



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ УСТАТКОВАННЯ

Частина 2. Вимоги до ремонтпридатності
та дослідження на етапі проектування та конструювання
(ІЕС 60706-2:2006, IDT)

ДСТУ ІЕС 60706-2:2008

Видання офіційне

БЗ № 8–2008/485

Київ
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ
2010

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (Укрметртестстандарт)

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **О. Євтушенко, Л. Кузьменко, Т. Любомирова, Б. Місячна, В. Місячний, М. Мухаровський, Н. Ромашук, О. Стрижак, Л. Шевчук**

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 14 серпня 2008 р. № 284 з 2010–01–01

3 Національний стандарт відповідає IEC 60706-2:2006 Maintainability of equipment — Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase (Ремонтопридатність обладнання. Частина 2. Вимоги до ремонтпридатності та досліджування на етапах проектування й конструювання)

Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ (зі скасуванням в Україні ГОСТ 23660–79)

Право власності на цей документ належить державі.
Відтворювати, тиражувати та розповсюджувати його повністю чи частково
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено.
Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Держспоживстандарту України

Держспоживстандарт України, 2010

ЗМІСТ

	С.
Національний вступ	IV
Вступ до ІЕС 60706:2006	IV
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни, визначення понять, позначки та скорочення	2
3.1 Терміни та визначення понять	2
3.2 Позначки та скорочення	3
4 Загальний підхід	3
5 Принцип ремонтпридатності	4
6 Процес ремонтпридатності в життєвому циклі	4
6.1 Загальні положення	4
6.2 Концепція та етапи визначання	4
6.3 Етап проектування та конструювання	5
6.4 Етап вироблення та інсталювання	5
6.5 Етапи експлуатування та технічного обслуговування	5
6.6 Етап утилізування	5
7 Специфікація вимог до ремонтпридатності	6
7.1 Встановлювання вимог до ремонтпридатності	6
7.2 Характеристики ремонтпридатності	6
7.3 Обмеження	8
7.4 Вимоги до програми ремонтпридатності	9
7.5 Перевіряння	9
8 Вивчення ремонтпридатності на етапах проектування та конструювання	10
8.1 Загальні положення	10
8.2 Завдання	10
8.3 Вивчення ремонтпридатності на етапі проектування	10
8.4 Аналізування інструментів і процедур	14
9 Підтримування проектування	20
9.1 Зв'язок	20
9.2 Критерії проектування та контрольні листи	20
9.3 Обговорювання проектування	21
Додаток А Розподіляння ремонтпридатності	21
Додаток В Приклад розподілення ремонтпридатності	27
Додаток С Приклад розподілення значень надійності та вибору стратегії технічного обслуговування для системи з несталою нормою відмови	29
Бібліографія	34
Рисунок 1 — Вивчення ремонтпридатності на етапі проектування	12
Рисунок 2 — Блок-схема технічних засобів рівня ремонтпридатності	15
Рисунок 3 — Основні кроки в прогнозуванні ремонтпридатності	17
Рисунок А.1 — $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f \left\{ \frac{ACMT_{95}}{MACMT} \right\}$	25
Рисунок А.2 — Розподіляння ремонтпридатності до рівня підвиробу	26
Рисунок В.1 — Схема функційного рівня	28
Рисунок С.1 — Ділянка складників у системі Вейбула	34
Таблиця 1 — Приклади кількісних характеристик ремонтпридатності	7
Таблиця 2 — Докладні завдання під час вивчення ремонтпридатності	13
Таблиця А.1 — Розподіляння ремонтпридатності до рівня підвиробу	24
Таблиця В.1 — Розподіляння	28
Таблиця С.1 — Порівнювання витрат	33

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад IEC 60706-2:2006 Maintainability of equipment. Part 2. Maintainability requirements and studies during the design and development phase (Ремонтопридатність обладнання. Частина 2. Вимоги до ремонтпридатності та досліджування на етапах проектування і конструювання).

В Україні за цей стандарт відповідальний ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (Укрметртестстандарт). Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— слова «цей міжнародний стандарт», «ця частина ІЕС 60706», «ця частина» замінено на «цей стандарт»;

— структурні елементи стандарту: «Титульний лист», «Передмову», «Національний вступ», першу сторінку, «Терміни, визначення понять, позначки та скорочення» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;

— додано код УКНД і ключові слова.

Додатки А, В, С — довідкові.

Міжнародні документи, на які є посилання в тексті, не впроваджено в Україні як національні стандарти і чинних замість них немає. Копії цих документів можна одержати в Головному фонді нормативних документів.

ВСТУП ДО ІЕС 60706:2006

Ремонтопридатність — характеристика, яка визначає зручність, з якою виріб можна зберігати та підтримувати протягом періоду його використання.

Ремонтопридатність має бути складовою виробу під час проектування та на етапі конструювання і тому важливо, щоб вимоги до ремонтпридатності було встановлено як частину початкової специфікації.

Стандарти ІЕС серії 60706 призначено для застосування вимог ремонтпридатності виробу за його проектування, щоб вартість обслуговування була зменшена до прийнятного рівня.

Стандарти ІЕС серії 60706 призначено для надання оптимальних рекомендацій проектувальнику про найкраще залучення підвищених вимог стандартів з ремонтпридатності для зменшення вартості обслуговування виробу до прийнятного рівня.

Також важливо зазначити, що необхідне обслуговування гарантує безпечність виробу та можливість збереження його експлуатаційних характеристик.

Цей міжнародний стандарт вводить таку характеристику як ремонтпридатність і рекомендації, яким чином ремонтпридатність може бути представлено в специфікаціях і контрактах, і що ремонтпридатність потрібно надалі розглядати як частину процесу проектування. Це частина ієрархії стандартів з надійності, як описано нижче.

ІЕС 60300-1 і ІЕС 60300-2 — стандарти ІЕС вищого рівня, які надають рекомендації про те, як враховувати вимоги до надійності, зокрема довговічності, безвідмовності й ремонтпридатності у виготовлених виробках.

ІЕС 60300-3-10 — стандарт вищого рівня з ремонтпридатності, слугує для практичного застосування та є частиною стандартів ІЕС серії 60300-3. Його можна використовувати для розроблення програми з ремонтпридатності, що охоплює ведення, розвиток і виробничі етапи виробу, які є частиною вимог, вказаних в ІЕС 60300-2.

Він також містить рекомендації щодо необхідності розглядання експлуатаційних аспектів завдань для досягнення оптимальної ремонтпридатності.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ УСТАТКОВАННЯ

**Частина 2. Вимоги до ремонтпридатності та дослідження
на етапі проектування та конструювання**

РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

**Часть 2. Требования к ремонтпригодности и исследования
на этапе проектирования и конструирования**

MAINTAINABILITY OF EQUIPMENT

**Part 2. Maintainability requirements and studies
during the design and development phase**

Чинний від 2010-01-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

У цьому стандарті розглянуто вимоги до ремонтпридатності, пов'язані з проектуванням і параметрами використання й зазначено деякі обов'язкові дії для досягнення необхідних характеристик ремонтпридатності та їх взаємозв'язок з плануванням обслуговування. У цій частині визначено загальний підхід у досягненні цих завдань і вказано, як характеристики ремонтпридатності треба визначати у вимогах документа чи у контракті.

Цей стандарт не претендує на повноту рекомендацій щодо конкретизування або укладання контракту з ремонтпридатності. Його ціль — визначити ряд питань щодо того, коли характеристики ремонтпридатності враховують як вимоги під час розроблення чи придбання виробу.

Стандарт докладно описує подальші дослідження ремонтпридатності на етапах попереднього та докладного проектування і взаємозалежність ремонтпридатності й завдання підтримки технічного обслуговування, описані у відповідних стандартах. Під час проектування також розглянуто питання щодо ремонтпридатності виробу.

Передбачено, що споживачів, які купують елементи обладнання, зацікавить цей стандарт під час вирішування завдання щодо ремонтпридатності та розроблення програм ремонтпридатності.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче нормативні документи, на які є посилання в тексті цього стандарту, обов'язкові для застосування цього документа. У разі датованих посилань застосовують тільки цитоване їх видання. У разі недатованих посилань застосовне найостанніше видання вказаного документа (разом зі змінами). У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:

IEC 60050(191):1990 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Chapter 191: Dependability and quality of service

IEC 60300-3-1 Dependability management — Part 3-1: Application guide — Analysis techniques for dependability — Guide on methodology

IEC 60300-3-3 Dependability management — Part 3-3: Application guide — Life cycle costing

IEC 60300-3-10:2001 Dependability management — Part 3-10: Application guide — Maintainability
IEC 60300-3-11 Dependability management — Part 3-11: Application guide — Reliability centred maintenance
IEC 60300-3-12 Dependability management — Part 3-12: Application guide — Integrated logistic support
IEC 60300-3-14 Dependability management — Part 3-14: Application guide — Maintenance and maintenance support
IEC 60706-3 Guide on maintainability of equipment — Part 3: Sections Six and Seven — Verification and collection, analysis and presentation of data¹⁾
IEC 60706-5 Guide on maintainability of equipment — Part 5 — Section 4: Diagnostic testing
IEC 60812 Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
IEC 61025 Fault tree analysis (FTA)
IEC 61160 Design review
IEC 61649 Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

IEC 60050(191):1990 Міжнародний електротехнічний словник. Частина 191. Експлуатаційна надійність і якість обслуговування
IEC 60300-3-1 Керування надійністю. Частина 3-1. Настанови щодо застосування. Методи аналізування надійності. Настанови щодо методології
IEC 60300-3-3 Керування надійністю. Частина 3-3. Настанови щодо застосування. Розділ 3. Вартість виробів з урахуванням терміну служби, витрат на обслуговування та ремонт
IEC 60300-3-10:2001 Керування надійністю. Частина 3-10. Настанови щодо застосування. Ремонтпридатність
IEC 60300-3-11 Керування надійністю. Частина 3-11. Настанови щодо застосування. Обслуговування, основане на забезпеченні безвідмовності
IEC 60300-3-12 Керування надійністю. Частина 3-12. Настанови щодо застосування. Комплексне матеріально-технічне забезпечення
IEC 60300-3-14 Управління надійністю. Частина 3-14. Настанови щодо застосування. Технічне обслуговування та його підтримування
IEC 60706-3 Настанови щодо ремонтпридатності устаткування. Частина 3. Розділи шостий та сьомий. Перевіряння і збирання, аналізування і подавання даних
IEC 60706-5 Настанови щодо ремонтпридатності устаткування. Частина 5. Розділ 4. Діагностичне випробовування
IEC 60812 Методи аналізування безвідмовності систем. Метод аналізування режиму та наслідків відмов
IEC 61025 Аналізування діагностичного дерева відмов (FTA)
IEC 61160 Офіційний аналіз проекту
IEC 61649 Перевіряння погоджуваності, довірчі інтервали та нижні довірчі границі для даних, розподілених за залежністю Вейбула.

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ, ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

Нижче подано терміни, вжиті в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять згідно з IEC 60050(191).

3.1 Терміни та визначення понять

3.1.1 ремонтпридатність (виконання) (*maintainability (performance)*)

Здатність виробу за певних умов використання зберігати чи відновлювати стан, у якому він може виконувати потрібну функцію, якщо технічне обслуговування виконано за певних умов із застосуванням установлених процедур і ресурсів.

Примітка. Термін «ремонтпридатність» також використовують як *cnegsym* — виконання ремонтпридатності (див. 191-13-01) [IEV 191-02-07:1990]

3.1.2 ремонтпридатність (*maintainability*)

Імовірність, що цю дію технічного обслуговування виробу за певних умов використання може бути виконано протягом встановленого часу, коли обслуговування виконано за визначених умов і за використання встановлених процедур та ресурсів.

Примітка. Термін «ремонтпридатність» також використовують для позначення кількісних показників виконання ремонтпридатності, визначену кількісно цією імовірністю (див. 191-02-07:1990)
[IEV 191-13-01:1990]

3.1.3 технічне обслуговування (*maintenance*)

Набір усіх технічних і адміністративних дій, охоплюючи дії спостережень, щоб зберегти або відновити виріб до стану, у якому він може виконувати необхідну функцію

3.1.4 концепція технічного обслуговування (*maintenance concept*)

Взаємний зв'язок між етапами обслуговування, погоджувальними рівнями та рівнями обслуговування, які можуть бути застосованими для технічного обслуговування виробу

3.1.5 політика технічного обслуговування (*maintenance policy*)

Загальний підхід до умови підтримки технічного обслуговування та технічне обслуговування, засноване на цілях та політиці власників, користувачів і споживачів.

3.2 Позначки та скорочення

BITE — обладнання внутрішнього контролю

FMEA — методи відмов та аналіз ефективності

FTA — аналіз розподілення дефектів

ILS — інтегрована логістична підтримка

LCC — вартість життєвого циклу

LRU — лінійно замінна одиниця

LSA — логістично підтримуваний аналіз

MART — середня тривалість активного ремонту

MTTR — середня тривалість ремонту (або реставрації чи відновлення)

RCM — надійність технічного обслуговування

SSI — програмне забезпечення виробу.

4 ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД

Важливою частиною вартості використання виробу є головні ресурси, що витрачаються на ті завдання, які необхідні для збереження виробу чи відновлення його до задовільного стану.

Це головне зусилля пов'язане з кількістю цих завдань, їх складністю і тривалістю.

Проектування виробу має гарантувати три речі, а саме:

- a) можливість виконання необхідних робіт;
- b) надійність;
- c) ремонтпридатність.

Друга та третя з цих характеристик безпосередньо впливають на технічне обслуговування виробу, при цьому досягнута надійність відображає частоту позапланових обслуговувань, а ремонтпридатність відображає зусилля, необхідне для здійснення всього обслуговування.

Тому дії, виконувані протягом проектування виробу й передбачені для впливу на норму відмови і серйозність відмови, впливають переважно на методи надійності, тоді як вони призначені впливати на профілактичне та позапланове технічне обслуговування та їх тривалість, вартість підтримки технічного обслуговування, завдань, призначених переважно для ремонтпридатності.

Виріб, який можна легко обслуговувати, і його обслуговує компетентна й ефективна експлуатаційна організація, має більшу доступність і меншу вартість життєвого циклу, ніж той, який не має цих властивостей. Ступінь зусилля, який прикладають для досягнення хорошої ремонтпридатності й ефективної організації підтримки, залежить від виду виробу та його використання, і заснований на експлуатаційному, економічному й безпечному чинниках.

Протягом етапу проектування зношені складники треба ідентифікувати, і їх життєвий цикл визначити, наприклад, за використання аналізування Вейбула (див. ІЕС 61649).

Знайдений компроміс між складниками з вищим життєвим циклом у порівнянні з вартістю на профілактичне чи позапланове технічне обслуговування потрібно документально оформити. Так систему можна проектувати для мінімального обслуговування.

5 ПРИНЦИП РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

Цей стандарт установлює вимоги до характеристик ремонтпридатності, пов'язаних із проектуванням і параметрами використання, а також взаємозв'язок з плануванням обслуговування. Ремонтпридатність має суттєвий вплив на вартість підтримки і придатність обладнання і забезпечується під час проектування, виготовлення та експлуатування, які впливають на здатність виробу відповідати вказаним вимогам використання й обслуговування. Цю здатність зазвичай визначають як у якісних, так і в кількісних характеристиках.

