

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич,
Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф**

**ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ
ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ЗБІРНИК ЗАДАЧ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ
галузі знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

КК НАУ
м. Кривий Ріг
2018

УДК 658.51:[681.2.681.5]

Н 40

Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Пономарьова Г.В., Функендорф А.О. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навч. посібник. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018 р. – 332 с.

У навчальному посібнику приведено основні розрахункові аспекти організації сучасних промислових виробництв галузі радіоелектронного приладобудування. Представлені та детально розібрані приклади розрахунку показників організації виробничих процесів зазначеної галузі, розрахунку показників радіоелектронних приладів, як об'єктів виробництва, та розрахунку показників обладнання та засобів автоматизації сучасних виробництв. Теоретичні відомості підкріплені детально розібраними прикладами розв'язання реальних практичних задач, а також варіантами завдань для самостійного розв'язання.

Навчальний посібник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації». Може бути корисний аспірантам та фахівцям в промисловості, робота яких пов'язана з розробкою та організацією виробництв галузі радіоелектронного приладобудування.

Рекомендовано Вченою радою

*Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 14 від 30.10 2017 року).*

Рецензенти:

Удовенко С.Г. д. т. н., професор, завідувач кафедри інформатики та комп'ютерної техніки Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця;

Нефьодов Л.І. д. т. н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного автомобільного університету;

Левикін В.М. д. т. н., професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки.

© І.Ш. Невлюдов
А.О. Андрусевич
Г.В. Пономарьова
А.О. Функендорф
2018

ПЕРЕДМОВА

В умовах ринкової економіки на виробничих підприємствах України значно розширилося коло завдань, які необхідно вирішувати для того, щоб залишатися на високому рівні конкурентоспроможності не тільки серед вітчизняних виробників, а й на світовому рівні. Саме тому розвиток сучасної промисловості радіоелектронного приладобудування (РЕПБ) базується на впровадженні новітніх засобів автоматизації у виробничі процеси, що обумовлює скорочення поточних витрат і підвищення якості кінцевої продукції.

Одним з основних концептуальних напрямків подальшого розвитку автоматизації зазначених виробництв та підвищення їх гнучкості є інтеграція управління підприємством, технологічними процесами, виробництвом в цілому в єдину систему на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем керування виробництвом на різних рівнях його організації.

Організація та впровадження новітніх технологій автоматизації сучасних виробничих процесів потребує висококваліфікаційного рівня та знань спеціалістів, які залучені до вказаних систем, саме тому високоякісна підготовка молодих спеціалістів та науковців є основою підвищення загальносвітового рівня вітчизняної промисловості.

Метою створення навчального посібника є теоретична та практична підготовка фахівців щодо створення і використання єдиного науково-дослідного інформаційного проекту для вирішення конкретного фахового завдання з питань інтелектуалізації засобів автоматизації та керуючих систем, з урахуванням підвищення сенсифікації виконавчого обладнання, досягнення нових рівнів автоматизації виробничих процесів РЕПБ та створення великих мережевих інфраструктур керування, та аналітичної обробки даних з можливістю отримання віддаленого доступу до зазначених систем.

Навчальний посібник є логічним продовженням підручника «Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації» та містить типові задачі та їх розв'язки за трьома розділами.

В першому розділі розглянуто основні відомості з організації сучасних виробництв радіоелектронного приладобудування та принципи розрахунку основних показників організації виробничих процесів галузі радіоелектронного приладобудування, а саме: амортизації засобів виробництва, технічного стану виробничого обладнання, ефективності технічної організації виробничого процесу, розрахункові аспекти наукової організації праці, розрахунок оптимального розподілу ресурсів на виробничих підприємствах, розрахунок вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення продукції.

В другому розділі розглянуто процеси автоматизації виробничих процесів у вказаній галузі, приведена інформація, яка дає уявлення про методика розрахунку показників радіоелектронних приладів, як об'єктів виробництва. Розглянуті приклади розрахунку інженерних показників друкованих плат, показників надійності та технологічності друкованих плат.

В третьому розділі приведені відомості з обладнання та засобів автоматизації виробництв РЕПБ. Розглянуто основні аспекти розрахунку показників обладнання та засобів автоматизації сучасних виробництв, а саме: загальних показників обладнання, показників надійності технологічних систем та розрахунок виробничого циклу складального процесу.

Створення цього навчального посібника базується на багаторічному досвіді викладання питань, пов'язаних з організацією виробництв радіоелектронних приладів (РЕП) в Харківському національному університеті радіоелектроніки на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, а також на досвіді викладання технологічних дисциплін в Національному університеті харчових технологій, у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського» та у Національному університеті «Львівська політехніка» та інше.

Навчальний посібник втілює багаторічний досвід, здобутий у співдружності авторів з видатними вченими в галузі автоматизації та систем автоматичного регулювання – Ладанюком А.П., Гончаренко Б.М., Ельперіним І.В., Пупена О.М., та видатними вченими в галузі технології радіоелектронного приладобудування, а саме Павлишем, А.П., Зінковським Ю.Ф., та іншими. Навчальний посібник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації».

Автори вдячні своїм колегам, які допомагали в роботі над рукописом та підтримували порадами.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	10
1. Розрахункові показники організації виробничих процесів галузі радіоелектронного приладобудування.....	11
1.1. Розрахунок амортизації засобів виробництва.....	11
1.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку амортизації.....	11
1.1.2. Приклади розв'язання задач.....	17
1.1.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	20
1.2. Розрахунок технічного стану виробничого обладнання.....	25
1.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку технічного стану виробничого обладнання.....	25
1.2.2. Приклади розв'язання задач.....	28
1.2.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	32
1.3. Розрахунок ефективності технічної організації виробничого процесу.....	36
1.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку ефективності технічної організації виробничого процесу.....	36
1.3.2. Приклади розв'язання задач.....	42
1.3.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	47
1.4. Розрахункові аспекти наукової організації праці.....	54
1.4.1. Теоретичні відомості з розрахункових аспектів наукової організації праці.....	54
1.4.2. Приклади розв'язання задач.....	60
1.4.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	64
1.5. Розрахунок оптимального розподілу ресурсів на виробничих підприємствах.....	70
1.5.1. Теоретичні відомості з розрахунку оптимального розподілу ресурсів на виробничих підприємствах.....	70
1.5.2. Приклади розв'язання задач.....	73
1.5.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	78
1.6. Розрахунок вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення продукції.....	80
1.6.1. Теоретичні відомості з розрахунку вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення продукції.....	80

1.6.2. Приклади розв'язання задач.....	85
1.6.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	91
2. Розрахункові показники радіоелектронних приладів, як об'єктів виробництва.....	95
2.1. Розрахунок масогабаритних параметрів друкованих плат.....	95
2.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку масогабаритних параметрів друкованих плат	95
2.1.2. Приклади розв'язання задач.....	98
2.1.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	99
2.2. Розрахунок інженерних показників друкованих плат.....	103
2.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку інженерних показників друкованих плат.....	103
2.2.2. Приклади розв'язання задач.....	111
2.2.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	113
2.3. Розрахунок показників надійності радіоелектронних приладів.....	117
2.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників надійності радіоелектронних приладів.....	117
2.3.2. Приклади розв'язання задач.....	157
2.3.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	165
2.4. Розрахунок показників технологічності друкованих плат.....	165
2.4.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників технологічності друкованих плат.....	165
2.4.2. Приклади розв'язання задач.....	171
2.4.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	173
3. Розрахункові показники обладнання та засобів автоматизації сучасних виробництв.....	174
3.1. Розрахунок загальних показників обладнання сучасних автоматизованих виробництв.....	174
3.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку загальних показників обладнання сучасних автоматизованих виробництв.....	174
3.1.2. Приклади розв'язання задач.....	183
3.1.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	185
3.2. Розрахунок загальних показників надійності технологічних систем.....	190

3.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку загальних показників надійності технологічних систем.....	190
3.2.2. Приклади розв'язання задач.....	197
3.2.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	199
3.3. Розрахунок виробничого циклу складального процесу.....	202
3.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку виробничого циклу складального процесу.....	202
3.3.2. Приклади розв'язання задач.....	209
3.3.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	215
3.4. Розрахунок показників надійності автоматичних ліній складання з різними типами міжагрегатних зв'язків.....	217
3.4.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників надійності автоматичних ліній складання з різними типами міжагрегатних зв'язків.....	217
3.4.2. Приклади розв'язання задач.....	228
3.4.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	231
3.5. Розрахунок показників якості складальних процесів для роботизованих технологічних комплексів.....	234
3.5.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників якості складальних процесів для робототехнічних комплексів.....	234
3.5.2. Приклади розв'язання задач.....	239
3.5.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	242
3.6. Розрахунок показників функціонування робототехнічних комплексів.....	245
3.6.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників функціонування робототехнічних комплексів.....	245
3.6.2. Приклади розв'язання задач.....	249
3.6.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	251
3.7. Розрахунок надійності робототехнічних комплексів за параметрами точності.....	253
3.7.1. Теоретичні відомості з розрахунку надійності робототехнічних комплексів за параметрами точності.....	253
3.7.2. Приклади розв'язання задач.....	257
3.7.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	259

3.8. Розрахунок точності позиціонування складального промислового робота.....	260
3.8.1. Теоретичні відомості з розрахунку точності позиціонування складального промислового робота.....	260
3.8.2. Приклади розв'язання задач.....	269
3.8.3. Задачі для самостійного розв'язку.....	276
Перелік використаних джерел.....	278
Додаток А.....	280
Додаток Б.....	287
Додаток В.....	299

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЛ – автоматична лінія;
БЩДП – багатошарова друкована плата;
ГВС – гнучка виробнича система;
ДКР – дослідницько-конструкторські роботи;
ДП – друкована плата;
ЕРЕ – електрорадіоелемент;
ІМС – інтегральна мікросхема;
КІС – коефіцієнт інтегральних схем;
МО – металізовані отвори;
МОП – структура «метал-оксид-напівпровідник»;
НВЧ – надвисокі частоти;
НОП – наукова організація праці;
НПП – напівпровідниковий прилад;
НТД – нормативно-технічна документація;
ПР – промисловий робот;
РЕП – радіоелектронний прилад;
РІД – система «робот – інструмент – деталь»;
РТК – робототехнічний комплекс;
ТК – технологічний комплекс;
ТП – технологічний процес;
ТС – технологічна система;
ТУ – технічні умови;
ПАХ – поверхнево акустична хвиля;
ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема;
ЧПК – числове програмне керування.

1. РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ГАЛУЗІ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

1.1. Розрахунок амортизації засобів виробництва

1.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку амортизації

Головною метою функціонування підприємства будь-якої форми власності галузі виробництва радіоелектронних приладів (РЕП) в ринкових умовах є отримання прибутку шляхом створення додаткової вартості за рахунок об'єднання виробничих фондів та праці.

Усі виробничі сили підприємства можна поділити на *працю* та *засоби виробництва*, що включають в себе безпосередньо *засоби* та *предмети праці*. До засобів праці включають виробничі приміщення та споруди, обладнання, транспорт, тощо. Предмети праці можуть бути представлені сировиною, запасними частинами, елементами, вузлами та багато чим іншим, в залежності від специфіки конкретного виробництва.

В умовах підприємства з економічної точки зору засоби виробництва прийнято називати також виробничими фондами, засоби праці – *основними фондами*, предмети праці – *оборотними фондами*.

Основні фонди підприємства – засоби праці, які функціонують в процесі виробництва тривалий час (більш 365 днів), зберігаючи при цьому свою натурально-речовинну форму, а свою вартість переносять на вартість виготовленої продукції поступово по мірі використання.

Відмінності між основними та оборотними фондами підприємства наведена в табл. 1.1.

У процесі використання об'єктів основних засобів економічні вигоди, втілені в них, споживаються підприємством, внаслідок чого зменшується залишкова вартість основних засобів, що відображається шляхом нарахування *амортизації*.

Таблиця 1.1

Розрізняльні особливості основних та оборотних фондів підприємства

Ознака	Основні фонди	Оборотні фонди
Тривалість функціонування	Тривалий час частково	Участь тільки в одному виробничому процес
Ступінь використання у виробничому процесі	Частково	Повністю
Перенесення вартості на вартість виготовленої продукції	Поступово	Повністю
Зміна натурально-речовинної форми	Зберігають	Змінюють

Об'єктом амортизації є всі основні засоби, крім землі.

Нарахування амортизації здійснюється протягом терміну корисного використання (експлуатації) об'єкта, що встановлюється підприємством при визнанні цього об'єкта активом (при зарахуванні на баланс підприємства), і припиняється на період його реконструкції, модернізації, добудови, дообладнання та консервації.

Амортизація – це систематичний розподіл вартості необоротних активів, що амортизуються, протягом строку їх корисного використання (експлуатації).

Вартість основних засобів, яка амортизується – це *первісна або переоцінена вартість* необоротних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості.

У свою чергу, *ліквідаційна вартість* – сума коштів або вартість інших активів, яку підприємство очікує отримати від реалізації (ліквідації) необоротних активів після закінчення строку їх корисного використання (експлуатації) за вирахуванням витрат, пов'язаних з продажем (ліквідацією).

Строк корисного використання (експлуатації) – очікуваний період часу, протягом якого необоротні активи будуть використовуватися підприємством або з їх використанням буде виготовлено (виконано) очікуваний підприємством обсяг продукції.

Розрахунки кількісних показників амортизації можуть проводитись декількома методами. Метод амортизації об'єкта основних засобів обирається підприємством самостійно, з урахуванням очікуваного способу одержання економічних вигод від його використання.

Прямолінійний (лінійний) метод. Цей метод амортизації об'єкта основних засобів обирається підприємством самостійно, з урахуванням очікуваного способу одержання економічних вигод від його використання. Щорічні амортизаційні відрахування визначаються діленням вартості, яка амортизується, на очікуваний період часу використання об'єкта основних засобів

$$A = \frac{ПВ - ЛВ}{n}, \quad (1.1)$$

де A – щорічна сума амортизаційних відрахувань;
 $ПВ$ – первісна вартість основних засобів;
 $ЛВ$ – ліквідаційна вартість основних засобів;
 n – кількість років експлуатації основних засобів.

Лінійний метод нарахування амортизації застосовується для тих об'єктів основних засобів, які протягом всього строку експлуатації виконують приблизно постійний обсяг робіт.

Завдяки рівномірності розподілу суми амортизації між обліковими періодами при використанні цього методу забезпечується зіставність собівартості продукції з доходом від її реалізації. Але даний метод не враховує вплив таких факторів:

- моральний знос об'єкта;
- виробничу потужність основних засобів у різні роки експлуатації;
- збільшення витрат на ремонт в останні роки експлуатації об'єкта основних засобів.

Виробничий метод нарахування амортизації. За цим методом місячна сума амортизації визначається як добуток фактичного місячного обсягу продукції та виробничої ставки амортизації

$$H_{\text{Аміс}} = Q_{\text{міс}} \cdot H_{\text{Авир}}, \quad (1.2)$$

де $H_{\text{Аміс}}$ – місячна норма амортизації;

$Q_{\text{міс}}$ – обсяг виробленої продукції за місяць;

$H_{\text{Авир}}$ – виробнича ставка амортизації.

Виробнича ставка амортизації обчислюється діленням вартості, яка амортизується, на загальний обсяг продукції (робіт, послуг), який підприємство очікує виробити з використанням об'єкта основних засобів

$$H_{\text{Авир}} = \frac{ПВ - ЛВ}{Q_{\text{план}}}, \quad (1.3)$$

де $Q_{\text{план}}$ – плановий обсяг виробленої продукції.

Виробничий метод нарахування амортизації доцільно використовувати для основних засобів, знос яких в основному залежить від інтенсивності їх використання (автоматизовані комплекси для пайки та ін.), або для основних засобів, які можуть самостійно виконувати визначений обсяг робіт (вантажні автомобілі, складські транспортні системи, тощо).

Прискорені методи амортизації. Суть їх полягає в тому, що на початку експлуатації основних засобів суми нарахованої амортизації значно перевищують амортизаційні суми, нараховані наприкінці строку служби об'єкта. Використовуючи ці методи, виходять із того, що багато видів основних засобів виробничого призначення діють більш ефективно, поки вони ще нові і мають високу продуктивність. Згодом витрати на ремонт збіль-

шуються і наприкінці строку експлуатації об'єкта є набагато вищими, ніж на початку. Це призводить до того, що загальна сума витрат на ремонт і амортизаційні відрахування залишаються практично постійними протягом ряду років. У результаті корисність об'єктів основних засобів залишається однаковою протягом багатьох років. Прискорені методи амортизації доцільно використовувати для об'єктів основних засобів, які швидко морально застарівають, або у міру старіння яких значно збільшуються витрати на їх ремонт та технічне обслуговування (транспортні засоби, комп'ютери).

Метод зменшення залишкової вартості. За цим методом річна сума амортизації визначається як добуток залишкової вартості об'єкта на початок звітного року або первісної вартості на дату початку нарахування амортизації та річної норми амортизації

$$A = H_A \cdot ЗВ, \quad (1.4)$$

де H_A – щорічна норма амортизації;

$ЗВ$ – залишкова вартість основних засобів

Щорічна норма амортизації розраховується таким способом

$$H_A = \left(1 - \sqrt[n]{\frac{ЛВ}{ПВ}} \right) \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

де n – тривалість корисного використання об'єкта основних фондів, років.

Залишкова вартість основних засобів – це різниця між первісною вартістю необоротного активу та сумою його накопиченої амортизації (зносу)

$$ЗВ = ПВ - Зн, \quad (1.6)$$

де $Зн$ – сума накопиченої амортизації необоротного активу.

Метод прискореного зменшення залишкової вартості (подвійно-залишковий). При використанні методу прискореної амортизації ліквідаційна вартість об'єкта не враховується. Річна сума амортизації визначається як добуток залишкової вартості об'єкта на початок звітнього року або первісної вартості на дату початку нарахування амортизації та річної норми амортизації

$$A = H_A \cdot 3B. \quad (1.7)$$

На відміну від методу зменшення залишкової вартості при розрахунку амортизації методом прискореного зменшення залишкової вартості річна норма амортизації обчислюється, виходячи із строку корисного використання об'єкта, і подвоюється

$$H_A = \frac{100\%}{n} \cdot 2. \quad (1.8)$$

Кумулятивний метод. Цей метод ще називають методом списання вартості за сумою чисел років. Річна сума амортизації визначається як добуток вартості, яка амортизується, та кумулятивного коефіцієнта

$$H_A = (ПВ - ЛМ) \cdot \kappa_{\text{кум}}, \quad (1.9)$$

де $\kappa_{\text{кум}}$ – кумулятивний коефіцієнт.

Кумулятивний коефіцієнт розраховується діленням кількості років, що залишаються до кінця очікуваного строку корисного використання об'єкта основних засобів, на суму числа років його корисного використання

$$\kappa_{\text{кум}} = \frac{n_{\text{зал}}}{n}, \quad (1.10)$$

де $n_{\text{зал}}$ – кількість років, що залишаються до кінця очікуваного строку корисного використання.

1.1.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Підприємство придбало верстат, його первісна вартість – 10 тис. грн., очікуваний строк використання – 5 років, ліквідаційна вартість – 1 тис. грн. Розрахувати прямолінійним методом щорічну суму зносу та залишкову вартість.

