіки, отруєння.

Не проводьте ремонт і регулювання апаратури при наявності в ній пестицидів. Ремонтні роботи виконуйте при зупинці всіх механізмів з обов'язковим застосуванням засобів індивідуального захисту. Під час роботи механізмів не підтягуйте болтів, сальників, ущільнень, хомутів, магістралей, ланцюгів тощо.

Не відкривайте люки й кришки бункерів і резервуарів, які знаходяться під тиском, не розкривайте нагнітальні клапани насосів, запобіжні й редуційні клапани, не вигвинчуйте манометри.

Не залишайте без охорони пестициди або приготовлені з них робочі розчини.

#### Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях [33].

Під час роботи з пестицидами й консервантами при з'явленні тріщин у ємкостях, резервуарах, трубопроводах, пошкодженні гумових шлангів, порушенні герметичності виключіть насос і двигун змішувального апарату. Якщо усунути несправність власними силами не можете, повідомте керівника робіт. Розлиті на землю пестициди, консерванти обробіть хлорним вапном і перекопайте.

Якщо під час роботи з пестицидами, агрохімікатами й консервантами трапилось порушення захисних властивостей засобів захисту органів дихання, терміново зупиніть обладнання, вийдіть із зони проведення хімічних робіт.

При виникненні пожежі викличте пожежну команду, повідомте

керівництво і приступіть до ліквідації осередку загорання згідно з інструкцією про заходи пожежної безпеки.

При виникненні пожежі у виробничому приміщенні відключіть систему вентиляції, повідомте пожежну охорону, керівника робіт і прийміть участь у ліквідації пожежі.

Під час гасіння пожежі вилучіть із зони можливого попадання води пестициди, взаємодія з водою яких недопустима (фосфід цинку тощо), або, в крайньому випадку, закрийте брезентом, засипте піском, землею.

Особливих заходів дотримуйтесь під час гасіння пестицидів, які затарені в металеві бочки, барабани, каністри, які від надмірного тиску при підвищенні температури можуть вибухнути, розлитися на великі відстані.

Гасіння локальних вогнищ загорання пестицидів виконуйте у протигазах із коробками, які мають фільтр.

Аміачну селітру, що загорілась на складі, гасіть великою кількістю води у протигазах із коробками марки "В" і "М".

При появі напруги на металевих частинах машин, обладнанні у складах або приміщеннях необхідно припинити роботу (відключити їх) і повідомити про це чергового електрика або керівника робіт.

### **7.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Бурхливий розвиток хімії як науки відзначається насамперед створенням могутньої промисловості, ростом асортименту хімічних речовин, які використовуються у промисловості, сільському господарстві і побуті, деякі речовини токсичні і шкідливі для здоров'я людини, їх називають сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР). Деякі види цих речовин є у великих кількостях на підприємствах, які їх виготовляють або використовують. У випадку аварії вони можуть бути розлиті або викинуті в атмосферу. Це може призвести до отруєння людей не тільки на цьому об'єкті, але і за його межами, в найближчих населених пунктах.



Найбільш поширеними СДОР є хлор і аміак [32, 33].

Хлор (Cl) — зеленувато-жовтий газ з різким запахом. Хлор у 2,5 рази важчий за повітря. Температура кипіння — 34,6°C (навіть взимку знаходиться в газоподібному стані). Смертельна концентрація при одногодній експозиції — 0,1 мг/л. Гранично допустима концентрація в повітрі 0,001 мг/л. Хлор застосовують для виготовлення численних неорганічних та органічних сполук. Його використовують у виробництві соляної кислоти, хлорного вапна, гіпохлоридів, хлоратів та ін. Велика кількість хлору використовується для відбілювання тканин і целюлози, яка йде на виготовлення паперу. Хлор застосовують також для стерилізації питної води і знезараження стічних вод. У кольоровій металургії його використовують для хлорування руд, що є однією з стадій добування деяких металів. На основі хлороорганічних продуктів виготовляють різні пластмаси, синтетичні волокна, каучуки, замітники шкіри. Визначається наявність хлору приладами ВГХР та УГ-2, індикаторною грубкою з трьома зеленими кільцями.

Вилив на людей — подразнює дихальні шляхи, викликає набряк легенів. При високих концентраціях смерть настає від 1–2 вдихів, при менших концентраціях — дихання припиняється через 5–25 хвилин.

Захист від хлору: промислові фільтруючі протигази марок "В", "М", цивільні протигази, військові протигази, дитячі протигази, захисні дитячі камери. При концентраціях хлору в повітрі більше ніж 8,6 мг/л потрібно використовувати тільки ізолюючі протигази.

Перша допомога: одягнути на ураженого протигаз, винести на свіже повітря, зробити інгаляцію киснем. Очі промити 2%-ним розчином соди. Пити молоко зі содою або боржомом, каву. При подразненні дихальних шляхів — вдихати нашатирний спирт, бікарбонат натрію, буру.

Дегазація проводиться лужними та водними розчинами гіпосульфїту, гашеним вапном. Нейтралізується водою.