Примітка. Концепції, описані в цьому стандарті, можна застосовувати до невеликого продукту або до головного проекту й тому, як визначено в ІЕС 60050(191): 191-01-01:1990 «виріб» використовують, щоб означити будь-яку частину, пристрій, підсистему, функційний пристрій, обладнання чи систему, яку можна розглядати індивідуально.

Характеристики ремонтпридатності залежать від:

а) здатності виробу бути збереженим або відновленим під час обслуговування (під час надання засобів для діагностики та наявності запчастин тощо), всіх умов використання, які беруть до уваги. Ремонтпридатність виробу спрямована на вирішення цих питань, але підпорядкована обмеженням б);

б) експлуатаційної підтримки, яку фактично використовують (персонал, навчання, запасні частини, засоби, настанови тощо). Ефективність системи технічного обслуговування регламентує терміни проведення ремонту.

6 ПРОЦЕС РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ В ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ

6.1 Загальні положення

У цьому стандарті розглянуто процес ремонтпридатності під час проектування і на етапі конструювання, а також на інших етапах життєвого циклу виробу та пов'язаний з ремонтпридатністю і обслуговуванням, визначення і досягнення яких допомагають у забезпеченні необхідної придатності та гарантуванні рентабельності системи.

Цей процес описано нижче.

6.2 Концепція та етапи визначання

6.2.1 Загальні положення

Умови використання і технічного обслуговування виробу вносять обмеження у концепцію, яку необхідно розглянути протягом техніко-економічного обґрунтування витрат і прогнозування життєвого циклу. Головні обмежувальні чинники можна розділити на дві частини, а саме: операції та ресурси, основні складники кожної з яких наведено в 6.2.2 і 6.2.3.

6.2.2 Операційні умови

Протягом розроблення концепції та визначання етапу, потрібно розглянути такі чинники:

- операційні потреби й виконання;
- вимоги клієнтів;
- вплив кліматичних умов на операцію та технічне обслуговування;
- засоби ідентифікування технічного обслуговування, особливо виявлення пошкоджень і локалізування причин пошкоджень (тестування докладніше описано в ІЕС 60706-5);
- обмеження доступу в процесі технічного обслуговування;
- вплив людських чинників;
- устаткування, програмне забезпечення і гібридне розділення виробу, для технічного обслуговування обумовлене місцезорозташуванням, рівнем ремонту і класифікацією якості обслуговування.

6.2.3 Ресурси

Докладно ресурси не розглядаються на цьому етапі, оскільки початкову оцінку потрібно зробити з можливого використання наявних ресурсів підтримки, але потрібно розглянути наступні чинники:

- наявна чи обов'язкова організація, місцезорозташування, персонал і навчання;

- задіяні ресурси;
- гнучкість у придбанні нових ресурсів.

Див. у ІЕС 60300-3-12 та ІЕС 60300-3-14 додаткову інформацію щодо постачання ресурсів для підтримки технічного обслуговування.

6.2.4 Визначання вимог ремонтпридатності

У вимогах до ремонтпридатності треба враховувати експлуатаційні умови, надійність і вимоги щодо безпеки, а також обмеження вартості. Це має привести до кількісного і якісного підготування специфікації ремонтпридатності, у якій розглянуто концепцію технічного обслуговування та інші вимоги до виробу. Настанову за пунктами ремонтпридатності в специфікаціях і контрактах подано в розділі 7. Треба також врахувати на цьому етапі додержання вимог для контролю, як це пояснено в ІЕС 60706-3.

6.3 Етап проектування та конструювання

6.3.1 Задовольняння вимог ремонтпридатності

Ефективний засіб задовольняння вимог ремонтпридатності полягає в тому, щоб здійснювати програму ремонтпридатності, спроектовану як логічна частина цілої технічної програми. Настанову для усебічної програми ремонтпридатності подано в ІЕС 60300-3-10.

6.3.2 Планування забезпечення підтримки технічного обслуговування

Планувати забезпечення підтримки технічного обслуговування треба одночасно з конструюванням елемента, щоб гарантувати, що технічне обслуговування доступне, коли виріб розміщено для використання.

Головні елементи, які потрібно зазначити в плані експлуатаційної підтримки, вказано нижче:

- процедури для обслуговування виробу (охоплюючи капітальний ремонт або модернізацію програмного забезпечення);
- попереднє постачання запчастин, засобів, випробувального устаткування й інструментів;
- наявність і навчання обслуговувального персоналу;
- технічна настанова тощо;
- контрольованість;
- система збирання даних технічного обслуговування.

План треба узгодити з концепцією технічного обслуговування і регулярно оновлювати.

Також потрібно встановити систему записування, аналізування і зворотного зв'язку даних. Рекомендовані процедури подано в ІЕС 60706-3.

6.4 Етап вироблення та інсталювання

Встановлення ремонтпридатності, важливе на етапах проектування і конструювання, спрямовано на експлуатаційне використання виробу і є перевіркою того, що властиві ремонтпридатності при цьому було досягнуто ще під час проектування.

Це прогресивна діяльність, ступінь якої залежить від походження і складності виробу та передбачає ремонт, технічне обслуговування і проведення експлуатаційних випробовувань дослідних зразків, здійснюваних спочатку на прототипах обладнання, щоб гарантувати, що вони відповідають установленій ремонтпридатності. Подальшу настанову з перевірки і збору характеристик технічного обслуговування подано в ІЕС 60706-3.

6.5 Етапи експлуатування та технічного обслуговування

Після монтажу та під'єднання виробу профілактичне і позапланове технічне обслуговування здійснюють за потребою. Важливі взаємопов'язані дії ремонтпридатності — збирання, аналізування і зворотний зв'язок даних технічного обслуговування.

Ці дані вирішують таке:

- оцінку ефективності процесу технічного обслуговування;
- удосконалення проектування, яке може привести до модифікації виробу;
- рішення щодо життєздатності технічного обслуговування і можливості відновлення виробу, охоплюючи вироби із заздалегідь визначеними життєвими циклами.

6.6 Етап утилізування

Рішення щодо утилізування виробу регулюється частково його здатністю продовжувати задовільно функціонувати, його рівнем надійності та ремонтпридатності та його експлуатаційною вартістю.

Ці чинники залежать від продовження постачання запасних частин та обслуговування, а також готовності обладнання до заміни.

Безпечна утилізація виробу стає щодень важливішою, і може регулюватися передбаченими законом правилами.

7 СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИМОГ ДО РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

7.1 Встановлювання вимог до ремонтпридатності

Ремонтпридатність треба визначати так, щоб проектувальнику було зрозуміло про необхідність технічного обслуговування і методу, за яким виріб потрібно обслуговувати. Це можна відобразити в заяві, яка визначає вимоги, вказані в контракті.

Проте не всі вимоги до ремонтпридатності можуть бути зазначені в контракті, наприклад, коли новий продукт проектується згідно з внутрішніми вимогами до ремонтпридатності або цілями, оснований на політиці компанії і передбаченому використанню навколишнього середовища.

Так чи інакше, важливо те, щоб вимоги було чітко вказано, і їх можна було перевірити.

Примітка. У цьому стандарті термін «вимога» використовують для визначення заявленої цілі автора й того, чи це здійснено згідно з індивідуальною договірною ситуацією, чи ні.

Вимоги до ремонтпридатності в специфікації можуть містити кількісні або якісні вимоги, або і ті й інші.

Методи для підтвердження того, що вимоги було задоволено, треба заявляти, оскільки необхідно вказати на існування будь-яких обмежень, які можуть негативно впливати на характеристики ремонтпридатності виробу.

Є прогресивний зв'язок між вимогою, специфікацією і контрактом, а саме:

— вимога — початкова заява робочих характеристик, які розробив споживач, котрому потенційний постачальник може надати цінову пропозицію. Цю заяву може також бути видано в межах організації після дослідження ринку майбутнього продукту;

— специфікація — запропоновані робочі характеристики виробу, які, як очікують, відповідатимуть вимозі;

— якщо специфікацію запропонованого виробу прийнято, узгоджені робочі характеристики можна вписати в контракт, і вони стають узгодженими вимогами. Вимоги до ремонтпридатності є частиною повної специфікації, і їх можна доповнити докладними положеннями. Повне викладення вимог до ремонтпридатності охоплює такі чотири основні напрямки:

— характеристики ремонтпридатності, які буде досягнуто під час проектування виробу;

— обмеження щодо розміщення виробу, яке буде впливати на його обслуговування;

— вимоги програми ремонтпридатності, які буде досягати постачальник, щоб довести, що виріб, який постачають, має необхідні характеристики ремонтпридатності;

— забезпечення планування експлуатаційної підтримки.

У специфікації до ремонтпридатності потрібно деталізувати вимоги до ремонтпридатності та метод, якого треба дотримуватися для їх досягнення.

Специфікацію треба заявляти у визначеннях вимог до ремонтпридатності, деякі з них необхідно визначати як істотні, а інші — як бажані. Вимоги потрібно надати у вимірних значеннях, які можуть бути кількісними або якісними і такими, які можна перевірити на подальших етапах відповідно до приписаних процедур.

Специфікація до ремонтпридатності зазвичай охоплює вимоги для досягнення ремонтпридатності на експлуатаційному рівні.

Проте, починаючи з ремонтпридатності, оскільки характеристики елемента стосуються витрат на підтримку й технічне обслуговування, а також можуть стосуватися тривалості обслуговування на різних рівнях обслуговування, заяви треба долучати до специфікації, що охоплює досягнення, необхідні на всіх рівнях, розглянутих згідно з концепцією обслуговування.

7.2 Характеристики ремонтпридатності

7.2.1 Кількісні характеристики ремонтпридатності

Необхідні кількісні характеристики ремонтпридатності зазвичай визначають тривалість перебування виробу в неробочому стані та вказують на необхідність технічного обслуговування, і, як прави-

ло, цей час треба звести до мінімуму. Є ряд критеріїв, які можна використовувати для визначення необхідних характеристик, пов'язаних із тривалістю відновлення, вибір яких наведено в таблиці 1. Різниця між ними в тому, що вони виражають різні пріоритети між зв'язаними властивостями виробу і що вони дають змогу вибирати альтернативні варіанти, які буде визначено пізніше в програмі. Важливо, що такі чинники розглядають перед тим, як специфічна вимога увійде до специфікації. Обмеження може бути також встановлено для завдань профілактичного технічного обслуговування.

Таблиця 1 — Приклади кількісних характеристик ремонтпридатності

Термін	Статистична характеристика	Метод перевіряння
Тривалість поточного технічного обслуговування	Середнє, медіана або максимум ^{a)}	Оцінювання проектування, доказ або експлуатаційне оцінювання
Тривалість поточного відновлювального технічного обслуговування	Середнє, медіана або максимум ^{a)}	Оцінювання проектування, доказ або експлуатаційне оцінювання
Тривалість поточного профілактичного обслуговування	Середнє, медіана або максимум ^{a)}	Оцінювання проектування, доказ або експлуатаційне оцінювання
Тривалість доступу ^{b)}	Значення	Оцінювання проектування, експлуатаційне оцінювання
Кількість годин технічного обслуговування за операційну годину ^{b)}	Середнє	Оцінювання проектування, експлуатаційне оцінювання
Кількість відповідно кваліфікованого персоналу, виконавців технічного обслуговування	Середнє, максимум або мінімум	Оцінювання проектування, експлуатаційне оцінювання
^{a)} Максимальне значення має бути пов'язано з інтервалом (зазвичай використовуване значення становить 95 %). ^{b)} Інші часові бази може бути вибрано залежно від обставин, наприклад день, місяць, рік.		

Поточне технічне обслуговування часто використовують для конкретизування ремонтпридатності й охоплює такі піделементи:

- діагностику (виявлення відмови, виявлення дефектів та ізоляція, локалізація причини тощо);
- технічні затримки (типові технічні затримки охоплюють час регулювання, охолодження, інтерпретування і надавання інформації, інтерпретування показів, що зчитують);
- відновлення (розбирання, встановлення елементів програмного забезпечення, обмін, змінення контрольного коду, повторне збирання, регулювання тощо);
- остаточне перевіряння (необхідні процедури тестування).

Інші характеристики ремонтпридатності можна вказувати для виробу. Таблиця 1 описує деякі інші види характеристик, пов'язаних із різними класами часу технічного обслуговування і методами перевіряння.

Ремонтпридатність виробу може також охоплювати докладні характеристики, як наприклад доступ, використання спеціальних інструментів і випробувального обладнання, і відношення з будь-якою наявною експлуатаційною підтримкою. Ремонтпридатність можна використовувати як непрямий вимір придатності, використовуючи визначення придатності:

$$\text{Придатність} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}},$$

де MTBF — середній час між відмовами;

MTTR — середній час відновлення.

Припускаючи, що MTBF виробу є константа, придатність — міра ремонтпридатності в термінах часу для відновлення.

Взаємовідношення між різними елементами повного технічного обслуговування протягом часу подано в ІЕС 60300-3-10:2001 на рисунку 2.

7.2.2 Якісні характеристики ремонтпридатності

Необхідні якісні характеристики ремонтпридатності охоплюють визначення функцій продукту, критерії дефектів, експлуатаційні й екологічні умови, термін корисної служби виробу, протягом якого

вимоги має бути виконано. Якісні характеристики пов'язані зі ступенем відповідності виробу певному технічному обслуговуванню і політикою підтримки. У тому разі, коли якісні характеристики містять числові значення, це треба покваліфікувати як заявлений рівень, який потрібно досягнути. Це може здійснюватися пропорційно випадкам або подіям довірчими рівнями або іншою ймовірністю. В іншому разі згода повинна бути оцінена інспекцією або перевіркою документа. Така політика може охоплювати заяви, про що свідчать такі приклади:

- ремонт повинен виконувати персонал заявленого рівня кваліфікації;
 - ремонт треба виконувати заміною виробів на вказаних рівнях;
 - змінні частини мають бути взаємозамінними одиницями;
 - технічне обслуговування потрібно виконувати згідно з певними та встановленими процедурами споживачів;
 - пошкоджену частину ізоляції має визначати обладнання вбудованого контролю.
- Є ряд інших можливих якісних показників, які можуть зацікавити, як показано нижче:
- доступність;
 - вимоги рівня навичок технічного обслуговування;
 - потреба в спеціальних інструментах і випробувальному обладнанні;
 - потреба в коригуваннях;
 - стандартизація частин;
 - чітка ідентифікація функційних підсистем;
 - контроль конфігурації, установки і функції;
 - візуальний інспекційний доступ;
 - вбудоване випробувальне обладнання;
 - належним чином визначені точки контролю;
 - кольорове кодування та етикеткування (у разі потреби);
 - використання змінних одиниць;
 - використання затискачів;
 - використання ручок на змінних одиницях;
 - можливості й рівень технічних настанов;
 - ризик старіння обладнання;
 - обмеження людського чинника в проектуванні виробу;
 - підтримка безпеки обслуговувального персоналу.

7.2.3 Контрольованість

Контрольованість визначено як якісну характеристику проектування, яка визначає ступінь, на відповідність якому виріб можна перевірити за встановлених умов. Завдання діагностичного випробовування — забезпечити рентабельні та швидкі методи ідентифікування помилки для того, щоб мінімізувати затрати технічного обслуговування і щоб оптимізувати експлуатаційне використання виробу.

