

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ  
ІМ. ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: „Науково-методичні підстави надійності машин і технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини”

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62  
Спеціальності 208 „Агроінженерія”

(шифр і назва)

Чубко Андрій Юрійович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Рис В.І.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: \_\_\_\_\_

(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**  
**ІМ. ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
**Чубко Андрію Юрійовичу**

1. Тема роботи: **„Науково-методичні підстави надійності машин і технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини”**

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року.

3. Вихідні дані: 1. Аналіз технічного стану переробних машин на підприємствах; 2. Технічна характеристика машин для переробки сільськогосподарської сировини; 3. Науково-методичні основи формування та забезпечення показників надійності машин і процесів; 4. Методика математичного опрацювання статистичних даних; 5. Початкові дані розрахунків.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. Аналіз теорії і практичних досліджень надійності переробних машин і процесів.

2. Теоретичні засади формування та забезпечення показників надійності машин і процесів.

3. Методика досліджень.

4. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки та пропозиції.

Бібліографічний список.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
тема – 1-й слайд; мета роботи та завдання дослідження – 2-й слайд;  
властивості надійності – 3-й слайд; функції надійності та ненадійності елемента  
– 4-й слайд; Структурно-логічна схема КТБ надійності – 5-й слайд; схема  
формування надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської  
сировини – 6-й слайд; визначення і забезпечення показників надійності машин – 7-й  
слайд; основні причини відмов переробного обладнання – 8-й слайд; структурно-  
графічна модель технологічного процесу ремонту – 9-й слайд; результати  
дослідження показників надійності машин і технологічних процесів переробки  
сільськогосподарської сировини – 10-й – 15-й слайди; висновки – 16-й слайд.

#### 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	Рис В.І. к.т.н., в.о. доцента кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання першого розділу</i>	28.04.23-30.04.23	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Теоретичні засади формування та забезпечення показників надійності машин і процесів»</i>	01.05.23-29.06.23	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Методика досліджень»</i>	30.06.23-5.08.23	
4.	<i>Написання розділу: «Результати експериментальних досліджень та їх аналіз»</i>	6.08.23-2.10.23	
5.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	3.10.23-30.10.23	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації</i>	31.10.23-30.11.23	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	1.12.2-15.01.24	

Студент \_\_\_\_\_ Чубко А.Ю.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Рис В.І.

УДК: 631.3.004

Магістерська робота: 94 с. текст. част., 24 рис., 7 табл., 16 лист., 33 джерел.

Науково-методичні підстави надійності машин і технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини.

Чубко А.Ю. Кафедра АТС ім. проф. Олександра Семковича. – Дубляни, Львівський НУП, 2023.

Проаналізовано результати теоретичних досліджень і досягнення практики в галузі забезпечення надійності переробних машин і процесів, обґрунтовано мету і завдання роботи.

Обґрунтовано конструктивно-технологічний базис надійності переробних машин і процесів, розроблено організаційно-технологічне її забезпечення.

На основі програми і методики досліджень проведено експериментальне визначення показників параметричної і схемної надійності машин і потоково-технологічних ліній, на основі чого обґрунтовано оптимальну структуру лінії виробництва сметани.

Проаналізовано виробничі чинники і запропоновано заходи забезпечення охорони праці в переробних підприємствах.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
Скорочення термінів і фраз .....	9
<b>1. АНАЛІЗ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ПЕРЕРОБНИХ МАШИН І ПРОЦЕСІВ .....</b>	<b>10</b>
1.1. Надійність переробних машин і процесів. Властивості і показники надійності машин .....	10
1.2. Вітчизняний і зарубіжний досвід, щодо забезпечення надійності машин .....	15
1.3. Огляд теоретичних досліджень надійності машин і процесів ...	17
Висновки до розділу 1 .....	24
<b>2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН І ПРОЦЕСІВ .....</b>	<b>26</b>
2.1. Конструктивно-технологічний базис надійності машин і процесів .....	26
2.2. Конструктивно-технологічні чинники надійності переробних машин та напрями її забезпечення .....	29
2.3. Фізична і схемна надійність переробного обладнання та чинники, які їх обумовлюють .....	37
2.4. Організаційно-технологічне забезпечення надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини ....	42
Висновки до розділу 2 .....	45
<b>3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>46</b>
3.1. Програма та загальна методика експериментальних досліджень .....	46
3.2. Методи накопичення інформації про надійність переробних машин .....	49
3.3. Методика статистичної оцінки показників надійності переробних машин .....	51

3.4. Методика оцінки схемної надійності технічної системи .....	54
3.5. Методика моделювання надійності потоково-технологічних ліній і процесів для переробки сільськогосподарської сировини .....	56
Висновки до розділу 3 .....	60
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....	62
4.1. Аналіз технічного стану переробних машин .....	62
4.2. Дослідження показників надійності машин і потоково-технологічних ліній .....	66
4.3. Оцінка надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини .....	71
Висновки до розділу 4 .....	74
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	76
5.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт .....	76
5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві ....	77
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	79
Висновки до розділу 5 .....	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	85
ДОДАТКИ .....	88

## ВСТУП

Надійність різної техніки надзвичайно багатогранна проблема, яка відображає всі етапи існування об'єкту (від конструкторської ідеї до списання). Вона постійно знаходиться на стадії розвитку в процесі вдосконалення знань і вмінь людини, а також зміни умов служби різних об'єктів.

Підвищення надійності переробної техніки має велике економічне значення. Це пояснюється тим, що затрати на ремонт машин їх технічне обслуговування набагато перевищує їх початкову вартість і вирішення проблеми забезпечення надійності дозволить заощадити величезні кошти.

Наука про надійність техніки вивчає закономірності змін показників роботоздатності об'єктів з плином часу, а також фізичну природу відмов і на цій основі розробляти методи, які забезпечують із найменшими затратами часу і засобів необхідну довготривалість і безвідмовність роботи об'єктів.

Проблема забезпечення переробних машин і ПТЛ складається із взаємопов'язаних етапів, які можна розбити на три групи:

1. затвердження технічної ідеї, дослідження, проектування і розрахунок об'єкту визначеної надійності;
2. виробництво об'єкта;
3. експлуатація об'єкта.

Прогнозування можливої поведінки машин в передбачених умовах експлуатації, технологічне забезпечення якості і регламентація умов використання машин – основна схема системи управління надійністю.

Мета магістерської роботи – виявити, дослідити і описати причини і чинники, які впливають на показники надійності переробних машин і ПТЛ переробки і, тим самим підвищити їхню безвідмовність і довговічність роботи, що забезпечить ритмічне і безперебійне протікання процесів переробки сільськогосподарської сировини в товарну продукцію.

– підвищення ефективності процесів переробки сільськогосподарської сировини в товарну продукцію шляхом дослідження (означення) чинників, які впливають на показники надійності переробних машин і ПТЛ.

Виходячи із аналізу стану питання і мети дослідження в роботі поставлені наступні завдання:

- 1) виявити та дати якісну та кількісну оцінку факторам, які впливають на показники надійності машин та процесів переробки сільськогосподарської сировини;
- 2) дослідити параметричну надійність машин і апаратів для переробки сільськогосподарської продукції;
- 3) змодельовати та дослідити схемну надійність ПТЛ для переробки сільськогосподарської сировини та оцінити надійність технологічних процесів переробки.

Предмет дослідження – технологічні процеси переробки сільськогосподарської сировини, чинники, які впливають на надійність машини, ПТЛ і процесів. напрацювання переробних машин і ПТЛ на відмови різних видів.

Об'єкт дослідження – технологічні машини і апарати, повнокомплектні потоково-технологічні лінії для переробки сільськогосподарської сировини.



## Скорочення термінів і фраз

ТОБ – технічний об’єкт ( машина, елемент конструкції машини ).

ПТЛ – потоково-технологічна лінія для переробки сільськогосподарської сировини.

ТОР – технічне обслуговування і ремонт переробної машини, ПТЛ загалом.

ТСМ – система технічного сервісу переробних машин.

КР – капітальний ремонт машини.

ТППС – технологічний процес переробки сільськогосподарської сировини.

КТБ – конструктивно-технологічний базис процесу.

НПМ – надійність переробної машини.

НПП – надійність технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини.

ТП – технологічний процес.

ТЕС – технічна система (машина, ПТЛ)

МПП – мале переробне підприємство.

ЕТО – елементарна технологічна операція.

# 1. АНАЛІЗ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ПЕРЕРОБНИХ МАШИН І ПРОЦЕСІВ

## 1.1. Надійність переробних машин і процесів. Властивості і показники надійності машин

Надійність – властивість технічного об'єкту (ТОБ) (системи, машини, елемента) виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у визначених межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Надійність є одним із основних показників якості системи, елемента [7, 8, 13].

Останнім часом проблема надійності потоково-технологічних ліній (ПТЛ) переробки сільськогосподарської сировини, як технічних систем, технологічних машин і апаратів, як елементів, які входять до цих систем, значно ускладнилися через різке підвищення складності сучасних технічних об'єктів. І якщо навіть окремі елементи будуть мати високу надійність, то надійність всієї складної системи може бути і невисокою.

З підвищенням надійності всіх елементів, які входять в систему, надійність останньої буде збільшуватись. Тому, одним із основних завдань для забезпечення надійності сучасних технічних систем є завдання забезпечення переважаючого росту надійності елементів у відношенні до росту їх складності.

Окрім складності системи, існує ряд факторів, що потребують уваги до надійності сучасних систем. До них відносять: інтенсивність режимів роботи системи; складність умов, в яких працюють технічні системи; вимоги до якості роботи системи; відповідальність функції, які виконуються системами; виключення людини із процесу функціонування технічної системи [7, 8, 13].

До надійності сучасних технічних систем висуваються високі вимоги, оскільки їхня відмова викликає великі технічні та економічні втрати. Розробка методів забезпечення надійності технічних систем є основним в теорії надійності [7, 8, 13].

В теорії надійності один і цей же технічний об'єкт, залежно від вирішуваних завдань може розглядатися як система або як елемент системи. Якщо системою називати сукупність спільно діючих об'єктів, які призначені для виконання поставленого завдання, то елемент – це частина системи, призначеної для виконання визначеної функції в рамках загального завдання.

Висока надійність елементів може закладатись на етапі їх проектування і забезпечуватися на етапах виробництва та експлуатації. Найбільш впливає на високу надійність елемента етап проектування. Якщо в період проектування систем управління і контролю питанню надійності не приділено потрібної уваги, то наступне підвищення в надійності ТОБ процесі виробництва і експлуатації потребує значних трудових і економічних витрат. Шляхом покращення технології виробництва елементів і застосування наукової їх експлуатації без зміни конструкцій, схемних рішень і заміни ненадійних деталей важко досягти суттєвого підвищення надійності елементів. Однак низький рівень технології і неправильна експлуатація можуть звести нанівець зусилля, затрачені на підвищення надійності елементів в процесі проектування.

Надійність характеризується такими властивостями [7, 8, 13]:

1. безвідмовність;
2. довговічність;
3. ремонтпридатність
4. зберігальність.

Означення (кількісна оцінка) надійності ТОБ здійснюється за допомогою поодиноких і комплексних показників. Поодинокими показниками оцінюють окремі властивості надійності машин: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та зберігальність.

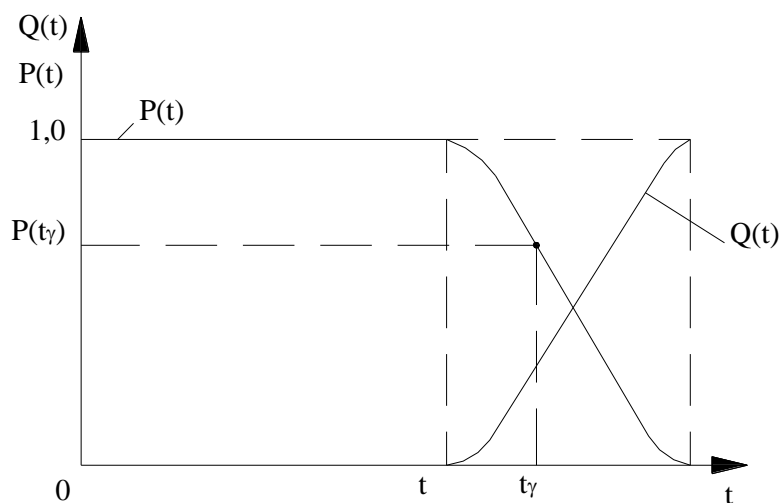
Безвідмовність – це властивість ТОВ (ТЕС) неперервно бути в роботоздатному стані, протягом заданого обсягу або терміну роботи.

Безвідмовність може бути кількісно оцінена такими показниками [8, 13]:

- імовірність безвідмовної роботи;
- імовірність відмови;
- інтенсивність відмов;
- середнє напрацювання до відмов;
- напрацювання на відмову та потік відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  є умовою того, що в інтервалі часу від 0 до  $t$  відмови не буде, а настане вона в інтервалі часу від  $t$  до  $t_1$ . Вона розраховується за формулою:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt, \quad (1.1)$$



де  $f(t)$  – густина розподілу напрацювання до відмови.

Рисунок 1.1 – Розподіл ймовірності відмови і безвідмовної роботи за час  $t$

Ймовірність відмови є різницею:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (1.2)$$

Інтенсивність  $\lambda$ :

$$\lambda = f(t) / P(t) \quad (1.3)$$

Середнє напрацювання до відмови  $T_{сер.}$  – це математичне сподівання напрацювання до першої відмови.

$$T_{сер.} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (1.4)$$

Напрацювання на відмову  $T_{сер.}$  – це середнє значення напрацювання технічного об'єкта (ТОБ) між двома послідовними відмовами.

Потік відмов оцінюють за допомогою наступних значень: середньої кількості відмов і густини імовірності виникнення відмов [7, 8, 13].

Довговічність – властивість ТОБ перебувати в роботоздатному стані до настання граничного стану за умови належної експлуатації, ТСМ і зберігання об'єкта.

Довговічність визначають за допомогою двох груп показників: ресурсу (напрацювання) і строку служби. До них відносять: середній ресурс; строк служби;  $\gamma$  – процентний ресурс і строк служби; призначений (повний) ресурс.

Середній ресурс (строк служби) – математичне сподівання ресурсу (строку служби). Розрізняють ресурс:

- доремонтний;
- міжремонтний;
- до списання.

Призначений ресурс – сумарне напрацювання ТОБ, після якого його експлуатація повинна бути обов'язково припинена, незалежно від технічного стану.

$\gamma$  (гама) – процентний ресурс (строк служби) напрацювання (строк служби) протягом якого ТОБ не досягне граничного стану з імовірністю  $\gamma_v$ . Його знаходять з графіка

$$P(t) = \gamma/100 \quad (1.5)$$

Ремонтопридатність – властивість ТОВ бути пристосованим до попередження і виявлення відмов, а також відновлення роботоздатного стану і ресурсу.

Ремонтопридатність має бути оцінена такими показниками [7, 8, 13]:

- доступності;
- розчленованості;
- легкознімкості;
- блочності;
- діагностованості;
- обслуговуваності;
- регулювальності;
- уніфікації;
- механізованості;
- імовірністю відновлення роботоздатного стану в заданий час;
- середньою тривалістю відновлення роботоздатного  $T_{\theta}$ .

Зберігальність – властивість ТОВ зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності протягом зберігання і транспортування і після них.

Зберігальність позначають за допомогою середнього та  $\gamma$ -%-го строку зберігання.

До комплексних показників надійності ТОВ відносять [7, 8, 13]:

- коефіцієнт готовності  $K_z$ ;
- коефіцієнт оперативної готовності  $K_{oz}$ ;
- коефіцієнт технічного використання  $K_{mv}$ .

$$K_z = T / (T + T_{\theta}) \quad (1.6)$$

$$K_{oz} = K_z \cdot P(t) \quad (1.7)$$

$$K_{mv} = T / (T + T_{\theta} + T_n) \quad (1.8)$$

де  $T_n$  – середня тривалість ТО на одну відмову.

ТППС – це сукупність елементарних технологічних операцій (ЕТО), які виконують неперервно в певній послідовності на кожному із видів технологічного обладнання ПТЛ з метою переробки сільськогосподарської сировини в напівфабрикат чи товарну продукцію за заданих технологічних режимів.

Надійність ТППС – це здатність виробляти товарну продукцію із заданими продуктивністю і якістю за регламентованих умов приймання і зберігання сировини, технологічних режимів і кваліфікації виконавців, а також визначеної системи ТСМ машин і апаратів ПТЛ.

Надійність технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини можна оцінювати такими показниками:

- рівень кваліфікації виконавців;
- рівень якості, яку забезпечує вибрана технологія переробки заданого виду сільськогосподарської сировини;
- комплексні показники надійності ПТЛ: коефіцієнти готовності, оперативної готовності та технічного використання;
- показники схемної надійності ПТЛ;
- рівень зберігальності сировини заданого виду;
- рівень якості сировини на вході ПТЛ.

## **1.2. Вітчизняний і зарубіжний досвід, щодо забезпечення надійності машин**

Під час експлуатації машин і ПТЛ переробки сільськогосподарської сировини підлягають різним зовнішнім впливам, під дією яких їх надійність знижується через появу несправностей. В результаті цього робочі процеси в машинах або порушуються або стають неможливими. Підтримання і відновлення справного і роботоздатного стану машин досягається їх технічним обслуговуванням і ремонтом (ТОР) [13, 20, 29].

В Україні діє планово-запобіжна система технічного сервісу переробних машин і ліній (ТСМ). Система технічного сервісу представляє собою комплекс організаційно-технічних заходів, які проводяться в плановому порядку або за потреби для забезпечення роботоздатного і справного стану машин і ПТЛ протягом всього терміну їх служби при дотриманні заданих умов і режимів експлуатації. Технічне обслуговування машин направлене на попередження передчасного понаднормативного спрацювання деталей і спряжень шляхом своєчасного проведення регулювальних робіт, змащування машини, виявлення дефектів і їх усунення.

Система планово-запобіжного технічного обслуговування і ремонту машин реалізується шляхом дотримання річних планів технічного обслуговування і ремонту, розробки і здійснення організаційно-технічних заходів, які забезпечують виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту у встановлені планом строки, організації систематичного обліку напрацювання машин.

В процесі експлуатації елементів системи управління важливо знати чи відповідає їх стан заданим технічним вимогам. Теорія, яка займається розробкою і дослідженням методів і засобів визначення дійсного стану ТОБ називається технічною діагностикою.

Технічний об'єкт, стан якого потрібно визначити, носить назву об'єкт діагнозу. Діагноз представляє собою процес дослідження об'єкта діагнозу. Результати діагнозу можуть бути використані для підвищення надійності об'єкта шляхом прийняття різного роду запобіжних заходів, тому діагностику можна віднести до одного із способів підвищення надійності технічних систем.

Завданням діагностики є [13, 20, 27, 29]:

- визначення роботоздатності об'єкта діагностики;
- визначення місця і причини несправності (пошук несправності) в об'єкті діагностики;



- прогнозування стану об'єкта діагностики на визначений період часу.

Організація робіт щодо забезпечення надійності машин за кордоном дещо відрізняється від вітчизняної, хоча наші фірми чи підприємства, які виробляють чи експлуатують дану техніку, також почали частково переймати досвід економічно розвинутих країн у галузі ТСМ.

Організація технічного обслуговування і ремонту переробних машин за кордоном відрізняється від нашої тим, що там торгівля і ремонт техніки організаційно поєднані (об'єднані), тобто фірма, яка виготовляє техніку, займається організацією технічного обслуговування ( в поняття „технічне обслуговування” входить і ремонт) через посередників-дилерів, дистриб'юторів і офіційних представників, які є агентами з продажу і технічного обслуговування техніки. Гарантійний термін ТО виконується безкоштовно, а по його закінченні – укладається з експлуатуючими підприємствами договір на подальше, але вже платне обслуговування.

Фірма до початку продажу техніки створює розгорнуту мережу технічного обслуговування , в яку входять: консультант-пункт, майстерня дилерів, склади запасних частин, навчальні центри і т.д.

Критерій доцільності ремонту – економічний фактор. Якщо вартість ремонту сягає більше 50% від вартості нової машини чи ПТЛ, то в такому випадку ремонт не проводять. Повністю ліквідувати шкідливі процеси неможливо, але сповільнити їх протікання можна шляхом проведення технічного обслуговування і поточних ремонтів, що забезпечить підтримання машини в робото-датному стані [13, 20, 27, 29].

### **1.3. Огляд теоретичних досліджень надійності машин і процесів**

Кількісними оцінками надійності ТОБ є ймовірність відмови  $q$ , тобто ймовірність того, що в заданому інтервалі часу станеться хоча б одна

відмова, а також імовірність безвідмовної роботи  $p$  – можливість того, що в заданому інтервалі часу або в межах заданого напрацювання не виникне жодної відмови. Ймовірність безвідмовної роботи є основною кількісною характеристикою надійності ТОВ. Ймовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови – події протилежні та не сумісні, тому [7, 8, 13, 22]:

$$p + q = 1 \quad (1.9)$$

або

$$p = 1 - q \quad (1.10)$$

Числове значення  $p$  лежить в межах від 0 до 1. Чим ближче числове значення до одиниці, тим надійніша є ПТЛ, машина (елемент).