Аміак (NH<sub>3</sub>) — безбарвний газ із характерним різким запахом (запах "нашатирного спирту"). Маса 1л аміаку за нормальних умов становить 0,77г. Легший за повітря. При охолодженні до -33,4°C аміак під звичайним тиском

перетворюється в прозору рідину, що затвердіває при  $-77,8^{\circ}\text{C}$ . Смертельна концентрація при 30-хвилинній експозиції — 7 мг/л. Гранично допустима концентрація в повітрі — 0,02 мг/л. Аміак дуже добре розчиняється у воді. Розчин аміаку у воді називають "нашатирним спиртом". Звичайний медичний нашатирний спирт містить 10% аміаку. Аміак при невисокому тиску (0,7–0,8 МПа) перетворюється в рідину. Оскільки при випаровуванні рідкого аміаку поглинається велика кількість тепла (1,37 кДж/год), то рідкий аміак застосовують у холодильних установках. Аміак також використовується для виготовлення азотної кислоти і азотовмісних речовин. Це азотні добрива: сульфат амонію, нітрат амонію. Крім того, нітрат алюмінію утворює вибухові суміші з горючими речовинами, які застосовують для підривних робіт.

Дія аміаку на людей у високих концентраціях викликає корчі. Смерть настає через декілька годин або діб після отруєння від набряку легенів і гортані. При попаданні на шкіру може викликати опіки різного ступеня. В повітрі визначається приладом УГ–2 та ін. Захист від аміаку: фільтруючі промислові протигази марок "К" і "Ш". При дуже високих концентраціях — ізолюючі протигази і захисний одяг.

Перша допомога: ураженого винести на свіже повітря. Забезпечити тепло і спокій. Зробити інгаляцію зволеним киснем або теплою водяною парою з розчином ментолу у хлороформі. Шкіру і очі промивати водою або 25%-ним розчином борної кислоти протягом 15 хв, змастити вазеліном або оливковою олією. При зупинці дихання зробити штучне дихання.

Дегазація проводиться водою.

Сірчаний ангідрид ( $\text{SO}_2$ ) (двоокис сірки, "сірчаний газ") — один з поширених видів СДОР. Являє собою безбарвний газ з характерним різким запахом. При звичайному тиску затвердіває при температурі  $-75^{\circ}\text{C}$  і зріджується при  $-10^{\circ}\text{C}$ . В 2,2 рази важчий за повітря. Розчинність його у воді досить велика і складає при звичайних умовах біля 40 об'ємів на 1 об'єм води. При взаємодії з водою утворюється сірчана кислота. Розчиняється в спиртах, ефірі, бензолі. Отримують спалюванням сірки на повітрі, обпалюванням піриту, дією сірчаної кислоти на сульфат натрію [34].

Сірчаний ангідрид використовують у виробництві сірчаної кислоти, солей сірчаної (сульфітів, гідросульфідів) і тиосірчаної (тіосульфідів) кислот.

Безпосереднє застосування знаходить в паперовому та текстильному виробництвах, при консервуванні фруктів, ягід, для запобігання вин від скисання, для дезінфекції приміщень. Рідкий сірчаний ангідрид застосовують як холодоагент та розчинник.

Перевозять його в розрідженому стані під тиском. При виході в атмосферу він димить, скупчується в низьких ділянках місцевості, підвалах, тунелях, заражує водоймища.

Гранично допустима концентрація (ГДК) сірчаного ангідриду в атмосферному повітрі населених місць (середньодобова) —  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , в робочому приміщенні промислового підприємства —  $10 \text{ мг/м}^3$ .

Він небезпечний при вдиханні. Навіть дуже мала концентрація його створює неприємний смак в роті і подразнює слизові оболонки. Пари сірчаного ангідриду у вологому повітрі сильно подразнюють слизові оболонки та шкіру. З'являються кашель, різкий біль в очах, сльози, дихання і ковтання утруднене, шкіра червоніє. Можливі опіки шкіри та очей. Вдихання повітря, яке містить більше  $0,2\%$  сірчаного ангідриду, викликає хрипоту, задишку і швидку втрату свідомості. Можлива смерть.

Шкідливим є вилив і на рослинність при концентраціях більше  $0,1 \text{ мг/м}^3$ . Найвища чутливість у смереки та сосни, найменша — в берези та дуба.

Захист органів дихання та очей від сірчаного ангідриду забезпечують промислові фільтруючі протигази марки В (коробка, пофарбована в жовтий колір). Е (чорний), БКФ (зелений), респіратори протигазові РПГ — 67В та універсальні РУ–60М–В, а також цивільні протигази ГП–5, ГП–7 та дитячі.

Орієнтовний час (в годинах) захисної дії промислових протигазів великого габариту і протигазових респіраторів при різних концентраціях сірчаного ангідриду наведено в таблиці.

Якщо концентрація  $\text{SO}_2$  вища від максимально допустимої, повинні використовуватись тільки ізолюючі протигази. Ця ж вимога актуальна і при ліквідації аварій на хімічно небезпечних об'єктах, коли концентрація сірчаного

ангідриду невідома. В зоні аварій, для захисту шкіри людини від попадання СДОР, роботи слід проводити в захисних костюмах, гумових чоботах та рукавицях.

Які ж заходи першої допомоги при ураженні сірчанним ангідридом? Перш за все, слід винести потерпілого на свіже повітря. Шкіру та слизові оболонки промивати водою або 2%-ним розчином соди не менше 15 хв., очі — проточною водою, також не менше 15 хв.