Швидка й точна діагностика відмов — головний чинник у досягненні високої ремонтпридатності.

Необхідні контрольовані характеристики можна встановити докладно для того, щоб використовувати наявне випробувальне обладнання в новій продукції, або залишити проектувальнику для вирішення завдань з використанням проектного обладнання, стандартного випробувального обладнання або апаратури вбудованого контролю (ВІТЕ). ІЕС 60706-5 надає більш докладну інформацію щодо характеристик контрольованості.

7.3 Обмеження

Під час написання вимог специфікації необхідно вказувати, яким чином треба організовувати технічне обслуговування та прийняті обмеження, які будуть накладені на керівника або постачальника (наприклад, профілактичне технічне обслуговування буде заборонено в певні періоди часу).

Обмеження, необхідні в специфікації, залежать від характеру вимог ремонтпридатності, як вказано в 7.1. Доцільно вивчити цю потребу конкретно за кожною заявленою ціллю. Обмеження мають також охоплювати будь-які обмежувальні вартість чинники.

Як правило, такі обмеження будуть охоплювати наведене нижче, але не будуть обмежуватися зокрема:

- потребою взаємодії з наявним або визначеним технічним обслуговуванням і політикою підтримки;

- межею для критичних ресурсів, як, наприклад, дорогі засоби, висока вартість запасних частин, чисельність кваліфікованого персоналу на всіх рівнях в організації;
- твердженням, які містять вимоги або обмеження кількості та характеру профілактичного технічного обслуговування;
- екологічними аспектами;
- вимогами щодо обмеження критичних ресурсів, які розміщено на сайті;
- будь-якими обмеженнями періодів часу щодо очікуваної утилізації обладнання, коли профілактичне технічне обслуговування треба здійснювати;
- обмеженнями, які можна також увести посиланням на інші специфікації, публікації ІЕС тощо.

7.4 Вимоги до програми ремонтпридатності

7.4.1 Загальні положення

Рекомендовано, щоб специфікація містила вимоги до офіційної програми ремонтпридатності, яку використовує постачальник у своїх намаганнях задовольнити вимоги.

Причини такі:

- це полегшує координацію між кількома постачальниками, які постачають вироби, використовані в такій самій системі;
- це може встановити взаємозв'язок між конструюванням виробу й розширенням технічного обслуговування та системою підтримки;
- взаємодія між замовником і постачальником, визначена програмою, яку можна розглядати як частину перевірки того, що вимоги виконано;
- більша гнучкість для досягнення компромісів, яка може бути вирішена в межах вимог офіційної програми.

Докладну інформацію щодо програм ремонтпридатності наведено в ІЕС 60300-3-10. Офіційну програму ремонтпридатності не можна розпочати самостійно, оскільки робота може бути об'єднана в ширшу програму залежності чи інтегровану логістичну програму підтримки (див. ІЕС 60300-3-12); проте важливо, щоб робота була розглянута в тій чи іншій формі.

7.4.2 Підтримка технічного обслуговування

Рентабельна система вимагає, щоб проектування виробу відповідало вимогам до ремонтпридатності та забезпечення технічного обслуговування і підтримки системи, яка надає можливості дотримання концепції технічного обслуговування. Ресурси, необхідні для експлуатування та підтримування цієї системи мають бути придбані. Це може бути об'єднане з придбанням виробу, який буде підтримуватися.

Підтримку виробу можна досягти трьома головними способами або їх комбінацією:

- а) постачальнику надають відповідальність забезпечення деяких із ресурсів, які мають відповідати вимогам технічного обслуговування, наприклад, навчання, керівництво, випробувальне обладнання, запасні частини тощо й організації покупців, які безпосередньо беруться за роботу з технічного обслуговування;
- б) постачальнику надають відповідальність забезпечення підтримки технічного обслуговування;
- с) третій стороні надають відповідальність забезпечення технічного обслуговування.

План підтримки технічного обслуговування загалом розвивають через аналізування підтримки.

7.5 Перевіряння

Перевіряння вимог до ремонтпридатності — процес визначання того, що вимоги, викладені в специфікації, досягнуто. Перевірку може бути виконано на різних рівнях, залежно від виду обладнання і відповідальності за визначення і забезпечення підтримки технічного обслуговування. Методи перевіряння можуть бути різними залежно від надання постачальником відповідних даних або інформації про виконання вимог щодо кваліфікаційних випробовувань або доказу ремонтпридатності.

Специфікація повинна містити вимоги щодо перевірки ремонтпридатності разом з методами, які будуть використані для підтвердження наданих гарантій. Це стосується як якісних, так і кількісних вимог і дій, які необхідно вжити у разі невідповідності вимог. Вимога, що відповідає лічильникам, які вказують на години роботи, циклів або аналогічних числових показників, потрібно розглядати, щоб вимірювання використовувати в обчисленнях, використовуваних в процесі перевіряння.

У процесі перевіряння для сприяння обчислюванням необхідно розглядати результати вимірювання, одержані з використанням засобів вимірювання, які вказують години роботи, цикли або аналогічні числові показники.

Досягнення параметрів специфікації часто пов'язують з умовами договору і/або термінами компенсації за незадовільних результатів роботи й тому про долучення параметрів ремонтпридатності та методу для забезпечення перевірки або гарантії треба чітко й однозначно вказувати в специфікації.

8 ВИВЧАННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ НА ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ

8.1 Загальні положення

Це положення викладене під час досліджування ремонтпридатності на етапі проектування і конструювання у взаємовідношенні з іншою ремонтпридатністю і завданням підтримки технічного обслуговування, які описано у взаємопов'язаній документації.

На етапах проектування описують окремі дослідження ремонтпридатності.

Під час обговорення проекту також розглянуто питання щодо ремонтпридатності.

8.2 Завдання

Завдання за вивчення ремонтпридатності такі:

- настанови проектних рішень;
- передбачення кількісних характеристик ремонтпридатності виробу;
- ідентифікація будь-яких змін під час проектування виробу або вимог, або перше і друге, які необхідні для досягнення відповідності експлуатаційним вимогам в межах наданих обмежень.

Ремонтпридатність потрібно розглядати докладно як складник проектування продукту.

Вивчення ремонтпридатності разом з вивченнями надійності застосовують для того, щоб перевести експлуатаційні вимоги до докладно визначених якісних і кількісних вимог до ремонтпридатності та критеріїв проектування, і їх результати мають забезпечити підготовку проекту рішення.

8.3 Вивчення ремонтпридатності на етапі проектування

8.3.1 Загальні положення

Вивчення ремонтпридатності є частиною програми ремонтпридатності, призначеної гарантувати, що виріб, який постачають, відповідає вимогам ремонтпридатності.

Їх повинен запланувати та виконати постачальник, навіть якщо вони не вказані в контракті, оскільки вони підтверджують трудомісткість робіт з технічного обслуговування й тому безпосередньо впливають на вартість.

Запропоновані теми, які потрібно долучити до вивчення ремонтпридатності, такі:

- підтримуваний рівень кваліфікації;
- запропоновані рівні обслуговування;
- тип і кількість технічного обслуговування, яке буде здійснено кожним «рівнем технічного обслуговування»;
- доступність;
- модульність;
- функційна взаємозамінність виробів;
- час ремонту;
- розрахунковий життєвий цикл складників, що можуть зношуватися;
- легкість ідентифікації дефектного виробу;
- ступінь діагностичного випробування;
- вартість технічного обслуговування.

8.3.2 Аналізування ремонтпридатності

Аналізування ремонтпридатності як невід'ємна частина вивчення ремонтпридатності — процес, який переводить експлуатаційні вимоги на докладні якісні та кількісні вимоги щодо ремонтпридатності, робить свій внесок в дослідження взаємозамінності й оцінює запропонований проект згідно з кількісними та якісними критеріями проектування.

Це забезпечує внесок до процесу проектування документацією під такими заголовками:

- особливі вимоги ремонтпридатності, які визначено в проекті;
- настановні принципи проектування та контрольні списки для гарантування необхідних вимог ремонтпридатності, що належать до проекту;
- короткий звіт основних операцій технічного обслуговування та вимог щодо підтримки;

— вартість складників і вартість профілактичного й відновлювального технічного обслуговування. Аналізи ремонтпридатності вивчають поетапно.

Проекти аналізів щодо ремонтпридатності вивчають повторно, перед тим як оптимальний варіант буде вибрано.

Їх потрібно також використовувати для оцінення ступеня досягнення вимог проекту ремонтпридатності.

Для того щоб забезпечити оптимальні результати, аналізи мають бути ґрунтовані на понятті технічного обслуговування, встановленому паралельно з оптимізацією проектування. Їх має бути узгоджено з експлуатаційною концепцією виробу й обмеженнями технічного обслуговування (взаємозв'язки між рівнями обслуговування, умовами обслуговування і режимами технічного обслуговування) в організації споживача. Експлуатаційна концепція призводить до визначення місії оперативного розгортання життєвого циклу, утилізації та операційного середовища. Елементи концепції технічного обслуговування описано в прикладних настановах із ремонтпридатності (ІЕС 60300-3-10) й технічного обслуговування та підтримки технічного обслуговування (ІЕС 60300-3-14).

8.3.3 Етапи проектування

Проектувальник, відповідальний за досягнення вказаних у проекті експлуатаційних вимог, які охоплюють вимоги ремонтпридатності в межах звичайних обмежень програм і витрат. Для того щоб задовольнити ці вимоги, ремонтпридатність треба визначити на початку процесу проектування, і необхідні дослідження ремонтпридатності потрібно виконувати протягом цього процесу. Програма ремонтпридатності має ідентифікувати відповідальність проведення цих досліджень ремонтпридатності, якщо їх не долучено до загального процесу аналізування ІЛС (як це описано в ІЕС 60300-3-12). Їх масштаб і глибина будуть залежати від специфічних потреб, від яких вони безпосередньо залежать, а також від ступеня складності та критичності виробу щодо необхідної безпеки, придатності й надійності.

Проектування — ітеративний процес, і кожне завдання забезпечує вхідні дані до послідовних завдань і тих, які здійснюються паралельно. Суттєві вхідні дані для аналізування ремонтпридатності, з досліджень результатів надійності, а також результати недавніх аналізів ремонтпридатності устаткування, які не долучено до цієї настанови, повинен забезпечити постачальник обладнання як частину їх програми ремонтпридатності.

Суттєві дані щодо аналізу ремонтпридатності, які не внесено в цю настанову:

— вивчення результатів безвідмовності;

— результати недавніх аналізів ремонтпридатності обладнання, які повинен забезпечити постачальник обладнання як частину їх програми ремонтпридатності.

Найбільша ефективність проектів, для яких важлива всебічна програма ремонтпридатності, надзвичайно залежать від субпідрядників. Тому в цих проектах необхідно долучати субпідрядників до розробки загальної програми ремонтпридатності.

Рисунок 1 разом з таблицею 2 є наглядним прикладом того, як дослідження ремонтпридатності під час проектування пов'язано із завданнями проектування. Цей приклад також показує зв'язок між аналізом ремонтпридатності та аналізом підтримки технічного обслуговування (див. ІЕС 60300-3-14), які виконано паралельно.

Варто зазначити, що обговорення проектування потрібно здійснювати в головних пунктах (точках).

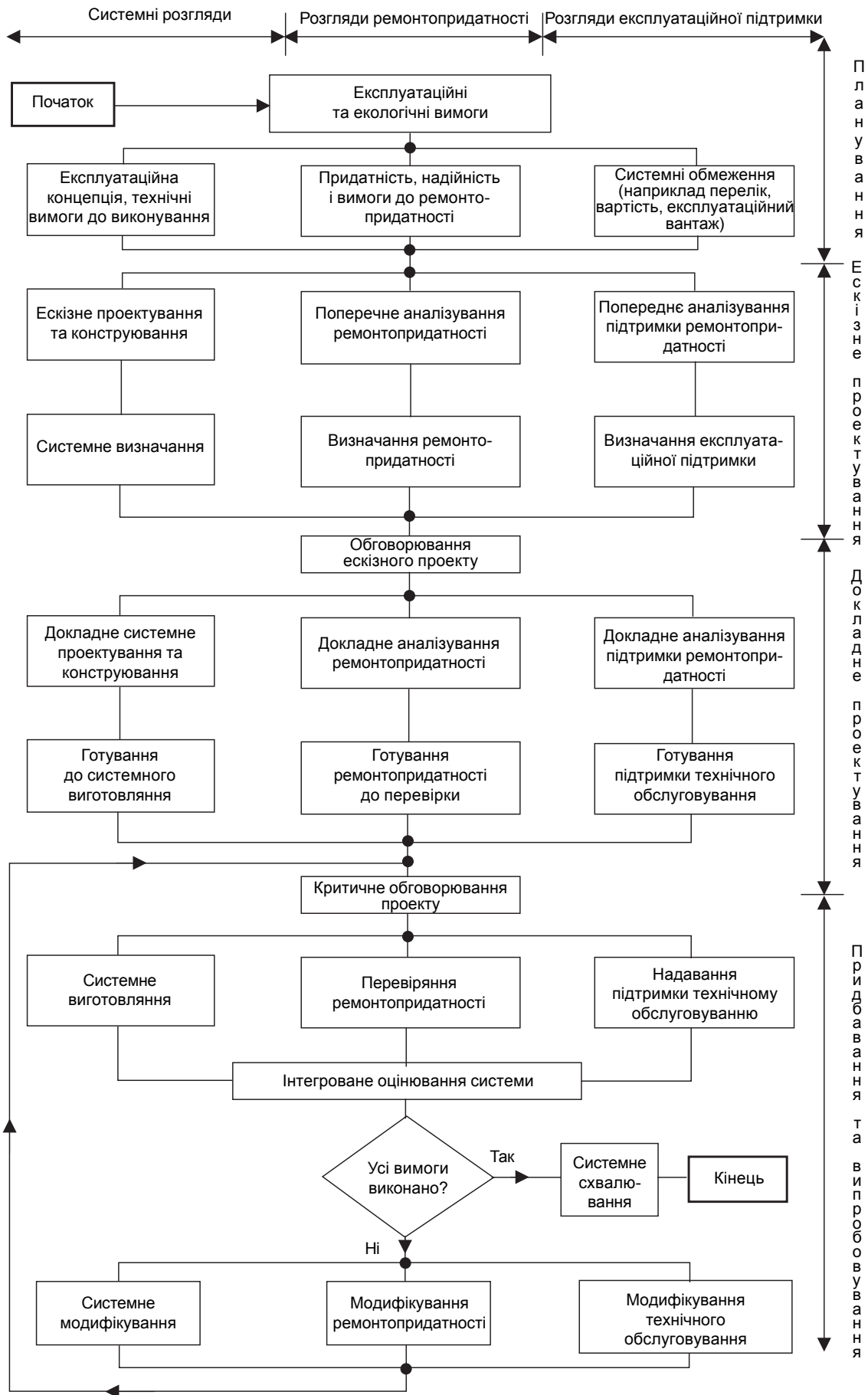


Рисунок 1 — Вивчення ремонтпридатності на етапі проектування

Таблиця 2 — Докладні завдання під час вивчення ремонтпридатності

ЕСКІЗНЕ СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ Альтернативи проектування Ескізне проектування
СИСТЕМНЕ ВИЗНАЧАННЯ Вивчення системного рівня взаємообміну ремонтпридатності Вибір оптимальної системи проектування Специфікації системи Вибір субпідрядника
ПОПЕРЕДНЄ АНАЛІЗУВАННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Блок-схеми Оцінювання ймовірності Розподілення Критерії проектування
ВИЗНАЧАННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Вивчення системного рівня ремонтпридатності Вхід в систему сертифікації Підхід до вибору субпідрядника Огляд контрольних списків
ПОПЕРЕДНЄ АНАЛІЗУВАННЯ ПІДТРИМКИ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Концепція системного технічного обслуговування Попередня надійність, ремонтпридатність і аналізування підтримки технічного обслуговування
ВИЗНАЧАННЯ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Вивчення системи підтримки взаємозамінності Вивчення вартості життєвого циклу Концепція розвитку технічного обслуговування
ДОКЛАДНЕ СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ Рисунки Моделі Технічні дані Проектування випробувальних процедур і результатів Контролювання субпідрядників під час проектування
ГОТУВАННЯ ДО СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ Виробничі процедури
ДОКЛАДНЕ АНАЛІЗУВАННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Прогнозування Попередній рівень дослідження Зв'язок проектування Метод відмови й аналізування впливів Досліджування зручності технічного обслуговування Контролювання програми субпідрядника
ГОТУВАННЯ ДО ПЕРЕВІРКИ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Аналізування розроблених випробовувань Процедури перевіряння/доказів
ДОКЛАДНЕ АНАЛІЗУВАННЯ ПІДТРИМКИ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Аналізування завдань технічного обслуговування Аналізування рівня ремонту Аналізування ремонту/усунення Аналізування контрольованості План технічного обслуговування
ГОТУВАННЯ ДО ОДЕРЖАННЯ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Визначання ресурсів логістичної підтримки: персонал, навчання, випробувальне обладнання, обладнання підтримки, настанови, запасні частини, засоби