Розв'язок:

Період використання	Річна сума амортизації A , грн.	Сума зносу Z_n , грн.	Залишкова вартість ZB , грн.
1 рік	$\frac{10000 - 1000}{5} = 1800$	1800	$10000 - 1800 = 8200$
2 рік	$\frac{10000 - 1000}{5} = 1800$	3600	$8200 - 1800 = 6400$
3 рік	$\frac{10000 - 1000}{5} = 1800$	5400	$6400 - 1800 = 4600$
4 рік	$\frac{10000 - 1000}{5} = 1800$	7200	$4600 - 1800 = 2800$
5 рік	$\frac{10000 - 1000}{5} = 1800$	9000	$2800 - 1800 = 1000$

Задача 2.

Та сама умова. Розрахувати щорічну суму зносу та залишкову вартість методом зменшення залишкової вартості.

Розв'язок:

Норма амортизації розраховується за формулою

$$H_A = \left(1 - \sqrt[5]{\frac{1000}{10000}}\right) \cdot 100\% = 36,9\%$$

Період використання	Річна сума амортизації A , грн.	Сума зносу Z_n , грн.	Залишкова вартість ZB , грн.
1 рік	$10000 \cdot 36,9\% = 3690$	3690	$10000 - 3690 = 6310$
2 рік	$6310 \cdot 36,9\% = 2328$	$3690 + 2328 = 6018$	$6310 - 2328 = 3982$
3 рік	$3982 \cdot 36,9\% = 1470$	$6018 + 1470 = 7488$	$3982 - 1470 = 2512$
4 рік	$2512 \cdot 36,9\% = 927$	$7488 + 927 = 8415$	$2512 - 927 = 1585$
5 рік	$1585 \cdot 36,9\% = 585$	$8415 + 585 = 9000$	$1585 - 585 = 1000$

Задача 3.

Та сама умова. Розрахувати щорічну суму зносу та залишкову вартість методом прискореного зменшення залишкової вартості (подвійно-залишковим).

Розв'язок:

Норма амортизації розраховується за формулою

$$H_A = \frac{100\%}{5} \cdot 2 = 40\% .$$

Період використання	Річна сума амортизації A грн.	Сума зносу Z_n , грн.	Залишкова вартість ZB , грн.
1 рік	$10000 \cdot 40\% = 4000$	4000	$10000 - 4000 = 6000$
2 рік	$6000 \cdot 40\% = 2400$	$4000 + 2400 = 6400$	$6000 - 2400 = 3600$
3 рік	$3600 \cdot 40\% = 1440$	$6400 + 1440 = 7840$	$3600 - 1440 = 2160$
4 рік	$2160 \cdot 40\% = 864$	$7840 + 864 = 8704$	$2160 - 864 = 1296$
5 рік	$1296 \cdot 40\% = 518,4$	$8704 + 518,4 = 9222,4$	$1296 - 518,4 = 777,6$

Задача 4.

Та сама умова. Розрахувати щорічну суму зносу та залишкову вартість кумулятивним методом.

Розв'язок:

Сума чисел років визначається за виразом

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15(p).$$

Кумулятивні коефіцієнти приймають наступне значення

$$\kappa_{кум1} = \frac{5}{15}; \quad \kappa_{кум2} = \frac{4}{15};$$

$$\kappa_{кум3} = \frac{3}{15}; \quad \kappa_{кум4} = \frac{2}{15}; \quad \kappa_{кум5} = \frac{1}{15}.$$

Період використання	Річна сума амортизації A , грн.	Сума зносу Z_n , грн.	Залишкова вартість ZB , грн.
1 рік	$9000 \cdot \frac{5}{15} = 3000$	3000	$10000 - 3000 = 7000$
2 рік	$9000 \cdot \frac{4}{15} = 2400$	$3000 + 2400 = 5400$	$7000 - 2400 = 4600$
3 рік	$9000 \cdot \frac{3}{15} = 1800$	$5400 + 1800 = 7200$	$4600 - 1800 = 2800$
4 рік	$9000 \cdot \frac{2}{15} = 1200$	$7200 + 1200 = 8400$	$2800 - 1200 = 1600$
5 рік	$9000 \cdot \frac{1}{15} = 600$	$8400 + 600 = 9000$	$1600 - 600 = 1000$

Задача 5.

Підприємство придбало міжцеховий транспортний візок вартістю 10 тис. грн., його ліквідаційна вартість 1 тис. грн. Запланований пробіг візка – 90 тис. км. За перший рік його експлуатації ним було пройдено: у січні 3 тис. км, у лютому – 2 тис. км., у березні – 5 тис. км., у квітні – 4 тис. км., у травні – 1 тис. км. Розрахувати амортизацію виробничим методом.

Розв'язок:

Виробнича ставка амортизації розраховується за формулою

$$H_A = \frac{10000 - 1000}{9000} = 0,1.$$

Період використання	Річна сума амортизації A , грн.	Сума зносу Z_n , грн.	Залишкова вартість ZB , грн.
Січень	3000	$3000 \cdot 0,1 = 300$	$10000 - 300 = 9700$
Лютий	2000	$2000 \cdot 0,1 = 200$	$9700 - 200 = 9500$
Березень	5000	$5000 \cdot 0,1 = 500$	$9500 - 500 = 9000$
Квітень	4000	$4000 \cdot 0,1 = 400$	$9000 - 400 = 8600$
Травень	1000	$1000 \cdot 0,1 = 100$	$8600 - 100 = 8500$

1.1.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Підприємство придбало верстат, його первісна вартість 10 тис. грн., очікуваний строк використання – 4 роки, ліквідаційна вартість – 1,5 тис. грн. Розрахувати щорічну суму зносу та залишкову вартість за варіантом згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Ліквідаційна вартість, тис. грн.	Строк використання, р.	Метод для розрахунку
0	10	1,5	4	Прямолінійний метод
1	120	10	8	
2	25	1	5	
3	100	7	7	Метод зменшення залишкової вартості
4	20	3	4	
5	75	5,5	6	Подвійно-залишковий метод
6	15	2	4	
7	140	8	8	
8	50	6	5	Кумулятивний метод
9	150	12	9	

Задача 2.

Підприємство купило автоматичний транспортний візок. Його первісна вартість становить 55 тис. грн., очікуваний строк експлуатації – 10 років, ліквідаційна вартість – 5 тис. грн., обраний метод амортизації – прямолінійний. Після трьох років використання вирішили змінити метод амортизації на метод прискореного зменшення залишкової вартості.

Розрахувати суми амортизації на кожен рік до кінця строку експлуатації за варіантом згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл.1.3), пояснити отримані результати.

Таблиця 1.3.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Ліквідаційна вартість, тис. грн.	Термін використання, р.	Початковий метод амортизації
0	55	5	10	Прямолінійний метод
1	12	2	4	
2	31	2,8	6	
3	38	3,4	6	Метод зменшення залишкової вартості
4	14	2,2	4	
5	42	4,5	5	Подвійно-залишковий метод
6	22	1,8	4	
7	45	4,3	5	
8	18	3,45	3	Кумулятивний метод
9	27	2,8	5	

Задача 3.

Підприємство придбало автоматичне обладнання для експонування друкованих плат вартістю 48 тис. грн., його ліквідаційна вартість 3 тис. грн. Запланована кількість вироблених за його участю друкованих плат – 450 тис. Термін використання – 5 років. За перший рік експлуатації обладнання було вироблено 70 тис. плат. За кожний наступний рік вироблялось на 12% більше плат, ніж у попередній. Розрахувати амортизацію виробничим методом за варіантом згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл.1.4).

Таблиця 1.4

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Ліквідаційна вартість, тис. грн.	Строк використання, р.	Запланована кількість виробів, тис. шт	Фактична кількість виробів за перший рік, тис. шт
0	48	3	5	450	70
1	54	18	4	250	50
2	28	6,9	6	115	14
3	52	3,8	7	450	44
4	31,7	2	4	373	78
5	28	3	3	405	120
6	34	2,3	5	407	64
7	57	4,6	8	335	27
8	30	4,3	3	270	80
9	32,8	2	6	155	19

Задача 4.

Підприємству дозволено нараховувати прискорену амортизацію активної частини основних фондів, зокрема нових верстатів. Визначити, яким методом (зменшеного залишку чи кумулятивним) краще нараховувати цю амортизацію, якщо початкова вартість верстата – 85 тис. грн., ліквідаційна вартість – 1 тис. грн., а нормативний термін служби 5 років. Варіанти завдань до розрахунку обираються згідно останньої цифри у заліковій книжці та наведені в табл.1.5.

Таблиця 1.5

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Ліквідаційна вартість, тис. грн.	Строк використання, р.
1	2	3	4
0	85	1	5
1	76	5	2
2	48	1,4	5
3	26	0,8	7

Продовження табл. 1.5.

1	2	3	4
4	42	4,2	4
5	83	6,1	6
6	34	0,95	8
7	61	4,6	4
8	54	3,5	3
9	91	6,3	5

Задача 5.

Вартість придбаного верстату 38 тис. грн., його доставка й монтаж обійшлися підприємству в 17% від вартості самого верстату. Визначити щорічну суму амортизаційних відрахувань та його залишкову вартість після двох років експлуатації, якщо ліквідаційна вартість прирівнюється до нуля. При нарахуванні амортизації застосувати кумулятивний метод. Варіанти завдань до розрахунку обираються згідно з останньою цифрою у заліковій книжці та наведені в табл.1.6.

Таблиця 1.6.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Метод для розрахунку
0	38	Прямолінійний метод
1	42,5	
2	32,7	
3	64,3	Метод зменшення залишкової вартості
4	57,4	
5	38,2	Подвійно-залишковий метод
6	28,5	
7	56	
8	51,1	Кумулятивний метод
9	29,4	

Задача 6.

Підприємство придбало верстат за 10 тис. грн. Перевезення і монтаж його коштували 800 грн. Виручка від кінцевої реалізації окремих вузлів і деталей верстата – 2 тис. грн., вартість брухту після зносу – 250 грн. Термін експлуатації верстата – 7 років.

Визначити норму амортизації за лінійною амортизацією (при застосуванні лінійного методу). Який відсоток вартості верстата буде амортизовано за три роки його експлуатації при застосуванні подвійно-залишкового методу. Розрахунки проводити за варіантом згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл.1.7).

Таблиця 1.7.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Первісна вартість, тис. грн.	Реалізація вузлів і деталей, тис. грн.	Вартість брухту, грн.	Строк використання, р.
0	10	2	250	7
1	15			4
2	14	2,5	300	6
3	22			3
4	17	3	350	
5	20,5			8
6	24,3	3,5	400	5
7	21,2			4
8	28	4	450	3
9	26.5			7

1.2. Розрахунок технічного стану виробничого обладнання

1.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку технічного стану виробничого обладнання

Для характеристики технічного стану виробничого обладнання, що відноситься до основних фондів підприємства, використовуються такі основні показники: коефіцієнти спрацювання (зносу), придатності, оновлення, вибуття та кілька інших (допоміжних) коефіцієнтів.

Знос – це поступова втрата основними фондами своїх первісних якостей. Розрізняють два види зносу – фізичний і моральний. У свою чергу, кожний із них має ще дві форми.

Фізичний знос – це поступова втрата засобами праці своїх первісних техніко-експлуатаційних якостей унаслідок їх використання у виробництві, а також у стані бездіяльності – під впливом сил природи (корозія металу, вивітрювання) і надзвичайних обставин. Чим інтенсивнішим є використання обладнання, то швидшим буде його фізичний знос.

Фізичний знос можна визначити двома способами: на підставі паспортних даних про можливу тривалість експлуатації (кількість виконаних робіт) або за даними обстежень технічного стану основних фондів. Ці методи використовуються, як правило, під час проведення інвентаризації та переоцінки основних фондів.

Фізичний знос основних фондів частково компенсується ремонтами. На практиці (згідно з існуючою методикою) сума зносу основних фондів характеризується сумою нарахованої амортизації.

Таким чином, *коефіцієнт фізичного зносу* виробничого обладнання (основних фондів) розраховується трьома способами:

- за сумою зносу основних фондів

$$K_{\text{фіз.зн.}} = \frac{\sum A}{ПВ}, \quad (1.11)$$

де $\sum A$ – сума амортизаційних відрахувань від початку експлуатації (сума зносу) основних засобів;
– за витратами на ремонт

$$K_{\text{фіз.зн.}} = \frac{\sum B_{\text{к.р.}}}{ПВ}, \quad (1.12)$$

де $\sum B_{\text{к.р.}}$ – витрати на капітальний ремонт основних засобів від початку їх експлуатації;
– за строками служби

$$K_{\text{фіз.зн.}} = \frac{T_{\phi}}{T_n} (100\% - ЛВ), \quad (1.13)$$

де T_{ϕ} – фактичний строк служби основних засобів;
 T_n – нормативний строк служби основних засобів;
 $ЛВ$ – у даному випадку % значення ліквідаційна вартість відносно первісної вартості основних фондів.

Моральний знос – це знецінення об'єктів основних фондів унаслідок нових досягнень технічного прогресу ще задовго до повного їх фізичного зносу. Розрізняють дві форми морального зносу: знецінення обладнання унаслідок здешевлення його виробництва, або внаслідок випуску нового, досконалішого і продуктивнішого обладнання.

Суму морального зносу можна визначити за даними переоцінки основних фондів – як різницю між первісною й відновною вартістю об'єкта основних фондів, чи визначаючи відновну вартість, для чого необхідно враховувати продуктивність об'єкта основних фондів, тривалість міжремонтних періодів, споживання енергії та інші показники засобів праці сучасної конструкції. Найскоріше і найбільше морально зношуються активні основні форми.

Коефіцієнт морального зносу розраховується за показниками відновленої вартості основних засобів

$$\kappa_{\text{м.зн.}} = 1 - \frac{BB}{PB}, \quad (1.14)$$

де BB – відновлена вартість основних засобів – вартість їхнього відтворення за сучасних умов виробництва;
чи за показниками вартості та ефективності

$$\kappa_{\text{м.зн.}} = 1 - \frac{OZ_{\text{н}}}{OZ_{\text{з}}} \frac{ПП_{\text{з}}}{ПП_{\text{н}}}, \quad (1.15)$$

де $OZ_{\text{з}}$, $OZ_{\text{н}}$ – повна вартість відповідно до застосовуваного і нового засобу праці;

$ПП_{\text{з}}$, $ПП_{\text{н}}$ – продуктивність або інший пріоритетний техніко-експлуатаційний показник тих самих засобів праці.

Коефіцієнт загального зносу представляє собою наступний вираз

$$\kappa_{\text{заг}} = 1 - (1 - \kappa_{\text{фіз.зн.}}) \cdot (1 - \kappa_{\text{м.зн.}}), \quad (1.16)$$

де $\kappa_{\text{заг}}$ – коефіцієнт загального зносу.

Для досягнення високої ефективності виробництв галузі РЕП загалом необхідним є відстеження розвитку, відповідне оновлення та вибуття за потребою основних фондів, а саме, виробничого обладнання.

Коефіцієнт оновлення основних фондів – характеризує частку нових, введених в експлуатацію у звітному періоді основних фондів у складі усіх основних фондів, наявних на кінець звітного періоду

$$K_{\text{онов}} = \frac{OZ_{\text{введ}}}{OZ_{\text{кін.р.}}}, \quad (1.17)$$

де $K_{\text{онов}}$ – коефіцієнт оновлення;
 $OZ_{\text{введ}}$ – вартість введених основних засобів;
 $OZ_{\text{кін.р.}}$ – вартість основних засобів на кінець року.

Коефіцієнт вибуття основних фондів – показує, яка частка основних фондів, наявних на початок звітного періоду, вибула за цей період унаслідок старіння та зносу

$$K_{\text{виб}} = \frac{OZ_{\text{вивед}}}{OZ_{\text{поч.р.}}}, \quad (1.18)$$

де $K_{\text{виб}}$ – коефіцієнт вибуття;
 $OZ_{\text{вивед}}$ – вартість виведених основних засобів;
 $OZ_{\text{поч.р.}}$ – вартість основних засобів на початок року.

1.2.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Підприємство придбало верстат, його первісна вартість – 20 тис. грн., очікуваний строк використання – 5 років, ліквідаційна вартість – 1,8 тис. грн., продуктивність – 7 тис. деталей на рік. Амортизація розраховувалась прямолінійним методом. У перший рік використання на ремонт було витрачено 1,2 тис. грн., у другий – 1,5 тис. грн., у третій – 1,8 тис. грн. та 2 тис. грн. у четвертий рік, після чого верстат було змінено на новий, вартістю 24 тис. грн., аналогічним строком використання та продуктивністю 10 тис. деталей на рік. Вартість такої ж моделі першого верстата у новому стані на кінець третього року складала 18 тис. грн. Розрахувати коефіцієнт фізичного зносу першого верстата за сумою основних фондів.

Розв'язок:

Фактичний період експлуатації першого верстату склав 4 роки.

Період використання	Річна сума амортизації A , грн.	Сума зносу Z_n , грн.
1 рік	$\frac{20000 - 1800}{4} = 4550$	4550
2 рік	$\frac{20000 - 1800}{4} = 4550$	9100
3 рік	$\frac{20000 - 1800}{4} = 4550$	13650
4 рік	$\frac{20000 - 1800}{4} = 4550$	18200

Коефіцієнт фізичного зносу за сумою зносу основних фондів розраховується таким способом

$$k_{\text{фіз.зн.}} = \frac{18200}{20000} = 0,91.$$

Задача 2.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт фізичного зносу першого верстата за витратами на ремонт.

Розв'язок:

Витрати на ремонт за фактичний період експлуатації склали

$$\sum B_{\text{к.р.}} = 1200 + 1500 + 1800 + 2000 = 6500 \text{ (грн.)}.$$

Коефіцієнт фізичного зносу за витратами на ремонт розраховується за формулою

$$k_{\text{фіз.зн.}} = \frac{6500}{20000} = 0,33.$$

Задача 3.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт фізичного зносу першого верстата за строками служби.

Розв'язок:

Відсоткове значення ліквідаційної вартості відносно первісної вартості основних фондів дорівнює:

$$ЛВ = \frac{1800 \cdot 100\%}{20000} = 9\%.$$

Коефіцієнт фізичного зносу за строками служби

$$\kappa_{\text{фіз.зн.}} = \frac{4}{5}(100\% - 9\%) = 0,73.$$

Задача 4.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт морального зносу за показниками відновленої вартості основних засобів.

Розв'язок:

Коефіцієнт морального зносу розраховується за показниками відновленої вартості основних засобів таким способом

$$\kappa_{\text{м.зн.}} = 1 - \frac{18000}{20000} = 0,1.$$

Задача 5.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт морального зносу за показниками вартості та ефективності.

Розв'язок:

Коефіцієнт морального зносу розраховується за показниками вартості та ефективності так

$$\kappa_{\text{м.зн.}} = 1 - \frac{24000}{20000} \frac{7000}{10000} = 0,16$$

Задача 6.