Інтенсивність відмов  $\lambda$  – ймовірність відмов ремонтovanого виробу в даний момент часу або після нього, за умови, що відмова до цього часу не виникла. Інтенсивність відмов деякого елемента визначається кількістю відмов в одиниці часу великої кількості однакових елементів, винесених до середнього числа елементів, які справно працюють в даний проміжок часу:

$$\lambda(t) = \Delta n_x / n_x \cdot \Delta t ; \quad (1.11)$$

де  $\Delta t$  – інтервал часу;  $\Delta n_x$  – число елементів, які відмовили за час  $\Delta t$ ;  $n_x$  – середнє число роботоzдатних елементів до початку інтервалу  $\Delta t$ .

Інтенсивність відмов є важливим показником безвідмовності в теорії надійності. Для оцінки надійності системи, елемента поряд із імовірністю  $p(t)$  використовує густину розподілу відмов  $f(t)$  [7, 8, 13, 22]:

$$f(t) = dq(t) / dt = 1 - dp(t) / dt \quad (1.12)$$

при умові, що  $q(t)$  диференційована функція.

Функцію  $p(t)$  в теорії надійності називають функцією надійності, яка виражає ймовірність того, що  $T$  – випадкове напрацювання до відмови

елемента буде більше заданого напрацювання  $(0, t)$ , відрахованої від початку експлуатації. Функція надійності монотонно спадає від одиниці до нуля, оскільки виходять з того, що в момент включення ПТЛ (машина, система) роботоздатна, і з часом роботи відмовить.

Функцію  $q(t)$  називають функцією ненадійності елемента. На рис. 1.2. показані графіки однієї з можливих функцій надійності та відповідної їй функції ненадійності.

Встановимо зв'язок між імовірністю безвідмовної роботи  $p(t)$  та інтенсивністю відмов  $\lambda(t)$ . Оскільки інтенсивність відмов є умовною густиною імовірності відмов, причому умова задається у вигляді імовірності безвідмовної роботи  $p(t)$ , то можна стверджувати, що [7, 8, 13, 22]:

$$\lambda(t) = f(t) / p(t) = - dp(t)/dt \cdot p(t); \quad (1.13)$$

Представимо (1.13) у виді:

$$\lambda(t) = - d / dt \ln p(t) \quad (1.14)$$

Інтегруючи обидві частини рівності в межах від  $0$  до  $t$  із врахуванням того, що  $p(t=0) = 1$ , одержимо [7, 8, 13, 22]:

$$\int_0^t \lambda(\tau) d\tau = \ln p(t); \quad (1.15)$$

Звідси:

$$p(t) = \exp \left\{ \int_0^t \lambda(\tau) d\tau \right\} \quad (1.16)$$

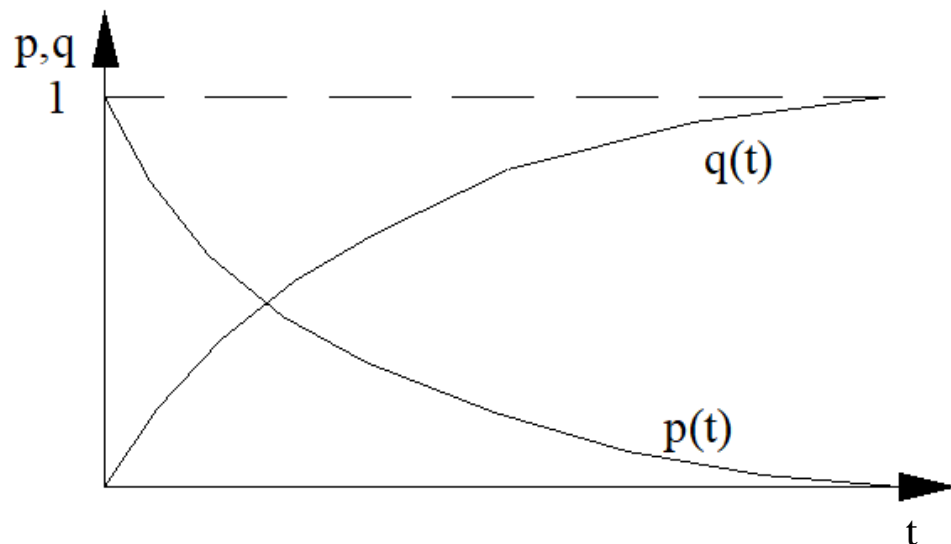


Рисунок 1.2 – Функції надійності та ненадійності елемента

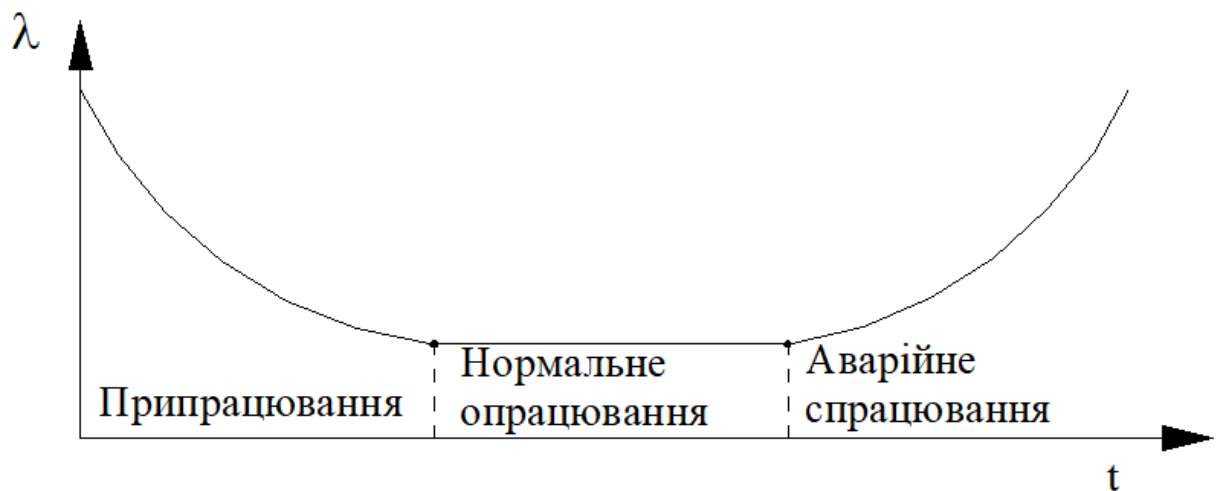


Рисунок 1.3 – Залежність інтенсивності відмов від часу

Таким чином інтенсивність відмов та імовірність безвідмовної роботи є характеристиками безвідмовності, пов'язані взаємоозначеною відповідністю. Можна задавати або імовірність безвідмовної роботи і згідно (1.14) вирахувати інтенсивність відмов або задавати інтенсивність відмов і згідно (1.15) вирахувати імовірність безвідмовної роботи.

Експериментальні дані та досвід експлуатації систем і елементів показують, що для елементів характерні наступні три види залежності інтенсивності відмов від часу, відповідних трьом періодам „життя” системи (машини) (рис. 1.3.) [7, 8, 13, 22]:

- інтенсивність відмов монотонно зменшується, що характерно для періоду припрацювання, на протязі якого проявляються всі дефекти, обумовлені технічними причинами, а не властивістю конструкції;
- інтенсивність відмов залишається майже постійною – це відповідає періоду нормального спрацювання, в цей період виникають, в основному, раптові відмови;
- інтенсивність відмов монотонно зростає, що свідчить про настання періоду аварійної роботи, викликаного граничним спрацюванням і старінням машини (її елементів), в цей період переважають поступові відмови.

Апроксимуючи етапи припрацювання і аварійного спрацювання деякими функціями, а етап нормальної експлуатації – прямою, можна згідно (1.15.) побудувати функцію надійності машини (системи) на всіх етапах експлуатації.

Одержання залежності  $\lambda(t)$  експериментальним шляхом є трудомісткою та дорогою процедурою. Менш вірогідним, але простішим шляхом визначення надійності машини (системи) є підбір відповідного теоретичного розподілу напрацювання до відмови за обмеженою вибіркою експериментальних даних, на основі якого може бути побудована функція надійності. Найчастіше в якості теоретичного закону розподілу надійності переробних машин застосовують: розподіл Вейбулла-Гніденка експонекційний розподіл, нормальний розподіл (Гауса-Лапласа), розподіл рівномірної густини, Релея і т.д.

Залежність інтенсивності відмов від часу роботи переробних машин чи ліній можна одержати, використовуючи для вірогідного опису випадкового напрацювання до відмови, дво параметричний розподіл Вейбулла-Гніденка.

Згідно цього розподілу імовірність безвідмовної роботи в інтервалі  $(0, t)$  рівна [7, 8, 13, 22]:

$$p(t) = \exp(-kt^\nu) \quad (1.17)$$

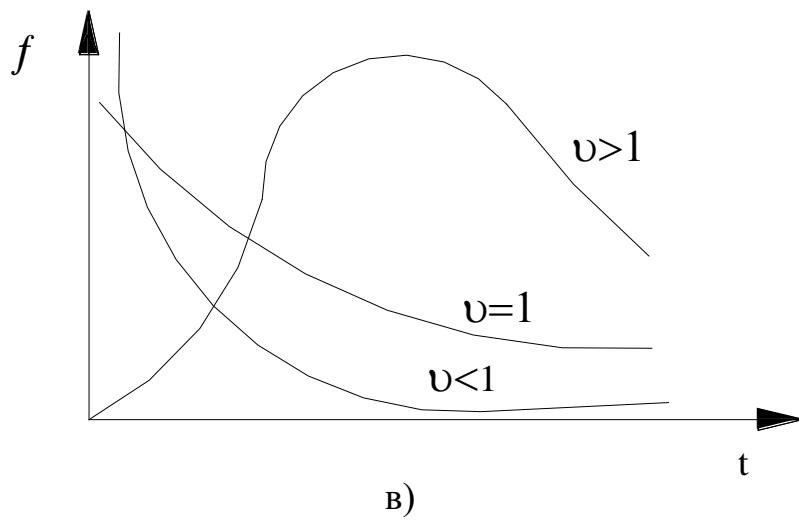
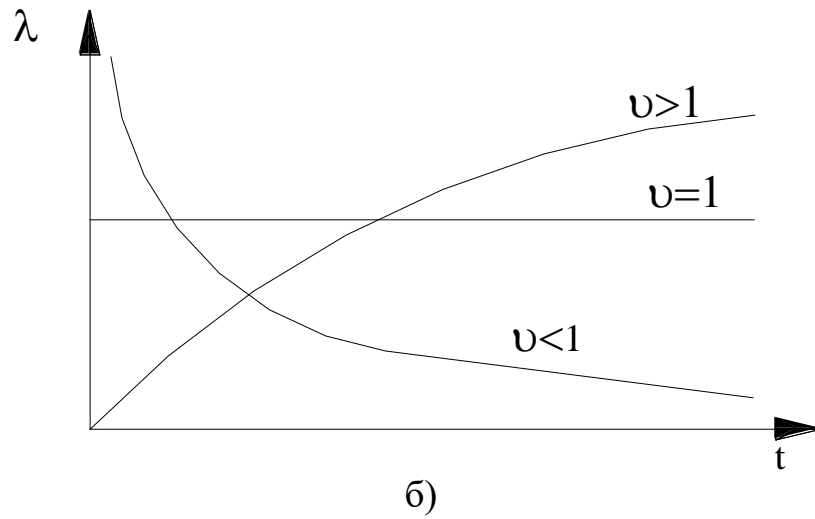
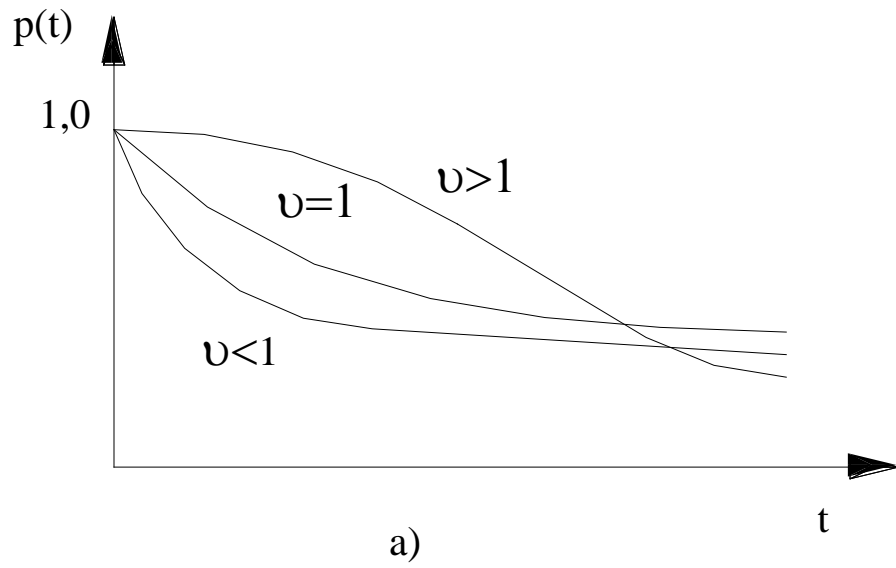


Рисунок 1.4 – Графіки розподілу Вейбулла-Гніденка

Із цього співвідношення випливає, що густина імовірності моменту виникнення відмови рівня [7, 8, 13, 22]:

$$f(t) = \kappa \nu t^{\nu-1} \exp(-\kappa t^\nu) \quad (1.18)$$

Вираз для визначення інтенсивності відмов за законом Вейбулла-Гніденка має вигляд:

$$\lambda(t) = f(t)/p(t) = \kappa \nu t^{\nu-1} \quad (1.19)$$

Із (1.19) випливає, що при  $\nu < 1$  інтенсивність відмов монотонно зменшується, а при  $\nu > 1$  монотонно зростає. (рис.1.4)

Параметр  $\kappa$  визначає масштаб: при його зміні крива розподілу стискається або розтягуються по горизонталі. Графіки  $p(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  для закону Вейбулла-Гніденка подані на рисунку 1.4.

Експоненціальний розподіл імовірності безвідмовної роботи описується виразом [7, 8, 13, 22]:

$$p(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.20)$$

Він досить часто є частковим випадком розподілу Вейбулла-Гніденка, коли параметр  $\nu = 1$ .

Із (1.19.) витікає що при  $\nu = 1$  інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \kappa = \text{const} \quad (1.21)$$

Велике значення для надійності багатьох деталей має частота їх вмикання і вимикання. Ріст частоти циклів вмикання і вимикання призводить до підвищення інтенсивності відмов. Інтенсивність відмов росте із

підвищенням навантаження на деталь, температури і вологості навколишнього середовища тощо.

До одного із методів підвищення надійності належить метод резервування. Цей метод полягає в тому, що переробне підприємство, яке експлуатує техніку має в своєму запасі вузли чи цілі переробні машини. Це дозволить при виході із ладу якоїсь машини максимально скоротити допустиму тривалість ремонту.

Допустима тривалість ремонту – це час, впродовж якого машина чи апарат може бути вилучена з механізованого процесу переробки без впливу на своєчасність виконання його операцій, тобто на показники надійності технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини (ТППС).

## **Висновки до розділу 1**

1. З підвищенням надійності всіх елементів, які входять в систему, надійність останньої буде збільшуватись. Тому, одним із основних завдань для забезпечення надійності сучасних технічних систем є завдання забезпечення переважаючого росту надійності елементів у відношенні до росту їх складності.

2. Надійність технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини – це здатність виробляти товарну продукцію із заданими продуктивністю і якістю за регламентованих умов приймання і зберігання сировини, технологічних режимів і кваліфікації виконавців, а також визначеної системи технічного сервісу переробних машин і апаратів потоково-технологічних ліній.

3. Система технічного сервісу потоково-технологічних ліній для переробки сільськогосподарської сировини представляє собою комплекс організаційно-технічних заходів, які проводяться в плановому порядку або за потреби для забезпечення роботоздатного і справного стану машин і ПТЛ



протягом всього терміну їх служби при дотриманні заданих умов і режимів експлуатації.

4. Організація робіт щодо забезпечення надійності машин за кордоном дещо відрізняється від вітчизняної, хоча наші фірми чи підприємства, які виробляють чи експлуатують дану техніку, також почали частково переймати досвід економічно розвинутих країн у галузі ТСМ.

5. Велике значення для надійності багатьох деталей має частота їх вмикання і вимикання. Ріст частоти циклів вмикання і вимикання призводить до підвищення інтенсивності відмов. Інтенсивність відмов росте із підвищенням навантаження на деталь, температури і вологості навколишнього середовища тощо.

6. До одного із методів підвищення надійності належить метод резервування. Цей метод полягає в тому, що переробне підприємство, яке експлуатує техніку має в своєму запасі вузли чи цілі переробні машини. Це дозволить при виході із ладу якоїсь машини максимально скоротити допустиму тривалість ремонту.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН І ПРОЦЕСІВ**

### **2.1. Конструктивно-технологічний базис надійності машин і процесів**

На даний час в Україні розробляється концептуальна лінія обґрунтування надійності переробних машин і процесів. Суть її полягає у визначенні особливостей конструктивно-технологічного базису, аналізі структури і динаміки часткових процесів комплексної переробки сільськогосподарської сировини, і внаслідок цього, в знаходженні залежностей між рівнем базису, з одного боку і різновидом технологічних процесів, їх організаційних систем і структури потоково-технологічної лінії (ПТЛ), з іншого [3, 8, 13, 14].

Основні етапи цієї теорії наступні: дослідження фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей перероблюваної сільськогосподарської продукції; визначення особливостей технології та обладнання для переробки сільськогосподарської сировини; дослідження показників надійності переробного обладнання та вивчення факторів, які їх обумовлюють; дослідження структури технологічного процесу переробки сировини (ТППС) як множини операційних і міжопераційних часових зв'язків; структурне графічне моделювання процесу, у вигляді векторного зображення елементарних технологічних операцій та його алгоритмізація; моделювання ТППС на ЕОМ, яке полягає у дослідженні показників ефективності і параметрів процесу, в функції від його динаміки; оптимізація ТППС, тобто визначення такого рівня динаміки і такої структури переробного виробництва, за яких забезпечуються вимоги до оперативності та якості переробки сільськогосподарської сировини і ефективне використання матеріальних та трудових ресурсів, які приймають участь в переробних процесах.

Технологічний процес переробки сільськогосподарської сировини в заданий вид товарної продукції – це сукупність технологічних операцій, які перебувають в часовій і просторовій взаємозалежності, перелік, зміст, тривалість і взаємне розташування яких формується під впливом конструктивно-технологічного базису, особливостей сільськогосподарської сировини, переробної технології та обладнання.

Надійність ТП переробки сільськогосподарської сировини в один чи кілька видів товарної продукції залежить від показників надійності технологічного обладнання. Ці показники суттєво залежать від конструктивно-технологічного базису процесів підтримання і поновлення роботоздатного стану (ресурсу) машин і апаратів, тобто виконання операцій їх технічного обслуговування та ремонту ТОР [3, 8, 13, 14].

Компонентам конструктивно-технологічного базису технологічних процесів ТОР машин притаманні властивості. *Об'єкт ремонту* – машина, характеризується особливостями конструктивного оформлення, характером з'єднання складальних одиниць, а також характером пошкоджень і спрацювань [3, 8, 13, 14].

З метою дослідження особливостей конструкції будують схеми розчленування машин кожної марки (структурна модель конструкції), яка представляє собою гранично розгалужений граф. Вершини цього графа символізують складальні одиниці і деталі, а зв'язки між вершинами (ребра) несуть інформацію про можливий порядок від'єднання – приєднання кожної такої одиниці і про спосіб їх кріплення між собою або до рами машини (різьбове, шлицьове, пресове і т.д.). Складальні одиниці, розташовані на однойменному рівні, мають однаковий доступ і можуть бути від'єднані одночасно. Наприклад, складальні одиниці розташовані на першому рівні, можуть бути від'єднані в першу чергу, складальні одиниці другого рівня – тільки після того як будуть зняті ті складальні одиниці першого рівня, з якими відповідні складальні одиниці другого рівня мають конструктивний зв'язок і т.д.

Для прикладу побудуємо моделі конструкції сепаратора Г9-КОВ, та визначимо кількість рівнів при розбиранні цієї машини на складальні одиниці та деталі, число складальних одиниць та деталей, складних з'єднань кожного виду (Додаток 1), а також виявимо існуючі конструкції та технологічні зв'язки [22, 28]. Кожен конструктивний або технологічний зв'язок між складальними одиницями має потенційні можливості в процесі ТОР перетворитися в технологічну операцію. Однак слід відмітити, що в процесі технічного обслуговування і планового поточного ремонту, на відміну від капітального ремонту (КР), приймають участь тільки ті складальні одиниці, які втратили роботоздатність, мають залишковий ресурс менше міжремонтного, а також ті, які конструктивно або технологічно пов'язані із перерахованими першими двома видами. Тому кількість і зміст технологічних операцій в багато чому залежить від передремонтного технічного стану кожної складальної одиниці, а трудомісткість ТОР, крім цього, від виду і технічного стану з'єднання між собою і до рами (корпусу) тих складових одиниць і деталей, які приймають участь у процесі.

На трудомісткість ТОР суттєво впливає пристосування даних машин до діагностики, регулювання і обслуговування. Наявність регульованих складальних одиниць дозволяє підтримувати їх роботоздатний стан, шляхом регулювання без ремонтних дій. До складальних одиниць належать редуктори, натяжні механізми, регулятори зазорів і частоти обертання, регулятори подачі та тиску і т.д.