Кінець таблиці 2

СИСТЕМА ВИГОТОВЛЕННЯ Виготовлення Функційне випробовування
ПЕРЕВІРЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ Оцінювання даних перевірок/доказів
НАДАВАННЯ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННЮ Затверджування підтримки технічного обслуговування Оптимізування ресурсів логістичної підтримки Придбання
ІНТЕГРОВАНЕ ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМИ Інтегроване експлуатаційне випробовування Завершальне аналізування надійності/ремонтпридатності/безпечності

8.4 Аналізування інструментів і процедур

8.4.1 Передумови

Передумова для вивчення ремонтпридатності — існування вимог ремонтпридатності. Їх може безпосередньо вказати в контракті замовник, або вони можуть бути зазначені в експлуатаційних вимогах, які потрібно втілити в конкретні функції, роботу, надійність, ремонтпридатність і вимоги щодо безпеки перед тим, як їх апробують в умовах завдань на проектування. Вимоги щодо ремонтпридатності необхідно чітко визначити в якісних і кількісних умовах для врахування належного планування і виконання проектування.

Оскільки системи мають краще програмне забезпечення, традиційний аналіз апаратної ремонтпридатності потребує розширення для залучення елементів програмних забезпечень.

Найлегший спосіб у межах процесу проектування — ідентифікувати як технічні засоби, так і програмні засоби для забезпечення ремонтпридатності та вибрати два окремі аналізи, комбінуючи їх на технічному чи системному рівнях. Головний недолік цього підходу — те, що дані відмов зазвичай направлено проти систем або продуктів і не ідентифіковано проти визначених технічних засобів або елементів програмного забезпечення. Отже, рекомендовано, щоб будь-які договірні зобов'язання визначали в повній відповідності з термінами, оскільки це запобігає суперечкам про відповідальність і дає змогу розробникам знаходити компроміс між програмним і технічним проектуванням.

8.4.2 Блок-схеми

Під час аналізування ремонтпридатності зручно описати виріб з використанням блок-схем, функційних або технічних складників виробу. На функційному рівні відмови виробу визначають розділенням на складові функції, щоб описати всі головні функції, і вони слугують основою для аналізу характерних наслідків і відмов (FMEA), аналізу випробувань та ідентифікації потреб технічного обслуговування.

Відмову на рівні апаратних засобів застосовують в основному під час ідентифікування функцій апаратних засобів, але стосовно дії технічного обслуговування.

Це полегшує ідентифікацію умов проектування ремонтпридатності. Підементи, які буде відновлено в разі відмови заміною можна ідентифікувати також як і ті, які є незамінними, але відновлюваними.

Приклад блок-схеми рівня ремонтпридатності апаратних засобів подано на рисунку 2. Точки для локалізування дефекту, ізолювання дефекту й випробовування зазначають на рисунку 2.

Найлегший метод для долучення програмного забезпечення до блок-схеми ремонтпридатності — ідентифікування як технічних засобів, так і програмних елементів ремонтпридатності в комбінованих технічних засобах і блок-схемах програмного забезпечення ремонтпридатності. Елементи програмних забезпечень можна ідентифікувати до модулів, які може бути незалежно визначено та замінено, як дискретні елементи. Це, як правило, відомо, як програмне забезпечення важливих елементів або SSIs, і є частиною апаратних засобів виробу, в межах якого вони наявні. SSIs охоплюють обидва програмні забезпечення в межах пам'яті (RAM або ROM) або наявні у складниках, які програмуєть.

Модуль програмного забезпечення спочатку завантажують у виріб, а потім повторюють кілька

разів у системі чи мережі. Початковим пунктом завантаження вважають постійне місце розташування цього модуля програмного забезпечення.

8.4.3 Оцінювання виконання

У процесі проектування є точки рішень, де потрібно розглядати здійсненність альтернативних підходів. На початку етапу проектування буде недостатньо інформації, щоб докладно спрогнозувати оцінку відповідності з вказаними вимогами перед продовженням докладного проектування. Тому необхідна спрощена процедура, щоб надати грубий прогноз ремонтпридатності, яка базується переважно на попередньому досвіді. Дані з попередніх проектувань можна пристосувати до нових характеристик проектувань і умов технічного обслуговування. На цьому етапі потрібно ідентифікувати тільки основні завдання позапланових технічних і профілактичних обслуговувань і оцінити їх тривалість. Результати цих аналізів можна використовувати для оцінювання проектування системи, зокрема використовуючи альтернативні підходи. Аналізи можуть також вказувати на те, що вимоги до ремонтпридатності не може бути задоволено в межах вказаних обмежень і тому підлягають заміні.

8.4.4 Розподілення

Процес переведення вимог системної ремонтпридатності до нижчого функційного рівня називається «розподілення ремонтпридатності». Це ітеративний процес, який треба проводити на початковому етапі проектування. Проте процедура розподілення може бути виконана тільки за рахунок найвищого рівня розподілу з причини обмеженої інформації на цьому етапі. Повторення та розподілення застосовують для зниження рівнів докладності під час проектування.

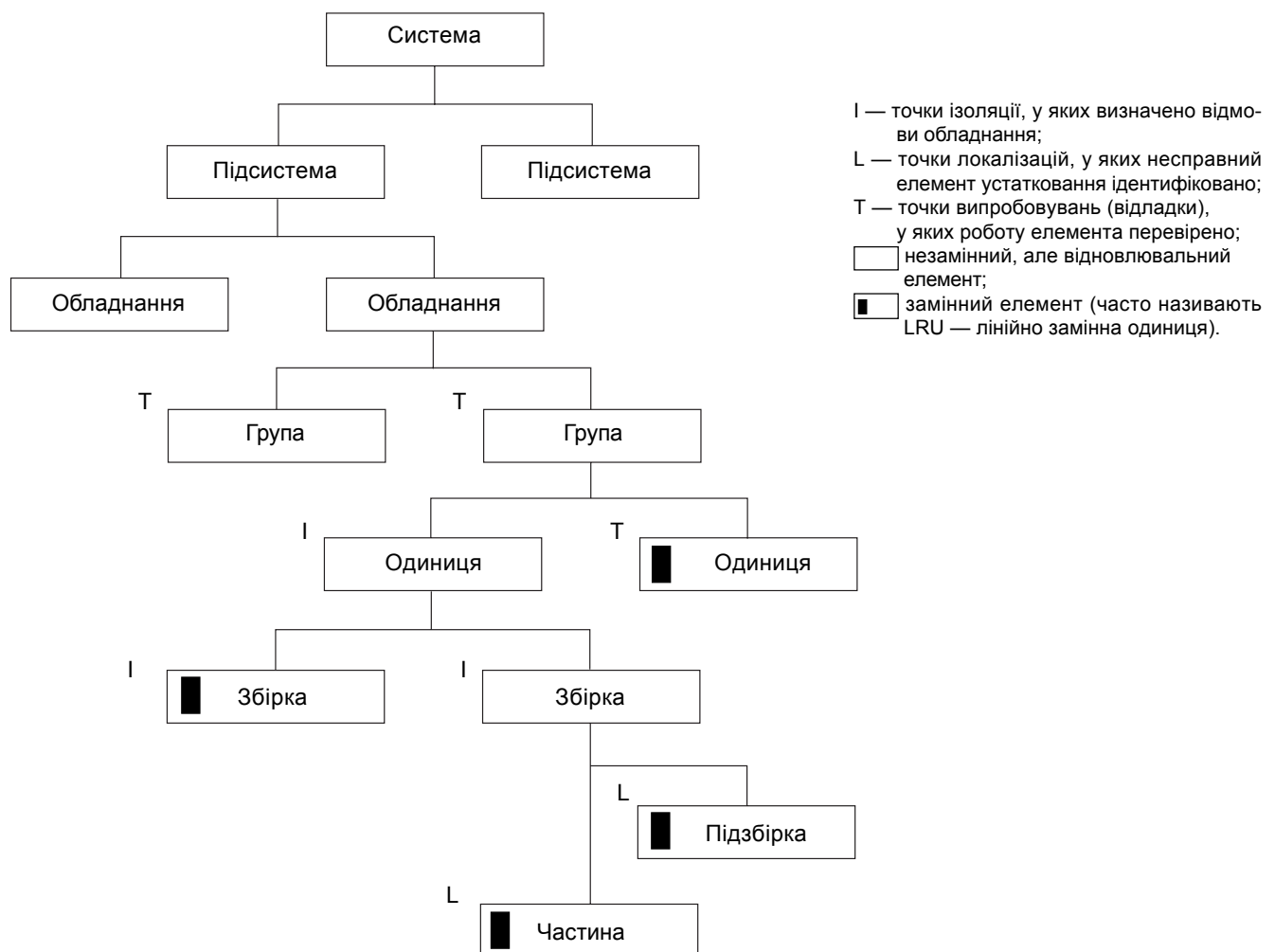


Рисунок 2 — Блок-схема технічних засобів рівня ремонтпридатності

Перший крок розподілення вимагає приведення системи до необхідного функційного рівня деталі. Це можна зробити з використанням технічних засобів і програмного забезпечення рівня блок-схем, як описано у 8.4.2. У попередніх етапах можливо не вдасться досягти необхідної глибини, але за одержання докладної інформації процес можна продовжити. Істотні вхідні дані — оцінка надійності кожного елемента в блок-схемі. Тому необхідно для інженерів з надійності і ремонтпридатності із самого початку встановити тісний зв'язок і використовувати таку саму функційну схему рівня, яка б врахувала надійність, людські чинники, ремонтпридатність, логістику, безпеку, проектування і системне проектування і в ідеалі отримати всі оновлення одночасно. Такі самі дані, які потрібні для ILS, використовують для LSA, і тісні контакти скорочують необхідність у дублюванні зусиль та здобуванні максимальної погодженості та використовувати доступних даних. Для конкретнішої інформації про процедури ILS див. ІЕС 60300-3-12.

Другий крок — розподілення характеристик ремонтпридатності для кожного ідентифікованого виробу з використанням інформації з незалежних джерел про його проектування і навколишнє середовище. В основі розподілення має бути відносна складність залучених одиниць. Складність у тому, що може бути основане на нормі відмови виробу чи життєвому циклі виробу. Необхідно застосовувати будь-який попередній досвід з подібним виробом.

Параметри, використані для розподілення ремонтпридатності, ті самі, що й для визначення вимог ремонтпридатності. Приклади охоплюють:

- a) середній оперативний час ремонту (MART), можливо надалі підрозділений на час діагностики, час відновлення та час перевірки;
- b) максимальний оперативний час ремонту, якщо це необхідно і доцільно;
- c) середній оперативний час профілактичного технічного обслуговування;
- d) максимальний оперативний час профілактики технічного обслуговування, якщо це необхідно й доцільно;
- e) середні людино-години технічного обслуговування за годину роботи (ММН/ОН);
- f) середня тривалість простою за час необхідний для відновлення роботи;
- g) середня тривалість простою за годину роботи необхідної для профілактичного технічного обслуговування.

Логістичне розподілення часу та адміністративний час затримки можна також зробити, за необхідності.

Третій крок — вивчення можливості розподілення характеристики ремонтпридатності для кожного ідентифікованого виробу в технічних засобах і програмному забезпеченні рівня блок-схем. Результати порівнюють із попереднім досвідом і галузями застосування для удосконалення і/або модифікації розподілення та ідентифікують за потреби. За неможливості розподілення використовують такі напрямки:

- 1) удосконалення характеристик ремонтпридатності повторним проектуванням (кращої діагностики, доступу, модернізації, можливостей тощо);
- 2) повторне перерозподілення, підпорядковане певним вимогам системи, що трапляються;
- 3) скорочення норм відмов через удосконалення надійності;
- 4) додаткові резерви для надійного основного управління, за можливості здійснення;
- 5) повторний розгляд системних вимог, у крайньому разі.

Приклад розподілення ремонтпридатності подано в додатку В.

8.4.5 Прогнозування ремонтпридатності

8.4.5.1 Ціль

Прогнозування ремонтпридатності — процес оцінювання аналітичними засобами особливостей ремонтпридатності виробу. Це охоплює обчислення кількісних характеристик ремонтпридатності, використовуючи певну аналітичну модель ремонтпридатності, основану на встановлених умовах, які містять підтримку технічного обслуговування.

Прогнозувати ремонтпридатність потрібно на необхідних етапах проектування, щоб забезпечити наведені нижче дані:

— оцінку ймовірності того, що розподілені вимоги до ремонтпридатності можуть бути задоволені, і що необхідна підтримка технічного обслуговування буде доступна, щоб відповідати експлуатаційним вимогам;

— ідентифікацію будь-яких галузей, де необхідна модифікація.

Це відповідні вимоги до управління, які гарантують, що проектування просувається задовільно, та вказують, де потрібні зміни проектування та перенаправлення зусиль проектування.

У межах кожного аналітичного циклу необхідно виконати кроки, проілюстровані на рисунку 3.

8.4.5.2 Модель

Відповідну аналітичну модель, що відображає особливості ремонтпридатності стосовно виробу треба конструювати (розробляти).

В основі моделі мають бути функційні або апаратні засоби та рівні програмного забезпечення, блок-схема, описана в 8.4.2, для визначення математичних правил для об'єднання параметрів за цих обмежень ремонтпридатності виробу.