Наявність сірчаного ангідриду в повітрі і його концентрацію дозволяє визначити універсальний газоаналізатор УГ-2. Межа виміру приладу: до 0,03 мг/л — при просмоктуванні повітря в об'ємі 300 мл; до 0,2 мг/л — при просмоктуванні 60 мл. Концентрацію сірчаного ангідриду знаходять по шкалі, на якій вказаний об'єм пропущеного повітря. При просмоктуванні його через індикаторну трубку колір порошку буде змінюватись з темно-сірого на білий. Цифра на шкалі, яка співпадає з верхнім кінцем пофарбованого в білий колір стовпчика порошку, вказує на концентрацію сірчаного ангідриду (в мг/л).

У повітрі можуть нагромадитися уражаючі концентрації  $\text{SO}_2$  у випадку виробничої аварії на хімічно небезпечному об'єкті чи його витоку при зберіганні, транспортуванні. Небезпечну зону слід ізолювати, вивести сторонні людей. Входити в неї можна тільки в засобах захисту органів дихання шкіри. Слід уникати низьких місць, триматись навітряної сторони. Потерпіли—надати першу долікарську допомогу і відправити їх у лікувальний заклад.

При витоку і розливі не можна доторкатись до пролитого. Рідину, яка розлилася, слід огородити земляним валом, не допускати попадання речовини у водоймища. Місце розливу залити розчином соди або вапнистим молоком.

Сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) — безколірний газ з різким неприємним запахом. При звичайному тиску твердне при  $-85,5^\circ\text{C}$  і зріджується при  $-60,3^\circ\text{C}$ . Густина газоподібного сірководню при нормальних умовах становить приблизно 1,7, бо він важчий від повітря. Сірководень з повітрям, що містить від 4 до 45% цього газу, вибухонебезпечний. На повітрі спалахує при температурі  $300^\circ\text{C}$ . Розчинність в органічних речовинах значно вища, ніж у воді.

Сірководень — сильний відновник. В промисловості його одержують як

побічний продукт при очистці нафти, природного і коксівного газу. Застосовують у виробництві сірчаної кислоти, сірки, сульфідів, сіркоорганічних сполук, для приготування лікувальних сірководневих ванн.

Зберігається і перевозиться в залізничних цистернах і балонах під тиском у зрідженому стані. При виході в атмосферу перетворюється в газ. Накопичується в низьких ділянках місцевості, підвалах, тунелях. При витoku або пропусканні забруднює водоймища.

Небезпечний для вдихання, подразнює шкіру і слизові оболонки. Перші ознаки отруєння: головний біль, сльози, пече в очах, подразнення в носі, металевий смак в роті, нудота, блювання, холодний піт, пронос, біль в грудях. ГДК сірководню  $0,008 \text{ мг/м}^3$ , в робочих приміщеннях промислового виробництва —  $10 \text{ мг/м}^3$  [35].

Захист органів дихання і очей забезпечують фільтруючі протигази марки КД, БКФ, респіратори РПГ–67–КД і РУ–60М–КД, а також цивільні протигази ГП–5, ГП–7 і дитячі.

Примітка: Максимально допустима концентрація для фільтруючих протигазів — 100 ГДК ( $10\,000 \text{ мг/м}^3$ ), а для респіраторів — 15 ГДК; з/ф — коробка з фільтром; б/ф — коробка без фільтра. Якщо концентрація сірководню вища від максимально допустимої, застосовуються ізолюючі протигази. При ліквідації аварій на хімічно небезпечних об'єктах, коли концентрація газу невідома, роботи проводяться тільки в ізолюючих протигазах. Щоб захистити шкіру, використовують захисні прогумовані костюми, гумові чоботи і рукавиці. При ураженні сірководнем треба негайно винести потерпілого на свіже повітря, забезпечити йому тепло і спокій, дати тепле молоко з содою. Його треба помістити в затемнене приміщення, накласти на очі примочки з 3%-ним розчином борної кислоти. При тяжкому отруєнні, а також при утрудненому диханні дати кисень, якщо необхідно, зробити штучне дихання. Кількість сірководню в повітрі і його концентрацію дозволяє визначити універсальний газоаналізатор УГ–2. Границя виміру приладу:  $0\text{--}0,03 \text{ мг/л}$  при просмоктуванні повітря в об'ємі 300 мл і  $0\text{--}0,3 \text{ мг/л}$  при просмоктуванні — 30 мл. Концентрацію сірководню (мг/л) знаходять по шкалі, на якій вказаний об'єм пропущеного

повітря. Її значенням відповідає цифра, яка співпадає з границею пофарбованого в коричневий колір стовпця порошку. З цією ж метою можна використовувати прилади хімічної розвідки ВПХР, ПХР–МВ.

Якщо концентрація газу 2 мг/л і вища, то при прокачуванні повітря через індикаторні трубки колір їх наповнювача змінюється в залежності від маркування: жовте кільце — в діапазоні від світло-коричневого до темно-коричневого; два жовтих кільця на одному кінці — від сіро-жовтого до коричневого; три жовтих кільця — на другому кінці — на сіро-зелений до розбивання ампули, два чорних кільця — від жовтого до коричневого.