Підприємство мало на початок року одну автоматизовану конвеєрну лінію вартістю 48 тис. грн. та два промислових робота-маніпулятора, вартістю 28 тис. грн. кожен. У липні одними із робітників вийшов з ладу та його було вилучено з виробництва. У листопаді за програмою модернізації підприємства було придбано нового маніпулятора, вартістю 34 тис. грн. та автоматичний складський візок, вартістю 18 тис. грн. Розрахувати коефіцієнти оновлення та вибуття основних фондів за поточний рік.

Розв'язок:

Вартість введених основних фондів дорівнює

$$OZ_{\text{введ}} = 34000 + 18000 = 52000 \text{ (грн.)}$$

Вартість основних засобів на кінець року складатиме

$$OZ_{\text{кін.р.}} = 48000 + 28000 + 52000 = 128000 \text{ (грн.)}$$

Коефіцієнти оновлення основних засобів розраховується за формулою

$$k_{\text{онов}} = \frac{52000}{128000} = 0,41$$

Вартість основних засобів на початок року складає

$$OZ_{\text{поч.р.}} = 48000 + 28000 \cdot 2 = 104000 \text{ (грн.)}$$

Коефіцієнт вибуття основних фондів дорівнює

$$k_{\text{виб}} = \frac{28000}{104000} = 0,27$$

1.2.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Підприємство придбало верстат, його первісна вартість – 50 тис. грн., очікуваний строк використання – 7 роки, ліквідаційна вартість – 18 тис. грн., продуктивність – 120 тис. деталей на рік. Амортизація розраховувалась прямолінійним методом. За весь період використання у 6 років на ремонт було витрачено 12 тис. грн., після чого верстат було змінено на новий, вартістю 82 тис. грн., аналогічним строком використання та продуктивністю 160 тис. деталей на рік. Вартість такої ж моделі першого верстата у новому стані на кінець третього року складала 44 тис. грн. Розрахувати коефіцієнт фізичного зносу за сумою зносу, за витратами на ремонт та за строками служби першого верстата за варіантом, згідно останньої цифри у заліковій книжці (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Продуктивність старого обладнання, тис. детал.	Вартість нового обладнання, тис. грн.	Фактичний період використання старого обладнання, р.	Метод для розрахунку амортизації
0	120	44	6	Прямолінійний метод
1	150	47		
2	170	41		
3	190	49	7	Метод зменшення залишкової вартості
4	140	42		
5	110	46	8	Кумулятивний метод
6	160	48		
7	180	43	5	Подвійно-залишковий метод
8	130	45		
9	100	40		

Задача 3.

У основних фондах підприємства знаходилось дві однакові автоматичні установи для пайки, загальною вартістю 450 тис. грн. та продуктивністю 300 тис. плат на рік, і автоматична установка оптичного контролю друкованих плат, вартістю 28 тис. грн., і продуктивністю 350 тис. плат на рік. Ліквідаційна вартість всього обладнання склала 10% від його загальної первісної вартості. Очікуваний строк служби всього обладнання – 8 років. Витрати на ремонт всього обладнання за фактичний термін його використання строком 6 років склала 12 тис. грн. Відновлена вартість обладнання на кінець фактичного терміну його використання склала 120% від первісної вартості для кожної одиниці обладнання. В рамках програми підвищення якості продукції та модернізації з виробництва було вилучено одну систему автоматичної пайки. Замість цього того була придбана нова аналогічна система з більшою продуктивністю у 350 плат на рік та вартістю 480 тис. грн., а також додатково система електричного контролю друкованих плат, вартістю 57 тис. грн. та продуктивністю до 400 тис. плат. Розрахуйте коефіцієнт фізичного, морального та загального зносу обладнання підприємства у поточному році за варіантом, згідно останньої цифри у заліковій книжці (табл. 1.9).

Таблиця 1.9

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Спосіб розрахунку коефіцієнта фізичного зносу	Спосіб розрахунку коефіцієнта морального зносу
0	за витратами на ремонт	за показниками вартості та ефективності
1		за показниками відновленої вартості
2		за показниками вартості та ефективності
3		за показниками відновленої вартості
4		за показниками вартості та ефективності
5	за строками служби	за показниками відновленої вартості
6		за показниками вартості та ефективності
7		за показниками відновленої вартості
8		за показниками вартості та ефективності
9		за показниками відновленої вартості

Задача 4.

Підприємство мало на початок року автоматичну міжцехову транспортну систему вартістю 64 тис. грн. та дві автоматизовані конвеєрні лінії, вартістю 32 тис. грн. кожна. У вересні за програмою модернізації підприємства було вилучено одну автоматизовану конвеєрну лінію. Замість цього було придбано дві нові, з можливістю паралельного функціонування в умовах конкретного виробництва, вартістю 34 тис. грн. кожна, та додатковий автоматичний безрельсовий візок, вартістю 18 тис. грн. Розрахувати коефіцієнти оновлення та вибуття основних фондів за поточний рік згідно з варіантом (табл.1.10).

Таблиця 1.10

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Вартість одиниці обладнання до модернізації, тис. грн.		Вартість одиниці обладнання після модернізації, тис. грн.		Час проведення програми модернізації	
	Автоматична транспортна система	Автоматизована конвеєрна лінія	Автоматизована конвеєрна лінія	Автоматичний безрельсовий візок	Вилучення старого обладнання	Додавання нового обладнання
0	64	32	34	18	вересень	
1	220	52	58	20	липень	жовтень
2	75	62	63,3	22		
3	98	48	53	38	березень	
4	63	26	24	31	серпень	травень
5	140	58	62	20,5		
6	167	41	41	22,4	червень	
7	205	39	49,7	26	лютий	квітень
8	82	50	52	24,3		
9	134	44	44,7	18,7	жовтень	

Задача 5.

Визначити коефіцієнти оновлення та вибуття загалом та по кожній групі основних фондів згідно за варіантом (табл.1.11), що відповідає останній цифрі залікової книжки, якщо відомі такі дані про наявність та рух основних фондів підприємства за звітний рік:

Таблиця 1.11

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Найменування фондів	На початок року, тис. грн.	Надійшло у році, тис. грн.	Вибуло у році, тис. грн.	На кінець року, тис. грн.
0-4	Всього основних фондів, в т.ч.	1570	712	55	2227
	Промислові маніпулятори	720	-	20	700
	Автоматичні конвеєри	370	200	-	570
	Автоматизовані транспортні системи	-	352	-	352
	Інші основні фонди	480	160	35	605
5-9	Всього основних фондів, в т.ч.	1805	617	19	2403
	Промислові маніпулятори	-	360	14	346
	Автоматичні конвеєри	420	230	-	650
	Автоматизовані транспортні системи	575	-	-	575
	Інші основні фонди	810	27	5	832

1.3. Розрахунок ефективності технічної організації виробничого процесу

1.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку ефективності технічної організації виробничого процесу

Ефективність організації виробничого процесу з точки зору його технічного забезпечення обумовлена кількістю якісної продукції, що була вироблена відповідно до можливостей виконавчого виробничого обладнання з урахуванням часу його роботи у зазначений період, а саме: показниками фондовіддачі, фондомісткості, виробничої потужності, змінності роботи обладнання та іншими.

Фондовіддача – це показник, що відображає випуск продукції на 1 грн. основних фондів підприємства

$$f = \frac{Q}{\overline{OЗ}}, \quad (1.19)$$

де f – фондовіддача;

Q – обсяг виготовленої продукції;

$\overline{OЗ}$ – середньорічна вартість основних фондів.

Середньорічна вартість основних виробничих фондів – середньорічна вартість засобів праці, які беруть участь у процесі виробництва протягом тривалого періоду, при цьому не змінюють своєї натурально-речової форми і поступово частинами переносять свою вартість на вартість виготовленої продукції, яка розраховується за формулою

$$\overline{OЗ} = OЗ_{поч.р.} + \frac{OЗ_{введ} \cdot t_3}{12} - \frac{OЗ_{вивед} \cdot t'_3}{12}, \quad (1.20)$$

де t_3 – кількість повних місяців використання введених основних засобів у плановому році;

t'_3 – кількість повних місяців невикористання виведених основних засобів у плановому році,

$$\overline{OЗ} = \frac{OЗ_{поч.р.} + OЗ_{кін.р.}}{2}, \quad (1.21)$$

де $OЗ_{кін.р.}$ – вартість основних засобів на кінець року.

Фондомісткість (f') – показник потреби основних фондів для забезпечення виконання одиниці обсягу роботи

$$f' = \frac{\overline{OЗ}}{Q}. \quad (1.22)$$

Фондоозброєність праці ($f_{озбр}$) обчислюється за формулою

$$f_{озбр} = \frac{\overline{OЗ}}{Ч}, \quad (1.23)$$

де $Ч$ – чисельність персоналу на підприємстві, чол.

Виробнича потужність підприємства – це максимально можливий випуск продукції підприємством за певний період часу (зміну, добу, місяць, рік) у встановленій номенклатурі та асортименті під час повного завантаження обладнання та виробничих площ. Вона обчислюється як величина, прямо пропорційна нормі виробітку

$$ВП = \Phi_D \cdot N_{вир}, \quad (1.24)$$

де $ВП$ – виробнича потужність;

Φ_D – дійсний фонд часу роботи обладнання та устаткування;

$N_{вир}$ – норма виробітку,

або обернено пропорційна нормі виробітку обробітку

$$ВП = \frac{\Phi_D}{N_{обр}}, \quad (1.25)$$

де $N_{обр}$ – норма обробітку.

Середньорічна виробнича потужність розраховується за виразом

$$\overline{ВП} = ВП_{вх} + \frac{ВП_{введ} \cdot t}{12} - \frac{ВП_{вивед} \cdot t'}{12}, \quad (1.26)$$

де $\overline{ВП}$ – середньорічна виробнича потужність;

$ВП_{вх}$ – вхідна виробнича потужність;

$ВП_{введ}$ – введена виробнича потужність у плановому році;

$ВП_{вивед}$ – виведена виробнича потужність у плановому році;

t – кількість повних місяців використання введених потужностей у плановому році;

t' – кількість повних місяців невикористання виведених потужностей у плановому році.

Ступінь використання виробничої потужності підприємства характеризується *коефіцієнтом використання потужності* ($\kappa_{в.п.}$), який визначається за формулою

$$\kappa_{в.п.} = \frac{Q_{факт}}{\overline{ВП}}. \quad (1.27)$$

Слід зауважити, що від рівня використання виробничої потужності підприємства (максимально можливого обсягу випуску продукції при встановленій величині виробничих фондів та організації виробничого процесу) залежить обсяг випуску продукції – *виробнича програма*

$$ВП_{прог} = ВП \cdot \kappa_{в.п.} \cdot \quad (1.28)$$

Однією з основних характеристик ефективної організації технічного забезпечення виробничого процесу є *інтенсивність використання виробничого устаткування*.

Для визначення показників екстенсивного використання устаткування складається баланс робочого часу. Розрізняють такі фонди робочого часу роботи устаткування:

- *календарний фонд* (T_k) – максимально можливий час роботи устаткування, який розраховується як добуток кількості календарних днів у звітному періоді, кількості годин в добі (24) і кількості одиниць встановленого устаткування

$$T_k = 24 \cdot K_\partial \cdot K_y, \quad (1.29)$$

де K_∂ – кількість календарних днів у звітному періоді;

K_y – кількості одиниць устаткування;

- *режимний фонд* (T_p) – визначається як добуток кількості встановлених одиниць устаткування на кількість робочих днів в періоді, на кількість змін і на тривалість зміни. З урахуванням вихідних та святкових днів розраховується за виразом

$$T_p = [T_{зм} (K_\partial - K_\epsilon - K_c) - K_n \cdot K_{nc}] \cdot K_{зм} \cdot K_y, \quad (1.30)$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни;

- $K_{\text{в}}$ – кількість вихідних днів у звітному періоді;
 $K_{\text{с}}$ – кількість святкових днів у звітному періоді, що не збігаються за датою з вихідними днями;
 $K_{\text{н}}$ – кількість неробочих годин у передсвяткові дні;
 $K_{\text{нс}}$ – кількість передсвяткових днів;
 $K_{\text{зм}}$ – кількість змін роботи одиниці устаткування;
 – *плановий фонд* ($T_{\text{п}}$) – визначається як різниця між режимним фондом часу і кількістю верстато-годин, передбачених планових зупинок (ремонт, модернізація)

$$T_{\text{п}} = T_{\text{р}} - K_{\text{з}}, \quad (1.31)$$

де $K_{\text{з}}$ – кількість верстато-годин, передбачених на планові зупинки;

- *фактичний фонд* ($T_{\text{ф}}$) – визначається як різниця між плановим фондом і часом внутрішньозмінних, цілозмінних і цілодобових зупинок

$$T_{\text{ф}} = T_{\text{п}} - K_{\text{з.ф.}}, \quad (1.32)$$

де $K_{\text{з.ф.}}$ – час фактичних внутрішньозмінних, цілозмінних і цілодобових зупинок.

Для оцінки використання робочого часу устаткування застосовуються такі коефіцієнти:

- *коефіцієнт календарного фонду часу*

$$K_{\text{к.ф.}} = \frac{T_{\text{ф}}}{T_{\text{к}}}, \quad (1.33)$$

– коефіцієнт режимного фонду часу

$$\kappa_{p.ф.} = \frac{T_{\phi}}{T_p}; \quad (1.34)$$

– коефіцієнт планового фонду

$$\kappa_{n.ф.} = \frac{T_{\phi}}{T_n}; \quad (1.35)$$

Найбільше значення серед приватних показників екстенсивного використання має *коефіцієнт змінності роботи устаткування*, який визначається як відношення суми машино-змін протягом доби до загального числа машин

$$\kappa_3 = \frac{\sum BЗ}{K_y}; \quad (1.36)$$

де $\sum BЗ$ – загальна сума верстато-змін, відпрацьованих за добу всім устаткуванням, або як відношення загальної кількості відпрацьованих обладнанням даного виду протягом дня верстато-змін до кількості верстатів, що працювали в найбільшу зміну.

Розрахований, таким чином, коефіцієнт змінності показує, у скільки змін у середньому працює кожна одиниця обладнання.

1.3.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Підприємством заплановано випустити приладів на 22,1 млн. грн. Вартість його основного обладнання на початок року становила 1820 тис. грн. У липні заплановано придбання додаткового обладнання на суму 460 тис. грн., а 1 вересня ще на 530 тис. грн. У травні буде списано застарілого устаткування на суму 320 тис. грн. Середня чисельність працюючих за звітний рік становила 420 осіб. Визначити фондовіддачу на підприємстві.

Розв'язок:

Середньорічна вартість основних виробничих фондів розраховується за формулою

$$\overline{ОЗ} = 1820000 + \frac{460000 \cdot 6 + 530000 \cdot 4}{12} - \frac{320000 \cdot 8}{12} = 2013334 \text{ (грн.)}$$

Фондовіддача дорівнює

$$f = \frac{22100000}{2013334} = 11 \cdot$$

Задача 2.

Та сама умова. Розрахувати фондомісткість на підприємстві.

Розв'язок:

Фондомісткість дорівнює

$$f' = \frac{2013334}{22100000} = 0,09 \cdot$$

Задача 3.

Та сама умова. Розрахувати фондоозброєність на підприємстві

Розв'язок:

Фондоозброєність праці дорівнює

$$f_{\text{озбр}} = \frac{2013334}{420} = 4793,7.$$

Задача 4.

На початку року на складальній дільниці виробництва було встановлено і діяло 12 промислових маніпуляторів. У березні було на цій ділянці додатково встановлено ще 5 маніпуляторів. У липні було вилучено 4 застарілих маніпулятора. Всі маніпулятори мають однакову продуктивність у 1 виріб на годину. Дійсний фонд часу їх роботи складає 252 години на місяць. Запланована норма виробітку цієї ділянки за годину відповідає заявленій продуктивності обладнання. Кількість фактично виробленого обладнання на рік повністю на 2% перевищує запланований обсяг. Середньорічна виробнича потужність дорівнює загальній річній. Розрахувати виробничу потужність складальної дільниці виробництва за рік.

Розв'язок:

Місяць	Кількість одиниць обладнання, шт.	Виробнича потужність, вир.	Дійсний фонд часу, год
Січень	12	$252 \cdot 12 = 3024$	252
Лютий	12	$252 \cdot 12 = 3024$	252
Березень	$12+5=17$	$252 \cdot 17 = 4284$	252
Квітень	17	$252 \cdot 17 = 4284$	252
Травень	17	$252 \cdot 17 = 4284$	252
Червень	17	$252 \cdot 17 = 4284$	252
Липень	$17 - 4=13$	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Серпень	13	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Вересень	13	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Жовтень	13	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Листопад	13	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Грудень	13	$252 \cdot 13 = 3276$	252
Загалом		42840	3024

Задача 5.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт використання потужності дільниці за рік.

Розв'язок:

Фактичний обсяг продукції дорівнює

$$Q_{\text{факт}} = 42840 + \frac{42840 \cdot 2}{100} = 43697 \text{ (вир.)}$$

Коефіцієнт використання потужності дорівнює

$$K_{\text{в.п.}} = \frac{43697}{42840} = 1,02$$

Задача 6.

Та сама умова. Розрахувати виробничу програму дільниці за рік.

Розв'язок:

Виробнича програма підприємства за рік розраховується таким способом

$$ВПр = 42840 \cdot 1,02 = 43697$$

Задача 7.

У складально-монтажному цеху підприємства встановлено і діють 16 одиниць обладнання. Підприємство працює у 2 зміни по 8 годин, 5 днів на тиждень, у передсвяткові дні кількість годин у зміну становить на одну годину менше. За звітній період строком у місяць (серпень) кількість звичайних робочих днів склала 21 день, 1 день – передсвятковий, звичайних вихідних – 8 днів, святкових днів, що не потрапляють на вихідні – 1. На налагодження та профілактику обладнання заплановані зупинки становлять 1,5 годин щозмінно, але у зазначеному звітному періоді фактичні зупинки перевищили заплановані на 5%. Розрахувати коефіцієнт календарного фонду часу за вказаний звітній період.

Розв'язок:

Календарний фонд часу розраховується за формулою

$$T_k = 24 \cdot 31 \cdot 16 = 11904 \text{ (год).}$$

Кількість верстато-годин, передбачених на планові зупинки за звітній період становить

$$K_z = (21 + 1) \cdot 1,5 = 33 \text{ (год).}$$

Режимний фонд часу складає

$$T_p = [8 \cdot (31 - 8 - 1) - 1 \cdot 1] \cdot 2 \cdot 16 = 5600 \text{ (год).}$$

Плановий фонд часу розраховується за формулою

$$T_n = 5600 - 33 = 5567 \text{ (год).}$$

Час фактичних зупинок складає

$$K_{з.ф.} = 33 + \frac{33 \cdot 5}{100} = 34,65 \text{ (год).}$$

Фактичний фонд часу розраховується за формулою

$$T_{ф.} = 5567 - 34,65 = 5532,35 \text{ (год).}$$

Коефіцієнт календарного фонду часу за звітній період дорівнює

$$k_{к.ф.} = \frac{5532,35}{11904} = 0,46.$$

Задача 8.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт режимного фонду часу за вказаний звітній період.

Розв'язок:

Режимний та фактичний фонд часу розраховуються аналогічно задачі 1.

Коефіцієнт режимного фонду часу за вказаний звітній період розраховується за формулою

$$\kappa_{p.ф.} = \frac{5532,35}{5600} = 0,99.$$

Задача 9.