Зазвичай прості аналітичні моделі мають бути достатніми.

Проте, у певних випадках, можлива необхідність вищого ступеня досвідченості.

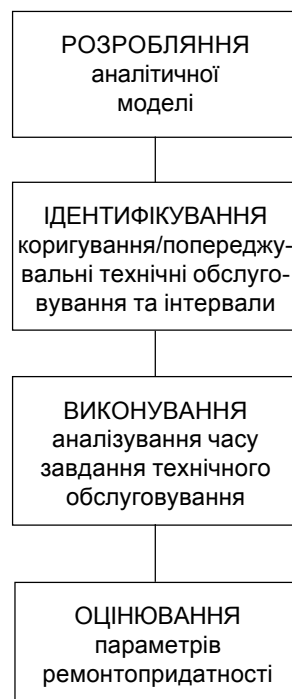


Рисунок 3 — Основні кроки в прогнозуванні ремонтпридатності

8.4.5.3 Завдання технічного обслуговування та інтервали

Прогнозування ремонтпридатності охоплює коригувальні та позапланові профілактичні технічні обслуговування згідно з їх відповідними внесками в повні витрати обслуговувань, також з їх впливом на безпечність системи або критичність, як вказано нижче:

— вхідні дані для залучення позапланового технічного обслуговування потрібно забезпечити аналізом надійності. FMEA (див. 8.4.7) ідентифікує можливі випадки дефектів і завдання щодо відновлення. Середній час між відновлювальними техобслуговуваннями визначає відповідні класи дефектів, які охоплюють тривалість життя свого циклу, обмеженого життєвим циклом виробів як частину аналізу надійності;

— профілактичне обслуговування має ґрунтуватися на плані технічного обслуговування. Це ідентифікує завдання профілактики та відповідні інтервали в термінах експлуатаційних годин і циклів.

Надійність зосередження технічного обслуговування (RCM) (див. ІЕС 60300-3-11) забезпечує методологію для ідентифікації тих завдань, які потрібно виконати, щоб відповідати вимогам щодо безпеки або експлуатаційним обмеженням і тим завданням обслуговувань, які могли бути відкладені.

Це також визначає, що проектування потрібно знов дослідити і/або змінити для надання можливості обладнанню відповідати конкретним робочим параметрам.

Завдання сервісного технічного обслуговування, як, наприклад, поповнення і змащування, треба долучити до завдань позапланових технічних або профілактичних обслуговувань залежно від характеру (природи) випадку.

8.4.5.4 Аналізування часу завдань технічного обслуговування

У межах завдань технічного обслуговування, ідентифікованого згідно з 8.4.5.3 можна визначити подробиці поточних завдань та пов'язану технічну затримку їх підтримки, як, наприклад, розташування випробувального обладнання чи засобів обслуговування. Час, необхідний для виконання цих подробиць завдань треба оцінити в тій мірі, у якій вони залежать виключно від проектування обладнання. Це надає припущення, що їх виконують згідно зі схваленими настановами навченим та кваліфікованим персоналом з усіма швидко доступними ресурсами. Оцінки мають ґрунтуватися на історичних даних або попередньому досвіді, і їх треба збирати відповідно до структури відповідних завдань технічного обслуговування. Отже, під час проектування конкретного технічного обслуговування необхідно передбачити час для кожного важливого етапу завдання, як, наприклад, підготовка, локалізація дефекту, доступ, заміна, регулювання/калібрування, перевірка та підготовка до експлуатаційного використання чи зберігання.

Під час аналізування практичного використання потрібно передбачити додаткову кількість часу, таку як час адміністративного очікування та час логістичних затримок. На цей час перш за все впливає організація підтримки технічного обслуговування, обговорена в ІЕС 60300-3-14, і яку треба розглянути окремо.

8.4.5.5 Оцінювання параметрів ремонтпридатності

Досягнення завдань ремонтпридатності для проектування ґрунтується на інформації, встановленій відповідно у 8.4.5.2—8.4.5.4, можна оцінити кількісно.

Залежно від вимог до ремонтпридатності для проектування, прогнозування будуть взяті до уваги всі відповідні дії технічного обслуговування окремо чи в сполученні.

Параметри ремонтпридатності, використані для прогнозування, мають бути такими самими, як і для розподілення ремонтпридатності.

Їх потрібно обчислювати, застосовуючи аналітичну модель ремонтпридатності стосовно даних частоти та часу.

8.4.6 Вивчення обміну

Вивчення обміну — процес прийняття рішення, у якому оцінено кілька альтернатив. Усі важливі пов'язані чинники розглядають систематично й адекватно до створення вибору оптимальної альтернативи. Аналізи обміну ремонтпридатності використовують для визначення відносних переваг однієї альтернативи проектування та пов'язаної концепції технічного обслуговування над іншою.

У ескізному проекті оцінювання обміну стосується високорівневих системних параметрів, як, наприклад, робота, придатність, надійність, ремонтпридатність і вартість життєвого циклу.

З іншого боку під час докладного проектування конкретного виробу нижчого рівня розглядають параметри нижчого рівня, такі як доступність, випробування, підтримка обладнання, пакування та запасні частини.

Вивчення обміну зазвичай досягається використанням наведених нижче кроків:

— **визначанням проблеми.** Специфічна проблема, яка буде вирішена, та визначені чинники, які буде розглянуто й описано.

— **ідентифікацією здійснених альтернатив.** Усі можливі рішення спочатку внесено до списку, потім ті, які здаються прийнятними із системного боку.

— **вибиранням критеріїв оцінювання.** Параметри, використовувані в процесі оцінювання відібрано й оцінено згідно з доцільністю та ступенем важливості; параметр переважальних чинників можна використати для полегшення оцінювання.

— **оцінкою.** Дані придбано, моделі сконструйовано, рішення аналізують і виконують та зроблено повідомлення.

За вивчення обміну необхідно дбати про усунення особистих упереджень та затверджувати дані та результати аналізу. Чутливість аналізу використовують під час визначання, наскільки чутливі результати до зміни вхідних параметрів.

Оцінка життєвого циклу (LCC) — один із найважливіших параметрів, які розглядають у дослідженнях обміну. Під час оцінювання проектування LCC досліджують для обрання оптимального спо-

лучення особливостей проектування. Це охоплює, зокрема, поняття технічного обслуговування та характеристики (особливості) ремонтпридатності.

Обмін охоплює LCC та інші дослідження, які надають вхідні дані для оцінення вибору оптимального проекту. Надалі це описано в ІЕС 60300-3-3.

8.4.7 Методи відмов і аналізування наслідків (FMEA)

FMEA — метод аналізування надійності, призначений для ідентифікування характеру та причин можливих відмов виробу. Це передбачає прогнозування вхідних даних ремонтпридатності методом ідентифікування відмов, їх частоти та подальших необхідних дій технічного обслуговування. Це також полегшує процес розподілення. Крім того, це служить основою для проектування та визначання місця моніторингу й дефектних пристроїв та розвитку автоматичного випробування та діагностичних процедур, щоб мінімізувати час позапланового технічного обслуговування.

Основні кроки у виконанні FMEA такі:

- визначання необхідних умов для здійснення роботи виробу;
- поломка системи у функційних елементах;
- ідентифікування (ототожнювання) способів відмови, частота випадків та результати;
- ідентифікування умов, які спричиняють відмову;
- описування особливостей проектування для виявлення відмови;
- внесення до переліку базового технічного обслуговування дій щодо відновлення.

Подробиці процедур FMEA узгоджено з ІЕС 60812.

8.4.8 Аналізування дерева відмов

Аналізування дерева відмов (FTA) — низхідний структурований підхід, який визначає можливі причини, які призводять до відмов кожного окремого виробу. Це метод, який можна використовувати для виявлення будь-якої відмови, з використанням якого відмови можна виявити та визначити, і також його застосовують для визначення взаємозв'язку між відмовами, часом ремонту та застосуванням запчастин. Цей метод можна також використовувати у визначанні періодів планового технічного обслуговування і виконанні ремонту чи зміни рішення.

Дерево відмов особливо підходить для аналізування складних систем, які охоплюють певну кількість функційно пов'язаних систем або залежних підсистем із різними завданнями щодо роботи. Процедура найбільше придатна для великих установок, таких як, наприклад, авіація, системи комунікацій або хімічна та інші індустріальні процеси й передумови.

Подробиці процедур FTA узгоджено з ІЕС 61025. Повні подробиці застосування FTA подано в ІЕС 60300-3-1.

8.4.9 Аналізування RCM

Аналізування RCM передбачає використання логічного дерева рішень, щоб ідентифікувати відповідні та ефективні вимоги технічного обслуговування та дії стосовно безпеки, експлуатаційних й економічних наслідків відмов, які можна ідентифікувати, та застарілих механізмів, відповідальних за ті відмови. RCM забезпечує розширення FMEA, що дає змогу прийняти логічні рішення стосовно потреби розпочати технічне обслуговування або потреби повторного проектування чи експлуатаційних вимог.

У більшості наявних методів RCM використано підхід ІЕС 60300-3-11, який оснований на методології MSG 3. Інші методології можна використовувати для конкретного промислового застосування. Використовування RCM вимагає докладного розуміння обладнання чи системи та може бути трудомістким і дорогим.

Отже, RCM зазвичай використовують там, де відмова обладнання чи системи мали б серйозну небезпеку, екологічні чи експлуатаційні ефекти.

8.4.10 Інші дослідження

Додатково до вже описаних досліджень можна застосовувати й інші дослідження, наприклад, адресні діагностичні вимоги, діагностичний рівень ефективності та розподілення ремонту. Дослідження та аналізування спрямовані на технічне обслуговування та підтримку технічного обслуговування (наприклад аналізування рівня ремонту), аналізування завдань технічного обслуговування та аналізування навичок, які описано в ІЕС 60300-3-14.

9 ПІДТРИМУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

9.1 Зв'язок

Інженер з ремонтпридатності має забезпечувати безперервну підтримку проектування, використовуючи такі дії:

- надання послуги зв'язку з ремонтпридатності в межах організацій підрядників із субпідрядниками;
- участь у процесі проектування, а також консультування;
- забезпечення даних на напрацьованому досвіді ремонтпридатності;
- контроль проектування для забезпечення характеристики ремонтпридатності, що визначено в рисунках і в специфікації обладнання;
- контроль змін проектування, щоб гарантувати, що вони не порушують вимоги щодо ремонтпридатності;
- забезпечення зв'язку з іншими програмами й діями, які тісно пов'язані з ремонтпридатністю, як, наприклад, надійність, підтримка технічного обслуговування, логістика, безпека, людські чинники, системи інженерного проектування та економічна ефективність/технічна вартість.

9.2 Критерії проектування та контрольні листи

На основі певних вимог ремонтпридатності, концепції технічного обслуговування та розподілення технічного обслуговування для вибраного проектування треба спроектувати докладні критерії ремонтпридатності. Ці критерії становлять конкретні завдання ремонтпридатності та бажані особливості за різних проектувань і можуть бути у формі:

- стандартизації;
- взаємозаміни;
- відновлення;
- можливості ремонту;
- надлишку;
- доступності;
- контрольованості;
- додаткового обладнання.

Деякі критерії можна долучити до загальних стандартів проектування, у той час як інші можна спеціально розробити для цього проектування. Їх можна встановити у кількісній або якісній формі, та ними можна надати керівні принципи для проектувальників, щоб досягти вимог ремонтпридатності.

Для того, щоб стверджувати, що до ремонтпридатності адекватно звертаються протягом кожного етапу процесу проектування, контрольні листи перевірок загалом готують на основі критеріїв проектування будь-якої ремонтпридатності та на проблемах технічного обслуговування, досліджених у попередньому проектуванні, щоб слугувати пам'яткою для проектувальника. Деякі проблеми можуть здатися занадто простими та практичними, але про них найчастіше забувають під час розроблення. Стандартні контрольні листи перевірок часто є частиною стандартів компаній з проектування та літератури, що її видають, яку можна також використовувати як настанови для аналізування проектування.

Контрольні листи можуть охоплювати такі питання:

- стандартизацію;
- заходи щодо безпеки;
- захист навколишнього середовища;
- функційне пакування, мініатюризацію, відновлення;
- огорожувальне обладнання, консолі, стелажі, збирачі, кабелі, з'єднання;
- інтерфейси, контролери, дисплеї, точки випробувань;
- людські чинники;
- підтримку технічного обслуговування та перелік правил технічного обслуговування;
- ризик старіння;
- технічне обслуговування протягом експлуатування;
- допустимий відхил;
- моніторинг зношування;
- доступність, підняття, швидку здатність випуску;
- налагоджування, вирівнювання, просочування, змашування;
- напрями, з'єднання, гідравлічні системи.

Згаданий вище список передбачає приклади, де керівні принципи та довідкові матеріали використовують, але вони не є вичерпними. Для нових проектів сфери, у яких очікують повторювані проблеми, треба ідентифікувати і розробити відповідні настанови та контрольні листи.

9.3 Обговорювання проектування

Обговорювання проектування — формальне, систематичне, задокументоване вивчення проекту фахівцями, які безпосередньо не беруть участь у розробці проекту.

Ціль обговорення проектування

— оцінити можливість проектування відповідно до повних системних вимог, охоплюючи ремонтопридатність;

— ідентифікувати проблемні галузі та запропонувати рішення;

— передбачити потребу у випробуваннях, демонстраціях та контролі;

— сприяти успіхам готових проектів.

Оцінки ремонтопридатності мають охоплювати обговорення проектування, проведені на окремих етапах проектування. Вони забезпечують основу для схвалення характеристик ремонтопридатності та особливостей.

Якісні та кількісні вимоги, які треба розглядати в кожному обговоренні, необхідно попередньо підготувати у вигляді критеріїв оцінювання та контрольних листів.

Нижче наведено приклади питань, на які треба звертати увагу:

— Чи визначено вимоги до ремонтопридатності до необхідного рівня докладності?

— Чи розвинуто поняття технічного обслуговування і чи сумісне це з вимогами до ремонтопридатності та наданими обмеженнями?

— Чи визначено вимоги до підтримки технічного обслуговування і чи сумісні вони з вимогами до ремонтопридатності, поняттями технічного обслуговування та наданим обмеженням?

— Чи дійсно поняття проектування сумісне з вимогами до ремонтопридатності?

— Чи досліджено оптимізацію, охоплюючи вивчення вартості життєвого циклу?

— Чи визначено вимоги для досліджень та діагностичного обладнання?

Відповіді на такі питання покажуть, чи відповідає проектування вимогам до ремонтопридатності.

У разі невідповідності можна виконати такі дії:

— перерозподілення або перегляд вимог до ремонтопридатності;

— перерозподілення або зміна вимог до проектування;

— повторна перевірка адекватності проектування;

— повторне проектування ідентифікованих ознак;

— повторне дослідження концепції технічного обслуговування.

Якщо жодна з наведених вище дій не є успішною, можна прийняти рішення про погодження проектування, незважаючи на невідповідність. У цьому разі необхідно надавати пояснення для будь-якого відхилення від вказаних вимог щодо ремонтопридатності.

Неформальне обговорення проектів, які охоплюють ремонтопридатність, має бути виконано в процесі проектування, за потреби. Результати формальних і неформальних обговорень треба підтвердити документами, які передбачають опис процесу, за яким розроблено завершальний етап проектування.