Таким чином, властивості технології і необхідні в процесі ТОР види ремонтного обладнання залежать від передремонтного стану складальних одиниць деталей і особливостей конструкції машин для переробки сільськогосподарської сировини.

Місце конструктивно-технологічного базису (КБТ) надійності переробних машин (НПМ) зобразимо у вигляді структурно-логічної схеми (рис. 2.1.).

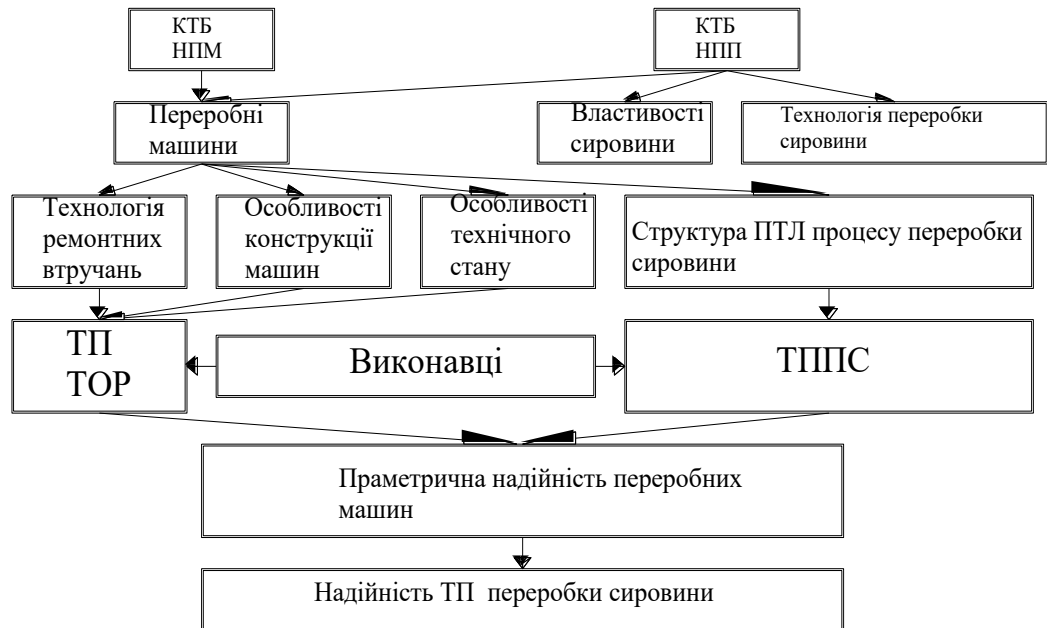


Рисунок 2.1 – Структурно-логічна схема КТБ надійності переробних машин і процесів

Таким чином КТБ надійності машин є невід’ємною складовою базису, що формує і забезпечує надійність технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини.

## 2.2. Конструктивно-технологічні чинники надійності переробних машин та напрями її забезпечення

В сучасних машинах для переробки сільськогосподарської сировини причиною експлуатаційних і ресурсних відмов (пошкоджень і руйнувань їх деталей) – є дія на них різних видів енергії (механічної, теплової, хімічної, електромагнітної) у вигляді різних полів або інших параметрів [14, 16, 27].

Деталі переробних машин пошкоджуються і руйнуються: під дією несучих навантажень  $F$ , швидкостей  $V$  і температури  $T$ , тобто факторів фізичного поля, від дії кислотного або лужного середовища (хімічне поле); внаслідок спільної дії фізичного і хімічного поля. В більшості випадків, одна

і та ж деталь або спряження піддається одночасній дії декількох факторів, але провідним буде один з них.

Крім багатьох факторів, які виникають під дією зовнішніх причин, деталі машин потерпають від пошкоджень і руйнувань під дією внутрішніх факторів. До них відносяться [14, 16, 27, 31]:

- 1) втома матеріалу, внаслідок перерозподілу внутрішніх напружень, що виникають в процесі структуро- і формоутворення деталей.
- 2) об'ємна газова корозія, яка виникає в процесі звичайного старіння, тобто намагання матеріалів повернутися у врівноважений стан, позбавитися від технологічної “спадщини”, (вони призводять до короблення деталі, утворення тріщин, зміни макро- і мікророзмірів окремих поверхонь, а також до повного руйнування деталі на окремі частини).

Руйнування деталей під дією фізичного поля. Пластичне деформування деталей виявляється у вигляді згину, скручення, розтягування або зминання окремих поверхонь. Це виникає під дією силових (статичних і динамічних) навантажень, які викликають збільшення напружень в матеріалі понад межу текучості.

Текучість – це властивість металів і їх сплавів деформуватися в пружно-пластичній зоні із залишковою деформацією після досягнення напруження в матеріалі понад визначене значення. На діаграмах розтягу (рис.2.2.) настання текучості часто виражається у вигляді майданчика, що виникає при напруженнях, які відповідають межі текучості  $\sigma_m$  (рис. 2.2.а).

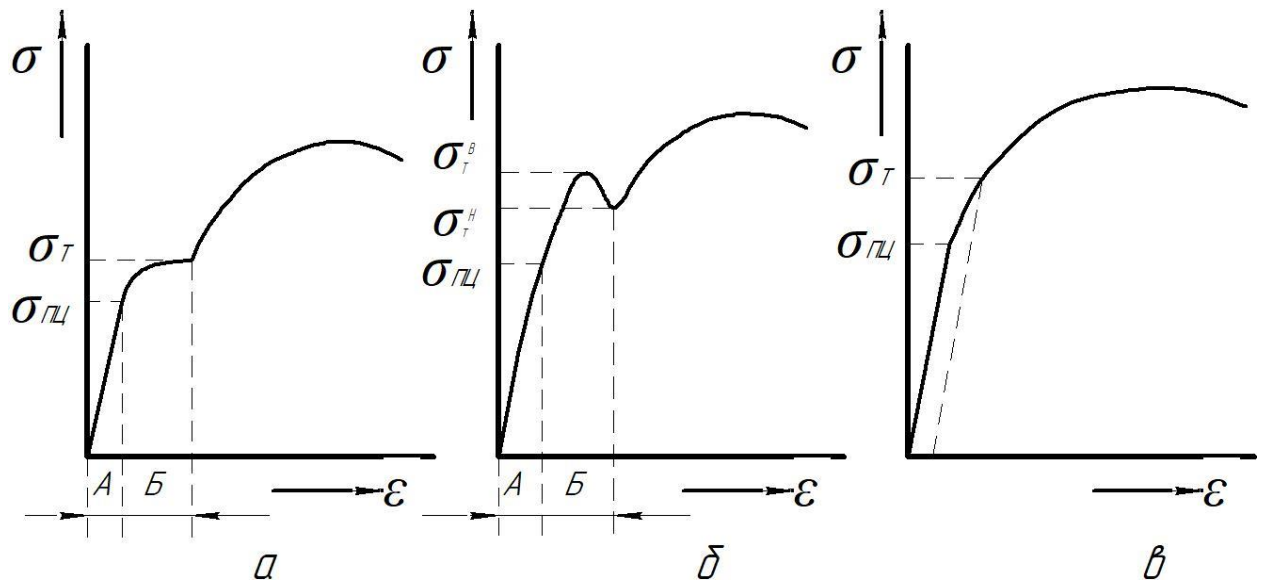


Рисунок 2.2 – Діаграми розтягу металів [21, 24, 25, 31]:

а) поява текучості у вигляді площадки; б) поява текучості у вигляді зуба; в) поступове наростання пластичної деформації.

А – зона пружності; Б – пружнопластична зона.

В металах з великою кількістю домішок і присадок (маловуглецеві сталі, з яких виготовляють більшу кількість деталей машини) настання текучості пов'язане із утворенням зуба текучості (рис. 2.2.б). Більшість якісних полікристалічних металів і сплавів не виявляє різко вираженої межі текучості: у них після досягнення межі пропорційності спостерігається поступове наростання пластичної деформації (рис.2.2.в). В цьому випадку визначають умовну межу текучості за значенням заданої пластичної деформації (0,2...0,3 %). Для порівняння чистих металів рівень межі текучості залежить від розміру зерна, згідно із рівнянням Холла-Потча:

$$\sigma_{T}^H = \sigma_0 + \kappa d^{-1/2} \quad (2.1)$$

де  $\sigma_0$  і  $\kappa$  – постійні металу;  $d$  – середній розмір зерна (мкм).

Крихке і в'язке руйнування. Крихке руйнування настає без попередньої деформації під дією нормальних напружень. В'язке руйнування

супроводжується значною попередньою деформацією, яку викликають дотичні напруження.

Втомне. Деталі, які несуть статичні та циклічні силові навантаження руйнуються внаслідок втоми. Втомне руйнування металів пов'язане із пластичною деформацією. Воно призводить до повної втрати роботоздатності деталей.

Руйнування може проходити трьома шляхами (рис.2.3.), але воно завжди закінчується утворенням тріщин аж до руйнування. Утворення субмікротріщин носить дислокаційний характер [21, 24, 25, 31].

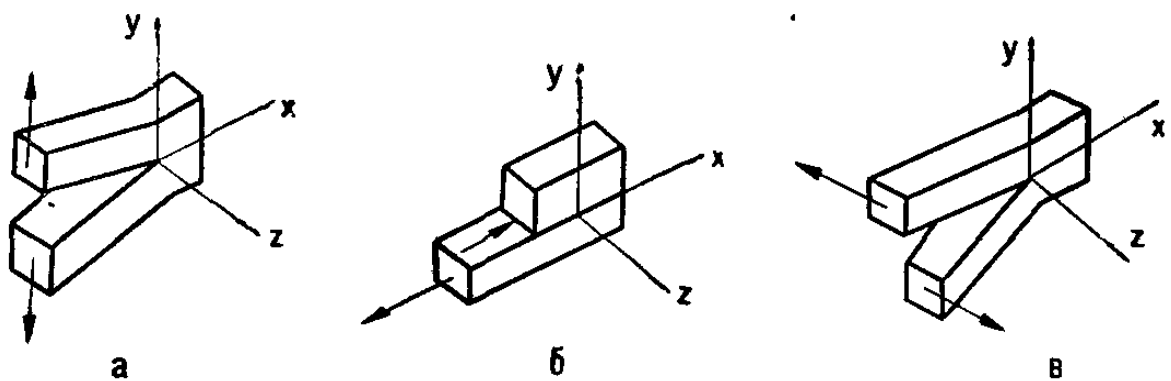


Рисунок 2.3 – Схема деформацій:

а) – навантаження розтягом; б) – навантаження зсувом (плоска деформація); в) – навантаження зсувом (антиплоска деформація)

Характер повторно-змінних напружень деталі може бути різним (рис.2.3.), цикл напружень характеризується максимальним  $\sigma_{max}$ , мінімальним  $\sigma_{min}$  напруженням амплітудою:

$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2 \quad (2.2)$$

середнім напруженням:

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 \quad (2.3)$$

і коефіцієнтом асиметрії циклу:

$$R = \sigma_{min} / \sigma_{max} \quad (2.4)$$

Використовуючи ці основні параметри, можна описати кожен із показаних на рис. 2.4. циклів напружень.



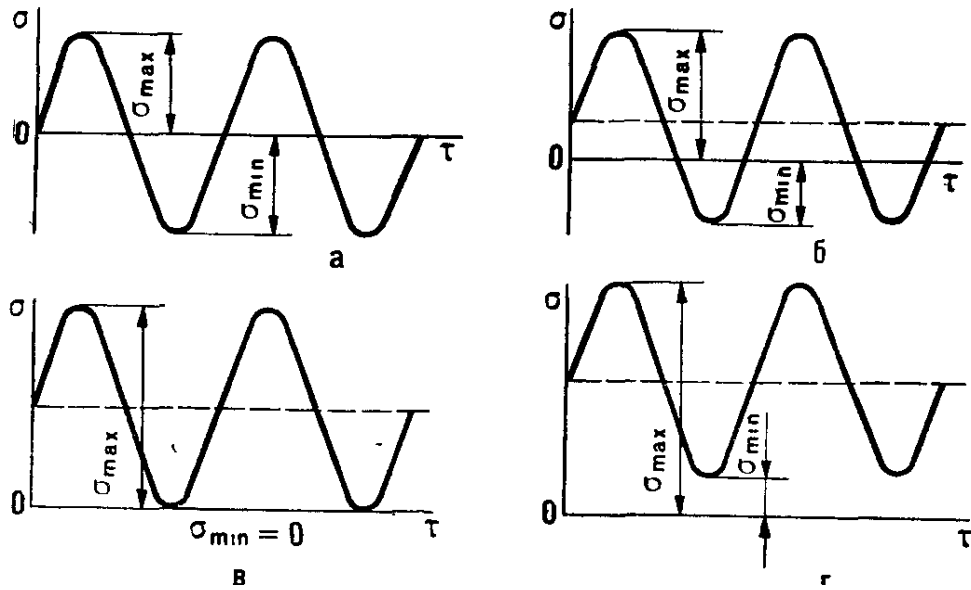


Рисунок 2.4 – Характер повторно-змінних напружень [21, 24, 25, 31]:  
 а – знаковмінний симетричний цикл; б – знаковмінний асиметричний цикл; в – пульсуючий цикл; г – знаковмінний цикл

Теплове руйнування настає під дією теплового поля, а плавлення і руйнування поверхні деталей виникають під дією електромагнітного поля в електроконтактних парах.

Підвищення надійності переробних машин ведеться за наступними основними напрямками.

1. Вибір довговічних матеріалів деталей і раціональне їх поєднання в парах тертя.

Деталі сучасних переробних машин, залежно від призначення, виготовляють із конструкційних, зносостійких, антифрикційних, фрикційних, антикорозійних та інших матеріалів. Найбільш застосовується: якісна конструкційна сталь (19-51 %), низьколегована сталь (29-63 %), сірий чавун (19-29 %), нержавіюча сталь (5-19 %), а також сплави на основі алюмінію.

Забезпечення нормальних умов роботи деталей при найменших втратах на тертя. Для надійної роботи деталей насамперед розрахунками визначають раціональні розміри тертьових поверхонь і їх геометричну форму та інші параметри.

Забезпечення необхідної точності та якості виготовлення деталей залежить від рівня використовуваного обладнання і точності розмірів робочих поверхонь деталей, а також від точності взаємного розташування цих поверхонь.

З підвищенням точності виготовлення деталей зменшуються початкові зазори в рухомих спряженнях і більш жорстко регламентуються натяги в нерухомих з'єднаннях, що значно підвищує довговічність машин, їх доремонтний ресурс. Суттєвий вплив виявляє шорсткість поверхні на статичну та динамічну міцність деталей машин.

Досягнення високих геометричних характеристик якості поверхонь можливо при використанні ряду принципово різних методів і оснащення, а саме: зрізання нерівностей поверхні, шляхом тонкого шліфування, хонінгування, суперфінішування і полірування, особливо із застосуванням синтетичних алмазів (паст, брусків, стрічок).

Вибір найбільш раціонального виду обробки для різних груп деталей і їх робочих поверхонь потребує науково-виробничої перевірки. Особливо перспективне вібронакатування (рис.2.5.) [16, 27].

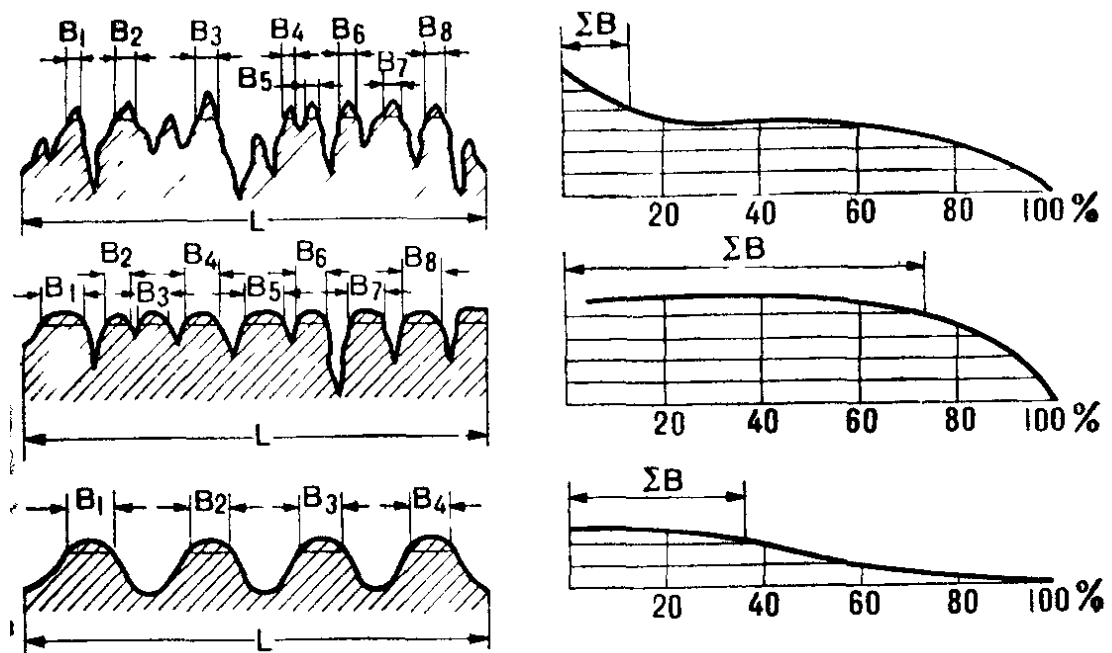


Рисунок 2.5 – Профілограми та криві опорних поверхонь при різних способах обробки: а) – точіння; б) – обкатування; в) – вібраційне накатування.

Спрацювання деталей при цьому значно знижується [16, 27].

Застосування зміцнення деталей і їх робочих поверхонь термічною та хімічно-термічною обробкою. Загартовані нагрівом струмом високої частоти деталі мають твердість HRC 54...62 і характеризуються високою зносостійкістю. Загартування нагрівом струмом високої частоти (СВЧ) позитивно впливає на втомну міцність, яка для сталі 45 підвищується вдвічі.

## 2. До експлуатаційних заходів підвищення надійності відносять:

Обкатка нових машин, фактично закладає основи довгої і безвідмовної роботи машин і повинна проводитися з поступовим підвищенням навантаження у відповідності з рекомендаціями заводу-виробника.

Забезпечення нормального режиму роботи переробної машини. Перевантаження машин, неправильне регулювання зазорів у з'єднаннях викликає порушення температурного режиму роботи тертьових поверхонь деталей, умов мащення, що призводить до форсованого їх спрацювання.

Збереження встановлених правил зберігання машин. Суворе дотримання вимог і рекомендацій заводу-виробника щодо застосування мастил і мастик для консервування машини на вільний від роботи період.

## 3. Планово-попереджувальна система ТСМ.

Організація технічного обслуговування – основна умова забезпечення надійності та економічної роботи переробних машин. Періодичність проведення технічного обслуговування машин необхідно чітко дотримуватися, відповідно до рекомендацій заводу -виробника.

Проведення періодичного технічного огляду і технічного діагностування стану машини, складальних одиниць і агрегатів. Періодичні технічні огляди – складова частина загальної системи технічного обслуговування і ремонту машин.

Миття та очищення, складальних одиниць і деталей. Миття та очищення деталей суттєво впливає на трудомісткість розбирання машини і складальних одиниць, якість дефектування і відновлення і, загалом, на

міжремонтний ресурс машини. З метою забезпечення технічних параметрів відремонтованих машин у визначених межах діючою стратегією ТОР регламентованого виконання тристадійного миття і очищення: повнокомпонентної машини; агрегатів і вузлів; деталей і метизів.

Розбирання і складання після ремонту. Розбирання машин, як і складання, повинно виконуватися тільки при стійкому положенні машини, агрегату або вузла. Від якісного і правильного порядку розбирання машини залежить можливість повторного використання деяких деталей.

Дефектуванням називають виявлення відповідності продукції вимогам, встановлених нормативною документацією. Дефектування деталей має за мету оцінити їх технічний стан і визначити придатність до подальшої експлуатації.

Відновлення деталей – це перспективний метод ремонту, який дозволяє надавати деталям властивостей, що відповідають встановленим нормативам.

Обкатування і випробування. Мають за мету забезпечити припрацювання рухомих з'єднань і виявити дефекти, які виникли в результаті допущених під час ремонту відхилень від технічних умов.

Випробування продукції – це експериментальне визначення значень параметрів і показників якості машин в процесі функціонування або при імітації умов експлуатації, а також при здійсненні певних дій на ТОБ за заданою програмою.

Фарбування та захист від корозії. Фарбування переробних машин здійснюється для надання естетичного вигляду, і для захисту їх від корозії. Робочі органи машини або деталі, які контактують із сільськогосподарською сировиною повинні не реагувати (ржавіти, окислюватися) з нею.

### 2.3. Фізична і схемна надійність переробного обладнання та чинники, які їх обумовлюють

Технічний сервіс машин (ТСМ), складовою частиною якого є планово-попереджувальна система ТОР, є об'єктивною необхідністю, що обґрунтовується випадковою дією на машину величезного числа об'єктивних і суб'єктивних факторів, і об'єктивною потребою відновлення і підтримання технічного ресурсу цієї машини.