Та сама умова. Розрахувати коефіцієнт планового фонду часу за вказаний звітній період.

Розв'язок:

Плановий та фактичний фонд часу розраховуються аналогічно задачі 1.

Коефіцієнт планового фонду часу за вказаний звітній період розраховується за формулою

$$\kappa_{n.ф.} = \frac{5532,35}{5567} = 0,99.$$

Задача 10.

На підприємстві працює 340 одиниць обладнання: 270 з них працюють в одну зміну; 60 – у дві зміни і решта верстатів у три зміни. Визначити коефіцієнт змінності роботи устаткування по підприємству.

Розв'язок:

Коефіцієнт змінності роботи устаткування розраховується за формулою

$$\kappa_3 = \frac{270 \cdot 1 + 60 \cdot 2 + (340 - 270 - 60) \cdot 3}{340} = 1,24.$$

1.3.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Підприємством заплановано випустити 80 тис. приладів вартістю 400 грн. кожен. Вартість його основного обладнання на початок року становила 1650 тис. грн. У травні заплановано придбання додаткового обладнання на суму 370 тис. грн., а у липні ще на 240 тис. грн. У червні буде списано застарілого устаткування на суму 400 тис. грн., у вересні на 270 тис. грн. Середня чисельність працюючих за звітний рік становила 370 осіб. Визначити фондівдачу, фондомісткість та фондоозброєність на підприємстві за варіантом, згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл. 1.12).

Таблиця 1.12.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Запланований випуск продукції, тис. шт.	Вартість основного обладнання на початок року, тис. грн.	Вартість придбаного обладнання, тис. грн.		Вартість списаного обладнання, тис. грн.		Кількість працюючих, чол.
			травень	липень	червень	вересень	
0	80	1650	370	240	400	270	370
1	68	1010					
2	64	808	280	210	405	300	
3	50	867					
4	52	940	340	190	380	340	405
5	58	905					
6	63	920	390	180	420	320	385
7	72	980					
8	77	1200	260	280	375	280	385
9	54	890					

Задача 2.

На початку року на виробництві було встановлено і діяло 40 верстатів різноманітного призначення. У липні було закуплено 4 нових верстати замість 6 вилучених у квітні. Всі старі верстати мали однакову продуктивність у 4 виробу на годину, а нові – 6 виробів на годину. Дійсний фонд часу їх роботи складає 252 години на місяць. Запланована норма виробітку підприємства становить 80% від заявленої продуктивності обладнання. Кількість фактично вироблених приладів на рік на 3% перевищує запланований обсяг. Середньорічна виробнича потужність дорівнює загальній річній. Розрахувати виробничу потужність та виробничу програму виробництва за рік. Розрахунки проводити згідно з варіантом, що відповідає останній цифрі у заліковій книжці (табл. 1.13).

Таблиця 1.13.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Кількість верстатів на початок року, шт.	Кількість закуплених верстатів, шт.	Кількість вилучених верстатів, шт.	Запланована норма виробітку у співвідношенні до продуктивності обладнання, %	Кількість фактично вироблених приладів у співвідношенні до запланованого обсягу, %
0	40	4	6	80	3
1	38	5	7		
2	50	5	4		
3	42	4	5	90	2
4	48	5	5		
5	53	7	4		
6	52	6	5	75	4
7	40	6	4		
8	49	4	5		
9	51	4	4		

Задача 3.

На підприємстві встановлено і діють 40 одиниць обладнання. Підприємство працює у 2 зміни по 8 годин, 5 днів на тиждень, та у 1 відповідну зміну щосуботи, у передсвяткові дні кількість годин у зміну становить на дві години менше. За звітний період строком у місяць (січень) кількість звичайних робочих днів склала 23 дні, 1 день – передсвятковий, звичайних вихідних – 5 днів, святкових днів, що не потрапляють на вихідні – 2. На налагодження та профілактику обладнання заплановані зупинки становлять 1 годину щозмінно, але у зазначеному звітному періоді фактичні зупинки перевищили заплановані на 4%. Розрахувати коефіцієнти календарного, режимного та планового фонду часу за вказаний звітний період за варіантом, згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл. 1.14).

Таблиця 1.14.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Кількість одиниць обладнання, шт.	Час на планові зупинки, год/зміну	Час на фактичні зупинки у співвідношенні до планових, %
0	40	1	4
1	38		
2	50		
3	42	2	3
4	48		
5	53		
6	52	1,5	5
7	40		
8	49		
9	51		

Задача 4.

На підприємстві працює 360 одиниць обладнання: 180 з них працюють в одну зміну; 120 – у дві зміни і решта верстатів у три зміни. Визначити коефіцієнт змінності роботи устаткування по підприємству за варіантом, згідно з останньою цифрою у заліковій книжці (табл. 1.15).

Таблиця 1.15.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна кількість обладнання, шт.	Кількість обладнання, що працює в одну зміну, шт.	Кількість обладнання, що працює в дві зміни, шт.	Кількість обладнання, що працює в три зміни, шт.
0	360	180	120	60
1		90	220	50
2	360	150	85	125
3	420	200	180	40
4		225	130	65
5		310	40	70
6	380	70	220	90
7		180	100	100
8		130	140	110
9		225	50	105

Задача 5.

На складально-монтажній дільниці встановлено і діють 126 одиниць обладнання. Трудомісткість виготовлення однієї друкованої плати 0,32 години. Дільниця працює в двозмінному режимі, тривалість зміни 8 год. Число робочих днів у розрахунковому році – 224. Регламентовані простой устаткування складають 7% режимного фонду часу. Очікуваний коефіцієнт використання верстатів – 0,75. Обчислити річну виробничу потужність дільниці та фактичну кількість вироблених на обладнанні друкованих плат. Розрахунки проводити згідно з варіантом, що відповідає останній цифрі у заліковій книжці (табл. 1.16).

Таблиця 1.16.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Кількість обладнання, шт.	Трудомісткість виготовлення однієї друкованої плати, год	Регламентовані прості устаткування у співвідношенні до режимного фонду часу, %
0	126	0,32	7
1	148	0,72	7
2	134	0,5	
3	152	0,4	9
4	165	0,53	
5	153	0,64	9
6	137	0,48	6
7	168	0,46	
8	159	0,5	
9	162	0,74	

Задача 6.

На початок року в цеху було встановлено 20 верстатів. З 1 березня планується закупити 12 нових верстатів, а в серпні 7 станків списати. Годинна продуктивність одного верстату – 15 виробів. Цех працює в одну зміну, середня тривалість зміни – 7,8 годин. Плановий процент виконання норм робітниками – 110 %. Кількість робочих днів у році – 223. Визначити виробничу потужність цеху та відсоток її використання, якщо планується за рік випустити 11,2 млн. виробів. Розрахунки проводити згідно з варіантом, що відповідає останній цифрі у заліковій книжці (табл. 1.17).

Таблиця 1.17.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Годинна продуктивність одного верстату, шт.	Плановий процент виконання норм робітниками, %	Кількість змін роботи обладнання, шт.
0	15	110	2
1	17		
2	12	110	2
3	14	95	1
4	16		
5	11		
6	19	105	3
7	20		
8	18		
9	13		

Задача 7.

Визначити плановий фонд роботи устаткування за місяць згідно за варіантом (табл.1.17), якщо загальна кількість обладнання на виробництві – 420 одиниць, підприємство працює у дві зміни по 7,5 годин кожна. Кількість фактичних робочих днів за місяць склала 19, з них 1 день – передсвятковий, під час якого тривалість кожної зміни складала на 1 годину менше ніж у звичайний день.

Таблиця 1.18.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна кількість обладнання, шт.	Кількість фактичних робочих днів за місяць, шт.	Кількість змін роботи обладнання, шт.
1	2	3	4
0	420	19	2
1	445	20	1
2	430		
3	455		
4	460		
5	450		
6	435	22	3
7	465		
8	425		
9	440		

Задача 8.

На початку року на балансі підприємства знаходилося обладнання на 420 тис. грн. На кінець року це сума виросла на 12%. Розрахувати річну фондомісткість виробництва за варіантом, відповідно до останньої цифри у заліковій книжці (табл.1.19), якщо за вказаний період планується випуск продукції на 8 млн. грн.

Таблиця 1.19.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Обладнання на початок року, тис. грн.	Запланований випуск продукції, млн. грн.
0	420	8
1	445	8
2	430	
3	455	7
4	460	
5	450	
6	435	6
7	465	
8	425	
9	440	

1.4. Розрахункові аспекти наукової організації праці

1.4.1. Теоретичні відомості з розрахункових аспектів наукової організації праці

Наукова організація праці (НОП) – організація праці, що базується на досягненнях науки і передовому виробничому досвіді. НОП передбачає раціональне розташування працівників, впровадження колективних форм організації праці, атестацію робочих місць та їх обслуговування, поліпшення підготовки та підвищення кваліфікації кадрів, вивчення, впровадження та поширення передових прийомів і методів праці, вдосконалення матеріального та морального стимулювання праці.

НОП застосовується як засіб підвищення продуктивності праці, ефективності виробництва з метою підвищення рівня життя людей. Але крім економічних завдань НОП вирішує і соціальні завдання – скорочення питомої ваги ручної, важкої та шкідливої для здоров'я людини праці, підвищення привабливості та творчого характеру праці.

Основними показниками економічної ефективності заходів з НОП є: приріст продуктивності праці, річний економічний ефект, приріст обсягу виробництва, відносна економія чисельності працюючих, економія заробітної плати та собівартості.

Приріст продуктивності праці (у відсотках) за рахунок збільшення тривалості фази стійкої працездатності у результаті поліпшення умов праці розраховують за формулою

$$ПП = \frac{P_1 - P}{P + 1} \cdot 100\% \cdot K_{\Pi}, \quad (1.37)$$

де P_1, P – питома вага тривалості фази підвищеної працездатності у спільному фонді робочого часу відповідно після і до впровадження заходів щодо поліпшення умов праці;

K_{Π} – поправочний коефіцієнт, що відображає частку приросту продуктивності праці, обумовлену функціональним станом організму людини у різних умовах праці (приймається $K_{\Pi} = 0,20$).

Річний економічний ефект розраховується за формулою

$$E_P = (C_1 - C_2) \cdot B_2 - E_H \cdot B_{ОД}, \quad (1.38)$$

де C_1, C_2 – собівартість одиниці продукції (робіт) відповідно до і після впровадження заходу;

B_2 – річний обсяг випуску продукції (робіт) після впровадження заходу в натуральному вираженні;

E_H – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності;

$B_{ОД}$ – одноразові витрати на розробку і впровадження заходу.

З урахуванням ділення поточних (експлуатаційних) витрат у собівартості продукції на умовно-змінні та умовно-постійні формула розрахунку річного економічного ефекту набуває вигляду

$$E_P = (a_1 - a_2) \cdot \left(\frac{Y}{B_1} - \frac{Y}{B_2} \right) \cdot B_2 - E_H \cdot B_{ОД} \quad (1.39)$$

де a_1, a_2 – поточні витрати на одиницю продукції (робіт) за статтями умовно-змінних витрат у собівартості продукції до і після впровадження заходу;

Y – річна сума умовно-постійних витрат у собівартості продукції базового періоду;

B_1, B_2 – річний обсяг продукції до і після впровадження заходу у натуральному вираженні.

Приріст обсягу виробництва розраховують за формулою

$$p = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \cdot 100, \quad (1.40)$$

де B_1, B_2 – річний обсяг у норма-годинах чи людино-годинах;

Відносна економія чисельності працюючих розраховується:

– за рахунок зниження трудомісткості

$$E_q = \frac{\sum (t_1 - t_2) \cdot B_2}{\Phi_\delta \cdot K_{н.б}}, \quad (1.41)$$

де t_1, t_2 – трудомісткість одиниці продукції (робіт) до і після впровадження заходу з НОП;

Φ_δ – фонд робочого часу одного робітника до впровадження заходу з НОП;

$K_{н.б}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку в базовому році;

– за рахунок зниження втрат робочого часу

$$E_q = \left(\frac{\Phi_{II}}{\Phi_D} - 1 \right) \cdot \mathcal{C}_1, \quad \text{або} \quad E_q = \frac{B_1 - B_2}{100 - B_2} \cdot \mathcal{C}_1, \quad (1.42)$$

де Φ_D, Φ_{II} – фонд робочого часу одного робітника до і після впровадження заходу з НОП;

\mathcal{C}_1 – чисельність робітників до впровадження заходу з НОП;

B_1, B_2 – втрати робочою часу до і після впровадження заходу з НОП;

– за рахунок приросту обсягу виробництва

$$E_q = \mathcal{C}_1 \cdot \left(1 + \frac{P}{100} \right) - \mathcal{C}_2, \quad (1.43)$$

де $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2$ – чисельність робітників до і після впровадження заходу з НОП;

- P – приріст обсягу виробництва;
 – за рахунок приросту виробітку в результаті підвищення кваліфікації (при незмінних нормах виробітку та інших рівних умовах)

$$E_q = \frac{Ч_{H.B.} \cdot P_{H.B.}}{100}, \quad (1.44)$$

де $Ч_{H.B.}$ – чисельність робітників, що збільшили виконання норм виробітку в результаті підвищення кваліфікації;

$P_{H.B.}$ – приріст відсотка виконання норм виробітку робітниками

$$P_{H.B.} = \frac{P_{H.B.2} - P_{H.B.1}}{P_{H.B.1}} \cdot 100, \quad (1.45)$$

де $P_{H.B.1}$, $P_{H.B.2}$ – виконання норм виробітку відповідно до і після підвищення кваліфікації.

Економія заробітної плати також може розраховуватись за різними підходами:

- за рахунок зниження трудомісткості

$$E_{з.п.} = (З_{п.1} - З_{п.2}) \cdot \left(1 + \frac{\partial}{100}\right), \text{ або} \quad (1.46)$$

$$E_{з.в.} = (P_1 - P_2) \cdot \left(1 + \frac{\partial}{100}\right) \cdot B_2,$$

де $E_{з.п.}$, $E_{з.в.}$ – економія заробітної плати від зниження трудомісткості відповідно при погодинній і відрядній оплаті праці;

$З_{п.1}$, $З_{п.2}$ – річний фонд заробітної плати робітників-погодинників до і після впровадження заходу з НОП;

∂ – додаткова заробітна плата;

P_1, P_2 – відрядні ціни одиниці продукції до і після впровадження заходу з НОП.

– за рахунок зменшення чисельності працівників

$$E_3 = E_4 \cdot Z_{сер} - \Delta\Phi_{сер} \cdot Ч_2, \quad (1.47)$$

де E_4 – абсолютне вивільнення чисельності працівників;

$Z_{сер}$ – середньорічна заробітна плата одного працівника (основна і додаткова) до впровадження заходу з НОП;

$\Delta\Phi_{сер}$ – приріст фонду середньої зарплати після впровадження заходу з НОП;

$Ч_2$ – чисельність робітників після впровадження заходу.

Економія собівартості за рахунок зниження плинності робочої сили, викликаної недоліками в організації праці, розраховується таким способом

$$E_{C.B.} = \sum_{i=1}^n \overline{P_T} \cdot \left(1 - \frac{K_{П.2}}{K_{П.1}} \right), \quad (1.48)$$

де $\sum_{i=1}^n \overline{P_T}$ – середньорічний збиток, що має підприємство у результаті плинності робочої сили, у тому числі:

- $\overline{P_{T.1}}$ – збиток, викликаний недоотриманням продукції протягом двох тижнів від працівників, що вирішили залишити роботу;
- $\overline{P_{T.2}}$ – збиток, викликаний недоотриманням продукції від працівників, знов прийнятих на роботу;
- $\overline{P_{T.3}}$ – витрати, пов'язані з навчанням знов прийнятих працівників;

– $\overline{P_{T.4}}$ – додаткові витрати, пов’язані з організацією роботи з прийому і звільненню працівників за власним бажанням;

– $\overline{P_{T.5}}$ – інші витрати, пов’язані з плинністю;

$K_{П.2}$ – очікуваний відсоток плинності робочої сили після впровадження комплексу заходів з НОП;

$K_{П.1}$ – фактичний відсоток плинності робочої сили у зв’язку з недоліками в організації праці на підприємстві;

n – кількість видів збитку.

Економія у зв’язку із скороченням захворюваності і травматизму

$$E_H = (H_1 - H_2) \cdot \sum_{i=1}^m \overline{P_{Пi}}, \quad (1.49)$$

де H_1, H_2 – втрати робочого часу з тимчасової непрацездатності протягом року до і після впровадження заходу з НОП, днів;

$\sum_{i=1}^n \overline{P_{Пi}}$ – середній денний розмір збитку, заподіяного під-

приємству у зв’язку з отриманням робітником виробничої травми або професійною захворювання, грн. (визначається за даними останніх 3-5 років) і складається з таких складових:

– $\overline{P_{П.1}}$ – виплата, пов’язана з тимчасовою непрацездатністю;

– $\overline{P_{П.2}}$ – оплата позовів за рахунок підприємства особам, які одержали виробничу травму чи професійне захворювання;

– $\overline{P_{П.3}}$ – виплата пенсій при умові виходу на інвалідність;

– $\overline{P_{П.4}}$ – затрати на придбання медичного обладнання та медикаментів;

- $\overline{P}_{П.5}$ – витрати на санаторно-курортне лікування за рахунок підприємства;
 - $\overline{P}_{П.6}$ – інші витрати, викликані професійними захворюваннями та виробничими травмами;
- m – кількість видів витрат.

1.4.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Дослідження, проведені відділом НОП, показали, що після впровадження раціонального режиму праці і відпочинку на підприємстві галузі радіоелектронного приладобудування питома вага фази підвищеної працездатності у спільному фонді робочого дня зросла у робітників з 0,5 до 0,6. Загальний обсяг виробництва складав 40 тис. виробів на рік до, та 44 тис. після впровадження зазначених заходів. Річний обсяг у нормо-годинах залишився незмінним та склав 3600 нормо-годин. Собівартість одиниці продукції, що до впровадження заходів складала 120 грн., знизилась на 12 %. Річна сума умовно-постійних витрат у собівартості продукції складала 320 тис. грн. та залишилась також незмінною. Одноразові витрати на розробку і впровадження склали 20 тис. грн. Поточні витрати на одиницю продукції за статтями умовно-змінних витрат у собівартості продукції після впровадження заходу знизились на 4% та стали складати 3,8 грн. Нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності – 0,2. Поправочний коефіцієнт прийнято рівним 0,24. Розрахувати приріст продуктивності за рахунок збільшення тривалості фази стійкої працездатності у результаті поліпшення умов праці.

Розв'язок:

Приріст продуктивності праці розраховують за формулою

$$ПП = \frac{0,6 - 0,5}{0,5 + 1} \cdot 100\% \cdot 0,24 = 1,6 (\%).$$

Задача 2.

Та сама умова. Розрахувати річний економічний ефект з урахуванням ділення поточних (експлуатаційних) витрат у собівартості продукції на умовно-змінні та умовно-постійні, та без них.