У повітрі можуть нагромаджуватися уражаючі концентрації  $H_2S$  при виробничій аварії на хімічно небезпечному об'єкті, витоків його при зберіганні і транспортуванні. При цьому небезпечну зону треба ізолювати, вивести сторонніх людей і не допускати нікого без засобів захисту органів дихання і шкіри. Потерпілим надати першу допомогу і направити в лікувальний центр.

При втіканні і розливі не допускати простоїв речовини. При першій її можливості ліквідувати витікання або перекачати цю речовину в цілу ємність. Обгородити речовину земляним валом, щоб вона не потрапила у водоймища, каналізацію, підвали, низькі ділянки місцевості. Для того, щоб знезаразити, дозволяється залити цю речовину молоком, розчином соди.

Нітрил акрилової кислоти — безбарвна летка рідина, кипить при високій температурі, має неприємний запах. Її пари важчі від повітря, при взаємодії з ним утворює вибухонебезпечні суміші. При горінні кислота виділяє отруйні гази. Захист органів дихання і очей забезпечують промислові протигази марок А і БКФ, а також ГП–5, ГП–7 і дитячі.

Пари викликають подразнення слизової оболонки і шкіри, виникає головний біль, запаморочення, слабкість, нудота, блювота, задишка, шкіра червоніє і пече. В таких випадках потерпілого виносять на повітря, забезпечують спокій і тепло, дають подихати киснем, а також аміннітритом (на ватці протягом 15–30 с) з перервою 2 хв.

Синильна кислота ( $HCN$ ) — безбарвна прозора, дуже летка рідина. Пари її переважно безбарвні. Добре змішується з водою. Викликає запаморочення,

параліч дихальних шляхів. При отруєнні відчувається запах і смак мигдалю, а також металевий присмак в роті. Потім виникає відчуття пекучості в горлі, піднебіння і язик втрачають чутливість. Все це супроводжується нудотою, блюванням, тече слина. Задишка збільшується. Заходи першої допомоги: винести на повітря, дати понюхати на протязі 3 хв (до 8 раз) через 30 с аміннітрати, зробити штучне дихання, поставити грілку. Потерпілому необхідно випити міцної кави або чаю.

Фосген — безбарвний газ, який при температурі нижче 8°C конденсується в безбарвну рідину. Його запах нагадує прілі фрукти або сіно. Він важчий за повітря, малорозчинний у воді. Отруйні лише пари фосгену. Перші ознаки отруєння з'являються не відразу, а після 4–8 год. Виникають незначні позиви до кашлю, пече і дере в носоглотці, потім починається сильний кашель, задишка, лице і губи синіють. Необхідний повний спокій, потерпілий повинен лежати на спині з грілкою, можна давати гарячі напої і кисень.

Метилмеркаптан — безбарвний газ з різким запахом, важчий від повітря. Викликає подразнення слизових оболонок і шкіри. При диханні виникає головний біль, слабкість, нудота. Заходи першої допомоги: винести потерпілого на повітря, очі і слизові оболонки промивати 2%-ним розчином борної кислоти, а шкіру — водою не менше 15 хв.

Бензол — безбарвна рідина з характерним запахом. Її пари важчі від повітря і утворюють з ним вибухонебезпечні суміші. При вдиханні відчувається слабкість, головний біль і запаморочення, з'являється сонливість, нудота, блювота, посіпування м'язів, свербіння і почервоніння шкіри. Потерпілий може знепритомніти. Його виносять на повітря, забезпечують спокій, тепло і дають зволожений кисень. Необхідно змінити одяг і білизну, обмити тіло теплою водою з милом. Захист органів дихання, і очей забезпечують промислові протигази марок А і БКФ, а також ГП–5, ГП–7 і дитячі [33].

Наявність сильнодіючих отруйних речовин в повітрі (хлору, аміаку, сірководню та деяких інших) і їх концентрацію можна визначити за допомогою універсального персонального газоаналізатора типу УГ–2. Принцип його дії ґрунтується на тому, що при проходженні через індикаторну<sup>^</sup> трубку повітря, яке

містить гази (пари) СДОР, довжина пофарбованого стовпчика індикаторного порошку в трубці змінюється пропорційно концентрації досліджуваного газу. Вимірювання проводять по шкалі, проградуєваної в міліметрах на літр. Колір індикаторного порошку після проходження досліджуваного повітря, якщо в ньому є хлор, буде червоним, якщо аміак — синім, якщо сірководень — коричневим.

При виробничій аварії на хімічному об'єкті, виток СДОР при зберіганні або перевезенні може відбутися зараження повітря. Для захисту органів дихання робітників і службовців таких, об'єктів використовують промислові протигази.

При ліквідації наслідків аварії на хімічних об'єктах, якщо в повітрі міститься отруйних речовин більше ніж 0,5 % об'ємної долі, для захисту органів дихання потрібно використовувати ізолюючі протигази.