Інженери-конструктори та інженери-технологи балансують між витратами на виготовлення і затратами на ТСМ створюваної машини, намагаючись відшукати оптимальне рішення. Чим вищими є показники параметричної надійності, тим вищі витрати на виготовлення і нижчі витрати на ТО і ремонт. Графічно це можна зобразити так [16, 27]:

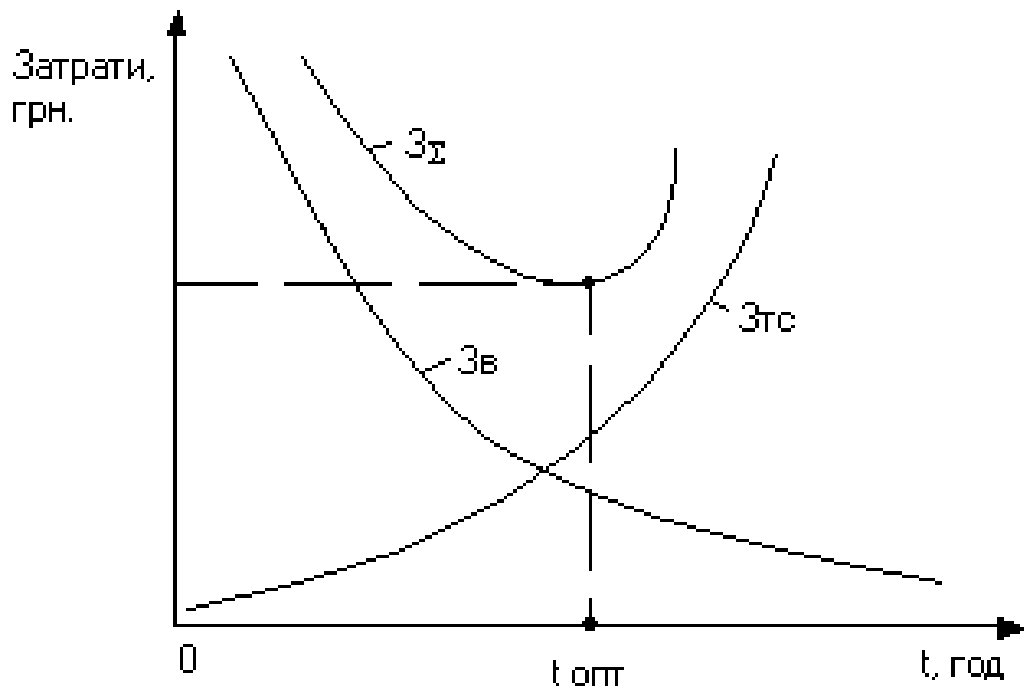


Рисунок 2.6 – Залежність між затратами і напрацюванням на відмову:

$Z_{\text{тс}}$  – питомі затрати на ТСМ;  $Z_{\text{в}}$  – питомі затрати на виготовлення;  
 $Z_{\Sigma}$  – сукупні питомі затрати

Забезпечення високих показників надійності переробних машин, як технічних систем, можливе за умови забезпечення рівновисоких показників надійності всіх складових елементів. Однак це суттєво позначається на

витратах на виготовлення. Тому знаходять варіант за мінімальних (min) сукупних витрат.

Виріб певного функціонального призначення – переробна машина, вузол, деталь – називають технічним об'єктом (ТОБ). Множина ТОБ, які призначені для самостійного виконання заданих функцій і, взаємодіючи між собою, утворюють єдине ціле – машину, ПТЛ – називають технічною системою (ТЕС).

ТОБ і ТЕС можуть перебувати в таких технічних станах [8, 16, 27]:

- 1) справному або не справному;
- 2) роботоздатному або не роботоздатному;
- 3) граничному.

ТОБ поділяють на :

- ремонтвані та не ремонтвані;
- відновлювані та не відновлювані;

Перехід із роботоздатного стану в не роботоздатний викликає подія, яку називають відмовою.

Класифікація відмов:

- 1) за природою - об'єктивні та суб'єктивні;
- 2) за характером – раптові та поступові;
- 3) за залежністю – незалежні та взаємопов'язані;
- 4) за ознаками – очевидні та приховані;
- 5) за ступенем втрат – експлуатаційні та ресурсні;
- 6) за причиною – конструкторські, технологічні, виробничі.

Надійність ТОБ і ТЕС – це здатність ТОБ і ТЕС протягом визначеного терміну зберігати в окремих межах значення всіх функціональних параметрів за умови транспортування, зберігання, експлуатації і ТС в заданих умовах і режимах.

Переробним машинам як ТОБ, які складаються із обмеженого числа елементів конструкції (деталі, складальні одиниці) та характеризуються

заданими робочими параметрами, значення яких визначені нормативно-технічною документацією, притаманна фізична або параметрична надійність.

Параметрична надійність – це ймовірність того, що за час функціонування ТОВ його параметри не вийдуть за граничні межі. Для розрахунку параметричної надійності необхідно знати: закон розподілу параметра або закономірність зміни його в часі або залежно від напруження, початкове та граничне значення цього параметра.

Параметри, які обмежують надійність ТОВ можуть бути: потужність, граничне спрацювання тертям, межа міцності на конкретний вид навантаження тощо. Граничний стан ТОВ визначають такі критерії: технічний, технологічний і економічний.

Переробні машини, так само як і ПТЛ, слід розглядати і досліджувати їх надійність як технічні системи. На відміну від ТОВ, технічним системам характерною і більш важливою є не фізична, а схемна (структурна) надійність.

Схемна надійність – це така властивість технічної системи, яка полягає у її здатності виконувати задані функції в певних умовах протягом обумовленого часу за відмови окремих елементів. Схемна надійність обумовлена рівнем фізичної або параметричної надійності окремих складових елементів (машин, агрегатів, деталей) і способи їх з'єднання між собою.

Для дослідження і аналізу схемної надійності ТЕС будують структурну модель надійності.

Структурна модель надійності відображає поділ системи на елементи і вплив елементів на надійність системи в цілому, без урахування фізичних процесів функціонування.

Складовими елементами системи можуть бути як деталі (при розгляді надійності вузла чи агрегату), вузли або агрегати (при розгляді надійності повнокомплектної машини) або технологічні машини і апарати в структурі ПТЛ.

Коли відмова одного складового елемента спричинює відмову системи, то таке з'єднання елементів вважають послідовним. Якщо відмова кожного елемента є незалежною подією, то імовірність  $P(t)$  безвідмовної роботи кожного з елементів  $P_i(t)$  [7, 8, 13]:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (2.5)$$

За однакової параметричної надійності елементів:

$$P(t) = P_i^n(t) \quad (2.6)$$

Отже для розрахунку схемної надійності систем слід знати значення параметричної надійності кожного з елементів.

ПРИКЛАД 1. Нехай вальцева дробарка складається з таких елементів (рис. 2.8.):

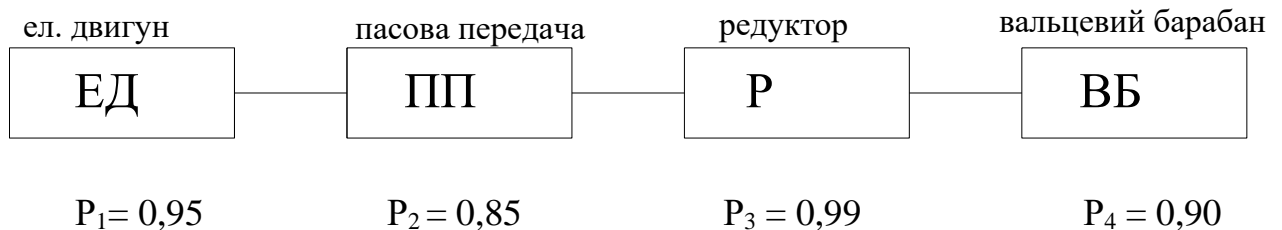


Рисунок 2.7 – Схема послідовного з'єднання елементів вальцевої дробарки

Згідно (2.5) схемна надійність дробарки така:

$$P(t) = 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,99 \cdot 0,90 = 0,72$$

Висновки:

1. Схемна надійність за послідовного з'єднання елементів менша від надійності найненадійнішого елемента.
2. Схемну надійність за послідовного з'єднання елементів можна підвищити шляхом підвищення надійності елементів, зменшенням їх кількості або резервуванням найненадійнішого елемента.



Ймовірність безвідмовної роботи елементів, які з'єднані паралельно, можна розрахувати за формулою [7, 8, 13]:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - (P_i(t))) \quad (2.7)$$

ПРИКЛАД 2. Лінія макаронної дільниці складається з двох технологічних машин: макаронного преса і шафи-сушильної. Оцінимо імовірність безвідмовної роботи дільниці за трьома схемами з'єднання машин у ПТЛ (рис. 2.9.)

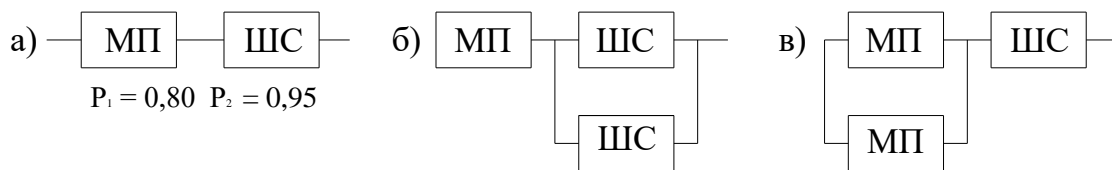


Рисунок 2.8 – Імовірність безвідмовної роботи макаронної дільниці за:  
 а) послідовного з'єднання машин; б) змішаного з'єднання машин із резервуванням менш надійної з них; в) змішаного з'єднання з резервуванням надійнішої з них.

СХЕМА а). Згідно (2.5):

$$P_c = 0,8 \cdot 0,95 = 0,76$$

СХЕМА б). Згідно (2.5), (2.6):

$$P_c = [1 - (1 - 0,95)^2] \cdot 0,8 = 0,80$$

СХЕМА в).  $P_c = [1 - (1 - 0,8)^2] \cdot 0,95 = 0,91$

Висновок: для підвищення надійності роботи ПТЛ в цілому резервувати слід найненадійнішу машину в структурі лінії.

## 2.4. Організаційно-технологічне забезпечення надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини

Щоб зрозуміти суть надійності технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини в малому переробному підприємстві (МПП) слід дати означення технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини (ТППС) [3, 19, 20].

Технологічний процес переробки сільськогосподарської сировини (ТППС) – це сукупність, множина елементарних технологічних операцій (ЕТО), які виконують безперервно в певній послідовності на кожному із видів технологічного обладнання ПТЛ з метою оперативної і якісної переробки сільськогосподарської сировини в напівфабрикат чи товарну продукцію при заданих технологічних режимах.

Чинниками ТППС є [3, 19, 20]:

- 1) сировина певного виду;
- 2) машини і апарати, що формують ПТЛ;
- 3) технологія, що визначає послідовність і режими виконання ЕТО;
- 4) виконавці.

Взаємодія цих чинників у часі, в динаміці і формує ТППС (рис. 2.9.).

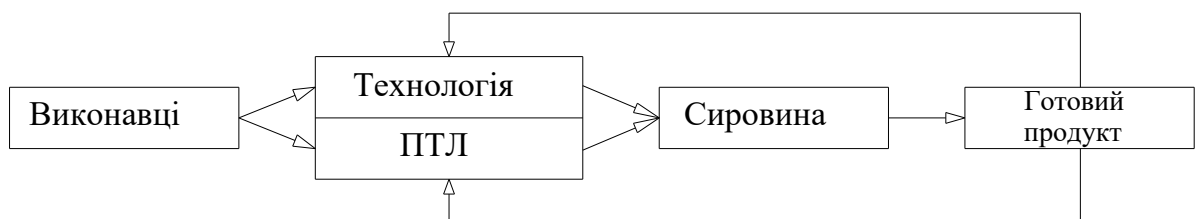


Рисунок 2.9 – Функціонально-логічна схема формування структури і динаміки ТППС.

Сировина і готовий продукт суттєво впливають на технологію і склад ПТЛ, оскільки з одного і того ж виду сировини можна виготовити декілька видів готового продукту.

Мета ТППС – оперативно і якісно переробити сировину у напівфабрикат чи готовий продукт з максимальним використанням обладнання і робочої сили та мінімальними енерго- і трудозатратами.

Надійність ТППС – це здатність виробляти товарну продукцію із заданими продуктивністю та якістю, за регламентованих умов приймання і зберігання сировини технологічних режимів і кваліфікації виконавців, а також визначеної системи ТСМ машин і апаратів ПТЛ.

Факторами, які визначають надійність ТППС є властивості його чинників [3, 19, 20].

Властивість виконавців – це їх кваліфікація та відношення до своїх обов'язків, які визначаються соціально-економічними умовами, тобто технологічна дисципліна.

Технологія характеризується режимами і певним рівнем якості готового продукту, який вона може забезпечити.

ПТЛ характеризується продуктивністю, певним рівнем структурної (схемної) надійності, який створюють своєю параметричною надійністю переробні машини і апарати, що входять до їх складу, а також безвідходністю.

Сировина характеризується певними показниками якості та зберігальності.

Отже чинники, які обумовлюють надійність ТП переробки сільськогосподарської сировини:

- 1) рівень кваліфікації та технологічної дисципліни виконавців;
- 2) продуктивність і надійність обладнання та ПТЛ в цілому;
- 3) режими, рівень якості і безвідходність, що забезпечує технологія;
- 4) якість і зберігальність сировини.

Особливості формування показників надійності технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини зображена у вигляді структурної схеми (рис. 2.10).

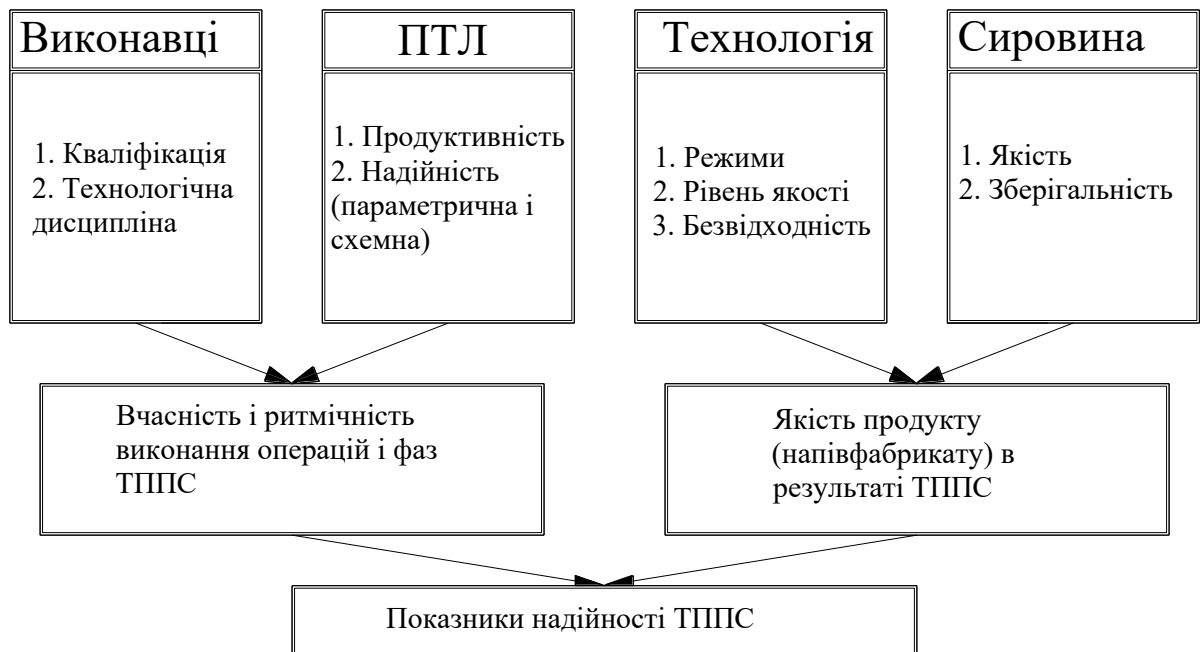


Рисунок 2.10 – Схема формування надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини в товарну продукцію

Надійність технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини можна оцінювати такими показниками [8, 19, 20]:

- рівень кваліфікації виконавців;
- рівень якості, яку забезпечує вибрана технологія переробки заданого виду сільськогосподарської сировини;
- ступінь безвідходності технології;
- комплексні показники надійності машини ПТЛ: коефіцієнт готовності, оперативної готовності та технічного використання;
- показники схемної надійності ПТЛ;
- рівень зберігальності сировини заданого виду;
- рівень якості сировини на вході ПТЛ.

Дослідження чинників і факторів, які впливають на показники надійності ТППС дозволить обґрунтувати оптимальну структуру ПТЛ, вимоги до сільськогосподарської сировини, виконавців процесу і технології переробки.

## Висновки до розділу 2

1. Надійність ТП переробки сільськогосподарської сировини в один чи кілька видів товарної продукції залежить від показників надійності технологічного обладнання. Ці показники суттєво залежать від конструктивно-технологічного базису процесів підтримання і поновлення роботоздатного стану (ресурсу) машин і апаратів, тобто виконання операцій їх технічного обслуговування та ремонту ТОР.

2. На трудомісткість ТОР суттєво впливає пристосування даних машин до діагностики, регулювання і обслуговування. Наявність регульованих складальних одиниць дозволяє підтримувати їх роботоздатний стан, шляхом регулювання без ремонтних дій. До складальних одиниць належать редуктори, натяжні механізми, регулятори зазорів і частоти обертання, регулятори подачі та тиску і т.д.

3. В сучасних машинах для переробки сільськогосподарської сировини причиною експлуатаційних і ресурсних відмов (пошкоджень і руйнувань їх деталей) – є дія на них різних видів енергії (механічної, теплової, хімічної, електромагнітної) у вигляді різних полів або інших параметрів.

4. Технічний сервіс машин (ТСМ), складовою частиною якого є планово-попереджувальна система ТОР, є об'єктивною необхідністю, що обґрунтовується випадковою дією на машину величезного числа об'єктивних і суб'єктивних факторів, і об'єктивною потребою відновлення і підтримання технічного ресурсу цієї машини.

5. Технологічний процес переробки сільськогосподарської сировини (ТППС) – це сукупність, множина елементарних технологічних операцій (ЕТО), які виконують безперервно в певній послідовності на кожному із видів технологічного обладнання ПТЛ з метою оперативної і якісної переробки сільськогосподарської сировини в напівфабрикат чи товарну продукцію при заданих технологічних режимах.

### 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма та загальна методика експериментальних досліджень

Для того, щоб виконати будь-яке наукове дослідження необхідно володіти достатньою інформацією про об'єкт і предмет дослідження. „Інструментом” для досягнення цієї мети служить методика виконання експериментального дослідження. Методика – це опис сукупності декількох методів або систем, прийомів і способів дослідження явища або процесу. Метод – це шлях дослідження або пізнання, спосіб організації практичного або теоретичного освоєння дійсності, обумовлений закономірностями об'єкта, що розглядається [2, 5, 22].

Дана магістерська робота виконувалась поетапно.

1. Отримання експериментальних даних про показники надійності переробних машин і оцінка ефективності роботи ПТЛ в цілому.
2. Виконання логічного аналізу отримання емпіричних даних.
3. Побудова робочої гіпотези.
4. Всестороння експериментальна перевірка робочої гіпотези.
5. Формулювання теоретичних положень про предмет магістерського дослідження і розробка способів їх практичного застосування.

Під час дослідження параметричної та схемної надійності переробних машин використовувались методи: графічного структурного моделювання, фотохронометрування, експертних оцінок, мікрометрування і статистичної обробки отриманих результатів. Для формування робочої гіпотези скористались методом аналізу і синтезу, а також методом аналогій. Перевірка вірогідності робочої гіпотези проводилась за допомогою методу алгоритмізації та моделювання ТППС на ПЕВМ.

Програма магістерського дослідження складалась з таких етапів:

1. Виявити і проаналізувати конструктивно-технологічні чинники, які впливають на показники надійності переробних машин.
2. Визначити показники надійності переробних машин.
3. Оцінити схемну надійність ПТЛ.
4. Виявити найненадійніші складові елементи із складу потоково-технологічних ліній.
5. Скласти структурну модель схемної надійності потоково-технологічних ліній.
6. Скласти блок-схему, математичну програму і виконати моделювання роботи ПТЛ на ПЕОМ.

Кількісні показники надійності можуть бути одержані різними шляхами: на основі аналізу даних експлуатації, за результатами стендових випробувань із наступним перерахунком на умови експлуатації; шляхом вимірювань значень функціональних параметрів із наступним порівнянням їх значень із практичними характеристиками матеріалів і деталей; розрахунковим шляхом тощо. Ефективність методів підвищення надійності також оцінюється показниками надійності. Необхідно вміти оцінити зміни показників надійності за конструкторсько-технологічними заходами підвищення надійності, за виробничими заходами та під час експлуатації машин [2, 5, 22].

В підвищенні надійності суттєву роль належить методам резервування, контролю якості та технічній діагностиці.

Розгорнута схема послідовності та забезпечення високих показників надійності наведена на рисунку 3.1.