ІЕС 61160 надає подальшу настанову для розгляду проектування.

ДОДАТОК А (довідковий)

РОЗПОДІЛЛЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

А.1 Загальні положення щодо розподілення ремонтопридатності

Одне із завдань, розглянуте у дослідженнях щодо ремонтопридатності на стадіях проектування, — розподілення вимог до ремонтопридатності виробу до піделементів/підпунктів угоди. Це ітеративний процес від початку життєвого циклу виробу на основі попередньої інформації ескізного проектування, що згодом оновлено за докладніших даних і наявності доступної інформації. Приклад попереднього типу розподілення ремонтопридатності подано в додатку Б. Основне припущення

в цьому разі полягає в тому, що вимога щодо ремонтпридатності піделементу зворотно пропорційна до складності піделементів.

У додатку А подано метод, рекомендований для оновлення попереднього розподілення ремонтпридатності. Цей метод треба використовувати, коли додаткові дані проектування стають доступними так, що функційну поломку елемента можна перенести, щоб знизити рівні піделементів з відмовою чи значенням життєвого циклу розподіленням для усіх підвиробів. Метод застосовують до всіх систем, де допустиме логарифмічно-нормальне розподілення часу позапланового технічного обслуговування, яке є задовільним і достатньо докладна інформація стосовно проектування є доступною або чіткою на завершальному етапі. Для застосування цього методу необхідне визначення максимально допустимого часу для оперативного технічного обслуговування.

A.2 Визначення понять та скорочення

Примітка. Усі визначення в розділі 3 також застосовні в додатку А. Крім того, визначення понять і скорочення, зазначені в наступних підпунктах.

A.2.1 Визначення понять

A.2.1.1 оперативний час відновлювального технічного обслуговування (*active corrective maintenance time*)

Це частина оперативного часу технічного обслуговування, протягом якого виконують дії відновлювального технічного обслуговування виробу. [IEV 191-08-07:1990]

A.2.1.2 лінійно замінна одиниця (*line replaceable unit*)

Функційний виріб, який є придатним та призначений, щоб бути видаленим з такої системи як частина єдиного технічного обслуговування в діяльності першої лінії (поля) технічного обслуговування

A.2.1.3 максимальний оперативний час відновлювального технічного обслуговування (*maximum active corrective maintenance time*)

Згідно з угодою, це 0,95 оперативного розподілення часу відновлювального технічного обслуговування, тобто це частина оперативного часу відновлювального технічного обслуговування, протягом якого 95 % усіх дій відновлювального технічного обслуговування виробу можна завершити.

A.2.1.4 середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування (*median active corrective maintenance time*)

Це частина оперативного часу відновлювального технічного обслуговування, протягом якого 50 % усіх дій відновлювального технічного обслуговування виробу можна досягти.

A.2.1.5 середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування (*mean active corrective maintenance time*)

Очікуваний оперативний час відновлювального технічного обслуговування.

A.2.2 Скорочення

ACMT — оперативний час відновлювального технічного обслуговування

LRU — лінійно замінна одиниця

ACMT₉₅ — максимально оперативний час відновлювального технічного обслуговування

ACMT₅₀ — середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування

MACMT — середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування.

A.3 Вимоги щодо розподілення ремонтпридатності та метод розподілення ремонтпридатності

A.3.1 Вимоги

Метод розподілення, описаний нижче, треба застосовувати, коли інформація для проектування доступна, щоб провести функційне розділення виробу на простіші підвироби.

Для цього необхідно надати таку інформацію:

— необхідно заздалегідь передбачити норму відмови виробу λ ;

— значення розподілення норми відмови λ_i , для всіх n підвиробів

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \lambda;$$

— значення середнього оперативного часу відновлювального технічного обслуговування виробу MACMT (альтернативно, значення $\lambda \cdot \text{MACMT}$ можна визначити як середній оперативний час віднов-

лювального технічного обслуговування, помножений на норму відмови виробу λ . Тому $\lambda \cdot \text{MACMT}$ — це середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування за оперативну одиницю часу);
— значення максимального оперативного часу відновлювального технічного обслуговування ACMT_{95} .

Зважаючи на це, вимоги щодо оцінення ACMT потрібно розділити для кожного i -ого підвиробу.

А.3.2 Метод

Метод оснований на припущенні, що час технічного обслуговування, особливо оперативну його частину, яку контролює постачальник, можна адекватно описати логарифмічним розподіленням із середнім MACMT і $0,95 \text{ ACMT}_{95}$.

Оперативний час відновлювального технічного обслуговування довший, ніж визначений ACMT_{95} , бо він доповнює накопичений середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування, вказаного для виробу.

А.4 Процедура розподілення ремонтпридатності

А.4.1 Крок 1

Визначають логарифмічне розподілення (із середнім квадратичним відхилом $= \sigma$), якого необхідно дотримуватися.

Один пункт у розподіленні відомий від початку: ACMT_{95} . Також подано MACMT — середній оперативний час відновлювального технічного обслуговування.

$$3 \frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} = e^{1,645\sigma - 0,5\sigma^2} \quad \text{і} \quad \frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = e^{-0,5\sigma^2} \quad \text{впливає} \quad \frac{\text{ACMT}_{50}}{\text{MACMT}} = \frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{VACMT}} e^{-1,645\sigma} = f \left\{ \frac{\text{ACMT}_{95}}{\text{MACMT}} \right\}.$$

Так ACMT_{50} можна визначити (див. рисунок А.1). Це пропонує другий пункт у функції розподілення, яка може тепер проходити як пряма лінія в логарифмічній діаграмі (див. рисунок А.2).

Примітка. Зазвичай цей алгоритм призводить до двох чітких рішень із різним середнім значенням та середнім квадратичним відхилом, що лежить в основі логарифмічного розподілення. Наприклад, розподілення, яке буде відібрано з меншим коефіцієнтом заміни є випадком логарифмічного розподілення $(e^{\sigma^2} - 1)^{0,5}$.

А.4.2 Крок 2

Визначають всі LRU та перелічують їх у нисхідному порядку.

А.4.3 Крок 3

Обчислюють відносну частоту f_i для кожного LRU_i :

$$f_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^n \lambda_k}.$$

А.4.4 Крок 4

Обчислюють кумулятивну частоту функції F_i для кожного LRU:

$$F_i = f_1 + f_2 + \dots + f_i.$$

А.4.5 Крок 5

Для кожного LRU обчислюють $F_i - \frac{1}{2}f_i$ та отримують відповідне значення ACMT_i у логарифмічному розподіленні, визначеному на рисунку А.2 для LRU з:

$$F_i - \frac{1}{2}f_i < 0,95.$$

А.4.6 Крок 6

Для кожного LRU, де $F_i - \frac{1}{2}f_i < 0,95$ визначають:

$$\text{ACMT}_{i, 95} = \frac{\text{MACMT} - \sum_{i=1}^I \lambda_i \cdot \text{ACMT}_i}{\lambda - \sum_{i=1}^I \lambda_i},$$

де 1 — номер першої одиниці, для якої $F_i - \frac{1}{2}f_i < 0,95$.

А.5 Приклад

Виріб розділено на 15 підвиробів. Вимоги до підвиробу:

$$\lambda = 0,0372 / \text{ОН} = \sum_{i=1}^{15} \lambda_i \text{ (для } \lambda_i \text{ див. таблицю А.1, колонка 2),}$$

$$\lambda \text{ МАСМТ} = 0,060 \text{ год/ОН}$$

$$\text{АСМТ}_{95} = 4,0 \text{ год.}$$

Звідси:

$$\text{МАСМТ} = \frac{0,06}{0,0372} = 1,61 \text{ год,}$$

$$\frac{\text{АСМТ}_{95}}{\text{МАСМТ}} = \frac{4,0}{1,61} = 2,48.$$

Для логарифмічного розподілу з меншим коефіцієнтом заміни (див. крок 1), функційне відношення $\frac{\text{АСМТ}_{50}}{\text{МАСМТ}}$ наведено на рисунку А.1.

Отже,

$$\frac{\text{АСМТ}_{50}}{\text{МАСМТ}} = 0,78.$$

Це другий пункт логарифмічного розподілення, який вказано на рисунку А.2. Тепер виконують кроки від 2 до 5 (таблиця А.1, колонки від 2 до 5).

Відповідні значення для $\frac{\text{АСМТ}_i}{\text{МАСМТ}}$ отримано з рисунка А.2 для підпунктів від 1 до 9 та перетво-

рено в АСМТ_i значення (колонки 6,7).

Для підвиробів від 10 до 15, крок 6 визначають так:

$$\text{АСМТ}_{i,95} = \frac{0,06 - 0,05142}{0,0372 - 0,0360} = 7,15.$$

Значення АСМТ_i для цих підвиробів обчислюють множенням з відповідними значеннями λ_i (колонка 8, сумарне значення в колонці 9). Обчислення подано в таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Розподілення ремонтпридатності до рівня підвиробу

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підсистема	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2}f_i$	$\frac{\text{АСМТ}_i}{\text{МАСМТ}}$	АСМТ _i	АСМТ _i · $\lambda_i \cdot 10^3$	$\sum \text{АСМТ}_i \cdot \lambda_i \cdot 10^3$
1	10 000	0,268	0,268	0,134	0,355	0,57	5,70	51,42
2	8 000	0,215	0,483	0,377	0,617	0,99	7,92	
3	5 000	0,134	0,617	0,551	0,847	1,36	6,80	
4	3 000	0,081	0,698	0,659	1,023	1,65	4,95	
5	2 500	0,067	0,765	0,731	1,180	1,90	4,75	
6	2 500	0,067	0,832	0,800	1,400	2,25	5,63	
7	2 500	0,067	0,899	0,865	1,660	2,67	6,68	
8	1 500	0,040	0,939	0,920	2,051	3,30	4,95	
9	1 000	0,027	0,966	0,954	2,512	4,04	4,04	

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підсистема	$\lambda_i \cdot 10^6$	f_i	F_i	$F_i - \frac{1}{2} f_i$	$\frac{ACMT_i}{MACMT}$	$ACMT_i$	$ACMT_i \cdot \lambda_i \cdot 10^3$	$\sum ACMT_i \cdot \lambda_i \cdot 10^3$
10	500	0,013	0,949			7,15	3,58	} 8,57
11	200	0,005	0,984				1,43	
12	200	0,005	0,989				1,43	
13	100	0,003	0,992				0,71	
14	100	0,003	0,995				0,71	
15	100	0,003	0,998				0,71	
Примітка. Рисунки в колонці 5 — це 0,001 того, що по осі X рисунка А.2 наведено у відсотках.								

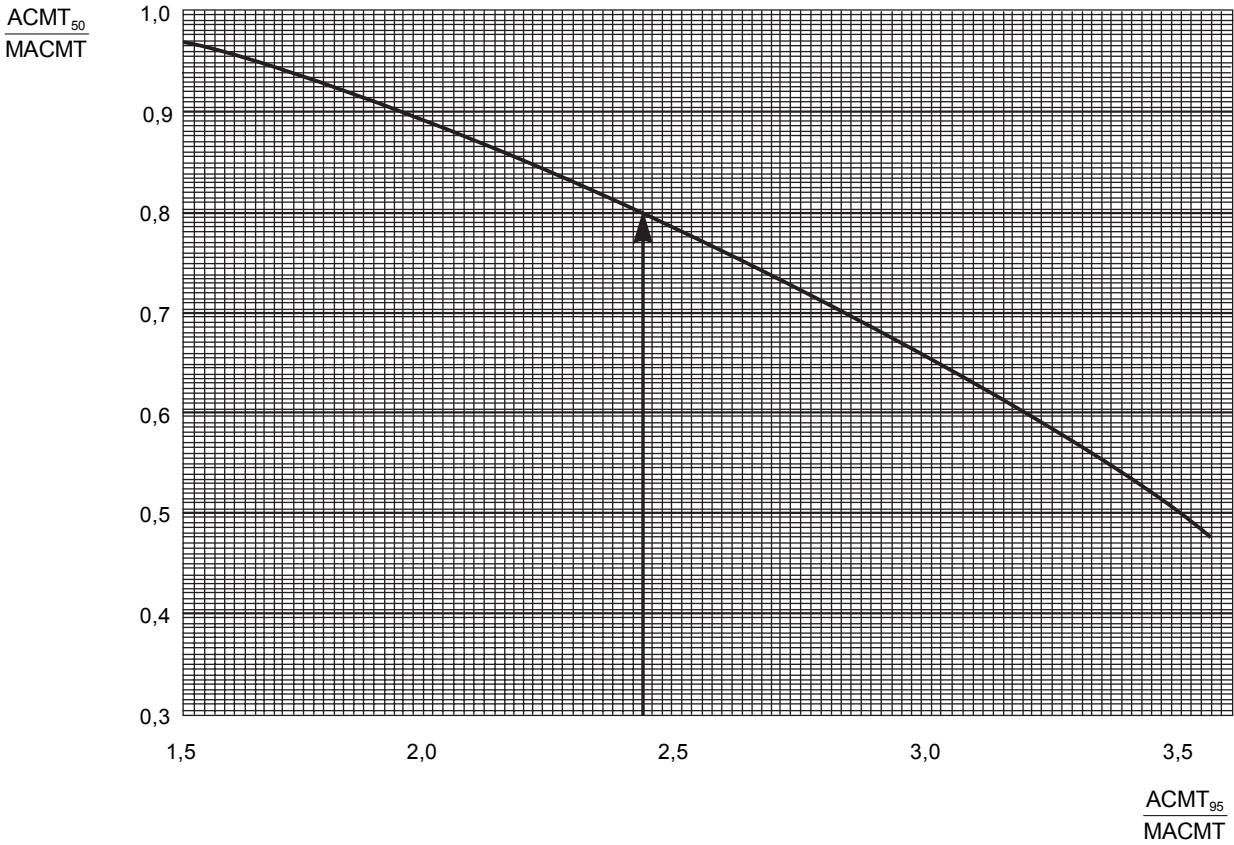


Рисунок А.1 — $\frac{ACMT_{50}}{MACMT} = f \left\{ \frac{ACMT_{95}}{MACMT} \right\}$