Ртуть (Hg) – єдиний метал, який при кімнатній температурі перебуває в рідкому стані. Пара ртуті дуже отруйна. Досить найменшої кількості пари ртуті, яка утворюється при кімнатній температурі при її розливі або зберіганні у відкритій посудині, щоб отруїтись. Працюючи з ртуттю, потрібно бути дуже обережним. Всі роботи з ртуттю виконувати на емальованих або залізних підносах. Дуже небезпечна ртуть, розлита на підлозі. Падаючи на підлогу, вона розбивається на велику кількість дрібних краплин, які потрапляють у щілини і можуть протягом тривалого часу отруювати повітря. Якщо ртуть розлилась на підлозі, слід негайно зібрати її пилососом або піпеткою з грушею.

Для усунення ртуті можна користуватись емульсією з мінеральної олії і води з порошкоподібною сіркою і йодом або порошком сірки. При з'єднанні ртуті з хлором утворюється сулема (HgCl<sub>2</sub>), яка є сильною отрутою. Вона використовується для дублення шкіри, протруювання насіння і ін.

Таким чином, хімізація сільського господарства великою мірою спричиняється до виникнення різного роду надзвичайних ситуацій при використанні чи виробництві сильнодіючих отруйних речовин. Тому розроблені заходи регламентують рівень безпеки при виникненні надзвичайної ситуації та дають керуючі настанови поведінки в таких ситуаціях, а також описують правильність надання першої медичної допомоги при ураженнях.



## РОЗДІЛ 8

### ЕКОЛОГІЯ

#### **8.1. Вплив на довкілля хімічних препаратів, що використовуються при сільськогосподарському виробництві**

Основним засобом боротьби з бур'янами при сільськогосподарському виробництві, як відомо, є пестициди. Пестициди – хімічні сполуки, які впливають на пригнічення розвитку певної групи рослин або інших шкідливих організмів, не завдаючи особливої шкоди корисним культурам. Але хімічні засоби надають лише тимчасову допомогу, оскільки з часом сприяють виробленню стійкості до постійно застосовуваних засобів. Це викликає необхідність використання нових, ще сильніших речовин, які паралельно посилюють негативний вплив на ґрунт, воду, повітря, якість продукції, на корисну флору і фауну, тим самим прискорюючи процес порушення біологічної рівноваги в природному середовищі. Дослідження показують, що в посівах кукурудзи майже 30 видів бур'янів, раніше чутливих до гербіцидів, набули до них стійкості. Виживаючи навіть після посиленого обробітку посіву кукурудзи гербіцидами, вони спричиняють значні втрати врожаю. Зараз налічується понад 400 видів комах і 7 видів гризунів, включаючи щурів, нечутливих до пестицидів [36, 37].

Розповсюдження пестицидів у навколишньому середовищі відбувається як фізичним, так і біологічним шляхом. Перший спосіб — розсіювання з допомогою вітру в атмосфері та поширення через водотоки. Другий — перенесення живими організмами по шляху харчування. Із просуванням організмів до вищих ланок харчового ланцюга концентрації шкідливих речовин зростають, нагромаджуючись у внутрішніх органах, переважно в печінці та нирках.

Інтенсивне забруднення природного середовища значною мірою є наслідком нераціонального сільськогосподарського виробництва. Щороку з мінеральними добривами на сільськогосподарські угіддя надходить 193 тис. т фтору, 1,6 тис. т цинку, 620 тис. т міді та 622 т калію. У 90-ті роки залишкова

кількість пестицидів у продуктах харчування, рослинах і тваринах зросла (порівняно з 60-ми роками) більш ніж у 9 разів. Отруйні речовини, які знаходяться у мінеральних добривах, хімічних меліорантах й отрутохімікатах, проникають в організми людей, викликаючи їх захворювання.

Особливого значення набуває застосування системних фунгіцидів (нині рекомендовано до виробництва близько» 300 препаратів), стійких проти змивання з рослин. Неправильне їх застосування може завдати великої шкоди посівам, навколишньому середовищу, здоров'ю людей, свійським тваринам і птиці. А в багатьох інструкціях норми витрат препарату зазначені в широких межах, наприклад, 1—2 кг на 1 га [38].

Застосування великих доз добрив може погіршити якість продукції, ґрунтових вод, що зумовлює забруднення близьких річок і водойм. Використання мінеральних добрив дало змогу певною мірою підвищити врожайність культур, однак подальше збільшення їх доз уже не сприяло її зростанню, що пов'язано із зменшенням запасів гумусу в ґрунті. Зростання врожайності неможливе без удосконалення технології внесення добрив. Безконтрольне їх застосування призводить до забруднення навколишнього середовища, що загрожує здоров'ю людини. Особливо небезпечне неправильне або надмірне використання пестицидів. Причому деяка їх частина трансформується, тобто виникають нові токсичні речовини (вторинна токсикація). Дати оцінку всіх наслідків впливу пестицидів неможливо через недосконалість методів дослідження.

Усі без винятку пестициди при ретельному вивченні виявляли або мутагенну, або інші негативні дії на Живу природу і людину. Навіть разові контакти людини з такими пестицидами, як діелдрін, паратіон, призводять до зміни біотоків головного мозку (енцефалограми). А вплив сучасних органофосфатних пестицидів, які швидко розкладаються, загрожує розвитком депресій, роздратування, розладом пам'яті, іншими нейропсихологічними порушеннями. Близько 90% усіх фунгіцидів, 60% гербіцидів і 30% інсектицидів є канцерогенними.