Розв'язок:

Собівартість одиниці продукції після впровадження заходів з НОП складала

$$C_2 = 120 - \frac{120 \cdot 12}{100} 105,6 \text{ (грн.)}$$

У загальному вигляді річний економічний ефект розраховується за формулою

$$E_p = (120 - 105,6) \cdot 44000 - 0,2 \cdot 20000 = 629600 \text{ (грн.)} \quad (1.38)$$

Поточні витрати на одиницю продукції (робіт) за статтями умовно-змінних витрат у собівартості продукції до і після впровадження заходу складають

$$a_1 = \frac{3,8 \cdot 100}{100 - 4} = 3,96 \text{ (грн.)}$$

З урахуванням ділення поточних (експлуатаційних) витрат у собівартості продукції на умовно-змінні та умовно-постійні річний економічний ефект складає

$$E_p = (3,96 - 3,8) \cdot \left(\frac{320000}{40000} - \frac{320000}{44000} \right) \cdot 44000 - 0,2 \cdot 20000 = 1139,2 \text{ (грн.)}$$

Задача 3.

На підприємстві, на якому працювало 800 чоловік, у поточному році, що складав 257 повних робочих днів, було впроваджено засоби з НОП. Чисельність працюючих після цього зали-

шилась незмінною. Підприємство працює у дві зміни. Трудомісткість одиниці продукції до впровадження заходів складала 3 нормо-години. Після – 2,8 нормо-годин. Фонд робочого часу робітників складав 7,1 годин до, та 7,2 години після впровадження заходів. Після чого загальне виконання норм виробітку, як і приріст обсягу виробництва, зросло на 3%. Коефіцієнт виконання норм виробітку в базовому році при цьому склав 1,2. Розрахувати відносну економію чисельності працюючих за рахунок зниження трудомісткості, за рахунок зниження втрат та за рахунок приросту обсягу виробництва.

Розв'язок:

Річний обсяг роботи підприємства у нормо-годинах після впровадження засобів НОП склав

$$B_2 = 7,2 \cdot 2 \cdot 257 = 3700,8 \text{ (нормо-год.)}$$

Відносна економія чисельності працюючих за рахунок зниження трудомісткості розраховується

$$E_q = \frac{\sum(3 - 2,8) \cdot 3700,8}{7,5 \cdot 1,2} = 82 \text{ (чол.)}$$

Відносна економія чисельності працюючих за рахунок зниження втрат робочого часу складає

$$E_q = \left(\frac{7,2}{7,1} - 1 \right) \cdot 800 = 11 \text{ (чол.)}$$

Відносна економія чисельності працюючих за рахунок приросту обсягу виробництва дорівнює

$$E_q = 800 \cdot \left(1 + \frac{3}{100} \right) - 800 = 24 \text{ (чол.)}$$

Задача 4.

Підприємство мало значні недоліки в організації праці. Які безпосередньо впливали на загальну ефективність роботи виробництва у поточному році: збиток, викликаний недоотриманням продукції протягом двох тижнів від працівників, що вирішили залишити роботи, склав 20 тис. грн.; витрати, пов'язані з навчанням знов прийнятих працівників та неотриманням від них продукції, склали 22 тис. грн. Таким чином, фактичний відсоток плинності робочої сили у зв'язку з недоліками в організації праці на підприємстві склав 32 %. Після зазначених витрат було прийнято рішення про впровадження комплексу засобів з НОП, в результаті чого очікуваний відсоток плинності робочої сили складатиме 18%. Розрахувати економію собівартості за рахунок зниження плинності робочої сили

Розв'язок:

Економія собівартості за рахунок зниження плинності робочої сили, викликані недоліками в організації праці, розраховується таким способом

$$E_{C.B.} = (20000 + 22000) \cdot \left(1 - \frac{18}{32}\right) = 18480 \text{ (грн.)}.$$

1.4.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Дослідження, проведені відділом НОП, показали, що після впровадження раціонального режиму праці і відпочинку на підприємстві галузі радіоелектронного приладобудування питома вага фази підвищеної працездатності у спільному фонді робочого дня зросла у робітників з 0,6 до 0,75. Загальний обсяг виробництва, що складав 28 тис. виробів на рік після впровадження зазначених заходів виріс на 18%. Річний обсяг у нормо-годинах залишився незмінним та склав 3600 нормо-годин. Собівартість одиниці продукції, щодо впровадження заходів складала 198 грн., знизилась на 6 %. Річна сума умовно-постійних витрат у собівартості продукції складала 42 тис. грн. та залишилась також незмінною. Одноразові витрати на розробку і впровадження – 8 тис. грн. Поточні витрати на одиницю продукції за статтями умовно-змінних витрат у собівартості продукції після впровадження заходу знизились на 4% та стали складати 1,56 грн. Нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності – 0,22. Поправочний коефіцієнт прийнято рівним 0,2. Розрахувати приріст продуктивності за рахунок збільшення тривалості фази стійкої працездатності у результаті поліпшення умов праці, річний економічний ефект з урахуванням ділення поточних (експлуатаційних) витрат у собівартості продукції на умовно-змінні та умовно-постійні, та без них. Розрахунки проводити згідно за варіантом, що відповідає останній цифрі номеру залікової книжки (табл. 1.20).

Таблиця 1.20.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Одноразові витрати на розробку і впровадження приладу, тис. грн.	Питома вага фази підвищеної працездатності після впровадження заходів з НОП	Підвищення загального обсягу виробництва після впровадження заходів з НОП, %	Зниження собівартості одиниці продукції після впровадження заходів з НОП, %
0	8	0,75	18	6
1	12			
2	6	0,6	14	5
3	14			
4	7	0,68	19	8
5	10			
6	15	0,7	16	7
7	9			
8	13	0,65	17	9
9	11			

Задача 2.

На підприємстві, на якому працювало 800 чоловік, у поточному році, що складав 257 повних робочих днів, було впроваджено засоби з НОП. Чисельність працюючих після цього залишилась незмінною. Підприємство працює у дві зміни. Трудомісткість одиниці продукції до впровадження заходів складала 2,8 нормо-годин, після – 2,6 нормо-годин. Фонд робочого часу робітників складав 7,3 годин до, та 7,5 години після впровадження заходів. Після чого загальне виконання норм виробітку, як і приріст обсягу виробництва, зросло на 4%. Коефіцієнт виконання норм виробітку в базовому році при цьому склав 0,98. Розрахувати відносну економію чисельності працюючих за рахунок зниження трудомісткості, за рахунок зниження втрат та за рахунок приросту обсягу виробництва, згідно за варіантом, що відповідає останній цифрі номеру залікової книжки (табл. 1.21).

Таблиця 1.21.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Кількість робітників, чол.	Кількість змін на добу	Фонд робочого часу після впровадження заходів з НОП, год	Приріст обсягу виробництва, %
0	800	2	7,5	4
1	500			
2	1100	3	7,7	2
3	300			
4	700	1	7,8	6
5	1000			
6	1300	3	7,4	3
7	1200			
8	400	2	7,6	5
9	600			

Задача 3.

Збиток, викликаний недоотриманням продукції протягом двох тижнів від працівників, що вирішили залишити роботи, склав 16 тис. грн.; витрати, пов'язані з навчанням знов прийнятих працівників та неотриманням від них продукції, склали 18 тис. грн. Фактичний відсоток плинності робочої сили у зв'язку з недоліками в організації праці на підприємстві склав 24 %. Після впровадженні комплексу засобів з НОП відсоток плинності робочої сили складатиме 18%. Розрахувати економію собівартості за рахунок зниження плинності робочої сили, згідно за варіантом (табл. 1.22).

Таблиця 1.22.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Збиток від працівників, що вирішили залишити роботу, тис. грн	Збиток від знов прийнятих працівників, тис. грн	Фактичний відсоток плинності робочої сили, %
0	16	18	24
1	22	15	
2	18	20	7,7
3	21	16	
4	19	22	7,8
5	23	24	
6	17	23	7,4
7	20	17	
8	24	21	7,6
9	15	19	

Задача 4.

У складально-монтажному цеху для молодих і прийнятих на роботу робітників відповідно до плану НОП було проведено навчання передових методів роботи. До виконання цього заходу були залучені новатори виробництва та спеціалісти. Після навчання, виконання норм у групі, яка навчалася, підвищилося у середньому з 105 до 115 %. Визначити відносну економію чисельності робітників, зростання продуктивності праці та річний економічний ефект, досягнутий у результаті навчання. Вихідні дані, згідно з варіантом, наведено у табл. 1.23.

Таблиця 1.23

Вихідні дані за варіантами завдань для самостійного розв'язання

№	Чисельність робітників, які навчаються, чол.	Питома вага продукції групи робітників у загальному випуску цеху, %	Загальна чисельність робітників у цеху, чол.	Средньоспискова розрахункова чисельність робітників, чол.	Собівартість річного випуску продукції, тис. грн.	Питома вага умовно-постійних витрат, %	Витрати на навчання, грн
0	110	20	450	510	300	24	300
1	150		550	550	250		
2	180	26	400	500	550	26	600
3	120		300	580	200		
4	200	24	700	540	650	20	500
5	140		350	570	350		
6	170	28	750	520	400	28	400
7	190		500	590	600		
8	130	22	600	560	500	22	800
9	160		650	530	450		

Задача 5.

Розрахувати економічну ефективність комплексу заходів з НОП за варіантом (табл. 1.24), якщо впровадження підвищить продуктивність праці на 8 %. Базова собівартість продукції на дільниці становить 100 тис. грн., питома вага умовно-постійних витрат у собівартості – 25 %, а збільшення поточних витрат – 3 тис. грн., одноразові затрати – 10 тис. грн., нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності $E_n = 0,15$.

Таблиця 1.24.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Збиток від працівників, що вирішили залишити роботу, тис. грн.	Збиток від знов прийнятих працівників, тис. грн.	Фактичний відсоток плинності робочої сили, %
0	16	18	24
1	22	15	
2	18	20	7,7
3	21	16	
4	19	22	7,8
5	23	24	
6	17	23	7,4
7	20	17	
8	24	21	7,6
9	15	19	

Задача 6.

На підприємстві, відповідно до комплексного плану вдосконалення організації праці, виробництва, управління та соціального розвитку колективу було здійснено заходи щодо поліпшення умов праці. У результаті цього втрати робочого часу за хворобами скоротилися з 6,1 до 3,9 %. Розрахувати згідно варіанту (табл. 1.25) умовне вивільнення чисельності робітників та приріст продуктивності праці, досягнуті після впровадження заходів. Чисельність робітників становить 5600 чол., річний обсяг випуску продукції – 57600 тис грн., річний виробіток одного робітника – 10100 грн.

Таблиця 1.25.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Чисельність робітників, чол.	Річний виробіток одного робітника, тис. грн.	Результат скорочення втрат робочого часу за хворобами, %
0	5600	10,1	3,9
1	5300	9,7	
2	5600	10,7	4,3
3	5200	9,1	
4	5800	10,3	4,5
5	5500	9,9	
6	5900	9,3	4,1
7	5400	10,5	
8	5700	9,5	3,7
9	5100	10,9	

1.5. Розрахунок оптимального розподілу ресурсів на виробничих підприємствах

1.5.1. Теоретичні відомості з розрахунку оптимального розподілу ресурсів на виробничих підприємствах

Оптимальний розподіл ресурсів при виробництві радіоелектронних приладів являє собою одну з першочергових задач, що забезпечують ефективне функціонування підприємств відповідної галузі.

При заданому значенні початкової кількості коштів x_0 , які необхідно розподілити протягом n років між m підприємствами. Якщо x_{ij} кількість коштів, що виділяється у i -му році j -му підприємству, то це підприємство приносить дохід в розмірі $f_{ij}(x_{ij})$ і до кінця року повертає кошти в кількості $\varphi_{ij}(x_{ij})$ для подальшого розподілу. Для вирішення приведеної задачі необхідним є визначення такого способу розподілення коштів між підприємствами, що дозволить отримати максимальний дохід за вказаний

проміжок часу. Знаходження відповідного способу досягається шляхом побудови *ефективної математичної моделі* з дотриманням загальної обчислювальної схеми, що складається з декількох етапів:

1. За перший етап береться один рік. Таким чином, мається n етапів ($i = 1, 2, \dots, n$).
2. За умовами задачі x_{ij} – кількість коштів, що виділяється у i -му році j -му підприємству. Тоді x_{ij} – керування. Розглянемо стан системи на кожному етапі

$$\begin{aligned}
 S_0 &= x_0, \quad S_1 = S_0 - \sum_{j=1}^m x_{1j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{1j}(x_{1j}), \\
 S_2 &= S_1 - \sum_{j=1}^m x_{2j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{2j}(x_{1j}), \dots, \\
 S_n &= S_{n-1} - \sum_{j=1}^m x_{n1j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{nj}(x_{1j}).
 \end{aligned}
 \tag{1.50}$$

3. На кожному етапі керування вибирається з умови

$$0 \leq x_{ij} \leq S_{i-1}. \tag{1.51}$$

4. За умовами задачі показник ефективності на i -му етапі буде визначатися прибутком $f_{ij}(x_{ij})$.
5. Сумарний дохід за n років буде визначатися за виразом

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij}(x_{ij}). \tag{1.52}$$

6. Умовні максимуми будуть мати вигляд

$$Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{ij} \leq S_{i-1}} \sum_{k=i+1}^n \sum_{j=1}^m f_{kj}(x_{kj}). \quad (1.53)$$

7. Запишемо рівняння Р. Беллмана

$$\begin{cases} Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq S_{i-1}} \left\{ \sum_{j=1}^m f_{ij}(x_{ij}) + Z_{i+1}^*(S_i) \right\}, \\ Z_n^*(S_{n-1}) = \max_{0 \leq x_{nj} \leq S_{n-1}} \left\{ \sum_{j=1}^m f_{nj}(x_{nj}) \right\}. \end{cases} \quad (1.54)$$

У результаті обчислень отримаємо послідовність умовних максимумів (умовні максимальні доходи)

$$Z_n^*(S_{n-1}) \rightarrow Z_{n-1}^*(S_{n-2}) \rightarrow \dots \rightarrow Z_2^*(S_1) \rightarrow Z_1^*(S_0). \quad (1.55)$$

І послідовність умовних максимальних управлінь

$$x_{n,j}^*(S_{n-1}) \rightarrow x_{n-1,j}^*(S_{n-2}) \rightarrow \dots \rightarrow x_{2,j}^*(S_1) \rightarrow x_{1,j}^*(S_0). \quad (1.56)$$

Це перший етап обчислень, який є *умовною оптимізацією*. Другий етап є *безумовною оптимізацією*. На цьому етапі знаходимо максимальне значення цільової функції $\max Z = Z_1^*(S_0)$ і оптимальні керування $x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{n,j}$.

1.5.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Планується робота двох підприємств протягом п'яти років. Початкові кошти складають 100 млн. грн. Кошти, вкладені в перше підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 40% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 50% від вкладених коштів. Кошти, вкладені в друге підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 30% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 80% від вкладених коштів. Після закінчення року всі кошти, що залишилися, заново перерозподіляються між підприємствами, нових засобів не надходить і дохід у виробництво не вкладається. Потрібно знайти такий спосіб розподілу коштів, щоб сумарний дохід за п'ять років був максимальним.

Розв'язок:

Вирішення даної задачі також полягає у побудові ефективної математичної моделі з дотриманням етапів обчислювальної схеми.

1. За перший етап приймемо 1 рік. Таким чином, мається п'ятиетапна ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) задача динамічного програмування.

2. Позначимо через x_{i1} кількість коштів, що виділяється у i -му році першому підприємству, а через x_{i2} кількість коштів, що виділяється у i -му році другому підприємству. Тоді x_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4, 5; j = 1, 2$) – керування завдання, тобто на кожному етапі маємо дві змінні. Зведемо рішення задачі на кожному етапі до однієї змінної $x_{i,1}$. Якщо на i -му етапі розподіляється S_{i-1} і перше підприємство отримує $x_{i,1}$ коштів, то друге підприємство отримає коштів в кількості $x_{i2} = S_{i-1} - x_{i1}$. З умови задачі визначимо розмір коштів, які вкладає кожне підприємство в кінці етапу. Це – $\varphi_{i1}(x_{i1}) = 0,5x_{i1}$, $\varphi_{i2}(x_{i2}) = 0,8x_{i2} = 0,8(S_{i-1} - x_{i1})$.

Розглянемо тепер стан системи для кожного проміжку

$$\begin{aligned} S_i &= S_{i-1} - (x_{i1} + x_{i2}) + 0,5x_{i1} + 0,8x_{i2} = \\ &= S_{i-1} - (x_{i1} + S_{i-1} - x_{i1}) + 0,5x_{i1} + 0,8(S_{i-1} - x_{i1}) = \\ &= 0,8S_{i-1} - 0,3x_{i1}. \end{aligned}$$

Розпишемо стану системи для кожного етапу

$$S_0 = 100000, \quad S_1 = 0,8S_0 - 0,3x_{11}, \quad S_2 = 0,8S_1 - 0,3x_{21},$$

$$S_3 = 0,8S_2 - 0,3x_{31}, \quad S_4 = 0,8S_3 - 0,3x_{41}, \quad S_5 = 0,8S_4 - 0,3x_{51}.$$

3. На кожному кроці управління вибирається з умови

$$0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}.$$

4. За умовою завдання показником ефективності на першому кроці буде визначатися прибутком $f_{i1}(x_{i1}) = 0,4x_{i1}$, на другому – $f_{i2}(x_{i1}) = 0,3x_{i2} = 0,3(S_{i-1} - x_{i1})$. Так як показники ефективності задані безперервними функціями, то маємо безперервну задачу динамічного програмування. Це означає, що на кожному етапі будемо вирішувати завдання на знаходження найбільшого значення на заданому проміжку.
5. Сумарний дохід за п'ять років буде визначатися рівністю

$$Z = \sum_{i=1}^5 (0,4x_{i1} + 0,3(S_{i-1} - x_{i1})) = \sum_{i=1}^5 (0,3S_{i-1} + 0,1x_{i1}).$$

6. Умовні максимуми будуть мати вигляд

$$Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}} \sum_{k=i+1}^5 (0,3S_{k-1} + 0,1x_{k1}).$$

7. Запишемо рівняння Р. Беллмана

$$\begin{cases} Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}} \{0,3 S_{i-1} + 0,1 x_{i1} + Z_{i+1}^*(S_i)\}, \\ Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3 S_4 + 0,1 x_{51}\}. \end{cases}$$

Розрахунки будемо проводити в два етапи. Проведемо *перший етап* – умовну оптимізацію. Для цього розпишемо ітераційний процес навпаки для рівнянь Р. Беллмана по кроках.