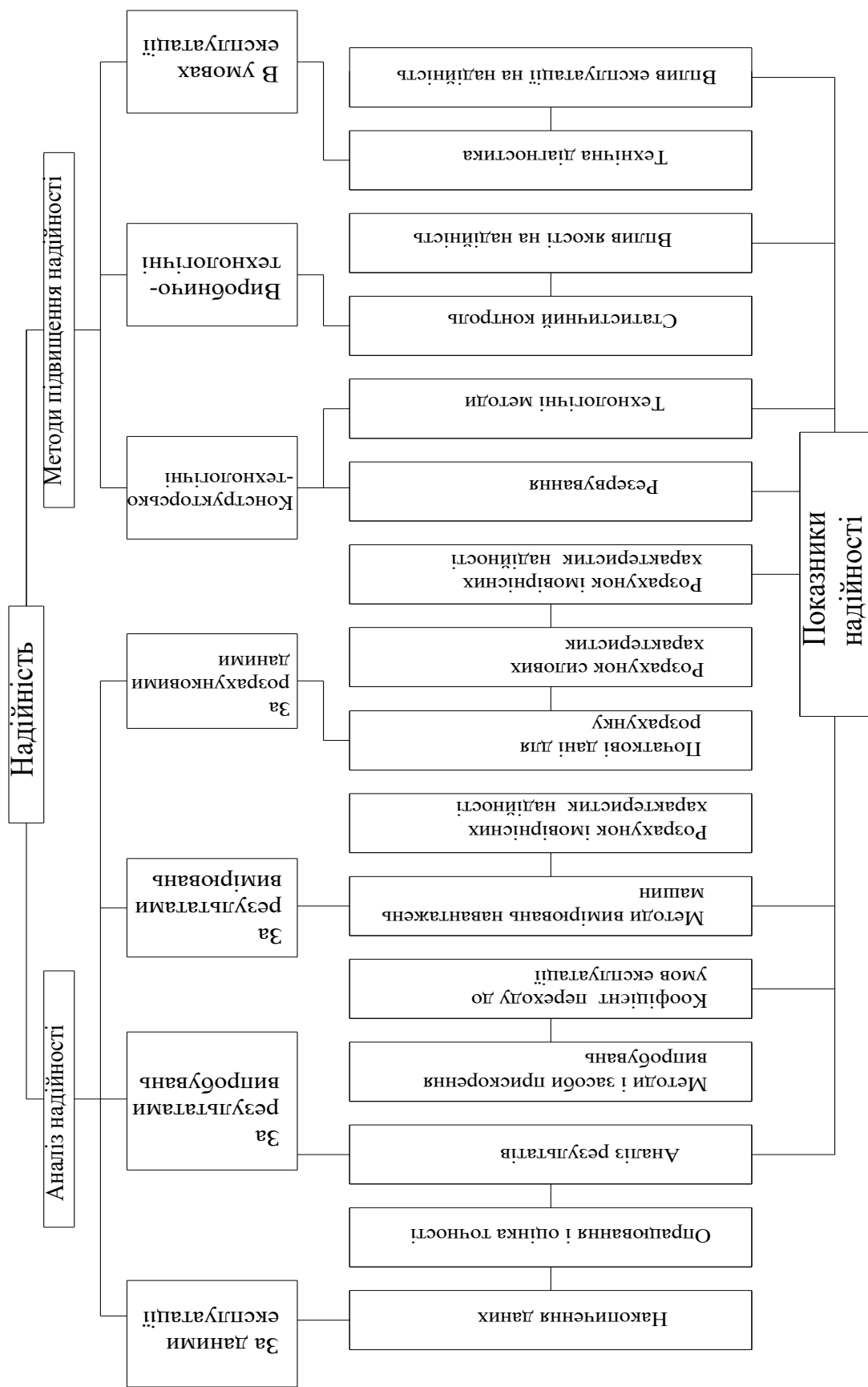


Рисунок 3.1 – Визначення і забезпечення показників надійності машин



Оскільки момент появи відмови і тривалість її усунення є випадковими подіями, то завдання визначення надійності потребує операцій з випадковими величинами, випадковими функціями і відповідно, повинна базуватися на застосуванні методів теорії ймовірності та математичної статистики, графічного моделювання та імітаційного дослідження за допомогою ПЕОМ.

### **3.2. Методи накопичення інформації про надійність переробних машин**

У зв'язку зі складністю процесів, які проходять в переробних машинах і які призводять до відмов конструктивних елементів, імітувати ці процеси в штучних умовах і з достатньою вірогідністю та достатньому обсязі досить непросто. Тому основним методом отримання вихідної інформації щодо відмов машин і їх елементів є випробування в умовах експлуатації. Але при цьому способі виникає ряд труднощів, для подолання яких необхідно розробити спеціальну систему накопичення та обробки інформації про надійність. Без застосування такої системи одержана інформація може виявитись не вірогідною, збиратись довгий час, що не дозволить використати її для розробки заходів підвищення надійності машин і ПТЛ в цілому.

Основні вимоги до системи збору інформації полягають в тому, що вона повинна мати кінцевою метою підвищення надійності переробної машини [2, 5, 22].

Конкретні форми і зміст збору інформації про надійність залежить від досліджуваної машини та особливостей її експлуатації. Тому важко вказати деталізовані заходи. Інформація про надійність повинна бути повною, вірогідною, дискретною, своєчасною, неперервною.

В результаті збору інформації повинні бути отримані наступні дані:

- найменування і марка машини;

- завод-виробник, кліматична зона;
- назва і адреса господарства, напрацювання за рік (сезон);
- загальне напрацювання за час експлуатації;
- назва деталі (вузла, які відмовили під час роботи);
- час настання відмови і час його відновлення (заміни, ремонту);
- зовнішній прояв відмови – ненормальні стуки, підвищений рівень шуму, вібрації, витікання мастильного матеріалу або робочої рідини і т.д.;
- причина відмови – недосконалість конструктивного рішення, не доброякісне виготовлення, монтажу, ремонту, профілактичного обслуговування, герметизуючих ущільнень, мастильних матеріалів або робочої рідини, динамічна невірноваженість недопустимими відхиленнями мікро- і макрогеометрії робочої поверхні, несумісність або непаралельність осей, засмічення трубопроводів, втрата пружності пружин, порушення строків технічного обслуговування і т.д.

Для збору всі перераховані дані зводяться в таблицю.

В індустрії, яка займається виробництвом переробних машин останнім часом чітко намітилися два види збору інформації про надійність: за допомогою суцільного хронометражу невеликого числа машин в умовах звичайної або підконтрольної (нормальної експлуатації), і періодично, за допомогою статистичного збору інформації про велику кількість в умовах нормальної експлуатації.

В таблиці 3.1. наведено рекомендовані співвідношення між різними видами збору інформації і про методи її обробки.

Таблиця 3.1 – Застосування методів збору і обробки інформації про надійність машин

Збір інформації				Обробка інформації		
Суцільний хронометраж, %	Вибірковий контроль, %	Масовий статистичний збір інформації, %	Інші методи, %	Ручна, %	Комбінована, %	Машинна, %
50	30	15	5	50	30	20

### 3.3. Методика статистичної оцінки показників надійності переробних машин

Для розрахунку показників надійності необхідно знати закони розподілу часу безвідмовної роботи виробу. Їх можна одержати шляхом статистичної обробки результатів експериментальних досліджень. Результати статистичних досліджень надійності виробів одержують у вигляді дискретного набору чисел, які відповідають напрацюванню ряду виробів до відмови або напрацюванням і відновленням виробів між відмовами [7, 8, 13].

За цими даними можуть бути визначені емпіричні закони розподілу і статистичної оцінки показників надійності. Вони отримали назву точкових, якщо експериментальні дані одержані не в достатньому обсязі, то їх називають неточними.

За невеликого обсягу експериментальних даних застосовують інтервальні оцінки, тобто розраховуються інтервали, в яких лежать із заданою вірогідністю значення знайдених точкових оцінок. Ширина інтервалу залежить від обсягу експериментальних даних.

Точкова оцінка. В результаті проведення випробувань одержують сукупність  $N$  напрацювань до відмови  $t$ , які характеризують надійність виробів (кінцева вибірка).

Емпіричну функцію розподілу можна побудувати таким чином. Розкид вибірки  $(t_{max} - t_{min})$  ділять на кілька рівних відрізків величиною  $\Delta t$ . Кількість ділянок залежить від числа значення  $t_i$  і може бути визначеною за формулою [1, 8, 13, 30]:

$$K = 5 \lg N, \quad (3.1)$$

При цьому

$$6 \leq K \leq 20$$

Відповідно

$$\Delta t = (t_{max} - t_{min})/K, \quad (3.2)$$

Для кожного інтервалу  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  підраховують абсолютні частоти ( $P_i$ ), тобто кількість  $n_i$  значень  $t_i$  (кількість відмов), які потрапляють в даний інтервал, віднесені до загальної кількості  $N$  даних виробів і відносять їх до інтервалу  $\Delta t$ . Одержані величини відкладаються на графіку. Графік побудований таким чином: представляє собою емпіричну густину розподілу часу безвідмовної роботи (середня частота відмов) [1, 8, 13, 30]:

$$f(t_i) = n_i / N\Delta t, \quad (3.3)$$

Величина накопиченої частоти є імпіричною функцією розподілу:

$$F_e(t_i) = \sum_{i=1}^{\kappa} n_i / N \quad (3.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу за емпіричними даними дорівнює:

$$P(t_i) = 1 - \sum_{i=1}^{\kappa} n_i / N, \quad (3.5)$$

Гамма – відсотковий ресурс визначають з рівняння:

$$P(t_{\Delta}) = 0.01 \gamma$$

Інтенсивність відмов за емпіричними даними визначаємо так:

$$\lambda(t) = n_i / N^l \Delta t, \quad (3.6)$$

де  $N^l$  – число справних виробів до моменту  $t$ ;

Середній час безвідмовної роботи виробу:

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^{\kappa} t_i / N \quad (3.7)$$

Дисперсію часу безвідмовної роботи:

$$D_t = \sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2 / (N - 1) \quad (3.8)$$

За великої кількості даних зручно користуватись для розрахунку  $T_{cp}$  і  $D_t$  формулами

За великої кількості даних зручно користуватись для розрахунку  $T_{ср}$  і  $D_t$  формулами [1, 8, 13, 30]:

$$T_{ср} = \sum_{i=1}^K t_i P_i; \quad (3.9)$$

$$D_t = \sum_{i=1}^K (t_i - T_{ср}) P_i; \quad (3.10)$$

Параметр потоку відмов:

$$\Lambda(t_i) = n_i / N_0 \Delta t; \quad (3.11)$$

де  $N_0$  – число виробів, які взяли до випробування;  $n_i$  – число відмов в інтервалі

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i; \quad (3.12)$$

Середнє значення параметру потоку відмов дорівнює

$$\Lambda_{ср} = n_0 / \sum_{i=1}^{n_0} t_i; \quad (3.13)$$

де  $n_0$  – сумарне число відмов для всіх виробів;

$\sum_{i=1}^{n_0} t_i$  – сумарне напрацювання всіх виробів.

Середнє напрацювання на відмову:

$$T_{ср.від} = \sum_{i=1}^{n_0} t_i / n_0 \quad (3.14)$$

Середнє значення параметру потоку відновлення і середній час ремонту будуть відповідно дорівнювати [1, 8, 13, 30]:

$$\Lambda_{ср.від} = n_0 / \sum_{i=1}^{n_0} t_{i \text{ в.н.}} \quad (3.15)$$

$$T_{ср.від} = \sum_{i=1}^{n_0} t_{i \text{ в.н.}} / n_0 \quad (3.16)$$

За емпіричними даними коефіцієнт готовності дорівнює:

$$K_z = T_{ср.о} / (T_{ср.від} + T_{ср.вн.}) \quad (3.17)$$

### 3.4. Методика оцінки схемної надійності технічної системи

Принципово будь-яку переробну машину можна розглядати як сукупність її складових частин, а ПТЛ – як набір машин і апаратів. Для оцінки надійності машин чи ПТЛ в цілому можна використовувати весь вказаний апарат. Але в цьому випадку не можна встановити причини недостатньої надійності машини чи лінії загалом.

Якщо відмова кожного елементу є незалежною подією, то ймовірність безвідмовної роботи системи може бути визначена як ймовірність того, що за час  $t$  всі елементи будуть працювати безвідмовно. За теоремою появи незалежних подій ймовірність безвідмовної роботи системи (машина, ПТЛ)  $P_c(t)$  рівна [1, 8, 13, 30]:

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t); \quad (3.18)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента системи.

Таким чином потрібно врахувати ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента і значення, які відповідають одним і тим же  $t$ , перемножити.

Оскільки ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента – величина менша одиниці, то при такому способі з'єднання елементів, ймовірність безвідмовної роботи системи при великій кількості елементів суттєво нижча, ніж кожного елемента.

За великої кількості елементів, які входять в машину, лінію, навіть при достатньо великій ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента, можна одержати дуже низьке значення ймовірності безвідмовної роботи системи.

На рис. 3.2 показана залежність ймовірності безвідмовної роботи системи  $P(t)$  від числа і ймовірності  $P_i(t)$  безвідмовної роботи елементів при умові, що всі вони рівно надійні. Як бачимо, підвищуючи надійність елементів, можна суттєво збільшити надійність системи [1, 8, 13, 30].

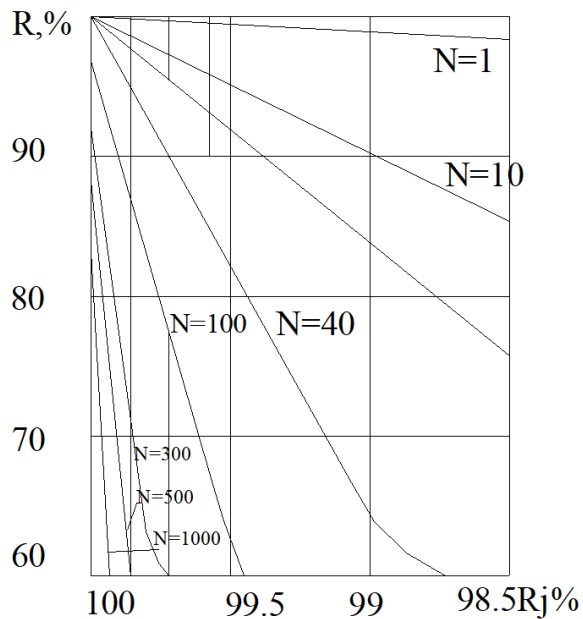


Рисунок 3.2 – Ймовірність безвідмовної роботи системи в залежності від чисел елементів і їх характеристик надійності

Приклад. Система складається із 100 однакових елементів. Ймовірність безвідмовної роботи елемента за час  $t_0$  рівне  $P_e(t_0) = 0.99$ . Визначимо ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P_c(t_0) = (0,99)^{100} = 0,00026$$

Нехай  $P_c(t_0) = 0,999$ , тоді

$$P_c(t_0) = P_c^{100}(t) = (0,999)^{100} = 0,912$$

*Надійність системи суттєво підвищується.*

Для відновлюваної системи за постійного параметра потоку відмов, що відповідає періоду нормальної експлуатації під дією раптових відмов за допомогою аналогічних викладок можна одержати вираз для середнього напрацювання на відмову.

$$T_{c'cp} = 1 / \left( \sum_{i=1}^n 1/T_{i,\phi} \right) \quad (3.19)$$

Приклад. Уявимо переробну машину, яка складається з трьох вузлів (двигун, редуктор, робочий орган), середнє напрацювання на відмову яких відповідно дорівнює  $T_1 = 200$  год,  $T_2 = 100$  год,  $T_3 = 50$  год. Визначимо середнє напрацювання на відмову системи

$$T_{c'cp} = 1 / (1/200 + 1/100 + 1/50) = 29 \text{ год.}$$

Таким чином, середнє напрацювання на відмову системи набагато нижча за середнє напрацювання найненадійнішого елемента.

### 3.5. Методика моделювання надійності потоково-технологічних ліній і процесів для переробки сільськогосподарської сировини

Основними і найповнішими характеристиками надійності відновлюваних технічних систем (ТЕС), якими є потоково-технологічні лінії (ПТЛ) і технологічні процеси переробки сільськогосподарської сировини (ТППС) загалом, (оскільки надійність останніх, в першу чергу, визначає надійність ПТЛ), є функція готовності  $G(t)$  [1, 8, 13, 30].

Функція готовності ТЕС – це ймовірність того, що в будь-який момент часу  $t$  система перебуває в роботоздатному стані, тобто її ймовірність безвідмовної роботи  $P_c(t)$  в проміжку часу  $(t, t + \Delta t)$  буде безумовною. В наших дослідженнях вважаємо, що контроль за станом ТЕС ведеться неперервно, а відновлення роботоздатного стану у випадку відмови якогось із елементів системи розпочинається негайно.

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи ТЕС необхідно врахувати, що напрацювання до і на відмову кожного з її елементів, які входять до складу системи, буде неоднаковим. Тому, насамперед необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи кожного з елементів  $P_i(t)$ , а після цього розраховувати  $P_c(t)$ .

З метою визначення функції  $G(t)$  для потоково-технологічних ліній будують структурну схему (модель) надійності (рис. 3.3)

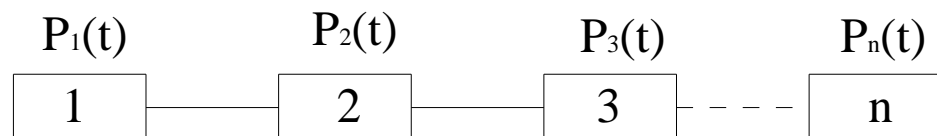


Рисунок 3.3 – Структурна схема (модель) надійності ПТЛ за послідовного з'єднання елементів машин). 1,2,3,...,  $n$ -машини;  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ ,  $P_3(t)$  ...  $P_n(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи машини.



Розрахунок надійності ПТЛ можна здійснити за відомою методикою (п. 3.4.)

Однак в технологічних процесах переробки сільськогосподарської сировини на показники їх надійності впливає не тільки надійність машин і ПТЛ загалом, але й властивості інших факторів, а саме: кваліфікація і технологічна дисципліна виконавців, вхідна якість і зберігальність сировини, режими і рівень забезпечуваної якості та безвідходність технологій. Всі ці показники суттєво впливають на надійність ТППС. Тому для таких складних систем слід будувати не структурні схеми, а структурно-логічні функціональні моделі, в яких окремі елементи можуть повторюватись більше одного разу. Для розв'язання задачі оцінки надійності технічної системи слід застосовувати методи ймовірності логіки та імітаційного моделювання.

Позначимо через  $a_i$  подію, що  $i$  - й елемент системи (машина, виконавець, сировина, технологія) цілковито відповідає регламентованим вимогам, а через  $\overline{a_i}$  – протилежну і не сумісну з першою подією. Нехай в результаті аналізу функціональної моделі деякої системи (ТППС) виявилось, що подія  $A$ , тобто надійна робота системи, відбудеться у випадку здійснення хоча б одного поєднання подій  $a_1...a_{14}$  (рис. 3.4):

- |                         |                          |                          |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1) $a_1; a_2; a_3; a_4$ | 6) $a_1; a_2; a_4; a_5$  | 11) $a_7; a_3; a_4; a_5$ |
| 2) $a_1; a_2; a_3; a_5$ | 7) $a_1; a_2; a_4; a_6$  | 12) $a_7; a_2; a_3; a_6$ |
| 3) $a_1; a_2; a_3; a_6$ | 8) $a_7; a_2; a_4; a_6$  | 13) $a_7; a_2; a_3; a_5$ |
| 4) $a_1; a_3; a_4; a_5$ | 9) $a_7; a_2; a_4; a_5$  | 14) $a_7; a_2; a_3; a_4$ |
| 5) $a_1; a_3; a_4; a_6$ | 10) $a_7; a_3; a_4; a_6$ |                          |

Подія  $A$  в такому випадку є логічною сумою поєднання елементарних подій  $a_i$ . Побудуємо структурно-логічну функціональну модель надійності системи. З цією метою складаємо якнайповнішу групу елементарних подій. Під час цього користуємось наступними правилами математичної логіки: за паралельного поєднанням елементарних подій – їх сумуємо, а за послідовного – перемножуємо.