Підраховано, що 98% інсектицидів (проти комах) і фунгіцидів (проти грибкових захворювань), 60—95% гербіцидів (проти бур'янів) не досягають

об'єктів пригнічення, а потрапляють у воду і в повітря. Крім того, застосовують ще й зооциди (проти гризунів), які створюють у ґрунті мертве середовище.

Застосування пестицидів призводить до пригнічення біологічної активності ґрунтів і перешкоджає природному відновленню родючості, викликає втрату харчової цінності та смакових якостей сільськогосподарської продукції, збільшує втрати і скорочує термін збереження продукції, знижує урожайність багатьох культур внаслідок загибелі комах-опилювачів. Втрати у нашому сільському господарстві тільки від зниження врожаю внаслідок недоопилення рослин (оскільки ці препарати знищують природних опилювачів) становлять близько 2 млрд. грн тобто покривають 30—40% прибутку, який приписують дії пестицидів.

Очевидними є негативні наслідки застосування пестицидів для здоров'я людини, причому спостерігається тенденція до їх зростання, водночас у об'єктів, які пригнічуються пестицидами, спостерігається певна пристосованість до них. Сьогодні близько 500 видів комах вже стійкі до інсектицидів. Пристосованість до пестицидів виникає протягом 10-30 поколінь, підтверджуючи справедливість теорії еволюції Ч. Дарвіна: в процесі мікроеволюції виробляється нова властивість. Помічено, наприклад, що в колорадського жука виробляється імунітет до отрутохімікатів. Знаючи це, господарства в 10 разів перевищують концентрацію розчину, що згубно позначається на багатьох інших організмах. Недостатньо обґрунтованим є твердження, що застосування пестицидів дає змогу зберегти майже третину врожаю.

## **8.2. Заходи щодо зменшення негативного впливу агрохімікатів на навколишнє середовище**

З метою охорони здоров'я людей, навколишнього природного середовища в 1997 р. був ухвалений Закон «Про безпечне поводження з пестицидами і агрохімікатами». Згідно цього закону, державне управління в області безпечного поводження з пестицидами і агрохімікатами здійснює уряд безпосередньо або

через спеціально уповноважені ним органи виконавчої влади.

Для розробки і обґрунтування регламентів застосування пестицидів і агрохімікатів проводяться їх реєстраційні випробування, які включають [39]: визначення ефективності застосування пестицидів і агрохімікатів і розробку регламентів їх застосування; оцінку небезпеки негативної дії пестицидів і агрохімікатів на здоров'ї людей, розробку гігієнічних нормативів, санітарних норм і правил; екологічну оцінку регламентів застосування пестицидів і агрохімікатів; експертизу результатів реєстраційних випробувань пестицидів і агрохімікатів.

При розробці нових пестицидів і агрохімікатів повинна бути повністю виключена або зведена до мінімуму небезпека їх негативної дії на здоров'ї людей і навколишнє природне середовище. Виготівник зобов'язаний, зокрема, припинити реалізацію, утилізувати пестициди і агрохімікати у випадках, якщо безпечно їх застосування стає неможливим.

Зберігання пестицидів і агрохімікатів вирішується тільки в спеціалізованих сховищах. Забороняється безтарне зберігання пестицидів. Транспортування пестицидів і агрохімікатів допускається тільки в спеціально обладнаних транспортних засобах.

Знешкодження, утилізація, знищення і поховання пестицидів, що прийшли в непридатність або заборонених до застосування, і агрохімікатів, а також тари з-під них забезпечуються громадянами і юридичними особами відповідно до законодавства.

Серед ефективних засобів охорони навколишнього середовища не можна не назвати сівозміни для боротьби з шкідниками і хворобами рослин. Послідовна зміна сільськогосподарських культур запобігає накопиченню специфічних для тієї або іншої культури паразитичних організмів. Проте інтенсифікація землеробства припускає значне насичення сівозміни основною культурою, аж до переходу в окремих випадках до монокультур. У таких умовах застосування пестицидів стає невід'ємною частиною агротехніки.

Поява нових форм шкідників і патогенних мікробів, стійких до відповідних пестицидів, ставить перед наукою і виробництвом важке завдання постійної зміни цих пестицидів. Ще більш ситуація ускладнюється при переході

до монокультури, коли з року в рік на одній і тій же площі застосовують одні і ті ж отрутохімікати, що різко прискорює утворення стійких форм.

Запобігання накопиченню пестицидів в ґрунті і водоймищах можливо тільки при достатній інтенсивності мікробіологічних процесів, їх інактивації і руйнування. При тривалому застосуванні і накопиченні одного і того ж органічного пестициду в ґрунті вибірково концентрується мікрофлора, здатна утилізувати його. Якщо ж отрутохімікати постійно міняти, цьому процесу важко. Таким чином, виникає відома суперечність: з одного боку, швидка зміна препаратів перешкоджає виникненню стійких форм паразитів, з іншої — вона ж заважає накопиченню в ґрунті специфічної мікрофлори, здатної руйнувати конкретний отрутохімікат.

Є декілька напрямів зниження небажаних побічних ефектів.