П'ятий етап

$Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3 S_4 + 0,1 x_{51}\}$. Функція в фігурних дужках

$Z_5(x_{51}) = 0,3 S_4 + 0,1 x_{51}$ лінійна щодо змінної x_{51} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{51} \in [0, S_4]$. Знайдемо

ці значення: $Z_5(0) = 0,3 S_4$, а $Z_5(S_4) = 0,4 S_4$. Виберемо максимальне

значення з цих виразів, тобто

$Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3 S_4, 0,4 S_4\} = 0,4 S_4$. Таким чином, в результаті

виконання п'ятого етапу отримаємо

$$\begin{cases} x_5^*(S_4) = S_4, \\ Z_5^*(S_4) = 0,4 S_4. \end{cases}$$

Четвертий етап

$Z_4^*(S_3) = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,3 S_3 + 0,1 x_{41} + Z_5^*(S_4)\} = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,3 S_3 + 0,1 x_{41} + 0,4 S_4\}$

Функція в фігурних дужках

$Z_4(x_{41}) = 0,3 S_3 + 0,1 x_{41} + 0,4(0,8 S_3 - 0,3 x_{41})$

лінійна щодо змінної x_{41} , отже, найбільше значення досягається

на кінцях проміжку $x_{41} \in [0, S_3]$. Знайдемо ці значення:

$Z_4(0) = 0,62 S_3$, а $Z_4(S_3) = 0,6 S_3$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто $Z_4^*(S_3) = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,62 S_3, 0,6 S_3\} = 0,62 S_3$. Таким

чином, в результаті виконання четвертого етапу отримаємо

$$\begin{cases} x_4^*(S_3) = 0, \\ Z_4^*(S_3) = 0,62 S_3. \end{cases}$$

Третій етап

$$Z_3^*(S_2) = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,3 S_2 + 0,1 x_{31} + Z_4^*(S_3)\} = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,3 S_2 + 0,1 x_{31} + 0,62 S_3\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_3(x_{31}) = 0,3 S_2 + 0,1 x_{31} + 0,62 (0,8 S_2 - 0,3 x_{31})$$

лінійна щодо змінної x_{31} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{31} \in [0, S_2]$. Знайдемо ці значення:

$Z_3(0) = 0,796 S_2$, а $Z_3(S_2) = 0,71 S_2$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_3^*(S_2) = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,796 S_2, 0,71 S_2\} = 0,796 S_2.$$

Таким чином, в результаті виконання третього етапу отримаємо

$$\begin{cases} x_3^*(S_2) = 0, \\ Z_3^*(S_2) = 0,796 S_2. \end{cases}$$

Другий етап

$$Z_2^*(S_1) = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + Z_3^*(S_2)\} = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + 0,796 S_2\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_2(x_{21}) = 0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + 0,796 (0,8 S_1 - 0,3 x_{21})$$

лінійна щодо змінної x_{21} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{21} \in [0, S_1]$. Знайдемо ці значення:

$Z_2(0) = 0,9368 S_1$, а $Z_2(S_1) = 0,798 S_1$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_2^*(S_1) = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,9368 S_1, 0,798 S_1\} = 0,9368 S_1.$$

Таким чином, в результаті виконання другого етапу отримаємо

$$\begin{cases} x_2^*(S_1) = 0, \\ Z_2^*(S_1) = 0,9368 S_1. \end{cases}$$

Перший етап

$$Z_1^*(S_0) = \max_{0 \leq x_{11} \leq S_0} \{0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + Z_1^*(S_0)\} = \max_{0 \leq x_{11} \leq S_0} \{0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + 0,9368 S_1\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_1(x_{11}) = 0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + 0,9368 (0,8 S_1 - 0,3 x_{11})$$

лінійна щодо змінної x_{11} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{11} \in [0, S_0]$. Знайдемо ці значення:

$Z_1(0) = 1,04944 S_0$, а $Z_1(S_0) = 0,8684 S_0$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_1^*(S_0) = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{1,04944 S_0, 0,8684 S_0\} = 1,04944 S_0.$$

Таким чином, в результаті виконання першого етапу отримаємо

$$\begin{cases} x_1^*(S_0) = 0, \\ Z_1^*(S_0) = 1,04944 S_0. \end{cases}$$

Проведемо *другий етап – безумовну оптимізацію*.

$$S_0 = 100000000, \quad x_{11} = x_{11}^*(S_0) = x_{11}^*(100000000) = 0,$$

$$\text{тоді } x_{12} = S_0 - x_{11} = 100000000,$$

$$\text{знайдемо } S_1 = 0,8 S_0 - 0,3 x_{11} = 80000000,$$

$$x_{21} = x_{21}^*(S_1) = x_{21}^*(80000000) = 0, \text{ тоді}$$

$$x_{22} = S_1 - x_{21} = 80000000,$$

$$\text{знайдемо } S_2 = 0,8 S_1 - 0,3 x_{21} = 64000000,$$

$$x_{31} = x_{31}^*(S_2) = x_{31}^*(64000000) = 0, \text{ тоді } x_{32} = S_2 - x_{31} = 64000000,$$

знайдемо $S_3 = 0,8S_2 - 0,3x_{31} = 51200000$,

$x_{41} = x_{41}^*(S_3) = x_{41}^*(51200000) = 0$, тоді $x_{42} = S_3 - x_{41} = 51200000$,

знайдемо $S_4 = 0,8S_3 - 0,3x_{41} = 40960000$,

$x_{51} = x_{51}^*(S_4) = x_{51}^*(40960000) = 40960000$, тоді $x_{52} = S_4 - x_{51} = 0$,

максимальне значення цільової функції складе

$\max Z = Z_1^*(S_0) = 1,04944 S_0 = 104944000$.

Запишемо змістовну відповідь завдання:

Підприємства	Роки				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	40960000
2	100000000	8000000	64000000	51200000	0

Сумарний прибуток двох підприємств за п'ять років становить 104944000 гривень.

1.5.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Планується робота трьох підприємств протягом шести років. Початкові кошти складають 120 млн. грн. Кошти, вкладені в перше підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 38% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 54% від вкладених коштів. Кошти, вкладені в друге підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 32% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 85% від вкладених коштів. Кошти, вкладені в третє підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 37% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 88% від вкладених коштів. Після закінчення року всі кошти, що залишилися, заново перерозподіляються між підприємствами, нових засобів не надходить і дохід у виробництво не вкладається. Потрібно знайти такий спосіб розподілу коштів, щоб сумарний дохід за п'ять років був максимальним. Розрахунки слід проводити за варіантом, згідно з останньою цифрою номеру залікової книжки (табл. 1.26).

Таблиця 1.26.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Початкові кошти, млн. грн.	Кількість років роботи, р.
0	120	6
1		
2		
3	90	5
4		
5	180	8
6		
7		
8	150	7
9		

Задача 2.

Планується робота двох підприємств протягом п'яти років. Початкові кошти складають 100 млн. грн. Кошти, вкладені в перше підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 33% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 48% від вкладених коштів. Кошти, вкладені в друге підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 32% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 87% від вкладених коштів. За програмою модернізації наприкінці другого року роботи на перше підприємство було витрачено 3% від загальних коштів всіх підприємств, на друге – 1,5 %, на третє – 1,8%. Після закінчення року всі кошти, що залишилися, заново перерозподіляються між підприємствами, нових засобів не надходить. Потрібно знайти такий спосіб розподілу коштів, щоб сумарний дохід за п'ять років був максимальним. Розрахунки слід проводити за варіантом, згідно з останньою цифрою номеру залікової книжки (табл. 1.27).

Таблиця 1.27.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Початкові кошти, млн. грн.	Кількість років роботи, р.	Рік, у який проводилась модернізація підприємств
0	100	5	2
1			
2			
3	80	3	4
4			
5	90	4	3
6			
7			
8	110	6	1
9			

1.6. Розрахунок вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення продукції

1.6.1. Теоретичні відомості з розрахунку вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення продукції

Технологічний процес (ТП) виготовлення виробу (деталі, вузла) являє собою строго певну сукупність виконаних в заданій послідовності технологічних операцій. Ці операції змінюють форму, розмір та інші властивості деталі, а також її стан, або взаємне розташування окремих елементів. Одна і та ж операція може проводитися багатьма способами на різному устаткуванні. Тому вибір ресурсозберігаючого технологічного процесу полягає в *оптимізації кожної операції* по мінімуму споживання матеріальних, трудових, енергетичних ресурсів.

Важливим показником економічності названих ресурсів є зниження *собівартості* (економія ресурсів), пов'язане із застосуванням кращого технологічного процесу.

Для визначення зниження собівартості (економії) необхідний розрахунок собівартості для кожного з порівнюваних варіантів технологічного процесу. Розрахунок повної собівартості продукції при застосуванні кожного з варіантів складний, вимагає великої кількості вихідних даних і часу. Для спрощення розрахунків економії надається можливість без шкоди для точності визначати і зіставляти не повну, а так звану технологічну собівартість, яка включає тільки ті елементи витрат на виготовлення виробу, величина яких різна для порівнюваних варіантів. Елементи собівартості, які для цих процесів однакові або змінюються незначно, в розрахунок не включаються. Таким чином, технологічна *собівартість* – це умовна собівартість, склад її статей непостійний і встановлюється в кожному окремому випадку.

Зіставлення варіантів технологічної собівартості дає уявлення про економічність кожного з них. Слід зазначити, що величина технологічної собівартості виготовлення окремих виробів (деталей, вузлів) в значній мірі залежить від *обсягу виробництва*. Отже, всі витрати на виготовлення виробів за ступенем їх залежності від обсягу виробництва доцільно поділяти на змінні (P_p), річна величина яких змінюється прямо пропорційно річним обсягом випуску продукції (N), і умовно-постійна (P_v), річна величина яких не залежить від зміни обсягу виробництва.

До *змінних витрат* відносяться:

- витрати на основні матеріали за вирахуванням реалізованих відходів (P_m), грн.;
- витрати на паливо, призначене для технологічних цілей (P_{mm}), грн.;
- витрати на різні види енергії, призначеної для технологічних цілей ($P_{m.з}$), грн.;
- витрати на основну та додаткову заробітну плату основних виробничих робітників з відрахуваннями в фонд соціального захисту населення ($P_з$), грн.;
- витрати, пов'язані з експлуатацією універсального технологічного обладнання ($P_{об}$), грн.;
- витрати, пов'язані з експлуатацією інструменту та універ-

сальної оснастки (P_i), грн.

До умовно-постійних витрат відносяться:

- витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання, оснащення та інструменту, спеціально сконструйованих для здійснення технологічного процесу з даного варіанту ($P_{c.об}$), грн.;
- витрати на оплату підготовчо-заключного часу ($P_{n.з}$), грн.

Загальна формула технологічної собівартості (i -ї) операції має вигляд

$$C_m = P_p \cdot N \cdot P_v. \quad (1.57)$$

Підставивши відповідні значення змінних і умовно-постійних витрат в формулу (1.57), отримаємо

$$C_m = (P_m + P_{mm} + P_{m.з} + P_z + P_{об} + P_i) \cdot N + (P_{c.об} + P_{n.з}). \quad (1.58)$$

Після визначення технологічної собівартості за варіантами (якщо не більше двох варіантів) для кожного з них встановлюється річний обсяг виробництва (N), при якому порівнювані варіанти економічно рівноцінні.

Для цього вирішуємо систему рівнянь щодо обсягу виробництва (N)

$$\begin{cases} C_{m1} = P_{p1}N + P_{v1} \\ C_{m2} = P_{p2}N + P_{v2} \end{cases}. \quad (1.59)$$

При $C_{m1} = C_{m2}$ отримаємо

$$N_{кр} = \frac{P_{v2} - P_{v1}}{P_{p1} - P_{p2}}. \quad (1.60)$$

Цю величину річного обсягу виробництва продукції прийнято називати критичною. Якщо таке зіставлення варіантів те-

хнологічного процесу виконати графічно, то стане очевидно, що критичний обсяг виробництва продукції є абсцисою точки перетину двох прямих з початковими координатами P_{v1} і P_{v2} , виражених для кожного варіанта рівнянням його технологічної собівартості.

Визначення абсциси цієї «критичної точки» служить, таким чином, завершальним етапом техніко-економічних розрахунків, які визначають області найбільш доцільного застосування кожного з порівнянних варіантів, що обмежуються певними розмірами програм (N).

У разі якщо необхідно зробити вибір технологічного процесу не з двох варіантів, а з трьох, чотирьох і т.д., будується *орієнтований граф*, дуги якого представляють технологічні операції. Будь-якій вершині графа відповідає безліч дуг, що входять і виходять з неї. Для оцінки використання ресурсів при можливих варіантах виготовлення деталі (виробу) вводиться цільова функція C_o , тобто сума технологічних собівартостей по кожній із запроєктованих операцій з тим, щоб їх сума була мінімальною

$$C_m = \sum_{i=1}^m C_{ij} \rightarrow \min . \quad (1.61)$$

Таким чином, вибір оптимального варіанту технологічного процесу можливо звести до вибору маршруту в заданому орієнтованому графі, що має мінімальну сумарну технологічну собівартість.

Розглянемо приведену методичку на прикладі. Нехай мається технологічний процес з виготовлення інтегральних схем (табл. 1.28). Необхідно побудувати граф і вибрати оптимальний варіант технологічного процесу.

Таблиця 1.28

Технологічні процеси складання інтегральних схем

Основні технологічні операції і способи їх виконання	Витрати	
	Змінні, грн./шт.	Умовно- постійні, грн./шт.
1. Орієнтований розподіл напів-провідникових пластин на кристали:		
- скрайбування;	0,33	10
- різка дисками;	0,37	15
- лазерний поділ.	0,27	50
2. Монтаж кристалів:		
- насадка на евтектики;	0,08	5
- приєднання до сітлових підкладінок.	0,05	5
3. Розварювання міжз'єднань:		
- термокомпресія;	0,48	30
- електрозвукове зварювання;	0,58	40
- розварювання здвоєним електродом;	0,68	20
- групове напівавтоматичне розварювання.	0,02	30
4. Герметизація інтегральної схеми:		
- пластмасовий корпус;	0,04	5
- керамічний корпус;	0,07	10
- металоскляний корпус.	0,09	5
5. Контроль параметрів інтегральної схеми:		
- ручний варіант	0,73	5
- на спеціальному вимірювальному комплексі.	0,03	20
6. Маркування та передача на ділянку пакування.	0,08	10

Перша операція може бути виконана трьома способами технології. Отже, з початкової вершини графа q_1 виходить три дуги x_{1-2} , x_{1-3} , x_{1-4} , що закінчуються вершинами q_2 , q_3 , і q_4 . Друга

операція може бути виконана двома способами, отже, з вершин q_2, q_3 і q_4 виходять по дві дуги $x_{2-5}, x_{2-6}, x_{3-6}, x_{4-5}, x_{4-6}$. Третя операція може бути виконана чотирма способами технології. Отже, з вершин q_5, q_6 виходять по чотири дуги: $x_{5-7}, x_{5-8}, x_{5-9}, x_{5-10}, x_{6-7}, x_{6-8}, x_{6-9}, x_{6-10}$. Четверту операцію можливо виконати трьома способами. Отже, з вершин q_7, q_8, q_9 і q_{10} виходять по три дуги, які закінчуються вершинами q_{11}, q_{12}, q_{13} . П'ята операція може бути виконана двома способами, тому кожна з шостої операції графу закінчується вершиною q_{16} .

При нумерації вершин графа необхідно дотримуватися правила, за яким номер кожної наступної вершини повинен бути більшою за попередню. Вихідної вершині графа присвоюємо номер 1, який проставляємо в верхній частині кола.

1.6.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Здійснити вибір ресурсозберігаючого технологічного процесу, що складається з п'яти операцій (табл. 1.29).

Таблиця 1.29.

Технологічний процес виготовлення пасивної частини тонкоплівкових структур

Основні технологічні операції і способи їх виконання	Витрати	
	Змінні, грн./шт.	Умовно-постійні, грн./шт.
1	2	3
1. Виготовлення паст:		
– варіант А;	0,15	120
– варіант Б.	0,12	150
2. Трафаретний друк:		
– безконтактний метод;	0,20	170
– контактний метод.	0,15	200
3. Термообробка паст:		
– у пачках під інфрачервоними променями;	0,12	250
– у муфельних печах безперервної дії.	0,07	300

Продовження табл.1.29

1	2	3
4. Підгонка товстоплівкових елементів:		
– лазерний метод;	0,35	310
– підгонка анодуванням.	0,25	350
5. Захист товстоплівкових елементів	0,19	120

Розв'язок:

Кожну з операцій можливо виконати двома способами. Розрахуємо обсяг виробництва по кожній операції, при якому порівнювані варіанти економічно рівноцінні, побудуємо графіки зміни технологічної собівартості з мінімальними витратами використуваних ресурсів.

Розрахунок технологічної собівартості продукції по даній операції при отриманому обсязі $N_{kp} = 1000$ (шт.)

$$C_{m1} = 150 \cdot 1000 + 120000 = 270000 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m2} = 120 \cdot 1000 + 150000 = 270000 \text{ (грн.)}.$$

Графік зміни технологічної собівартості продукції і визначення зон з найменшими витратами будуємо на основі отриманих розрахункових даних. Поставивши собі за значенням $N < N_{kp}$ і $N > N_{kp}$, будуємо графік в осях координат, однією з яких є (ордината) значення технологічної собівартості C_m , а інший (абсциса) – значення річного обсягу виробництва N , (рис. 1.1). При річному обсязі виробництва $N = 800$ шт. вибираємо зону 1 і як наслідок перший варіант технологічного процесу, так як $C_{m1} < C_{m2}$.

Аналогічно розрахунок критичного обсягу випуску продукції ведеться за всіма іншими операціями, будуються графіки для визначення зон з найменшими витратами, вибираються варіанти технологічних процесів.

Для п'ятої операції пропонується один варіант технологічного процесу «Захист товстоплівкових елементів», тому при калькулюванні собівартості продукції використовуються змінні витрати, рівні 190 грн., і умовно-постійні – 120 тис. грн.

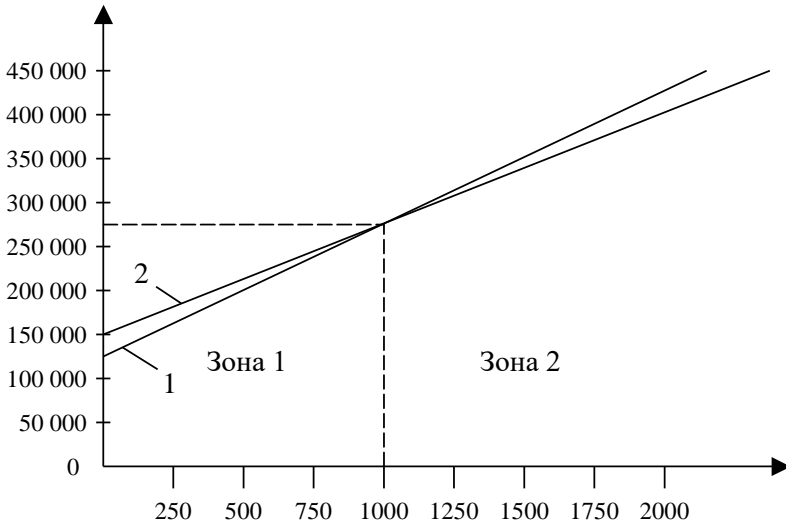


Рисунок 1.1 – Графік зміни технологічної собівартості першої операції технологічного процесу: 1 – перший варіант; 2 – другий варіант

Далі, виходячи із заданої програми $N = 800$ шт. і вибраних варіантів (для першої операції – перший варіант, для другої операції – другий варіант, для третьої операції – перший варіант, для четвертої операції – другий варіант, для п'ятої операції – запропонований варіант технологічного процесу), визначається технологічна собівартість продукції заданої програми

$$C_m = (150 + 150 + 120 + 250 + 190) \cdot 800 + (120000 + 200000 + 250000 + 350000 + 120000) = 1728000 \text{ (грн.)}$$

Собівартість одиниці продукції становить

$$C_{m.od} = \frac{1728000}{800} = 2160 \text{ (грн.)}.$$

Для випадку, якщо технологічний процес необхідно вибрати з трьох варіантів і більше (табл. 1.1) будується граф вибору оптимального варіанта (рис. 1.2).