Згідно методу імовірнісної логіки, складна подія  $A$  для цієї системи буде виразом [1, 8, 13, 30]:

$$A = (a_1 + a_7) \cdot [a_3 \cdot (a_2 + a_4)(a_5 + a_6) + a_2 \cdot a_4 (a_3 + a_5 + a_6)] \quad (3.20)$$

Якщо розділити модель на дві частини, то система буде працювати, якщо в лівій підмоделі буде хоча б одна подія  $a_1$  або  $a_7$ , а в правій: події  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  або хоча б дві з них, або одна із подій  $a_5$  чи  $a_6$ . Згідно цього:

$$A = (a_1 + \bar{a}_1 a_7) [a_2 \cdot a_3 a_4 + (a_5 + \bar{a}_5 a_6) (\bar{a}_2 a_3 a_4 + a_2 \bar{a}_3 a_4 + a_2 a_3 \bar{a}_4)] \quad (3.21)$$

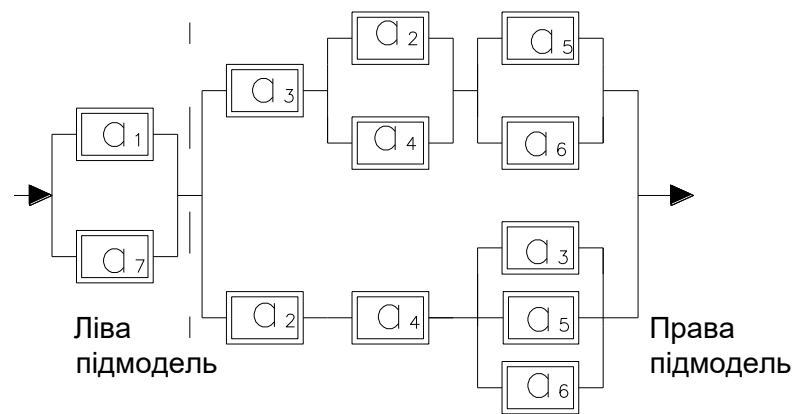


Рисунок 3.4 – Структурно-логічна функціональна модель технічної системи

Якщо імовірність настання події (безвідмовної роботи)  $a_i$  позначимо  $p_i$ , а протилежної не сумісної з нею події  $q_i$ :

$$q_i = 1 - p_i \quad (3.22)$$

то вираз (3.21) матиме вид:

$$P(A) = (p_1 + q_1 p_7) [p_2 p_3 \cdot p_4 + (p_5 + q_5 p_6) (q_2 p_3 p_4 + p_2 q_3 p_4 + p_2 p_3 q_4)] \quad (3.23)$$

Тому для оцінки надійності потоково-технологічних ліній і технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини необхідно:

- 1) визначити і кількісно оцінити чинники, які визначатимуть надійність складної системи, тобто події  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ ;
- 2) розрахувати імовірності настання кожної із подій:  $a_i$  та  $\overline{a_i}$ ;
- 3) скласти структурно-логічну функціональну модель системи;
- 4) скласти алгоритм і математичну програму, та здійснити імітаційне моделювання роботи системи.

Моделюючи на ПЕОМ функціональну модель ТППС, побудованою за вказаною методикою можливо розрахувати за значенням  $P(A)$  функцію його готовності  $G(t)$  і виявити чинники, які її знижують.

### Висновки до розділу 3

1. Для того, щоб виконати будь-яке наукове дослідження необхідно володіти достатньою інформацією про об'єкт і предмет дослідження. „Інструментом” для досягнення цієї мети служить методика виконання експериментального дослідження. Методика – це опис сукупності декількох методів або систем, прийомів і способів дослідження явища або процесу. Метод – це шлях дослідження або пізнання, спосіб організації практичного або теоретичного освоєння дійсності, обумовлений закономірностями об'єкта, що розглядається.

2. Оскільки момент появи відмови і тривалість її усування є випадковими подіями, то завдання визначення надійності потребує операцій з випадковими величинами, випадковими функціями і відповідно, повинна базуватися на застосуванні методів теорії ймовірності та математичної статистики, графічного моделювання та імітаційного дослідження за допомогою ПЕОМ.

3. У зв'язку зі складністю процесів, які проходять в переробних машинах і які призводять до відмов конструктивних елементів, імітувати ці процеси в штучних умовах і з достатньою вірогідністю та достатньому обсязі досить непросто. Тому основним методом отримання вихідної інформації щодо відмов машин і їх елементів є випробування в умовах експлуатації. Але при цьому способі виникає ряд труднощів, для подолання яких необхідно розробити спеціальну систему накопичення та обробки інформації про надійність. Без застосування такої системи одержана інформація може виявитись не вірогідною, збиратись довгий час, що не дозволить використати її для розробки заходів підвищення надійності машин і ПТЛ в цілому

4. Для розрахунку показників надійності необхідно знати закони розподілу часу безвідмовної роботи виробу. Їх можна одержати шляхом статистичної обробки результатів експериментальних досліджень. Результати

статистичних досліджень надійності виробів одержують у вигляді дискретного набору чисел, які відповідають напрацюванню ряду виробів до відмови або напрацюванням і відновленням виробів між відмовами.

5. Принципово будь-яку переробну машину можна розглядати як сукупність її складових частин, а ПТЛ – як набір машин і апаратів. Для оцінки надійності машин чи ПТЛ в цілому можна використовувати весь математичний апарат з математичної статистики. Але в цьому випадку не можна встановити причини недостатньої надійності машини чи лінії загалом.

6. Оскільки імовірність безвідмовної роботи кожного елементу – величина менша одиниці, то при такому способі з'єднання елементів, імовірність безвідмовної роботи системи при великій кількості елементів суттєво нижча, ніж кожного елемента. За великої кількості елементів, які входять в машину, лінію, навіть при достатньо великій імовірності безвідмовної роботи кожного елемента, можна одержати дуже низьке значення ймовірності безвідмовної роботи системи.

7. Однак в технологічних процесах переробки сільськогосподарської сировини на показники їх надійності впливає не тільки надійність машин і ПТЛ загалом, але й властивості інших факторів, а саме: кваліфікація і технологічна дисципліна виконавців, вхідна якість і зберігальність сировини, режими і рівень забезпечуваної якості та безвідходність технологій. Всі ці показники суттєво впливають на надійність ТППС. Тому для таких складних систем слід будувати не структурні схеми, а структурно-логічні функціональні моделі, в яких окремі елементи можуть повторюватись більше одного разу. Для розв'язання задачі оцінки надійності технічної системи слід застосовувати методи ймовірності логіки та імітаційного моделювання.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 4.1. Аналіз технічного стану переробних машин

Згідно методики досліджень магістерської роботи вивчали технічний стан технологічних машин і апаратів, які входять до складу потоково-технологічних ліній (ПТЛ) в малих переробних підприємствах (МПП) різної спеціалізації і потужності в Стрийському та Пустомитівському районах Львівської області та м. Львів.

Метою експериментальних досліджень було виявити відмови машин і напрацювання їх у годинах до кожної відмови. Результати цих досліджень спрямовані на виконання п.1 програми досліджень – виявити і проаналізувати конструктивно-технологічні чинники, які визначають показники надійності машин для переробки сільськогосподарської сировини.

Під час дослідження технічного стану машин застосовували методи:

- технічної діагностики;
- мікрометрування;
- хронометрування;
- експертних оцінок;
- графічного моделювання.

Для аналізу особливостей конструкцій і їх впливу на технічний стан переробних машин та їх показники надійності були побудовані графічні моделі конструкції машин. Приклад моделі конструкції сепаратора Г9 – КОВ показано в Додатку 1. Дані моделі дають змогу виявити конструктивні взаємозалежності між складальними одиницями і деталями, вплив конструкцій на рівень складності технологічного процесу відновлення роботоздатного стану машини, а також тривалість відновлення  $T_e$ .

В результаті досліджень технічного стану переробних машин виявлено дефекти і пошкодження, які призвели до відмов обладнання

(Додаток 2). В результаті аналізу технічного стану переробного обладнання виявлено основні причини відмов:

а) недоліки конструкції (невдале компонування, незахищеність складальних одиниць і деталей від впливу шкідливих чинників, недосконалість системи мащення і мастил);

б) технолого-машинобудівні недоліки (застосування не відповідних і не якісних матеріалів, наявність в деталях прихованих дефектів, не якісне виготовлення і обробка поверхонь, порушення технології складання і обкатування машин);

в) порушення технології монтажу і налагодження обладнання;

г) експлуатаційні причини (відхилення від оптимальних режимів роботи, перевантаження машин, несвоєчасність і низька якість ТО та ремонту обладнання).

Аналізуючи результати дослідження технічного стану переробного обладнання (Додаток 2) складемо перелік найімовірніших пошкоджень, руйнувань і спрацювань деталей та складальних одиниць (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Перелік найімовірніших пошкоджень, руйнувань і спрацювань деталей і складальних одиниць переробних машин.

Назва елемента конструкції машини	Вид і характеристика відмови
1	2
1. Підшипники	Крихке і втомне руйнування, абразивне і теплове спрацювання, контактне схоплювання, послаблення посадки на валі та в корпусі;
2. Вали і осі, шлицьові, зубчасті та шпонкові з'єднання	зміна посадки, деформування (згин, скручування, зминання), об'ємне руйнування, спрацювання посадочних місць;
3. З'єднювальні та компенсувальні муфти	зрізання, зміна міцнісних і пружних властивостей, биття;
4. Зубчасті передачі	зміна зазорів (бокового і радіального), зломи і викришування зубів, спрацювання зубів по висоті та товщині;

Продовження табл. 4.1.

1	2
5. Ланцюги	руйнування або спрацювання елементів (роликів, пальців і пластин);
6. Паси	розтягування, втрата еластичності, розрив;
7. Різьові з'єднання	послаблення, зміна установки, змінання, зріз;
8. Електротехнічні прилади і системи	незворотні зміни фізико-хімічних властивостей деталей, пониження електричної міцності та опору ізоляції, перегрів і розплавлення деталей, порушення контакту, замикання;
9. Гідравлічні та пневматичні системи	втрата герметичності, розрив трубопроводів і арматури, заїдання і заклинювання деталей запобіжних, розподільчих і регулювальних пристроїв.

Для визначення теоретичної мінімально можливої тривалості відновлення роботоздатного стану переробних машин  $T_{e \min}$ , залежно від їх технічного стану і стратегії ремонтно-обслуговуючих дій, та порівняння цього показника з експериментально визначеною середньою тривалістю відновлення  $T_e$  необхідно побудувати структурні графічні моделі процесу їх ремонту.

Для побудови таких моделей, тривалості операцій визначено методом фотохронометрування у виробничих умовах, а їх перелік і взаєморозташування в часі та просторі диктують модель конструкції і технічний стан машини. На рис. 4.1 показана графічна модель процесу ремонту сепаратора Г9-КОВ.



Технологічна операція	$t_{op}$ хв	Графічна модель процесу	Технологічна операція	$t_{op}$ хв
1. Зняти манометр	1,2		15. Запресувати нижні підшипники	6,3
2. Зняти кран	1,8		16. Запресувати верхні підшипники	7,2
3. Витягнути ущільнення	1,7		17. Встановити вал	5,4
4. Зняти кришку	1,6		18. Встановити ущільнення	1,2
5. Демонтувати тарілки	2,1		19. Встановити напрямні тарілок	1,1
6. Зняти напрямні тарілок	1,4		20. Встановити тарілки	1,8
7. Зняти ущільнення	1,2		21. Встановити кришку	4,3
8. Зняти вал	3,2		22. Встановити ущільнення	1,2
9. Випресувати верхні підшипники	5,6		23. Встановити кран	3,1
10. Випресувати нижні підшипники	7,4		24. Встановити монometr	2,7
11. Очистити помити деталі	10,2		25. Випробувати сепаратор	5,3
12. Продефектувати вал	15,4			
13. Продефектувати верхні підшипники	21,6			
14. Продефектувати нижні підшипники	20,4			

$$M = 1mm - 0,5 \text{ хв}$$

Рисунок 4.1 – Структурно-графічна модель технологічного процесу ремонту сепаратора Г9-КОВ

З даної структурної моделі визначаємо теоретичну мінімально можливу тривалість процесу  $T_e^{min} = 88,1$  хв. Наступний крок нашого дослідження – це визначення показників надійності переробних машин і потоково-технологічних ліній в цілому, а саме: імовірностей безвідмовної роботи  $P(t)$ , напрацювання на відмову  $T$ , середньої тривалості відновлення роботоздатного стану  $T_e/\Sigma$  та коефіцієнта готовності  $K_2$ .

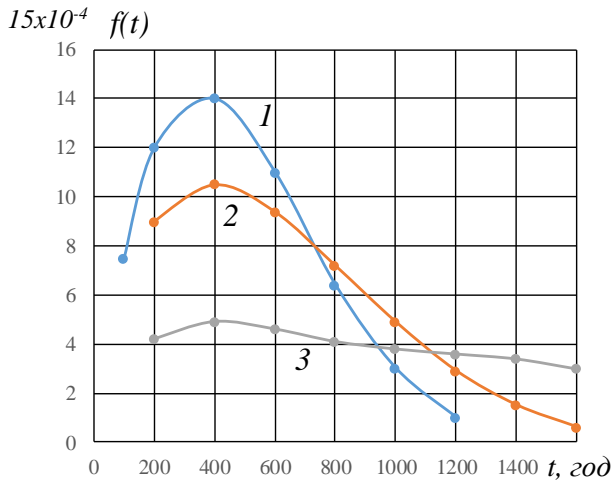
#### **4.2. Дослідження показників надійності машин і потоково-технологічних ліній**

Для кількісної оцінки надійності машин для переробки сільськогосподарської сировини за допомогою як індивідуальних, так і комплексних показників, досліджували моменти виникнення відмов, вид і характер кожної відмови, напрацювання машин в годинах роботи до появи першої відмови, інтервали часу між відмовами, тривалості відновлення кожної відмови. З цією метою застосовували методи накопичення інформації про надійність переробних машин згідно методики, що описана в підрозділі 3.2.

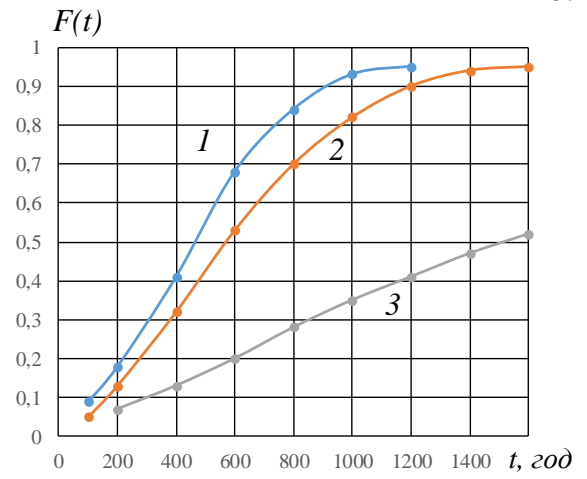
Отримана інформація є сукупністю незалежних випадкових величин, кожна з яких характеризується диференціальною та інтегральною функціями розподілу або густиною ймовірностей вибірки певного розміру. Оскільки тривалість випробувань і розмір вибірки наших спостережень були обмеженими, тому отримана інформація про надійність переробних машин не може бути вичерпною і статистичні висновки, які базуються на таких вибірках, зроблені з певною довірчою ймовірністю, або вірогідністю. Статистичну обробку інформації про надійність технологічних машин і апаратів виконано за методикою (п. 3.3), що базується на основі типових.

В результаті досліджень встановлено, що показники надійності машин описуються, переважно, законом розподілу випадкових величин Вейбулла-Гніденка, хоча трапляються нормальний розподіл (Гауса-Лапласа) і показниковий (експоненційний).

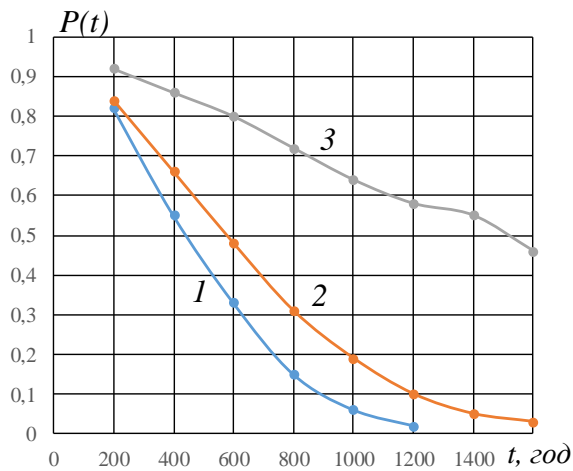
Розглянемо показники надійності вальцевих верстатів і вальців борошномельних агрегатів Р6-АВМ-7 за інтенсивної, нормальної і періодичної їх роботи у млинах невеликої потужності (рис.4.2). Інтервальні і точкові оцінки показників надійності вальцевих верстатів за довірчої ймовірності  $\beta = 0,9$  представлені в таблиці 4.2.



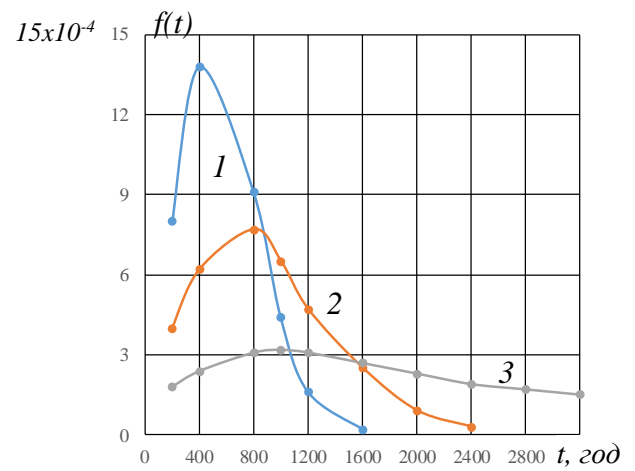
а



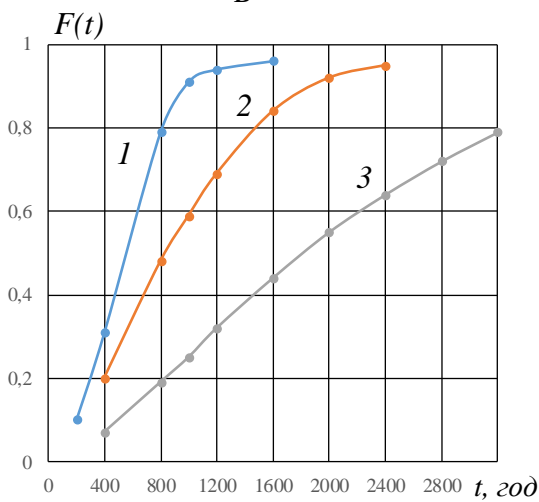
б



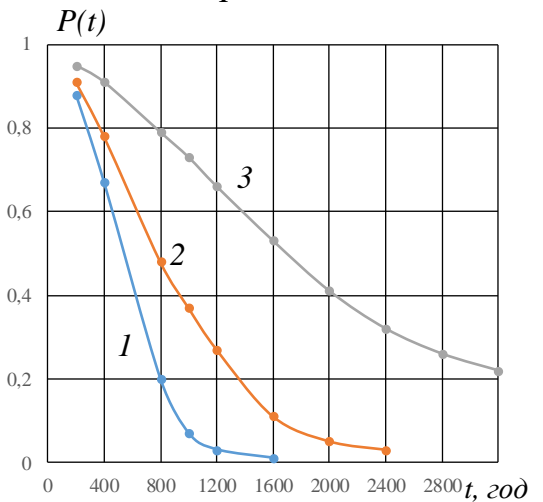
в



г



д



е

Рисунок 4.2 – Диференціальні  $f(t)$  і інтегральні  $F(t)$  функції розподілу напрацювання на відмову і функція розподілу ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  вальцевих верстатів (а, б, в,) і вальців (г, д, е) для інтенсивної (1), нормальної (2) та періодичної (3) роботи агрегата Р6-АВМ-7

Як видно з результатів досліджень напрацювання на відмову залежить від режиму роботи агрегата. Крім цього, цей показник є вищим у вальців, а це свідчить, що надійність верстата понижують інші елементи конструкції. Ймовірність безвідмовної роботи перебуває на посередньому рівні.

Таблиця 4.2 – Точкові та інтервальні оцінки показників надійності вальцевих верстатів за довірчої ймовірності  $\beta = 0,9$

Режим роботи агрегата Р6-АВМ-7	Назва обладнання	Показники надійності								
		Напрацювання на відмову, год			(-%-й ресурс, год; (=90%			Ймовірність безвідмовної роботи		
		Середнє, год	Довірчі межі		Середній, год	Довірчі межі		середня	Довірчі межі	
			нижня	верхня		нижня	верхня		нижня	верхня
Інтенсивний	Вальцевий верстат Вальці	475	435	530	160	140	175	0,80	0,76	0,83
		520	500	550	216	200	230	0,87	0,86	0,88
Нормальний	Вальцевий верстат Вальці	640	600	690	175	165	190	0,83	0,79	0,85
		880	850	920	280	275	300	0,93	0,92	0,94
Періодичний	Вальцевий верстат Вальці	1500	1200	1700	250	230	270	0,90	0,87	0,93
		2150	1800	2500	500	440	600	0,96	0,95	0,97

Аналогічно до вищевказаних результатів, на рис.4.3 і таблиці 4.3 показано розподіл показників надійності просіювачів борошна А2-ХНП-4.

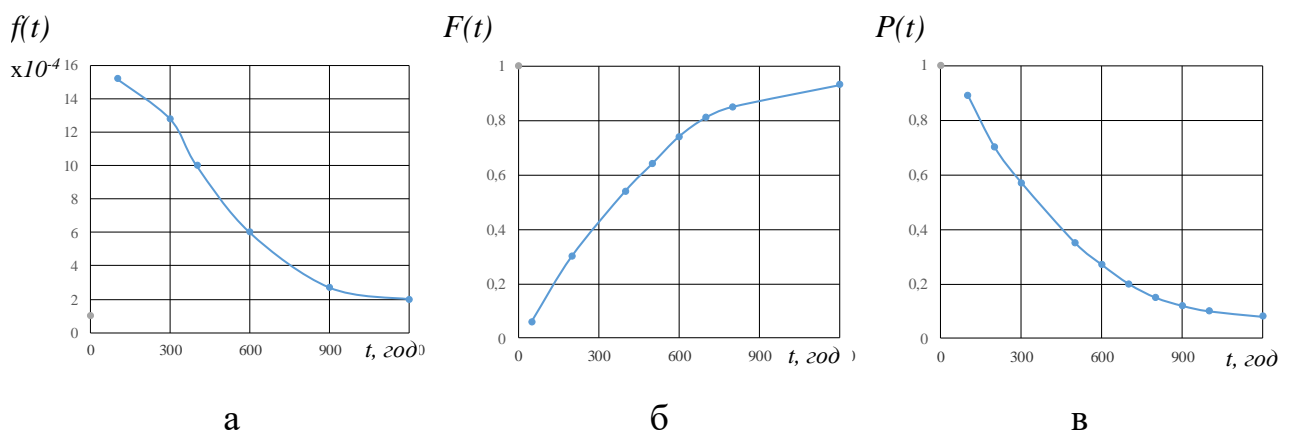


Рисунок 4.3 – Диференціальна  $f(t)$  (а) та інтегральна  $F(t)$  (б) функції розподілу напрацювання просіювача А2-ХНП-4 на відмову і функція ймовірності безвідмовної його роботи  $P(t)$  (в).