Перший напрям — обмежене застосування препаратів. Розробляються інтегровані системи захисту рослин, що базуються насамперед на стійкому сорті, що доповнюється цілою системою мерів, що включають агротехнічні і інші нехімічні методи і лише разом з ними, — хімічні. При цьому вдається значно скоротити число хімічних обробок.

Інший напрям — синтез нестійких пестицидів, що швидко руйнуються, а також спеціалізованих з'єднань вузького спектру дії, що вражають тільки шкідливі організми.

Головними принципами раціонального використання пестицидів повинні бути: строгий облік екологічної обстановки на сільськогосподарських угіддях, точне знання критеріїв, при якій чисельності шкідливих і корисних організмів доцільне проведення хімічної боротьби. Хімічні прийоми слід поєднувати з агротехнічними, селекційними, організаційно-господарськими.

Висновок. В Україні здійснюється контроль за застосуванням пестицидів і їх залишками в різних середовищах (сільськогосподарській продукції, ґрунті, воді, повітрі), за рівнем забруднення навколишнього середовища агрохімікатами, вживаними в сільському господарстві, вмістом нітратів в ґрунтах і в рослинній продукції. Проте не можна сказати, що контроль за якістю сільськогосподарської продукції сьогодні ведеться повсюдно на належному рівні.

## Загальні висновки

Актуальність теми полягає, перш за все, у підвищенні продуктивності даної машини при збереженні показників її надійності.

В даній роботі ця проблема успішно вирішується, вдосконаленням насосного агрегату при проведенні певних розрахунків в результаті яких отримано:

1. При розрахунку циліндричної косозубої передачі, видно, що контактна міцність зубів забезпечується, тобто розрахункова величина контактних напруг менша допустимих

$$\sigma_H = 435,04 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{Hr} = 839,17 \text{ МПа.}$$

2. Розрахункова контактна напруга при дії максимального навантаження менша допустимої

$$\sigma_{H \max} = 687,86 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{Hr \max} = 2020 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{Hr \max_2} = 1824 \text{ МПа,}$$

значить, умова міцності виконується.

3. Розрахункова напруга згину менша допустимої напруги при розрахунку на витривалість

$$\sigma_F = 100,58 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{FP} = 353,14 \text{ МПа, значить, умова міцності виконується.}$$

4. Розрахункова напруга згину при дії максимального навантаження менша допустимої

$$\sigma_{FN} = 242,95 \text{ МПа, } \sigma_{FPN} = 1230,11 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

5. Розрахункова довговічність підшипників А і В (№ 208) вхідного вала насосного агрегату складає (при дії проти годинникової стрілки)

$$L_{h_A} = 91200 \text{ год; } L_{h_B} = 483000 \text{ год}$$

при необхідній  $L_{hmp} = 2240$  год.

Працездатність підшипників А і В вхідного вала забезпечується.

6. Розрахункова довговічність підшипників С і Д /№ 308/ вихідного вала насосного агрегату складає

$$L_{h_C} = 127000 \text{ год}; L_{h_D} = 31540 \text{ год}$$

при необхідній  $L_{hmp} = 2240$  год.

7. З розрахунку вхідного вала насосного агрегату на статичну міцність і витривалість витікає:

- в січеннях (див.рис. 2.5) вала коефіцієнти запасу міцності по границі текучості  $n_T$  і границі витривалості  $n$  більше мінімально допустимих значень

$$[n_T]=1,8 \text{ і } [n]= 1,8;$$

- коефіцієнт запасу по границі витривалості дорівнює

$$n_{I-I} = 5,8, \quad n_{II-II} = 6,83;$$

- коефіцієнт запасу по границі текучості дорівнює

$$n_{T_{I-I}} = 9,6, \quad n_{T_{II-II}} = 7,11.$$

Умова міцності виконується.

8. З розрахунку вихідного вала насосного агрегату на статичну міцність і витривалість витікають наступні висновки:

- в січеннях вала коефіцієнти запасу міцності по границі текучості  $n_T$  і границі витривалості  $n$  більше мінімально допустимих значень  $[n_T]=1,8$  і  $[n]= 1,8$ ;

- коефіцієнт запасу по границі витривалості дорівнює:

$$n_{I-I} = 40,9;$$

$$n_{II-II} = 30;$$

- коефіцієнт запасу по границі текучості дорівнює

$$n_{T_{I-I}} = 18,7;$$

$$n_{T_{II-II}} = 32,4.$$

Умова міцності виконується.

9. Розрахункова напруга при зминанні шпонок вихідного і вхідного валів

менше допустимих напруг:

$$[\sigma_{зм}] = 140 \text{ МПа};$$

- для шпонки вхідного вала 12x8x50

$$\sigma_{зм_1} = 104,715 \text{ МПа};$$

- для шпонки вихідного вала 12x8x45

$$\sigma_{зм_2} = 32,35 \text{ МПа};$$

- для шпонки вихідного вала 5x5x36

$$\sigma_{зм_3} = 89,35 \text{ МПа};$$

Міцність шпонок на зминання забезпечується.

Річний економічний ефект становить 73190 грн., а при визначенні терміну окупності встановлено, що його значення – 2,15 р.