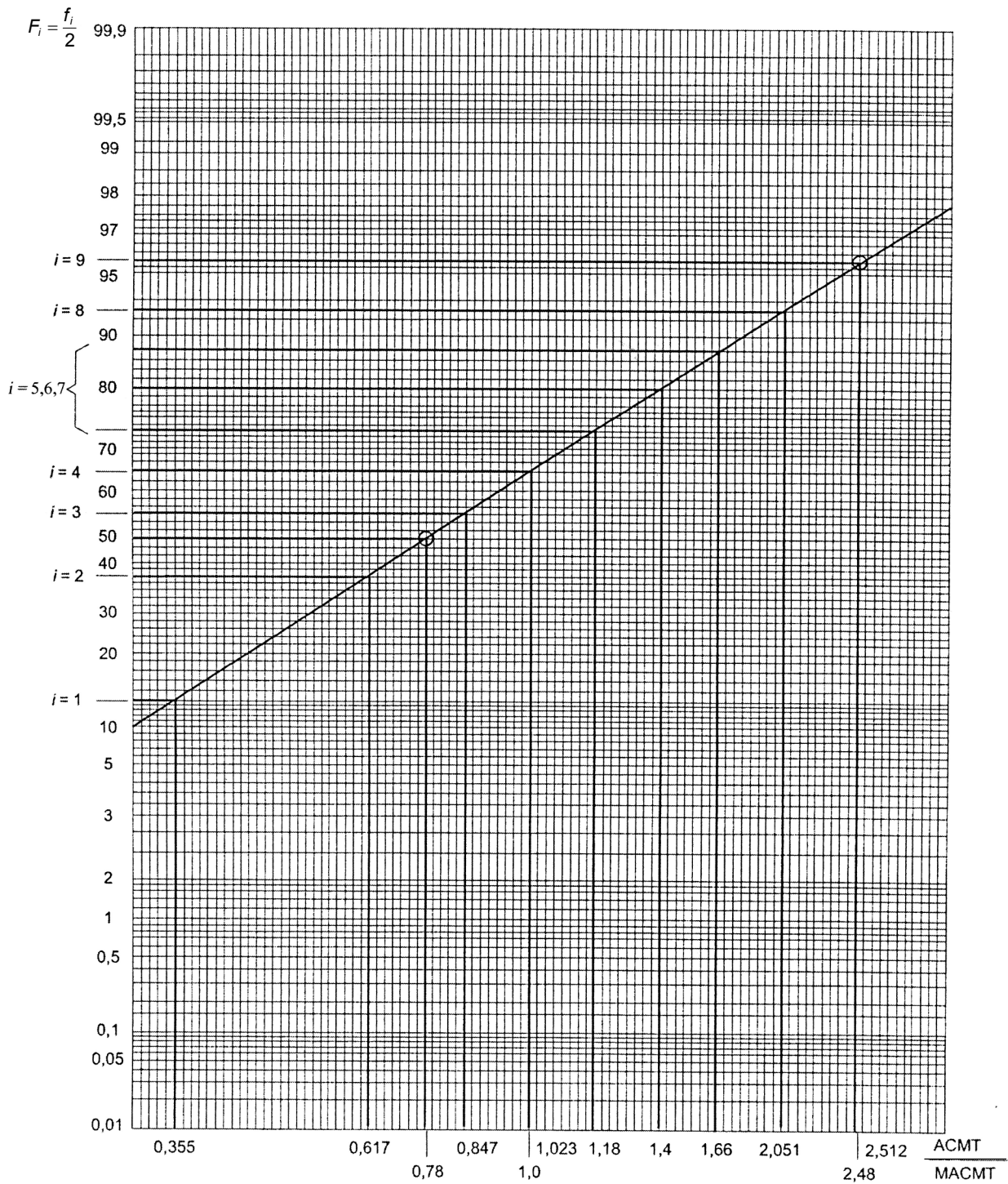


Рисунок А.2 — Розподілення ремонтпридатності до рівня підвиробу

ДОДАТОК В
(довідковий)

ПРИКЛАД РОЗПОДІЛЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

В.1 Основне завдання розподілення ремонтпридатності

Виріб, що складається з k замінних/ремонтпридатних типів підвиробів, які можуть бути відремонтовані, має відповідати вимозі до ремонтпридатності, вираженій у певних елементах графіка, наприклад, середній час оперативного ремонту елемента (MART). Згідно з 8.4.5.4 в наведених нижче випадках може бути розподілення завдань MART для підвиробів:

а) Випадок 1 — Новий проект

Розподілення, основане на відносній складності підвиробів, у разі якщо немає інших заходів, має бути представлено нормами відмови підвиробів. Так для i -ого підвиробу:

$$M_i \sim 1/n_i \lambda_i,$$

де M_i — значення MART для i -ого підвиробу;

n_i — кількість i -тих підвиробів;

λ_i — норма відмови i -ого підвиробу.

Для типів k підвиробів:

$$M_i = M \frac{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}{k n_i \lambda_i},$$

де M_i — необхідна система MART.

б) Випадок 2 — Частково новий проект

Попереднє знання, доступне для $l < k$ підвиробів. Тоді для підвиробу j :

$$M_j = \frac{M \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^l n_i \lambda_i M_i}{(k-l) n_j \lambda_j},$$

де $j = l + 1, \dots, k$;

M_j — значення MART для підвиробу j ;

n_j — кількість підвиробів j ;

λ_j — норма відмови підвиробу j .

в) Випадок 3 — Попередні дані доступні

Попередні дані для всіх k підвиробів доступні, тобто підвиріб i показує значення MART M_i , тоді:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^k M_i n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i},$$

де $\bar{M}$ — значення MART усіх підвиробів.

Для $\bar{M} \leq M$ початкова вимога щодо ремонтпридатності забезпечена; для $\bar{M} > M$ подальші удосконалення відповідно до 8.4.4 є необхідними.

Примітка. Оскільки розподілення ремонтпридатності має показове значення, тому можливе округлення до кількох значущих цифр.

В.2 Числовий приклад

$M_i = 0,5$; Схему функційного рівня вказано на рисунку В.1.

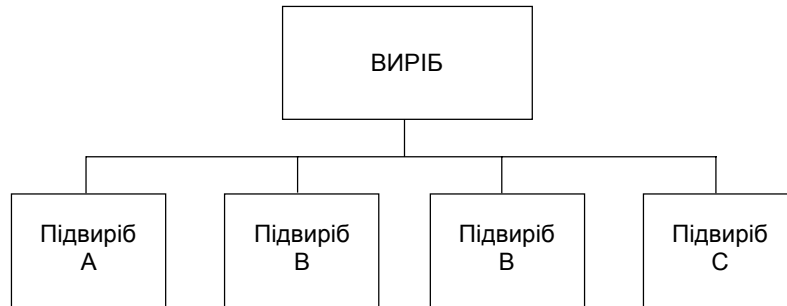


Рисунок В.1 — Схема функційного рівня

а) Випадок 1

$$M_A = M_i \frac{\lambda_i}{k\lambda_A n_A}, \quad M_A = \frac{0,5 \cdot 2,73}{3 \cdot 1,71 \cdot 1} = 0,266 \text{ (або приблизно 0,27),}$$

аналогічно

$$M_B = \frac{0,5 \cdot 2,73}{3 \cdot 0,48 \cdot 2} = 0,474 \text{ (або приблизно 0,47),}$$

$$M_C = \frac{0,5 \cdot 2,73}{3 \cdot 0,06 \cdot 1} = 7,58 \text{ (або приблизно 7,6).}$$

б) Випадок 2

Ґрунтуючись на попередніх даних, передбачають, що:

$$M_B = 0,5;$$

$$M_C = 1,0.$$

Отже:

$$M_A = \frac{M_i \lambda_i - M_B \lambda_B n_B - M_C \lambda_C n_C}{\lambda_A};$$

$$M_A = (0,5 \cdot 2,73 - 0,5 \cdot 0,48 \cdot 2 - 1 \cdot 0,06 \cdot 1) / 1,71 = 0,482 \text{ (або приблизно 0,48).}$$

с) Випадок 3

Базуючись на попередніх даних, очікують, що:

$$M_A = 0,4;$$

$$M_B = 0,5;$$

$$M_C = 1,0.$$

Отже:

$$M_i = \frac{M_A \lambda_A n_A + M_B \lambda_B n_B + M_C \lambda_C n_C}{n_i \lambda_i};$$

$$M_i = (0,4 \cdot 1,71 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,48 \cdot 2 + 1,0 \cdot 0,06 \cdot 1) / 2,73 = 0,448 \text{ (або приблизно 0,45).}$$

Процес розподілення спрощено показано в таблиці В.1

Таблиця В.1 — Розподілення

Тип підвиробу	Кількість	Норма відмови λ	Повна норма відмови λ_n	Випадок 1	Випадок 2	Випадок 3
А	1	1,71	1,71	0,27	0,48	0,4
В	2	0,48	0,96	0,47	0,5	0,5
С	1	0,06	0,06	7,6	1,0	1,0

ДОДАТОК С
(довідковий)ПРИКЛАД
РОЗПОДІЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ НАДІЙНОСТІ
ТА ВИБОРУ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ДЛЯ СИСТЕМИ З НЕСТАЛОЮ НОРМОЮ ВІДМОВИ**С.1 Загальні положення**

Цей простий ілюстративний приклад показує, як можна планувати технічне обслуговування виробу, щоб оптимізувати витрати і взяти до уваги експлуатаційні обмеження. Цей приклад можна легко розширити та пристосувати, щоб охопити реальну систему.

С.2 Система

Приклад розглядає просту підсистему як частину проєктованої системи виготовлення. Систему можна розбити на блоки, у електронний модуль, електродвигун, у механізм і з'єднувальний модуль.

Нижче наведено відомості про модулі (див. рисунок С.1):

Надійність електронного модуля можна моделювати, використовуючи експонентне розподілення з нормою сталої відмови $\lambda = 25\,000$ FIT (MTBF = 40 000 год).

Двигун можна купити у постачальника А з розподіленням часом відмови Вейбула, параметром ризику $\beta = 5$ та терміном служби $\eta = 5\,400$ год, або від постачальника В з параметром ризику $\beta = 1,4$ та терміном служби $\eta = 10\,000$ год.

Привод і зчеплення повторно використовують від попереднього виробу. Час відмови приводу і зчеплення можна моделювати з розподілом Вейбула з ризиком $\beta = 4$ та характеристикою терміну служби $\eta = 5\,000$ год.

Ціль розподілення полягає в тому, щоб визначити, чи двигун треба купити від постачальника А чи від постачальника В.

Крім того, потрібно вирішити необхідність профілактики технічного обслуговування та як її проводити.

Керування системою відбувається 20 год на добу, 365 днів на рік. У разі поломки (неможливості використання) можливі збитки для виробничого обладнання, зокрема втрата виробництва.

С.2.1 Список символів і кошторисних витрат

B1 (A)	— B1 термін служба двигуна А (2 300 год)
B1 (B)	— B1 термін служба двигуна В (400 год)
B5 (G&C)	— B5 термін служба приводу і зчеплення (2 300 год)
B1 (G&C)	— B1 термін служба приводу і зчеплення (1 500 год)
DC	— збитки у разі відмови (2 000 грошових одиниць (Mu))
ERC (E)	— оцінка ремонтних витрат для електронного модуля (400 Mu)
F (E; 1Y)	— імовірність відмови за рік для електронного модуля
F (MA; 100 000 H)	— кількість ремонтів за 100 000 год для двигуна А
F (MB; 100 000 H)	— кількість ремонтів за 100 000 год для двигуна В
F (G&C; 100 000 H)	— кількість ремонтів за 100 000 год для приводу та зчеплення
FC (E)	— витрати, що спричиняє відмова за рік для електронного модуля
FC (MA; 1Y)	— вартість відмови щорічно для двигуна А
FC (MB; 1Y)	— вартість відмови щорічно для двигуна В
FC (G&C; 1Y)	— вартість відмови за рік для приводу та зчеплення
FC (PM; A; B1; 1Y)	— вартість профілактики технічного обслуговування B1 щорічно для двигуна А
FC (PM; B; B1; 1Y)	— вартість профілактики технічного обслуговування B1 щорічно для двигуна В
FC (PM; G&C; B1; 1Y)	— вартість профілактики технічного обслуговування B1 за рік для приводу та зчеплення

FC (PM; G&C; B5; 1Y)	— вартість профілактики технічного обслуговування B5 за рік для приводу та зчеплення
MRC (M)	— середня вартість ремонту одного двигуна (1 200 Му)
MRT (E)	— час середнього ремонту для електронного модуля (2 год)
MSRC (G&C)	— планування середньої вартості ремонту приводу та зчеплення (1 600 Му)
MSRT (G&C)	— середній планований час ремонту для приводу та зчеплення (4 год)
MSRT (M)	— середній плановий час ремонту для двигуна (3 год)
Примітка. Постачання запасних частин та інструментів може бути меншим до зупинення системи для технічного обслуговування.	
MURC (G&C)	— середня позапланова вартість ремонту приводу та зчеплення (6 000 Му)
MURT (G&C)	— середній позаплановий час ремонту для механізму та зчеплення (24 год)
MURT(M)	— середній позаплановий час ремонту для двигуна (6 год)
PF (A; 1Y)	— імовірність (відмови) позапланового технічного обслуговування за рік для двигуна A, застосування профілактики технічного обслуговування B1
PF (B; 1Y)	— імовірність позапланового технічного обслуговування (відмови) за рік для двигуна A, профілактика технічного обслуговування B1
PF (G&C; B1; 1Y)	— імовірність позапланового технічного обслуговування (відмови) за рік для приводу та зчеплення, застосування профілактики технічного обслуговування B1
PF (G&C; B5; 1Y)	— імовірність позапланового технічного обслуговування (відмови) за рік для приводу та зчеплення, застосування профілактики технічного обслуговування B5
PL	— втрата виробництва за годину у разі неможливості використання системи (6 000 Му)
PM (A; 1Y)	— кількість профілактичних дій технічного обслуговування для двигуна A за рік
PM (B; 1Y)	— кількість профілактичних дій технічного обслуговування для двигуна B за рік
PM (G&C; B1; 1Y)	— кількість профілактичних дій технічного обслуговування B1 для приводу та зчеплення за рік
PM (G&C; B5; 1Y)	— кількість профілактичних дій технічного обслуговування B5 для приводу та зчеплення за рік.

С.2.2 Електронний модуль

Електронний модуль, як припускають, має постійну норму відмови 25 000 FIT (MTBF = 40 000 год). Тому профілактичне технічне обслуговування неможливе, і, оскільки це спричиняє відмови, єдина стратегія полягає у відновленні модуля.

Час ремонту зменшується, наприклад, за наявності двох запасних монтажних друкованих плат (PWA).

Очікувана кількість ремонтів за рік:

$$F(E; 1Y) = 25\,000 \text{ FIT} \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 365 = 0,182\,5.$$

Коли електронний модуль відмовив, під час експлуатування виробниче устаткування зазнає пошкоджень.

Збитки у разі відмови для електронного модуля:

$$FC(E) = F(E; 1Y) \cdot (DC + ERC(E) + MRT(E) \cdot PL) = 0,1825 \cdot (2\,000 + 400 + 2 \cdot 6\,000) = 2\,628 \text{ Му}.$$

С.2.3 Двигун

Двигун має несталу норму відмови. Це моделюють із розподілом Вейбула, який заявив постачальник. Спочатку це планують для забезпечення профілактики технічного обслуговування для терміну служби двигуна B1 (1 % — очікувані відмови). Якщо двигун відмовив, електронна система спостереження спрацьовує так, щоб не було жодного пошкодження обладнання. У цьому спрощеному

прикладі потенціал втрати робочого часу заміни двигуна перед тим, як він зношується, не беруть до уваги. Це може бути зроблено, використовуючи програму Монте-Карло. Крім того, вважають, що технічне обслуговування двигуна не виконують, поки він не зазнає відмов.

С.2.4 Двигун від постачальника А

Двигун від постачальника А має характерну недовговічність, ніж двигун від постачальника В, але має вищий параметр (β).