Таблиця 4.3 – Точкові та інтегральні оцінки надійності просіювачів А2-ХНП-4 з вірогідністю  $b=0,90$

Напрацювання на відмову, год			$\gamma$ -% -й ресурс, год $\gamma=90\%$			Ймовірність безвідмовної роботи		
Середнє, год	Довірчі межі		Середній, год	Довірчі межі		Середня	Довірчі межі	
	нижня	верхня		нижня	верхня		нижня	верхня
440	380	500	75	60	120	0,63	0,58	0,68

Опрацювання статистичної інформації стосовно напрацювання на відмову тїстомісильних, тїстоділильних, тїстоподільних, тїстоокруглювальних, тїстозакочувальних і тїстоформувань машин іншого хлібопекарського обладнання свідчать про те, що середнє напрацювання їх на відмову коливається в межах 320...520 годин роботи.

Нами досліджувались показники надійності машин потоково-технологічних ліній виробництва сметани: напрацювання на відмову  $T$ , середня тривалість усунення відмови  $T_e$ , ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  і коефіцієнт готовності  $K_2$ . Результати досліджень зведено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Середні значення показників надійності молокопереробних машин з вірогідністю  $\beta=0,90$

Назва обладнання	Показники надійності			
	$T$ , год	$P(t)$	$T_e$ , год	$K_2$
1. Ванна для молочних компонентів	1450	0,99	8,4	0,99
2. Насос	690	0,99	2,6	0,98
3. Резервуар для вершків	1670	0,99	11,4	0,99
4. Сепаратор	940	0,97	4,6	0,99
5. Установа для нарізки масла	750	0,99	3,6	0,98
6. Резервуар для суміші	1850	0,97	2,2	0,99
7. Бачок рівня	1350	0,98	1,7	0,99
8. Пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна установка	760	0,99	2,7	0,98
9. Трубчаста пастеризаційна установка	800	0,98	3,1	0,99
10. Фільтр	1100	0,99	2,3	0,97
11. Гомогенізатор	950	0,98	3,3	0,99
12. Резервуар для сквашування	1600	0,97	2,1	0,99
13. Ванна для ферментів	1540	0,99	2,4	0,99
14. Заквасочник	1700	0,98	3,1	0,99
15. Ванна для закваски	1500	0,99	2,0	0,99
16. Автомат фасувальний	950	0,98	3,5	0,98

Порівнюючи показники надійності обладнання для переробки молока з відповідними показниками надійності борошномельного і хлібопекарського обладнання слід відмітити, що надійність молокопереробних машин і апаратів значно вища. Це можна пояснити тим, що механічні і теплові навантаження на деталі та складальні одиниці борошномельного і хлібопекарського обладнання значно вищі, а режими роботи – жорсткіші, порівняно з молокопереробним обладнанням.

Аналіз структурної (схемної) надійності потоково-технологічних ліній за розробленою методикою (п.3.4) показує, що розрахункова ймовірність безвідмовної роботи ліній виробництва сметани рівна  $P(t) = 0.76$ . Розподіл показників надійності ПТЛ представлено на рис. 4.4

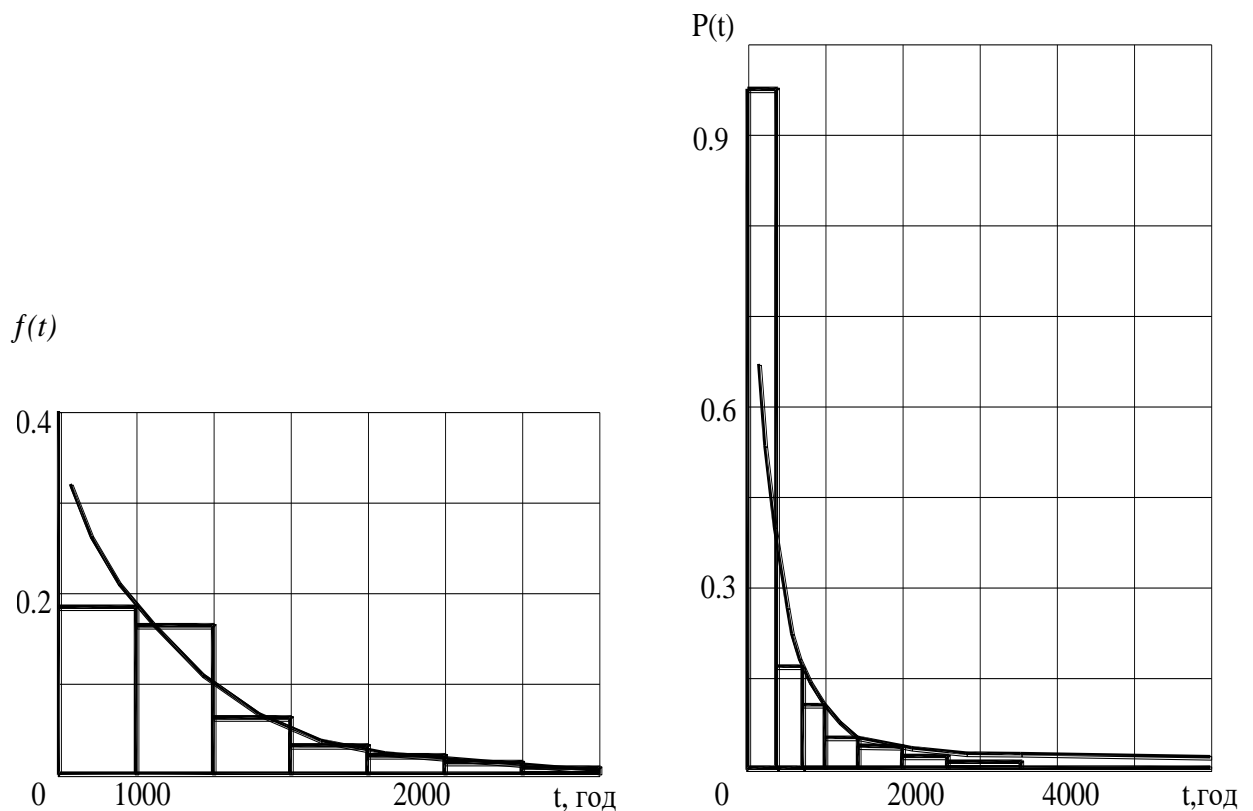


Рисунок 4.4 – Густина розподілу напрацювання на відмову  $f(t)$  і ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  потоково-технологічної лінії переробки молока.

Як видно з графіків надійності ПТЛ є вищою, ніж розрахункова. Причиною такої розбіжності є, по-перше, допущення про те, що за  $t > 0$   $P(t) < 1,0$ , а по-друге, те, що відмови машин є незалежними подіями.

Коефіцієнт готовності молокопереробної лінії дорівнює  $K_2 = 0,98$ . Залежність коефіцієнта готовності від доли часу на відновлення відмов  $d_e$  і співвідношення тривалості відновлення  $T_e$  до напрацювання на відмову  $T$  представлено на рисунку 4.5.

Для молокопереробної ПТЛ  $T_e / T < 0,005$ , а  $(1 - d_b) \geq 0,8$ , тому коефіцієнти готовності  $K_2 > 0,95...0,97$

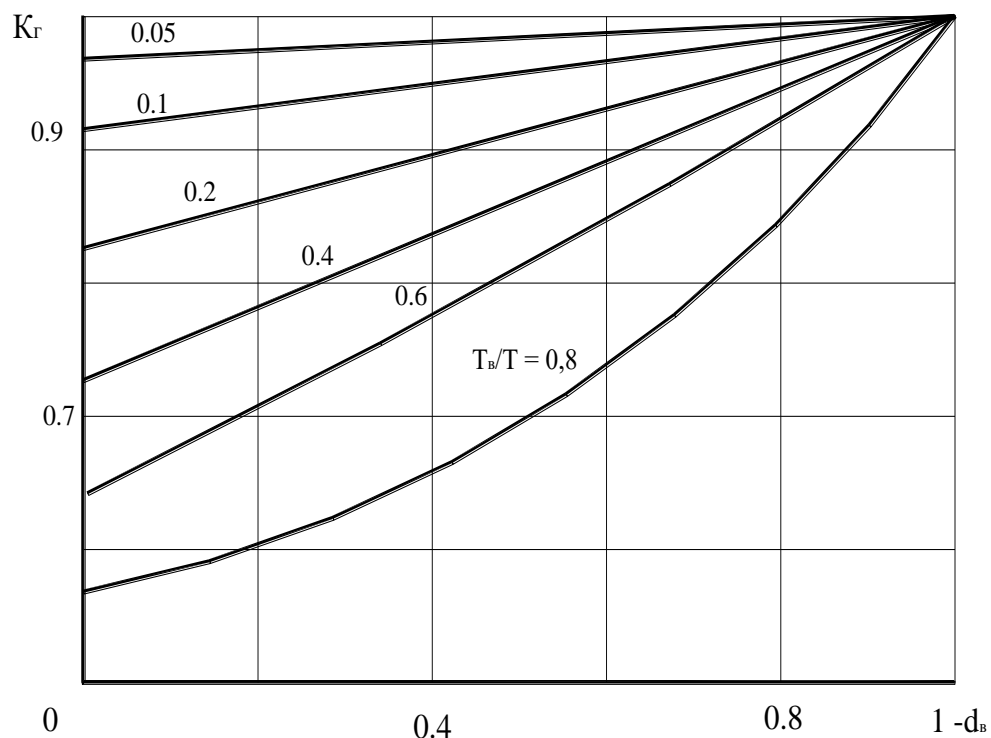


Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта готовності  $K_2$  від доли часу на відновлення відмов  $d_e$  і співвідношення  $T_e/T$

#### 4.3. Оцінка надійності технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини

Технологічний процес переробки сільськогосподарської сировини (ТППС) є сукупністю науково-технічно обґрунтованих прийомів переробки сировини і складається з обмеженого числа взаємопов'язаних технологічних

операцій, які направлені на зміну стану, властивостей, розмірів і форми оброблюваного матеріалу.

Готовність ТППС – це здатність випускати у визначені строки заданого обсягу готової (товарної) продукції із регламентованою якістю. Ознакою функціональної відмови ТППС є суттєве зниження продуктивності або якості товарної продукції.

Проведемо оцінку технологічного процесу виробництва сметани на ПТЛ за розробленою в п. 3.5 методикою. На основі структурно-логічної функціональної моделі (рис 3.4). Факторами, які визначатимуть надійність ТППС є [13, 19]:

- $a_1$  – надійність ПТЛ;
- $a_2$  – кваліфікація виконавців;
- $a_3$  – безвідходність технології
- $a_4$  – рівень технологічної дисципліни;
- $a_5$  – вхідна якість сировини;
- $a_6$  – вихідна якість продукції;
- $a_7$  – задана продуктивність лінії.

Для оцінки надійності ТППС ресурсні критерії факторів  $a_1 \dots a_7$  повинні бути кількісно однозначні, тобто мати однаковий фізико-технологічний зміст.

Надійність ПТЛ оцінювали ймовірністю її безвідмовної роботи  $P_i$ , а решту факторів оцінювали ймовірностями відповідності кожного з них заданим в нормативно-технологічній документації на процес виробництва сметани значенням. Експериментальні дослідження проводили на ПТЛ виробництва сметани в ТОВ «Молочна компанія «Галичина»». Початкові дані для імітаційного моделювання надійності ТППС зображено в таблиці 4.5.

Для оцінки надійності ТППС застосували відомий алгоритм і математичну програму імітаційного моделювання на ПЕОМ. Досліджували ймовірність події  $P(A)$ , тобто ймовірності виготовлення заданого обсягу



сметани регламентованої якості в результаті ТППС за виразом (3.23) на основі розробленої структурної логічної функціональної моделі (рис. 3.4) шляхом послідовного перебору і поєднання ймовірностей подій  $p_i(t)$  і  $q_i(t)$ .

Таблиця 4.5 – Кількісна оцінка чинників надійності технологічного процесу виробництва сметани

$a$	Ймовірність події				Надійність ТППС	
	Мінімальна $P_i^{min}(t)$	Максимальна $P_i^{max}(t)$	Максимальна $q_i^{max}(t)$	Мінімальна $q_i^{min}(t)$	$P^{min}(A)$	$P^{max}(A)$
$a_1$	0,76	0,98	0,24	0,02	0,958	0,997
$a_2$	0,90	0,99	0,10	0,01		
$a_3$	0,95	0,97	0,05	0,03		
$a_4$	0,85	0,95	0,15	0,05		
$a_5$	0,80	0,90	0,20	0,10		
$a_6$	0,92	0,99	0,08	0,01		
$a_7$	0,95	0,99	0,05	0,01		

В результаті отримано мінімальне і максимальне значення показника надійності технологічного процесу виробництва сметани  $P^{min}(A) = 0.958$  і  $P^{max}(A) = 0.997$ . Вплив різних чинників на надійність ТППС показано у вигляді графічних залежностей (рис. 4.6).

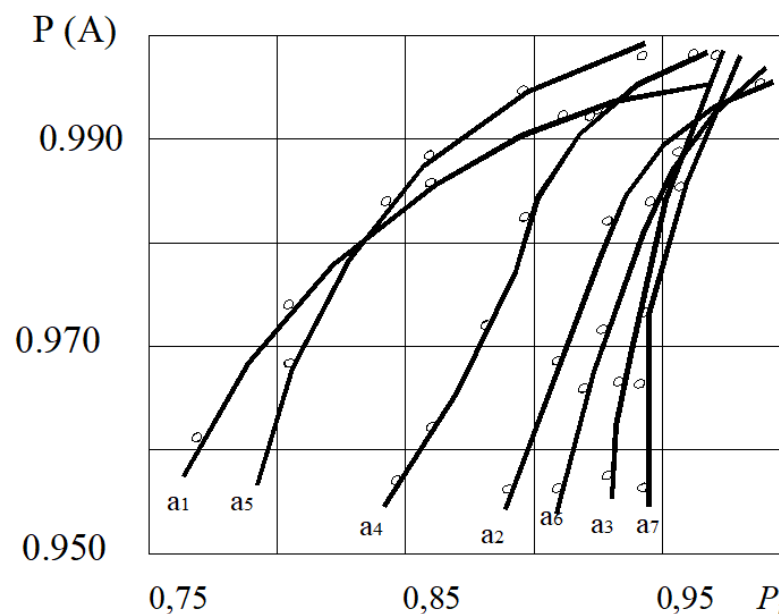


Рисунок 4.6 – Графічні залежності надійності технологічного процесу виробництва сметани  $P(A)$  від різних чинників  $a_1 \dots a_7$

Як видно із графіків, рівень надійності технологічного процесу виробництва сметани понижують в першу чергу ймовірність безвідмовної

роботи ПТЛ, вхідна якість сировини і дотримання технологічної дисципліни, а потім вже інші чинники.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Метою експериментальних досліджень було виявити відмови машин і напрацювання їх у годинах до кожної відмови. Результати цих досліджень спрямовані на виконання п.1 програми досліджень – виявити і проаналізувати конструктивно-технологічні чинники, які визначають показники надійності машин для переробки сільськогосподарської сировини.

2. В результаті досліджень технічного стану переробних машин виявлено дефекти і пошкодження, які призвели до відмов обладнання (Додаток 2). В результаті аналізу технічного стану переробного обладнання виявлено основні причини відмов:

а) недоліки конструкції (невдале компонування, незахищеність складальних одиниць і деталей від впливу шкідливих факторів, недосконалість системи мащення і мастил);

б) технолого-машинобудівні недоліки (застосування не відповідних і не якісних матеріалів, наявність в деталях прихованих дефектів, не якісне виготовлення і обробка поверхонь, порушення технології складання і обкатування машин);

в) порушення технології монтажу і налагодження обладнання;

г) експлуатаційні причини (відхилення від оптимальних режимів роботи, перевантаження машин, несвоєчасність і низька якість ТО та ремонту обладнання).

Аналізуючи результати дослідження технічного стану переробного обладнання (Додаток 2) складемо перелік найімовірніших пошкоджень, руйнувань і спрацювань деталей та складальних одиниць (табл. 4.1).

3. В результаті досліджень встановлено, що показники надійності машин описуються, переважно, законом розподілу випадкових величин

Вейбулла-Гніденка, хоча трапляються нормальний розподіл (Гауса-Лапласа) і показниковий (експоненційний).

4. Показники надійності машин залежать від режимів їх роботи. Надійність молокопереробного обладнання є суттєво вищою, ніж борошномельного і хлібопекарського.

5. Надійність потоково-технологічних ліній залежить від показників надійності машин і апаратів, що входять до їх складу, а також від способу їх з'єднання між собою. За результатами оптимізації показників надійності обґрунтовано оптимальну структуру потоково-технологічної лінії для виробництва сметани. В результаті цього, ймовірність безвідмовної роботи лінії підвищилась з 0,76 до 0,98. Встановлено, що збільшення затрат на забезпечення надійності лінії понад певну межу не призводить до помітного зростання її ймовірності безвідмовної роботи.

6. За результатами моделювання надійності технологічного процесу переробки сировини (на прикладі ТППС виготовлення сметани) оцінено функціональну його готовність. На прикладі процесу виготовлення сметани виявлено, що ймовірність виготовлення заданого обсягу товарної продукції у встановлені терміни і з регламентованою якістю перебуває в межах  $P(A) = 0,958...0,997$ .

## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт**

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов збереження здоров'я і працездатності людей в процесах праці. Складовими охорони праці є законодавство про працю, виробнича санітарія і безпека застосування різних технічних засобів у технологічних процесах переробки с.-г. сировини, включаючи і пожежну безпеку [17, 23].

Технологічний процес переробки молока включає такі види технологічних фаз і операцій:

- приймання молока;
- транспортування молока;
- очищення і охолодження, які мають за мету очищення молока від механічних домішок і бактерій, а процес охолодження молока сповільнює розвиток наявних у ньому мікроорганізмів, продовжуючи термін зберігання;
- переробки в товарну продукцію.

Можливими травмонебезпечними чинниками є:

- можливість зараження інфекційними захворюваннями;
- небезпека падіння на слизькій підлозі, сходах, трапах;
- ураження електричним струмом небезпечних параметрів;
- механічне ураження рухомими частинами машин.

## 5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві

У процесах формування виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події, що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками.

В них є початкові, проміжні та кінцеві події. Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому, логічному (при необхідності і математичному) аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій [17, 23].

Таблиця 5.1 – Модель формування та виникнення травмонебезпечних ситуацій при переробці молока.

Вид робіт Робоче місце, виробниче обладнання	Виробнича небезпека			Можливі Наслідки	Виходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпеч- на умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
1.Транспортування молока (у відрах або бідонах, ручними візками)	Слизька пдлога, східці, трап. НУ1	Падіння працівника з вантажем НД	Можливість сильного удару в результаті падіння НС1	Травма	Не дозволяється застосування праці неповнолітніх, віком до 18 років. Застосування візків, зусилля не повинно перевищувати для жінок 10кг кг.
<b>Модель процесу</b>	НУ1 → НД1 → НС1 → Т				

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
<p>2. Очищення і охолодження молока (очисник – охолоджувач молока ОН1)</p> <p><b>Модель процесу</b></p>	<p>При роботі двигуна, електродвигун пробиває струм НУ1. Погане заземлення окислене місце з'єднання, НУ2.</p>	<p>При очищенні і охолодженні молока працівник знаходиться у зоні дії струму, НД</p>	<p>Ураження працівника електричним струмом НС1. Травмування при падінні, НС2</p>	<p>Електрична травма Травма</p>	<p>Річні та місячні проведення ТО і планово-попереджувального ремонту.</p>
<p style="text-align: center;"> <pre> graph LR     NU1 --&gt; ND     NU2 --&gt; ND     ND --&gt; NS1     ND --&gt; NS2     NS1 --&gt; Et     NS2 --&gt; T           </pre> </p>					
<p>3. Переробка молока.</p> <p><b>Модель процесу</b></p>	<p>При роботі машин обертові частини не огорожені НУ1</p>	<p>Робітник знаходиться в зоні дії частини машини НД1</p>	<p>Механічне травмування робітника НС1. Травмування при падінні</p>	<p>Травма Травма</p>	<p>Щоденний огляд. Дотримання правил ТБ</p>
<p style="text-align: center;"> <pre> graph LR     NU1 --&gt; ND1     ND1 --&gt; NS1     ND1 --&gt; NS2     NS1 --&gt; T     NS2 --&gt; T           </pre> </p>					

Проаналізувавши кожен із логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків.

Розробку моделі травмонебезпечних ситуацій при технологічних процесах переробки молока подаємо у табл. 5.1.