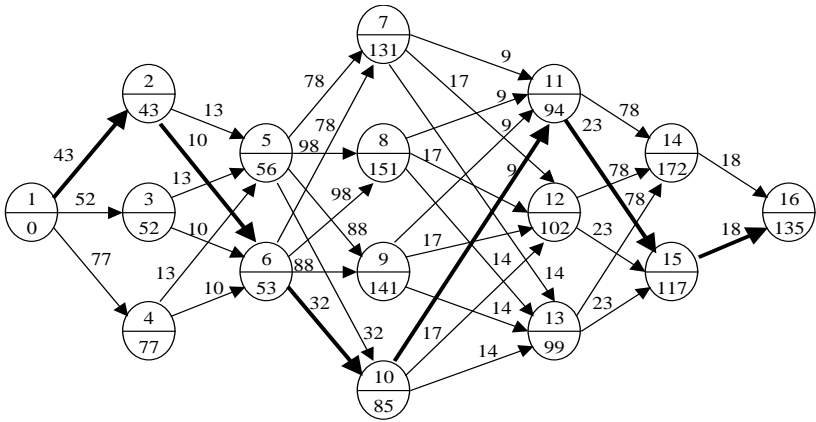


Рисунок 1.2 – Граф вибору оптимального варіанту виготовлення інтегральних схем

Для кожної дуги (операції) визначаємо технологічну собівартість $C_m(i-j)$ за формулою (1.57). Нехай $N = 100$ (шт.). Тоді

$$C_{m(1-2)} = 0,33 \cdot 100 + 10 = 43 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(1-3)} = 0,37 \cdot 100 + 15 = 52 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(1-4)} = 0,27 \cdot 100 + 50 = 77 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(2-5)} = C_{m(3-5)} = C_{m(4-5)} = 0,08 \cdot 100 + 5 = 13 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(2-6)} = C_{m(3-6)} = C_{m(4-6)} = 0,05 \cdot 100 + 5 = 10 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(5-7)} = C_{m(6-7)} = 0,48 \cdot 100 + 30 = 78 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(5-8)} = C_{m(6-8)} = 0,58 \cdot 100 + 40 = 98 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(5-9)} = C_{m(6-9)} = 0,68 \cdot 100 + 20 = 88 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(5-10)} = C_{m(6-10)} = 0,02 \cdot 100 + 30 = 32 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(7-11)} = C_{m(8-11)} = C_{m(9-11)} = C_{m(10-11)} = 0,04 \cdot 100 + 5 = 9 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(7-12)} = C_{m(8-12)} = C_{m(9-12)} = C_{m(10-12)} = 0,07 \cdot 100 + 10 = 17 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(7-13)} = C_{m(8-13)} = C_{m(9-13)} = C_{m(10-13)} = 0,09 \cdot 100 + 5 = 14 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(11-14)} = C_{m(12-14)} = C_{m(13-14)} = 0,73 \cdot 100 + 5 = 78 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(11-15)} = C_{m(12-15)} = C_{m(13-15)} = 0,03 \cdot 100 + 20 = 23 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(14-16)} = 0,08 \cdot 100 + 10 = 18 \text{ (грн.)};$$

$$C_{m(15-16)} = 0,08 \cdot 100 + 10 = 18 \text{ (грн.)}.$$

У результаті використання описаного алгоритму маємо

$$Z_{(1)} = 0;$$

$$Z_{(2)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-2)}\} = 0 + 43 = 43 \text{ (грн.)};$$

$$Z_{(3)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-3)}\} = 0 + 52 = 52 \text{ (грн.)};$$

$$Z_{(4)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-4)}\} = 0 + 77 = 77 \text{ (грн.)};$$

$$Z_{(5)} = \min \{Z_{(2)} + C_{m(2-5)}\} = 43 + 13 = 56 \text{ (грн.)};$$

$$Z_{(6)} = \min \{Z_{(2)} + C_{m(2-6)}\} = 43 + 10 = 53 \text{ (грн.)}.$$

і т.д. для всіх вершин графу, а отримані значення записуємо в нижню половину кола графу.

Технологічний процес з мінімальною собівартістю проходить тільки через ті події, для яких виконується умова

$$C_m = \sum_{i=1}^m C_{m(i-j)} \rightarrow \min.$$

Для нашого прикладу такий шлях проходить через події 1-2-6-10-11-15-16.

1.6.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Здійснити вибір ресурсозберігаючого технологічного процесу виготовлення друкованих плат згідно за варіантом, що відповідає останній цифрі у номеру залікової книжки (табл. 1.30).

Таблиця 1.30.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Основні технологічні операції і способи їх виконання	Витрати	
	Змінні, грн./шт.	Умовно-постійні, грн./шт.
1	2	3
Варіанти 0, 1, 2. Комбінований метод		
Негативний спосіб		
1. Різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні	0,36	12
2. Отримання захисного малюнка з негативу	0,24	8
3. Травління міді	0,16	6
4. Видалення захисного малюнка	0,12	4
5. Нанесення захисної лакової плівки	0,13	4
6. Свердління і зенкування отворів	0,28	7
7. Хімічне міднення	0,22	5
8. Видалення лакової плівки	0,12	4
9. Гальванічне міднення в два прийоми за допомогою рамкових пристосувань	0,26	6
10. Покриття сплавом Розе	0,31	8
Позитивний спосіб		
1. Різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні	0,36	12
2. Отримання захисного малюнка з негативу	0,24	8
3. Нанесення захисної лакової плівки	0,13	4
4. Свердління і зенкування отворів	0,28	7
5. Хімічне міднення	0,22	5

Продовження табл. 1.30.

1	2	3
6. Видалення лакової плівки	0,12	4
7. Гальванічне міднення	0,17	5
8. Гальванічне покриття сплавом олово-свинець	0,29	6
9. Видалення захисного малюнка	0,12	4
10. Травління	0,16	6
Варіанти 3, 4. Хімічний метод		
Негативний спосіб		
1. Різка і рихтування заготовок	0,28	10
2. Зачистка поверхні	0,24	7
3. Отримання захисного рельєфу на провідниках	0,29	7
4. Травління міді	0,16	6
5. Видалення захисного рельєфу	0,26	7
6. Свердління або штампування отворів	0,28	7
7. Обробка контуру	0,24	6
8. Маркування	0,8	2
9. Нанесення захисної маски	0,14	4
10. Консервація	0,25	9
Позитивний спосіб		
1. Різка і рихтування заготовок	0,28	10
2. Зачистка поверхні	0,24	7
3. Отримання захисного рельєфу на пробільних ділянках	0,26	7
4. Нанесення гальванічного покриття на провідники	0,16	6
5. Видалення захисного рельєфу	0,14	4
6. Травління міді	0,16	6
7. Свердління або штампування отворів	0,28	7
8. Обробка контуру	0,24	6
9. Маркування	0,8	2
10. Консервація	0,25	9

Продовження табл. 1.30.

1	2	3
Варіанти 5, 6. Комбінований метод		
Негативний спосіб		
1. Різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні	0,34	11
2. Отримання захисного малюнка з негативу	0,22	7
3. Травління міді	0,15	6
4. Видалення захисного малюнка	0,12	4
5. Нанесення захисної лакової плівки	0,13	5
6. Свердління і зенкування отворів	0,21	5
7. Хімічне міднення	0,18	5
8. Видалення лакової плівки	0,12	4
9. Гальванічне міднення в два прийоми за допомогою рамкових пристосувань	0,24	4
10. Покриття сплавом Розе	0,31	8
Позитивний спосіб		
1. Різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні	0,34	11
2. Отримання захисного малюнка з негативу	0,22	7
3. Нанесення захисної лакової плівки	0,13	5
4. Свердління і зенкування отворів	0,21	5
5. Хімічне міднення	0,18	5
6. Видалення лакової плівки	0,12	4
7. Гальванічне міднення	0,18	3
8. Гальванічне покриття сплавом олово-свинець	0,29	7
9. Видалення захисного малюнка	0,12	4
10. Травління	0,15	6
Варіанти 7, 8, 9. Хімічний метод		
Негативний спосіб		
1. Різка і рихтування заготовок	0,28	9
2. Зачистка поверхні	0,22	6
3. Отримання захисного рельєфу на провідниках	0,22	7

Продовження табл. 1.30.

1	2	3
4. Травління міді	0,15	6
5. Видалення захисного рельєфу	0,22	7
6. Свердління або штампування отворів	0,3	9
7. Обробка контуру	0,22	6
8. Маркування	0,7	2
9. Нанесення захисної маски	0,13	3
10. Консервація	0,25	10
Позитивний спосіб		
1. Різка і рихтування заготовок	0,28	9
2. Зачистка поверхні	0,22	6
3. Отримання захисного рельєфу на пробільних ділянках	0,24	8
4. Нанесення гальванічного покриття на провідники	0,17	6
5. Видалення захисного рельєфу	0, 22	7
6. Травління міді	0,15	6
7. Свердління або штампування отворів	0,3	9
8. Обробка контуру	0,22	6
9. Маркування	0,7	2
10. Консервація	0,25	10

2. РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ РАДІО ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ, ЯК ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА

2.1. Розрахунок масогабаритних параметрів друкованих плат

2.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку масогабаритних параметрів друкованих плат

Друковані модулі є невід'ємним елементом сучасних радіоелектронних приладів, що виступають у ролі основних засобів електричного з'єднань та технічної реалізації систем керування. Вони представляють собою виріб, що складається з *друкованої плати* (ДП) та встановлених на ній *електрорадіоелементів* (ЕРЕ). Друкована плата, в свою чергу представляє собою діелектричну основу, на якій нанесені один або два провідних малюнка, розташованих на поверхні підстави, або з системи малюнків, розташованих в об'ємі і на поверхні підстави, з'єднаних між собою відповідно до електричної схеми друкованого вузла.

Залежно від кількості шарів з електропровідним малюнком, друковані плати поділяють на:

- *односторонні* – є тільки один шар фольги, що наклеєний на одну сторону листа діелектрика;
- *двосторонні* – фольга не тільки на двох сторонах плати, а й у внутрішніх шарах діелектрика.

Багатошарові друковані плати (БШДП) виходять склеюванням декількох односторонніх або двосторонніх плат. У міру зростання складності проєктованих пристроїв і щільності монтажу, збільшується кількість шарів на платах.

За властивостями матеріалу основи поділяють:

- жорсткі;
- теплопровідні;
- гнучкі.

Друковані плати можуть мати свої особливості, в зв'язку з їх призначенням і вимогами до особливих умов експлуатації (наприклад, розширений діапазон температур) або особливості

застосування (наприклад, плати для приладів, що працюють на високих частотах).

Попередній розрахунок показників друкованих плат дозволяє скорегувати конструктивні елементи та основні показники ще на етапі проектування, та досягти підвищення якості готових модулів. До таких показників відносять масогабаритні показники, а саме габаритні розміри, що відповідають розрахунковій площі, маса, висота та загальний обсяг плати зі встановленими елементами.

Форма ДП обирається, як правило, прямокутною. Розміри кожної сторони друкованої плати повинні бути кратними: 2,5 – при довжині до 100 мм; 5,0 – при довжині до 350 мм; 10 – при довжині понад 350 мм. Максимальний розмір будь-якої зі сторін має бути не більше 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів сторін друкованої плати повинне бути не більше 3:1. Відповідно до отриманих розрахунків розміри сторін ДП обираються згідно з нормативними (додаток А).

Площа односторонньої друкованої плати розраховується за формулою

$$S_{\text{ДП}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{K_3}, \quad (2.1)$$

де S_i – площа i -го елемента, м²;

K_3 – коефіцієнт заповнення друкованої плати, що обирається згідно з поколінням РЕП та приймає значення від 0,4 до 0,9 (табл. 2.1).

Маса друкованої плати розраховується за формулою

$$m_{\text{ДП}} = a \cdot b \cdot \Delta \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де a , b , Δ – відповідно довжина, ширина і товщина друкованої плати, м;

ρ – щільність матеріалу друкованої плати, кг/м³.

Таблиця 2.1.

Значення коефіцієнту заповнення

Характеристика елементної бази РЕП	3 покоління	4 покоління	5 покоління	6 покоління
Коефіцієнт заповнення	0,4..0,6	0,5..0,75	0,6..0,85	0,65..0,9

Для склотекстоліта щільність складає $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³, для гетинаксу – $1,3 \cdot 10^3$ - $1,4 \cdot 10^3$ кг/м³. Товщина ДП обирається згідно з матеріалом та галузю застосування (додаток А).

Загальна маса друкованого модуля з усім елементами, що встановлюються, розраховується за формулою

$$m_{DM} = m_{ДП} + \sum_{i=1}^n m_i, \quad (2.3)$$

де m_i – маса і-го елемента, г.

Висота друкованого модуля визначається розмірами елемента, який має найбільшу висоту при монтажі на друкованій платі, і розмірами обрізки виводів під пайку. Таким чином, інсталяційний об'єм друкованого модуля розраховується так

$$V_m = S_{ДП} (h_i + \Delta + h_o), \quad (2.4)$$

де $S_{ДП}$ – площа друкованої плати, мм²;

h_i – найбільша висота елемента, встановленого на платі;

h_o – найбільший розмір обрізки висновків елемента, встановленого на платі, мм².

2.1.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Масогабаритні показники ЕРЕ, що встановлюються на друковану плату РЕП п'ятого покоління, наведені в табл. 2.2. Найбільшу висоту з усіх ЕРЕ мають транзистори – 13,2 мм. Найбільший розмір обрізки висновків елемента, встановленого на платі – 1,2 мм. Матеріал основи плати – стеклотекстоліт фольгований (СТФ-2). Визначити габаритні розміри, масу та загальний об'єм друкованого модулю за встановленими на ньому елементами.

Таблиця 2.2

Вихідні дані ЕРЕ для розрахунку

Перелік ЕРЕ	Кількість ЕРЕ, шт.	Площа одного елемента, мм ²	Маса одного елемента, г
Резистори	12	13,2	0,15
Конденсатори	4	25,2	2,3
Транзистори	8	34	2,5
Мікросхема типу 1	1	140	13
Мікросхема типу 2	1	358	12,5
Мікросхема типу 3	1	225	11
Мікросхема типу 4	1	95	14,6

Розв'язок:

Коефіцієнт заповнення друкованої плати приймемо рівним 0,7. Площа друкованої плати становить

$$S_{\text{дп}} = \frac{(13,2 \cdot 12 + 25,2 \cdot 4 + 34 \cdot 8 + 140 + 358 + 225 + 95)}{0,7} = 1927,43 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Згідно з вимогами до кратності сторін при довжині плати до 100 мм, максимальним співвідношенням лінійних розмірів сторін та додатку А (*Лінійні розміри друкованих плат*) приймемо наступні значення сторін ДП: довжина – 50 мм; ширина – 40 мм.

Товщина друкованої плати з фольгою, виготовленої зі стеклотекстоліту марки СТФ-2, відповідно до додатку А (*Матеріали друкованих плат*), приймаємо рівною 1,5 мм. Щільність стеклотекстоліту складає $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ ($1,8 \cdot 10^{-3}$ г/мм³). Тоді маса друкованої плати дорівнює

$$m_{ДП} = 40 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 2,7 \text{ (г)}.$$

Загальна маса друкованого модуля з усім ЕРЕ, що встановлюються визначається таким способом

$$m_{ДМ} = 2,7 + 0,15 \cdot 12 + 2,3 \cdot 4 + 2,5 \cdot 8 + 13 + 12,5 + 11 + 14,6 = 84,8 \text{ (г)}.$$

Загальний інсталяційний об'єм друкованого модуля з усіма ЕРЕ дорівнює

$$V_m = 1927,43 \cdot (13,2 + 1,5 + 1,2) = 30646,14 \text{ (мм}^3\text{)}.$$

2.1.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Масогабаритні показники ЕРЕ, що встановлюються на друковану плату, наведені в табл. 2.3. Найбільшу висоту з усіх ЕРЕ мають транзистори – 12,8 мм. Найбільший розмір обрізки висновків елемента, встановленого на платі – 1,2 мм. Матеріал основи плати – стеклотекстоліт фольгований (СТФ-1). Визначити габаритні розміри, масу та загальний об'єм друкованого модулю за встановленими на ньому елементами згідно з варіантами, що відповідають останній цифрі залікової книжки.

Таблиця 2.3.

Вихідні дані для розрахунку

Перелік ЕРЕ	Кількість ЕРЕ, шт.	Площа одного елемента, мм ²	Маса одного елемента, г	Матеріал плати	Покоління РЕП
1	2	3	4	5	6
Варіант 0					
Резистори	8	12,6	0,17	ГФ-1	5
Конденсатори	4	23	1,7		
Транзистори	4	28	2,3		
Діоди	2	13,4	0,07		
Мікросхеми типу 1	1	130	12		
Мікросхема типу 2	2	300	11		
Варіант 1					
Резистори типу 1	8	13,2	0,18	СТФ-2	6
Резистори типу 2	5	18	0,2		
Конденсатори	5	21	1,7		
Транзистори	4	26	2,3		
Діоди	4	12,6	0,2		
Мікросхеми типу 1	1	130	12		
Варіант 2					
Резистори	12	9,7	0,2	СПФН-2-50	4
Конденсатори	6	20	1,8		
Транзистори	4	28	2,5		
Діоди	2	13,4	0,15		
Мікросхеми типу 1	1	130	12		

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6
Мікросхема типу 2	2	300	11	СПФН-2-50	4
Мікросхема типу 3	1	268	12		
Варіант 3					
Резистори типу 1	12	13,2	0,2	СТПА-5-2	6
Резистори типу 2	8	13	0,23		
Конденсатори типу 1	4	22	1,7		
Конденсатори типу 2	6	20	1,4		
Транзистори	2	28	2,3		
Діоди	4	13,4	0,12		
Мікросхеми типу 1	1	130	12		
Мікросхема типу 2	2	300	11		
Варіант 4					
Резистори	9	9,7	0,2	СФ-1-35	5
Конденсатори	6	18	1,5		
Транзистори	2	26	2,5		
Діоди	3	13,4	0,15		
Мікросхеми типу 1	1	98	8		
Мікросхема типу 2	2	250	12	СФ-1-35	5
Мікросхема типу 3	1	268	13		
Варіант 5					
Резистори типу 1	14	11,6	0,3	СФ-2-50	4
Резистори типу 2	3	15	0,44		

Продовження табл. 2.3

Конденсатори	6	22	1,5		
Транзистори	2	28	2,6		
Діоди	6	12,8	0,14		
Мікросхеми типу 1	1	130	12		
Мікросхема типу 2	1	268	9,3		
Варіант 6					
Резистори	16	8,8	0,4	ФТС-2	6
Конденсатори	8	12,3	1,8		
Транзистори	4	26	2,5		
Діоди	5	12,2	0,16		
Мікросхеми типу 1	1	126	8		
Мікросхема типу 2	2	310	14		
Мікросхема типу 3	2	268	12		
Варіант 7					
Резистори типу 1	9	9,7	0,2	СТФ-1	5
Резистори типу 2	8	12	0,23		
Конденсатори типу 1	6	22	1,5		
Конденсатори типу 2	4	22	1,7		
Транзистори	4	26	2,3		
Мікросхеми типу 1	1	268	9,3		
Варіант 8					
Резистори	8	9,7	0,2	СТПА-5-2	6
Конденсатори типу 1	4	20	1,5		
Конденсатори типу 2	1	16	0,9		

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6
Транзистори	2	28	2,5		
Діоди	5	12,7	0,14		
Мікросхеми типу 1	3	126	13		
Мікросхема типу 2	2	260	12		
Мікросхема типу 3	1	180	8		
Варіант 9					
Резистори	6	9,4	0,2	СПФН-2-50	4
Конденсатори типу 1	3	17	1,3		
Транзистори	2	22	2,2		
Діоди	8	9,8	0,12		
Мікросхеми типу 1	2	112	15		
Мікросхема типу 2	1	204	12		
Мікросхема типу 3	1	160	7		

2.2. Розрахунок інженерних показників друкованих плат

2.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку інженерних показників друкованих плат

Попередні розрахунки інженерних показників друкованих плат дозволяють значно підвищити якість готового виробу, ефективність самого виробництва та запобігти виникненню великої кількості бракованих плат. До таких показників відносять *геометричні параметри друкованого монтажу* – розміри металізованих отворів та контактних площадок, ширини провідників та ліній на фотошаблоні, відстані між елементами провідного рисунку та ін. Необхідні табличні дані для розрахунків наведені у додатку А.