В роботі також пророблені питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, а також екології.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Приготовлювач-транспортувальник робочих рідин ПТР-3.2. Технічний опис і інструкція з експлуатацій. – Львов, 1992. – 58 с.
2. Механізація захисту рослин / І.П. Масло, С.П. Тимошенко, Ю.Ф. Онуфрієнко та ін. - К.: Урожай, 1989.- 144 с
3. Бабій А.В. Визначення робочих навантажень приводного вала насосного агрегату / А.В. Бабій, Н.Р. Ратушняк, В.В. Кирніцький // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – С.40.
4. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины.- М.: Машиностроение. 1987.- 527 с.
5. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Под ред. Е.С. Босого. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с.
6. Rybak T. I., Babii A. V., Bortnyk I. M., Tsion G. B., and Konovalenko S. I. Estimation of resource of frame steel sections of barbell field sprinklers // Materials Science. - 2019. 55, No 6.– P. 68–74.
7. Andreikiv O.E, Lysyk A.R., Shtayura N. S., Babii A. V. Evaluation of the Residual Service Life of Thin-Walled Structural Elements with Short Corrosion-Fatigue Cracks // Materials Science. – 2017. 53, No 4.– P. 514–521.
8. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность.
9. Подшипники качения. Каталог-справочник, М., НИИНАВТОПРОМ, 1972.
10. ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые однорядные радиальные.
11. Ломакин А.А., Центробежные и осевые насосы, "Машиностроение" М.-Л., 1966.
12. Серенсен С.В., и др. Валы и оси, Машиностроение, М., 1970.
13. Анурьев В.Н. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. – М.: Машиностроение, 1982.- Т.1. – 736.; Т.2. – 584.;Т.3. – 576.

14. Автоматизация проектирования технологических процессов: Учеб. пособие / Антонюк В.С., Выслоух С. П., Аверченков В.И. – К.: УМК ВО,1989. – 116 с.
15. Аллик О.А. САПР. Системы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986. – 319 с.
16. Гавриш А.П., Ефремов А.И. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства. – К.: Техника, 1982. – 215с.
17. Яньков В.Ю. Лабораторный практикум по Маткаду. Модуль 3 Моделирование в Маткаде. Для преподавателей, аспирантов и студентов технических, технологических и экономических специальностей всех форм обучения..М., МГУТУ, 2009. – 68 с.
18. Горбацевич А. Ф. и другие. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. - Минск: Высшая школа, 1983. - 288 с.
19. Бабук В. В. Дипломное проектирование по технологии машиностроения. — Минск: 1979.-461 с.
20. Данилевский В. В. Справочник молодого машиностроителя. М.: Высшая школа, 1973. – 647с.
21. Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах., Том 2., Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985 – 495 с.
22. Н. А. Нефедов, К. А. Осипов. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. М.: Машиностроение 1990 - 445 с.
23. Режимы резания металлов. Справочник под ред. Ю. В. Барановского. - М.: Машиностроение 1972 - 407 с.
24. Великанов К.М. Расчет экономической эффективности новой техники. - 2-е издание .Москва. 1990. - 420с.
25. Матрин Ю.Н., Малахов И.Н. Выбор и оптимизация технико-экономических показателей машин.- Москва. 1987. - 140 с.
26. ГОСТ 23728-88. Методи економічної оцінки. Техніка сільськогосподарська.
27. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: ВНИИПИ, 1986. – 52 с.

28. Розенплентер А.Э., Сычев В.С., Чернышов С.П., Шур И.С. Основы технико – экономического анализа инженерных решений.- К.: Вища шк., 1989.-126 с.
29. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2003. — 215 с.
30. Автухов А.Г., Гряник Г.В. Охорона праці в сільському господарстві. – К.: Урожай, 1972. – 216 с.
31. Врочинский К. К., Маковский В. Н. Применение пестицидов и охрана окружающей среды. – Киев: Вища школа, 1979. – 208 с.
32. Мельников Н. И., Волков А. И., Короткова С. А. Пестициды и окружающая среда. – М.: Химия, 1977. – 240 с.
33. Боровский Ю.В. і ін. Гражданская оборона: Учебное пособие / Ю.В.Боровский, Г.Н. Жаворонков, Н.Д. Сердюков, Е.П. Шубин; Под ред. Е.П. Шубина. – М.: Просвещение, 1991. – 223 с.
34. Губський А.І. Цивільна оборона. Підручник для вищих учбових закладів. -К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.
35. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. Підручник / За ред. полковника В. С Франчука. — 2-ге вид., доп. — Львів, Афіша, 2001. — 336 с.
36. Потіш А.Ф., Медвідь В.Г., Гвоздецький О.Г., Козак З.Я. Екологія: Основи теорії і практикум. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Львів: «Новий світ», «Магнолія плюс», 2003. – 296 с.
37. Основи екології. Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй, І.Ю. Костіков., Київ «Либідь» 2004р., Міністерство освіти і науки України.
38. Охрана окружающей среды: Учебное пособие для техн. спец. вузов / С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козяков и др. Под. ред. Белова С.В.– М.: Высш. школа, 1991. – 319 с.
39. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек: Учеб. пособ. для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк.,1986. – 415 с.
40. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього рівня «бакалавр» / А.В. Бабій. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. Частина 1, 2018. – 48 с.

41. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 100 с.