### 5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Перед роботою треба вивчити правила експлуатації і техніки безпеки під час роботи з технологічними машинами і апаратами. Щоб запобігти електротравмам при пошкодженні ізоляції струмопровідника встановлюють гумову (ізоляційну) трубку потрібної довжини. Металеві частини мають бути надійно заземлені [17, 23].

Водопровід заборонено використовувати як контур заземлення.

Відстань між електротрубопроводами, розташованими в приміщенні, повинна бути не менше 25 см.

При роботі під час ремонту електропроводки або електрообладнання потрібно вимикати рубильник і вивішувати попереджувальний плакат – „Не вмикати – працюють люди”

Електроприводи потрібно вкладати в металеві труби, а труби в місцях їх з'єднання необхідно ізолювати від проникнення в них вологи. Корпус електродвигунів повинен бути надійно заземлений.

При виникненні ненормальних шумів і вібрації негайно припинити роботу і ліквідувати неполадку.

Огороджувати металевими сітками привідні паси і кожухи, рухомі частини машини.

Виробничій санітарії в молокопереробних підприємствах необхідно приділяти значну увагу, оскільки це відносять до харчових виробництв.

Всі працівники, які працюють на підприємстві повинні мати санітарні книжки, встановленого зразка. Не рідше одного разу в 3 місяці працівники повинні проходити медогляд, про що робиться відмітка в санітарній книжці.

Працівники повинні бути забезпеченні спецодягом: взуття, халати або комбінезони, шапочки і косинки.

Спецодяг повинен бути акуратним і не рідше одного разу на тиждень піддаватись пранню.

Працівники повинні бути забезпечені відповідними санітарно-побутовими приміщеннями. Підлога і стіни виробничого приміщення повинні бути облицьованими і їх щозміни необхідно мити водою. Кожної зміни необхідно проводити очищення і миття технологічних машин і апаратів.

Молокопереробне підприємство обов'язково повинне бути забезпечене очисними спорудами для очищення стічних вод із застосуванням біологічних методів знезараження і абіозу.

Для успішного проведення протипожежної профілактики на виробництві важливо знати причини пожеж. На основі статичних даних можна зробити висновок, що основними причинами пожеж на виробництві є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації. Порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

В молокопереробних приміщеннях повинні бути евакуаційні шляхи і виходи потрібного розміру, забезпечення виробничих об'єктів необхідними засобами пожежогасіння.

На горищах виробничих і складських приміщень заборонено зберігати різні вогненебезпечні і горючі матеріали. Горища потрібно закривати на замок.

Переробне підприємство повинно бути забезпечене протипожежною сигналізацією, а також не знижуваним аварійним протипожежним запасом води або протипожежною водою [17, 23].



## Висновки до розділу 5

1. Здійснений структурний аналіз можливих травмонебезпечних ситуацій дає змогу оцінити: небезпечність операції, рівень її небезпеки, можливість уникнення та попередження травмонебезпечної ситуації, а у разі виникнення – уникнення її повтору. За допомогою аналізу травмонебезпечних ситуації створюють також комплекси з індивідуального захисту працівників.

2. Розробка логіко-імітаційних моделей травм на виробництві дають змогу будувати матриці виникнення небезпечних, які дають можливість визначити рівень небезпеки виробничого процесу (операції) на життя та здоров'я працівників.

3. Виконання процесу моделювання виникнення травм та аварій дає змогу моделювати процеси формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків, що у свою чергу спрямовано на збереження життя та здоров'я працівників.

4. Життя та здоров'я працівників є основним пунктом в охороні праці, тому знання дій працівників у випадку виникнення небезпечних ситуацій на підприємстві є надзвичайно важливим аспектом.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Надійність технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини – це здатність виробляти товарну продукцію із заданими продуктивністю і якістю за регламентованих умов приймання і зберігання сировини, технологічних режимів і кваліфікації виконавців, а також визначеної системи технічного сервісу переробних машин і апаратів потоково-технологічних ліній.

2. Надійність ТП переробки сільськогосподарської сировини в один чи кілька видів товарної продукції залежить від показників надійності технологічного обладнання. Ці показники суттєво залежать від конструктивно-технологічного базису процесів підтримання і поновлення роботоздатного стану (ресурсу) машин і апаратів, тобто виконання операцій їх технічного обслуговування та ремонту ТОР.

3. Оскільки момент появи відмови і тривалість її усунування є випадковими подіями, то завдання визначення надійності потребує операцій з випадковими величинами, випадковими функціями і відповідно, повинна базуватися на застосуванні методів теорії ймовірності та математичної статистики, графічного моделювання та імітаційного дослідження за допомогою ПЕОМ.

3. У зв'язку зі складністю процесів, які проходять в переробних машинах і які призводять до відмов конструктивних елементів, імітувати ці процеси в штучних умовах і з достатньою вірогідністю та достатньому обсязі досить непросто. Тому основним методом отримання вихідної інформації щодо відмов машин і їх елементів є випробування в умовах експлуатації. Але при цьому способі виникає ряд труднощів, для подолання яких необхідно розробити спеціальну систему накопичення та обробки інформації про надійність. Без застосування такої системи одержана інформація може виявитись не вірогідною, збиратись довгий час, що не дозволить

використати її для розробки заходів підвищення надійності машин і ПТЛ в цілому.

4. Для розрахунку показників надійності необхідно знати закони розподілу часу безвідмовної роботи виробу. Їх можна одержати шляхом статистичної обробки результатів експериментальних досліджень. Результати статистичних досліджень надійності виробів одержують у вигляді дискретного набору чисел, які відповідають напрацюванню ряду виробів до відмови або напрацюванням і відновленням виробів між відмовами.

5. Однак в технологічних процесах переробки сільськогосподарської сировини на показники їх надійності впливає не тільки надійність машин і ПТЛ загалом, але й властивості інших факторів, а саме: кваліфікація і технологічна дисципліна виконавців, вхідна якість і зберігальність сировини, режими і рівень забезпечуваної якості та безвідходність технологій. Всі ці показники суттєво впливають на надійність ТППС. Тому для таких складних систем слід будувати не структурні схеми, а структурно-логічні функціональні моделі, в яких окремі елементи можуть повторюватись більше одного разу. Для розв'язання задачі оцінки надійності технічної системи слід застосовувати методи ймовірності логіки та імітаційного моделювання.

6. В результаті досліджень технічного стану переробних машин виявлено дефекти і пошкодження, які призвели до відмов обладнання (Додаток 2). В результаті аналізу технічного стану переробного обладнання виявлено основні причини відмов:

- а) недоліки конструкції (невдале компонування, недосконалість системи мащення і мастил та ін.);
- б) технолого-машинобудівні недоліки (застосування не відповідних і не якісних матеріалів, наявність в деталях прихованих дефектів, порушення технології складання і обкатування машин);
- в) порушення технології монтажу і налагодження обладнання;
- г) експлуатаційні причини (відхилення від оптимальних режимів роботи, перевантаження машин, несвоєчасність і низька якість ТО).

Аналізуючи результати дослідження технічного стану переробного обладнання (Додаток 2) складемо перелік найімовірніших пошкоджень, руйнувань і спрацювань деталей та складальних одиниць (табл. 4.1).

7. В результаті досліджень встановлено, що показники надійності машин описуються, переважно, законом розподілу випадкових величин Вейбулла-Гніденка, хоча трапляються нормальний розподіл (Гауса-Лапласа) і показниковий (експоненційний).

8. Показники надійності машин залежать від режимів їх роботи. Надійність молокопереробного обладнання є суттєво вищою, ніж борошномельного і хлібопекарського.

9. Надійність потоково-технологічних ліній залежить від показників надійності машин і апаратів, що входять до їх складу, а також від способу їх з'єднання між собою. За результатами оптимізації показників надійності обґрунтовано оптимальну структуру потоково-технологічної лінії для виробництва сметани. В результаті цього, ймовірність безвідмовної роботи лінії підвищилась з 0,76 до 0,98. Встановлено, що збільшення затрат на забезпечення надійності лінії понад певну межу не призводить до помітного зростання її ймовірності безвідмовної роботи.

10. За результатами моделювання надійності технологічного процесу переробки сировини (на прикладі ТППС виготовлення сметани) оцінено функціональну його готовність. На прикладі процесу виготовлення сметани виявлено, що ймовірність виготовлення заданого обсягу товарної продукції у встановлені терміни і з регламентованою якістю перебуває в межах  $P(A) = 0,958...0,997$ .

11. Виконання процесу моделювання виникнення травм та аварій дає змогу моделювати процеси формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків, що у свою чергу спрямовано на збереження життя та здоров'я працівників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильків І. М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 184 с.
2. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Кіровоград: 2016. 204 с.
3. Верхівкера Я.Г. Технологічний інжиніринг підприємств харчової галузі. Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. Одеса: Освіта України, 2017. 144 с.
4. Власенко В.В., Машкін М.І. Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів. Вінниця: ГПАНІС 2000. 347 с.
5. Гайдучок В. М., Затхей Б. І., Лінник М. К. Теорія і технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. Львів : Афіша, 2005. 232 с.
6. Горбенко В.М., Денисенко В.М., Рюмшин М.О., Соколевський В.Ю. Автоматизовані системи контролю та керування процесами зернопереробки на млинах. Київ: Техніка, 2015. 188с.
7. Грабар І.Г. Основи надійності машин: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 1998. 298 с.
8. Гранкін С. Г., Малахов В. С., Черновол М. І., Черкун В. Ю. Надійність сільськогосподарської техніки. Київ: Урожай, 1998. 208 с.
9. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О. та ін. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. За ред. І.С. Гулого. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
10. Ерік Маттес. Пришвидшений курс Python. Практичний, проєктно-орієнтований вступ до програмування. Перекл. з англ. Львів: Видавництво Старого Лева, 2021. 600 с.
11. Єременко В. С., Куц Ю. В., Мокійчук В. М., Самойліченко О. В. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посіб. Київ: НАУ, 2013. 320 с.

12. Жильцов О. Б., Кулян В. Р., Юнькова О. О. Математичне програмування (з елементами інформаційних технологій): Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. 2-ге вид., стереотип. Київ : ДП «Видавничий дім «Персонал», 2008. 184 с.

13. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.

14. Кузьмінський Р.Д. Організаційно-технологічна сумісність процесів ремонту об'єктів у спільному потоці. *Пр. ін-ту Львів. с.-г. ін-т.* Львів, 1992. С. 17–29.

15. Кушлик-Дивульська О. І., Поліщук Н. В., Орел Б. П., Штабальюк П. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 212 с

16. Лауш П. В. Ремонт сільськогосподарської техніки (курсове і дипломне проектування): Навч. посібник / П. В. Лауш, Н. П. Лауш, Т. П. Лесюк. Кіровоград : ПОЛІМЕД-Сервіс, 2005. 266 с.

17. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 220 с.

18. Машини, обладнання та їх використання при переробці сільськогосподарської продукції : навч. посіб. : практикум / В. Ф. Ялпачик та ін. Мелітополь : Видавничий будинок ММД, 2015. 196 с.

19. Мерко І. Т., Моргун В. О. Наукові основи і технологія переробки зерна: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса : Друк, 2001. 348 с.

20. Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Пушанко Л.О. та ін. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] / Вінниця: Нова книга. 2014. 288 с.

21. Шкельов Л. Т., Станкевич А. М., Пошивач Д. В. Опір матеріалів: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: ЗАТ "Віпол", 2011. 456.

22. Основи наукових досліджень. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №2 і №3 для студентів факультету механізації сільського господарства. Львів. 1998. 38с.

23. Охорона праці. Методичні рекомендації до виконання розділу з охорони праці у дипломних проектах. Львівський національний аграрний університет, 2012 р.

24. Попович В. В. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підруч. Львів : Світ, 2006. 264 с.

25. Попович В. В., Кондир А. І., Плешаков Е. І. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: практикум : навч. посібн. Львів : Світ, 2009. 552 с.

26. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. Київ, Мінагропромкомплекс України, 2018. 164 с.

27. Ремонт машин і обладнання : підруч. / Сідашенко О. І. та ін.; за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014. 632 с.

28. Технологія машинобудування (дипломне проектування): Навчальний посібник/ І. О. Григурко, М. Ф. Брендюля, С. М. Доценко. Львів : Новий світ, 2007. 768 с.

29. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. та інші. Навч. посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.

30. Ткач Є. І., Сторожук В. П. Загальна теорія статистики: підручник [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 442 с.

31. Цурпал І. А. Механіка матеріалів і конструкцій. Київ : Вища освіта, 2005. 367 с.

32. Шарибура А.О. Кореляційно-регресійний аналіз взаємозв'язку досліджуваних величин. Методичні рекомендації. Львів : ЛНАУ, 2015. 28 с.

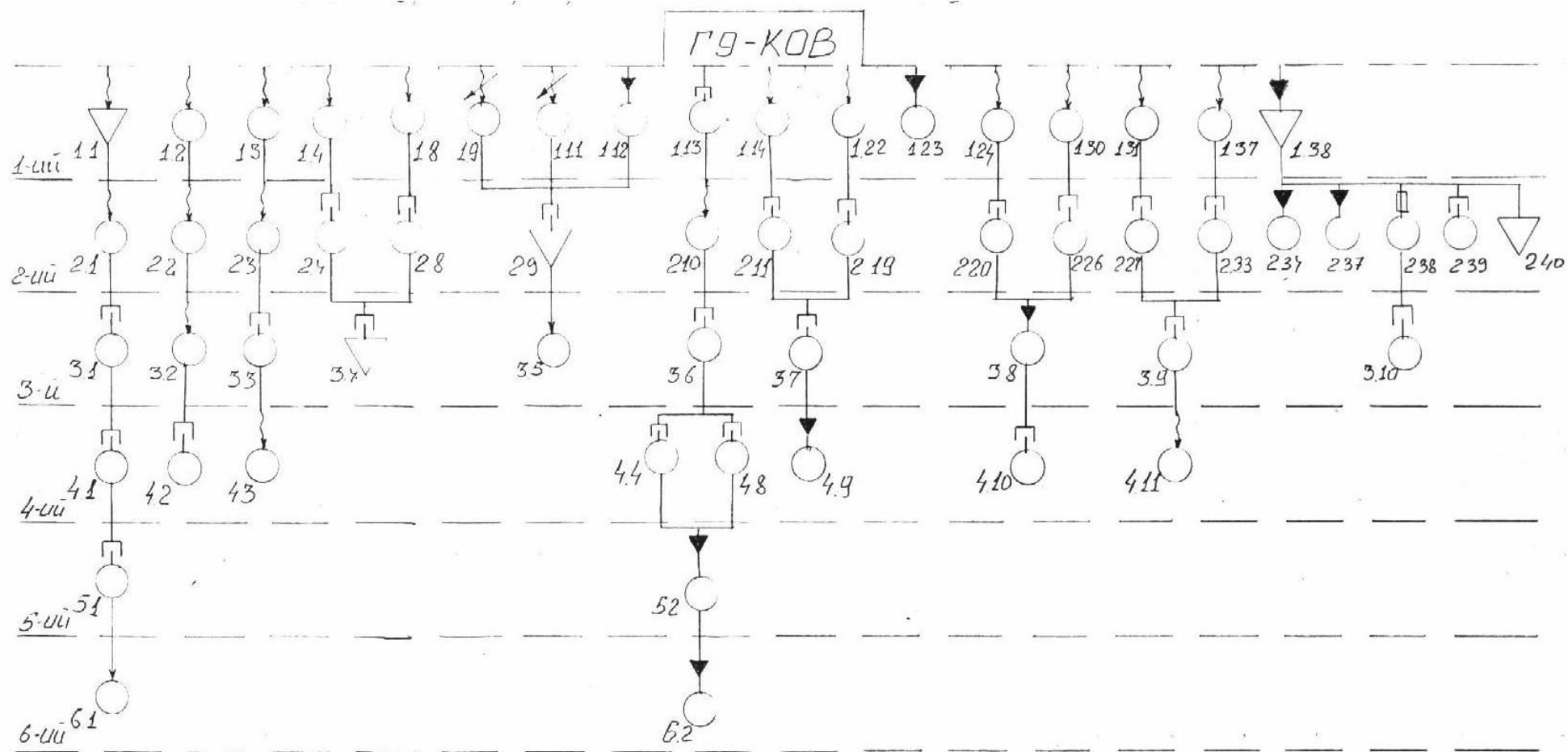
33. Ялпачик В.Ф., Олексієнко В.О., Ялпачик Ф.Ю., Самойчук К.О. Машини, обладнання та їх використання при переробці сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник: Практикум Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2015. 196с.

# ДОДАТКИ









## Додаток А.


## Структурно-графічна модель конструкції сепаратора Г9-КОВ




## Умовні позначення


## З'єднання

1.  - різьове
2.  - різьове немеханізоване
3.  - вільне
4.  - пресове (з натягом)
5.  - шпонкове
6.  - шлицьове

 - повна комплектна переробна

машина

 - вузол, спряження

 - деталь

## Продовження додатку 1. – Елементи конструкції сепаратора Г9 – КОВ

1.1 Кран	2.4...2.8 Гравери болтів	3.6 Гравер
1.2 Перехідник	2.9 Кришка	3.7 Дно сепаратора
1.3 Манометр	2.10 Болт	3.8 Ущільнююче кільце
1.4...1.8 Болти кріплення електричного двигуна	2.11...2.19 Гравери 2.20...2.26 Гравери 2.27...233 Гравери	3.9 Нижня кришка з патрубком 3.10 Шпонка
1.9...1.11 Защіпки	2.34...2.37 Підшипники	4.1 Ручка
1.12 Палець кришки	2.38 Шестерня	4.2 Прокладки
1.13 Кришка барабана	2.39 Пружина	4.3 Корпус штуцерів
1.14...1.22 Кришка для сепаратора	2.40 Корпус (станина) 3.1 Шайба	4.4...4.8 Тарілки 4.9 Направляючі
1.23 Ванна зливу	3.2 Клапан	4.10 Стопорне кільце підшипника
1.24...1.30 Болти	3.3 Прокладка	4.11 Патрубок
1.31...1.37 Болти	3.4 Електричний двигун	5.1 Клапан
1.38 Вал	3.5 Напрямна втулка	5.2 Направляюча тарілок
2.1 Болт		6.1 Ущільнення
2.2 Кришка		6.1 Корпус крана
2.3 Кран		

Додаток 2 – Перелік відмов машин і апаратів у ПТЛ млинів, пекарень та молокопереробних цехів

Марка машини	Назва деталі (спряження), що відмовили	Характер відмови
1	2	3
<b>I. Боршномельне обладнання</b>		
1. Вальцевий верстат ЗМ – 1В	Розмелювальні вальці	Спрацювання рифелів; посадочних місць під підшипники; викришування зубів шестерень; затуплення.
2. Висіювальна машина ЗРШ–6	Коливач  Сита  Вал балансира	Спрацювання підшипників; пробоїни; заклинювання
<b>II. Хлібопекарське обладнання</b>		
1. Просіювач А2 – ХНП4	Сито Барабан просіювальний Шнек транспортувальний	Розрив. Спрацювання підшипників. Спрацювання підшипників; спрацювання посадочного місця під підшипник на валу.
2. Тістомісильна машина А2 – ХТН-2М	Траверса підйому мішалки Вал мішалки	Зминання різі гайки ходового гвинта.  Заклинення підшипників

1	2	3
<p>3. Тістоподільна машина А2-ХТН</p> <p>4. Тістозаокруглю-вана машина Т1-ХТН-А4</p> <p>5. Піч ФТЛ-2</p> <p>6. Шафа настоювання ХТН-4</p>	<p>Тістоподільна головка Ланцюгова передача приводу подільної головки Нагнітальний шнек</p> <p>Привід барабана</p> <p>Спіраль Конвейєр</p> <p>Люльки</p> <p>Конвейєр</p>	<p>Спрацювання ротора головки. Зрізання фланця. Розрив ланцюга.</p> <p>Зріз запобіжної муфти; порушення герметичності ущільнення на валу редуктора; спрацювання вушка привідного пристрою; поломка запобіжного клапана.</p> <p>Зрізання різі кріпильної гайки. Спрацювання. Розтяг ланцюга; спрацювання ведучої зірки. Спрацювання пальців.</p> <p>Спрацювання ведучої зірки; зміщення веденої зірки; розрив ланцюга; послаблення стопорних болтів</p>
III. Молокопереробне обладнання		
1. Сепаратор Г9-КОВ	<p>Корпус</p> <p>Манометр</p>	<p>Спрацювання ущільнюючого кільця; Нестабільна робота</p>

1	2	3
	Вал	Обрив муфти. Спрацювання гальмівних колодок; спрацювання підшипників.
2. Насос молочний 36МЩС –13/10	Вал	Порушення герметичності ущільнення; спрацювання підшипників.
3. Пластинчаста пастеризаційно-охолоджуваль-на установка ПОУ-7-14	Корпус	Порушення герметичності комплекту гумових ущільнювачів
4. Гомогенізатор А1-ОГ2М	Плунжерний блок	Розрив манжет ущільнення; втрата пружності пружини;
	Гомогенізуюча головка	Спрацювання фаски клапана; спрацювання сідла клапана.
5. Автомат для фасування сметани FIU SEAL BASIC	Дозувальний пристрій	Втрата герметичності ущільнювачів.
	Нагрівально-спаювальний пристрій	Перегорання спіралі, неспрацювання контрольного приладу;
	Блок управління	Замикання схеми управління.