С.2.4.1 Двигун від постачальника А — без профілактичного технічного обслуговування

Якщо немає профілактики технічного обслуговування, двигун у разі відмови відновлюють. Час відмови формує розподілення Вейбула. Використовуючи програму Монте-Карло, оцінено, що середня кількість ремонтів протягом 100 000 год (10 років) становить 19,68 ремонтів. Верхня границя становить 23 ремонти й нижча — 17 ремонтів. Вартість стратегії технічного обслуговування можна оцінити, як подано нижче:

$$FC(MA; 1Y) = F(MA; 100\,000 \text{ год}) \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (MRC(M) + MURT(M) \cdot PL) = \\ = 19,68 \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (1\,200 + 6 \cdot 6\,000) = 53\,443 \text{ Му.}$$

Примітка. Після декількох ремонтів норма відмови системи наближається до постійної норми, хоча окремі двигуни все ще мають норму непостійної відмови (додані процеси відновлювання).

Якщо планування ремонтпридатності буде зроблено використовуючи норму сталої системної відмови, то інформацію про норму несталої відмови системи двигуна буде втрачено й тому можливість профілактичного технічного обслуговування не розглядатимуть.

С.2.4.2 Двигун від постачальника А — профілактичне технічне обслуговування В1

У цьому разі двигун замінюють після 2 300 год. Кількість випадків профілактики за один рік:

$$PM(A; 1Y) = 20 \cdot 365/2\,300 = 3,17.$$

Далі буде 1-відсоткова імовірність того, що відмови двигуна настануть до 2 300 год. Тому імовірність позапланового ремонту двигуна можна оцінити як 1 % для кожного нового двигуна, тобто кількість профілактичних операцій плюс 1, або протягом 1 року:

$$PF(A; 1Y) = (PM(A; 1Y) + 1) \cdot 0,01 = 0,0417.$$

Повна вартість для стратегії профілактичного технічного обслуговування В1:

$$FC(PM; A; B1; 1Y) = PM(A; 1Y) \cdot MRC(M) + PF(A; 1Y) \cdot (MRC(M) + MURT(M) \cdot PL) = \\ = 3,17 \cdot 1\,200 + 0,0417 \cdot (1\,200 + 6 \cdot 6\,000) = 5\,355 \text{ Му.}$$

С.2.5 Двигун від постачальника В

Двигун від постачальника В має більшу характеристику служби, ніж двигун від постачальника А, але має нижчий параметр форми (3).

С.2.5.1 Двигун від постачальника В — без профілактичного технічного обслуговування

Якщо немає профілактичного технічного обслуговування, двигун у разі відмови відновлюють. Час відмови формує розподілення Вейбула. З використанням програми Монте Карло оцінено, що середня кількість ремонтів протягом 100 000 год (10 років) становить 11 ремонтів. Верхня границя становить 17 ремонтів і нижча — 6 ремонтів. Вартість цієї стратегії технічного обслуговування можна оцінити, як вказано нижче:

$$FC(MB; 1Y) = F(MB; 100\,000 \text{ год}) \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (MRC(M) + MRT(M) \cdot MN) = \\ = 11 \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (1\,200 + 6 \cdot 6\,000) = 29\,872 \text{ Му.}$$

В.2.5.2 Двигун від постачальника В — профілактичне технічне обслуговування В1

У цьому разі двигун замінюють після 400 год. Кількість випадків профілактичного технічного обслуговування за рік становить:

$$PM(B; 1Y) = 20 \cdot 365/400 = 18,25.$$

Надалі з 1-відсотковою імовірністю передбачено, що відмова двигуна настане до 400 год. Тому ймовірність незапланованого ремонту двигуна може бути оцінено як 1 % для кожного нового двигуна, тобто число профілактичних операцій плюс 1, або протягом 1 року:

$$PF(B; 1Y) = (PM(B; 1Y) + 1) \cdot 0,01 = 0,1925.$$

Робочий час цих двигунів проігноровано (консервативне наближення).

Загальна вартість для профілактичної стратегії технічного обслуговування B1:

$$FC (PM; B; B1; 1Y) = PM (B; 1Y) \cdot MRC (M) + PF (B; 1Y) \cdot (MRC (M) + MURT (M) \cdot PL) = \\ = 18,25 \cdot 1\,200 + 0,192\,5 \cdot (1\,200 + 6 \cdot 6\,000) = 29\,061 \text{ Му.}$$

С.2.6 Вибір постачальника двигуна та програми технічного обслуговування

Передбачено наведені нижче витрати:

Двигун від постачальника А — без профілактичного технічного обслуговування 53 443 Му.

Двигун від постачальника А — з профілактичним технічним обслуговуванням 5 355 Му.

Двигун від постачальника В — без профілактичного технічного обслуговування 29 872 Му.

Двигун від постачальника В — з профілактичним технічним обслуговуванням 9061 Му.

З цього видно, що найнижчий рівень витрат досягнуто за використання двигуна від постачальника А з профілактичним технічним обслуговуванням, хоча цей двигун має низьку характеристику служби та МТТФ.

С.3 Привід і зчеплення

Привід і зчеплення використовували в попередньому прикладі, отже, існують деякі дані стосовно технічного обслуговування.

Час відмови приводу й модуля зчеплення можна моделювати, використовуючи розподілення Вейбула з параметром $\beta = 4$ і характеристикою терміну служби $\eta = 5\,000$ год.

У разі відмови приводу й модуля зчеплення часто пошкоджується механізм зчеплення.

Тому позапланові витрати (ремонтні витрати) на технічне обслуговування більші, ніж витрати на заплановане технічне обслуговування.

С.3.1 Привід і зчеплення — без профілактичного технічного обслуговування

У цьому випадку двигун у разі пошкодження відновлюється без профілактичного обслуговування. Використовуючи програму Монте-Карло, можна передбачити, що середнє число ремонтів протягом 100 000 год (10 років) становить 21,52 ремонтів. Верхня границя становить 26 ремонтів і нижча — 18 ремонтів. Вартість цієї стратегії технічного обслуговування можна оцінити так:

$$FC (G\&C; 1Y) = F (G\&C; 100\,000 \text{ год}) \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (MURC (G\&C) + MURT (G\&C) \cdot PL) = \\ = 21,52 \cdot 20 \cdot 365/100\,000 \cdot (6\,000 + 24 \cdot 6\,000) = 235\,644 \text{ Му.}$$

С.3.2 Привід і зчеплення — профілактичне технічне обслуговування B5

У цьому разі привід і зчеплення замінюють після 2 300 год. Кількість випадків профілактичного технічного обслуговування за рік:

$$PM (G\&C; B5; 1Y) = 20 \cdot 365/2\,300 = 3,17.$$

Надалі з 5-відсотковою ймовірністю передбачають, що привід і зчеплення будуть мати відмови до 2 300 год. Тому ймовірність позапланового ремонту приводу та зчеплення можна оцінити як 5 % для кожного технічного обслуговування, тобто кількість профілактичних операцій плюс 1, або протягом 1 року:

$$PF (G\&C; B5; 1Y) = (PM (G\&C; B5; 1Y) + 1) \cdot 0,05 = 0,208\,5.$$

Робочий час приводу й модулів зчеплення проігноровано (консервативна апроксимація).

Загальна вартість стратегії профілактичного технічного обслуговування для B5:

$$FC (PM; G\&C; B5; 1Y) = PM (G\&C; B5; 1Y) \cdot MSRC (G\&C) + PF (G\&C; B5; 1Y) \cdot (MURC (G\&C) + \\ + MURT (G\&C) \cdot PL) = 3,17 \cdot 1\,600 + 0,208\,5 \cdot (6\,000 + 24 \cdot 6\,000) = 36\,347 \text{ Му.}$$

С.3.3 Привід і зчеплення — профілактичне технічне обслуговування B1

У цьому разі привід і зчеплення докладно оглядають після 1 500 год. Кількість випадків профілактичного технічного обслуговування за один рік становить:

$$PM (G\&C; B1; 1Y) = 20 \cdot 365/1\,500 = 4,866\,7.$$

Надалі з 1-відсотковою ймовірністю передбачають, що привід і зчеплення будуть мати відмови до 1 500 год. Тому ймовірність позапланового ремонту приводу та зчеплення можна оцінити як 1 % для кожного технічного обслуговування, тобто кількість профілактичних операцій плюс 1, або протягом 1 року:

$$PF (G\&C; B1; 1Y) = (PM (G\&C; B1; 1Y) + 1) \cdot 0,01 = 0,058\,67.$$

Робочий час приводу й модулів зчеплення проігноровано (консервативна апроксимація).

Загальна вартість для стратегії профілактичного технічного обслуговування для В1:

$$FC (PM; G\&C; B1; 1Y) = PM (G\&C; B1; 1Y) \cdot MSRC (G\&C) + PF (G\&C; 1Y) \cdot (MURC (G\&C) + MURT (G\&C) \cdot PL) = 4,866\,7 \cdot 1\,600 + 0,058\,67 \cdot (6\,000 + 24 \cdot 6\,000) = 16\,587 \text{ Му.}$$

С.3.4 Вибір програми технічного обслуговування для приводу та зчеплення

Витрати для порівняння такі:

Привід та зчеплення — без профілактичного технічного обслуговування 235 644 Му.

Привід та зчеплення — з профілактичним технічним обслуговуванням механізму В5 36 347 Му.

Привід та зчеплення — з профілактичним технічним обслуговуванням В1 16 587 Му.

Зрозуміло, що профілактичне технічне обслуговування треба забезпечити для приводу та зчеплення В1.

С.4 Висновок

Є суттєва економія вартості в оцінюванні витрат технічного обслуговування, відібраних складників і стратегії відбору технічного обслуговування упродовж проектування системи.

У цьому прикладі витрати можна порівняти так:

Таблиця С.1 — Порівнювання витрат

Вартість за рік, Му	Без профілактичного технічного обслуговування, Му	З профілактичним технічним обслуговуванням В1, Му	З профілактичним технічним обслуговуванням В5, Му
Електроніка	2 628	—	—
Двигун А	53 443	5 355	—
Двигун В	29 872	29 061	—
Привід і зчеплення	235 644	16 587	36 347

Найбільші витрати стосовно двигуна В без профілактичного технічного обслуговування і без профілактичного технічного обслуговування приводу та зчеплення — загальна вартість 268 144 Му.

Це рішення було б прийнято, якби тільки постійний ризик (MTTF/MTBF) було розглянуто.

Найменші витрати стосовно двигуна А з профілактичним технічним обслуговуванням і профілактичним технічним обслуговуванням для приводу та зчеплення — загальна вартість 24 570 Му.

Економія від проведеного аналізування системи з урахуванням несталої норми відмови становить 243 574 Му щорічно.

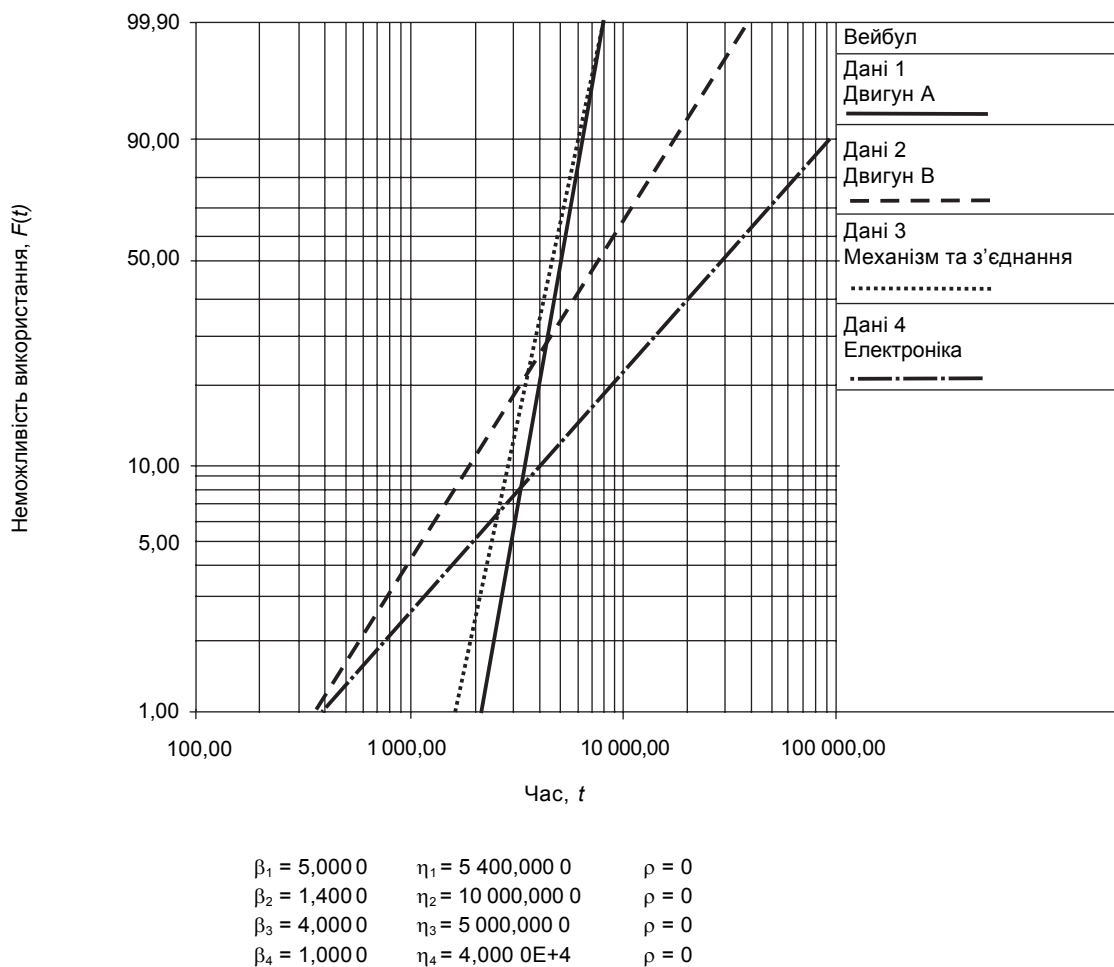


Рисунок С.1 — Ділянка складників у системі Вейбула

БІБЛІОГРАФІЯ

- IEC 60300-1 Dependability management — Part 1: Dependability management systems
 IEC 60300-2 Dependability management — Part 2: Guidelines for dependability management
 IEC 60300-3 (all parts) Dependability management — Part 3: Application guide
 IEC 61710 Power law model — Goodness-of-fit tests and estimation methods.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

- IEC 60300-1 Керування надійністю. Частина 1. Системи керування надійністю
 IEC 60300-2 Керування надійністю. Частина 2. Загальні настанови щодо керування загальною надійністю
 IEC 60300-3 (усі частини) Керування надійністю. Частина 3. Настанова щодо застосування
 IEC 61710 Модель експонентного (ступеневого) закону. Критерії відповідності та методи оцінювання.

Код УКНД 03.120.01; 21.020

Ключові слова: програма технічного обслуговування, профілактичне технічне обслуговування, ремонт, ремонтпридатність, технічне обслуговування.

Редактор **Г. Халімон**
Технічний редактор **О. Касіч**
Коректор **І. Копацька**
Верстальник **В. Перекрест**

Підписано до друку 25.10.2010. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 4,18. Обл.-вид. арк. 3,13. Зам. Ціна договірна.

Виконавець
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115
Свідцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006, серія ДК, № 1647