Розрахунок мінімального діаметра d_{min} металізованого отвору й товщини БШДП

$$d_{min} \geq H_{\text{розрах}} \cdot \gamma, \quad (2.5)$$

де γ – відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати;

$H_{\text{розрах}}$ – розрахункова товщина плати, мм

$$H_{\text{розрах}} = \sum_{i=1}^n H_{ш} + (0,6 \dots 0,7) \sum_{i=1}^k H_{пр}, \quad (2.6)$$

$H_{ш}$, $H_{пр}$ – номінальна товщина відповідно шару й матеріалу прокладки зі склотканини, мм.

Номінальне значення металізованого отвору

$$d = d_e + (0,1 \dots 0,4), \quad (2.7)$$

де d_e – максимальний діаметр виводу елемента, що встановлюється.

Розраховані значення (1) зводять до кращого ряду 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 1,6 ; 1,7; 1,8 мм. Вибрані діаметри отворів перевіряють на реалізація відповідно до (2.5).

Для ОДП і внутрішніх шарів БШДП, що виготовляються хімічним методом, мінімальний діаметр контактних площадок дорівнює

$$D_{min} = D_{1min} + 15h_{\phi}, \quad (2.8)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги;

D_{1min} – мінімальний ефективний діаметр контактної площадки

$$D'_{1min} = 2 \left(b_m + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{отв} + \delta_{к.л.} \right), \quad (2.9)$$

b_m – відстань від краю контактної площадки;

$\delta_{отв}$ – похибка розташування отвору;

$\delta_{к.п.}$ — похибка розташування контактної площадки при виготовленні ОДП і шарів БШДП;

d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (2.10)$$

d – діаметр свердла;

Δd — допуск на отвір.

Похибка розташування отвору

$$\delta_{отв} = \delta_0 + \delta_\phi, \quad (2.11)$$

де δ_0 – похибка розташування отворів відносно координатної сітки, що обумовлена точністю свердлильного станка;

δ_ϕ – похибка базування плат на свердлильному станку.

Похибка розташування контактної площадки

$$\delta_{к.п.} = \delta_{ш} + \delta_e + \frac{\delta_\phi + \delta_з}{2}, \quad (2.12)$$

де $\delta_{ш}$ – похибка розташування контактних площадок на фотошаблоні;

δ_e – похибка розташування друкованих елементів під час експонування;

δ_ϕ – похибка розташування базових отворів у фотошаблоні;

$\delta_з$ – похибка розташування базових отворів на заготовці.

Для двосторонніх ДП, що виготовлені комбінованим по-

зитивним методом, і зовнішніх шарів БШДП мінімальний діаметр контактних площадок

$$D_{min} = D_{1min} + 15h_{\phi} + h_2 + h_p, \quad (2.13)$$

h_2 – товщина гальванічно нарощеної міді;

h_p – товщина гальванічного речисту.

Мінімальний діаметр контактних площадок двосторонніх ДП, виготовлених електрохімічним полуадитивним методом розраховується за виразом

$$D_{min} = D_{1min} + 15h_{ГМ} + h_2 + h_p, \quad (2.14)$$

де $h_{ГМ}$ – товщина попередньо осадженої міді.

Максимальний діаметр контактної площадки дорівнює

$$D_{max} = D_{min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (2.15)$$

Мінімальна ширина сигнальних провідників для односторонніх ДП і внутрішніх шарів БШДП, виготовлених хімічним методом, визначається

$$t_{min} = t_{1min} + 1,5h_{\phi}, \quad (2.16)$$

де t_{1min} – мінімальна ефективна ширина провідників, що дорівнює 0,18 мм для плат 1, 2 і 3 класів точності, та 0,15 мм для плат 4 класу точності.

Мінімальна ширина сигнальних провідників для двосторонніх ДП, виготовлених комбінованим позитивним методом, зовнішніх шарів БШДП

$$t_{min} = t_{1min} + 1,5h_{\phi} + h_2 + h_p, \quad (2.17)$$

Мінімальна ширина сигнальних провідників для двосторонніх ДП, виготовлених електрохімічним полуадитивним методом

$$t_{min} = t_{1min} + 1,5h_{ПМ} + h_z + h_p. \quad (2.18)$$

Отримане за однією з формул (2.12) - (2.14) значення не повинно бути менше мінімальної ширини провідника, яка визначається класом точності (при необхідності скорегувати).

Максимальна ширина сигнальних провідників визначається

$$t_{max} = t_{min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (2.19)$$

Мінімально допустиму ширину провідників по постійному струму ланцюгів живлення і заземлення з урахуванням допустимого струмового навантаження визначають за формулою

$$t_{min \Pi} = \frac{I_{max}}{j_{ДОП} h}. \quad (2.20)$$

де I_{max} – максимальний постійний струм, що протікає в провідниках (визначають з аналізу принципової електричної схеми);

$j_{ДОП}$ – допустима щільність струму;

h – товщина друкованого провідника.

Мінімально допустиму ширину провідників живлення і заземлення, виконаних з однорідного шару міді, з урахуванням допустимого падіння напруги на них визначають таким способом

$$t_{min \Pi} = \frac{I_{max} \rho l}{U_{ДОП} h}, \quad (2.21)$$

де ρ – питомий опір шару міді;

l – максимально допустима довжина провідника (задається в ТЗ схемотехніки);

$U_{\text{ДОП}}$ – запас завадостійкості інтегральних мікросхем (ІМС), визначається за довідниками або $U_{\text{ДОП}} = (0,1 - 0,2)U_{\Pi}$ (тут U_{Π} – напруга живлення ІМС, яке визначається з аналізу принципової електричної схеми).

Якщо конструкція провідника складається з декількох різнорідних шарів міді і додаткового шару покриття, то *мінімально допустиму ширину провідника* з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому розраховують за формулою

$$t_{\min \Pi} = I_{\max} l \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{h_i} / U_{\text{ДОП}} \quad (2.22)$$

де ρ_i та h_i – питомий об'ємний опір і товщина i -го шару провідника;

k – число шарів.

Найменше значення ширини провідника приймають, враховуючи клас точності.

Максимальна ширина провідників живлення визначається

$$t_{\max \Pi} = t_{\min \Pi} + (0,02 \dots 0,06). \quad (2.23)$$

Мінімальна відстань між провідником і контактною площиною

$$L_{01} = s_{\min} + \left(\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{кп}} \right) + \left(\frac{t_{\max}}{2} + \delta_t \right) \right), \quad (2.24)$$

де L_{01} – відстань між центрами аналізованих елементів;

s_{\min} – мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку;

δ_t – допуск на розташування провідників щодо координатної сітки на фотошаблоні.

Мінімальна відстань між двома контактними площадками

$$L_{02} = s_{min} + (D_{max} + 2\delta_{kn}). \quad (2.25)$$

Так як центри отворів (контактних площадок) повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки, то ця відстань L_{02} має бути скоригована (збільшена) до найближчого числа, кратного кроку координатної сітки.

Мінімальна відстань між двома провідниками

$$L_{03} = s_{min} + (t_{max} + 2\delta_t). \quad (2.26)$$

Мінімальна відстань для прокладки провідників між двома контактними майданчиками

$$L_{1min} = \left(\frac{D_{1max} + D_{2max}}{2} + 2\delta_{kn} \right) + (t_{max} + \delta_t)n + s_{min}(n + 1), \quad (2.27)$$

де s_{min} – обирається відповідно до класу точності;

D_{1max} і D_{2max} – максимальні діаметри контактних площадок металізованих отворів;

n – кількість провідників.

Мінімальна відстань для прокладки провідників між двома неметалізованими отворами

$$L_{2min} = \left(\frac{d_{1max} + d_{2max}}{2} + 2\delta_{oms} \right) + (t_{max} + \delta_t)n + s_{min}(n - 1) + 2a, \quad (2.28)$$

де a – відстань від краю плати, вирізу, неметалізованого отвору до друкованого провідника,

d_{1max} і d_{2max} – максимальні діаметри неметалізованих

(конструктивних) отворів на друкованій платі. Для друкованих плат товщиною $h_{ДП} \geq 1$ мм $a = h_{ДП}$ та для друкованих плат товщиною $h_{ДП} < 1$ мм $a = 1$ мм.

Мінімальна відстань для прокладки провідників між контактною площадкою і неметалізованим отвором

$$L_{3min} = \left(\frac{D_{max} + d_{1max}}{2} + \delta_{КП} + \delta_{отв} \right) + (t_{max} + \delta_t)n + s_{min}n + a \quad (2.29)$$

Мінімальна відстань для прокладки провідників між контактною площадкою і краєм друкованої плати

$$L_{4min} = \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{КП} \right) + (t_{max} + \delta_t)n + s_{min}n + a \quad (2.30)$$

Мінімальна відстань для прокладки провідників між неметалізованим отвором і краєм плати

$$L_{5min} = \left(\frac{d_{1max}}{2} + \delta_{отв} \right) + (t_{max} + \delta_t)n + s_{min}(n-1) + 2a \quad (2.31)$$

Відстані L_{1min} , L_{2min} , L_{3min} , L_{4min} та L_{5min} повинні бути скориговані з урахуванням кроку координатної сітки.

2.2.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Номінальна товщина шару БШДП складає 0,18 мм. Товщина підкладки дорівнює 0,025 мм, відношення діаметру металізованого отвору до товщини плати – 0,4. Визначити мінімальний діаметр металізованого отвору БШДП.

Розв'язок:

Мінімальний діаметр металізованого отвору визначається за формулою

$$H_{\text{розрах}} = \sum_{i=1}^n 0,18 + 0,55 \sum_{i=1}^k 0,025 = 1,148 \text{ (мм)},$$

або

$$d_{\text{min}} \geq 1,148 \cdot 0,4 = 0,459 \approx 0,46 \text{ мм.}$$

Задача 2.

Визначити мінімальний діаметр контактних площадок двосторонньої ДП 4 класу точності, що виготовлена комбінованим негативним методом із застосуванням СФ-1-50. Максимальний діаметр просвердленого отвору складає 1,2 мм. Похибка розташування отвору – 0,02 мм, похибка розташування контактної площадки – 0,03 мм.

Розв'язок:

Необхідні для розрахунку дані визначаємо за додатком А:

- відстань від краю контактної площадки – 0,05 мм;
- товщина фольги для СФ-1-50 – 0,35 мм;
- товщина гальванічно нарощеної міді – 0,05 мм;
- товщина гальванічного речисту – 0,02 мм.

Мінімальний ефективний діаметр контактної площадки дорівнює

$$D'_{\text{min}} = 2 \left(0,05 + \frac{1,2}{2} + 0,02 + 0,03 \right) = 1,4 \text{ (мм)}.$$

Відповідно, мінімальний діаметр контактних площадок ДП

$$D_{\min} = 1,4 + 15 \cdot 0,35 + 0,05 + 0,02 = 6,72 \text{ (мм)}.$$

Задача 3.

Визначити максимальну відстань між двома контактними площадками ДП, якщо мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку складає 0,45 мм, максимальний діаметр контактної площадки дорівнює 4,2 мм, а похибка розташування контактної площадки – 0,02 мм.

Розв'язок:

Максимальна відстань між двома контактними площадками ДП

$$L_{02} = 0,45 + (4,2 + 2 \cdot 0,02) = 4,69 \text{ (мм)}.$$

Задача 4.

Розрахувати похибку розташування контактної площадки для ДП за умов мінімізації допустимих похибок під час її виробництва.

Розв'язок:

Згідно з додатком А та умовою мінімізації похибок отримаємо:

- похибка розташування контактних площадок на фотошаблоні – 0,02 мм;
- похибка розташування друкованих елементів під час експонування – 0,01 мм;
- похибка розташування базових отворів у фотошаблоні – 0,01 мм;
- похибка розташування базових отворів на заготовці – 0,01 мм.

Відповідно до цього отримаємо

$$\delta_{\text{к.п.}} = 0,02 + 0,01 + \frac{0,01 + 0,01}{2} = 0,04 \text{ (мм)}.$$

2.2.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Номінальна товщина шару БШДП складає 0,2 мм. Товщина підкладки дорівнює 0,03 мм, відношення діаметру металізованого отвору до товщини плати – 0,3. Визначити мінімальний діаметр металізованого отвору БШДП та її загальну товщину згідно за варіантом, що відповідає останній цифрі залікової книжки (табл. 2.4).

Таблиця 2.4.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Номінальна товщина шару БШДП, (мм)	Товщина підкладки, (мм)	Відношення діаметру металізованого отвору до товщини плати, (мм)
0	0,2	0,03	0,3
1			
2			
3	0,4	0,04	0,02
4			
5	0,3	0,05	0,04
6			
7			
8	0,5	0,02	0,05
9			

Задача 2.

Визначити мінімальний діаметр контактних площадок двосторонньої ДП 4 класу точності за варіантом (Додаток А), що виготовлена комбінованим позитивним методом із застосуванням СФ-2-50. Максимальний діаметр просвердленого отвору складає 1,4 мм (табл. 2.5). Похибка розташування отвору – 0,02 мм, похибка розташування контактної площадки – 0,04 мм.

Таблиця 2.5.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Максимальний діаметр просверленого отвору, (мм)	Матеріал ДП
0		
1	1,4	СФ-2-50
2		
3	1,3	ГФ-1-35
4	1,3	ГФ-1-35
5		
6	1,5	СФПН-2-50
7		
8		
9	1,2	ФТС-2

Задача 3.

Визначити максимальну відстань між двома контактними площадками ДП за варіантом (табл. 2.6), якщо мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку складає 0,35 мм, максимальний діаметр контактної площадки дорівнює 3,8 мм, а похибка розташування контактної площадки – 0,02 мм.

Таблиця 2.6.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку, (мм)	Максимальний діаметр контактної площадки, (мм)
0		
1	0,35	3,8
2		
3	0,4	3,6
4		
5	0,33	3,2
6		
7		
8	0,3	3,4
9		

Задача 4.

Визначити мінімальну та максимальну ширину сигнальних провідників ДП, виготовленою комбінованим позитивним методом, зовнішніх шарів БШДП за варіантом (табл. 2.7). Товщина попередньо осадженої міді дорівнює 0,7 мм. Мінімальна ефективна ширина провідників – 0,15 мм.

Таблиця 2.7

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Метод виготовлення ДП
0	<i>Комбінований позитивний метод</i>
1	
2	
3	<i>Хімічний метод</i>
4	
5	
6	
7	<i>Електрохімічний полуадитивний метод</i>
8	
9	

Задача 5.

Визначити мінімально та максимально допустимі ширину провідників живлення і заземлення згідно з варіантом (табл. 2.8), виконаних з однорідного шару міді, якщо питомий опір шару у 0,2 мм міді дорівнює $\cdot 1,72 \cdot 10^{-8}$ (Ом·Метр), максимально допустима довжина провідника складає 240 мм. Клас точності плати – 4.

Таблиця 2.8

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Матеріал провідників	Кількість шарів провідників	Максимально допустима довжина провідника, (мм)
0	Однорідна мідь	1	240
1			
2	Різнорідна мідь	2	180
3			
4			
5	Однорідна мідь	3	300
6			
7	Різнорідна мідь	4	260
8			
9			

Задача 6.

Визначити мінімальні відстані між двома контактними площадками, між двома провідниками, між двома контактними майданчиками, між двома неметалізованими отворами, між контактною площадкою і неметалізованим отвором, між контактною площадкою і краєм друкованої плати та неметалізованим отвором і краєм плати для прокладки провідників за варіантом (табл. 2.9), за умовами мінімізації похибок розташування отворів, контактних площадок та елементів під час експонування на ДП. Мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку – 1,6 мм, відстань між центрами аналізованих елементів – 3 мм, максимальна ширина провідника – 1,2 мм. Максимальний діаметр контактної площадки дорівнює 1,2; максимальні діаметри контактних площадок металізованих отворів – 0,8 мм та 1 мм; максимальні діаметри неметалізованих (конструктивних) отворів на друкованій платі – 2 мм та 4 мм. Кількість провідників – 2.

Таблиця 2.9

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Мінімальна відстань між елементами друкованого рисунку	Максимальний діаметр контактної площадки	Максимальні діаметри неметалізованих (конструктивних) отворів на друкованій платі	
0	1,6	1,2	2	4
1				
2				
3	1,4	1,8	2,5	3,5
4				
5	1,2	1,6	3	4
6				
7				
8	1,5	1,4	3,5	4
9				

2.3. Розрахунок показників надійності радіоелектронних приладів

2.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників надійності радіоелектронних приладів

У зв'язку із збільшеною складністю, а також через високі вимоги, що пред'являються до роботи сучасних радіоелектронних приладів, виготовлених в умовах автоматизованого виробництва, велика увага в процесі розробки, виготовлення і експлуатації приділяється підвищенню *надійності* та її прогнозування – одного з головних показників якості та однієї з основних проблем, що поставлені перед конструкторами і розробниками у данній галузі. Основним шляхом підвищення надійності радіоелектронних приладів є підвищення надійності кожного їх елемента. Визначення показників надійності – один з найскладніших етапів проектування складальних одиниць, модулів і радіоелектронних приладів в цілому.

Надійність приладу або його окремих блоків і вузлів – це можливість самого приладу (і його елементів) виконувати протягом необхідного часу задані функції за певних умов використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Надійність – це комплексна властивість. Залежно від призначення приладу і умов його експлуатації вона може включати чотири складових: безвідмовність, ремонтпридатність, збереженість довговічність.

Безвідмовність – властивість пристрою, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і усунень їх наслідків шляхом проведення ремонту та техобслуговування.

Збереженість – властивість пристрою безперервно зберігати справний і працездатний стан протягом зберігання та після нього і (або) при транспортуванні.

Довговічність – властивість пристрою зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі.

Вірогідність безвідмовної роботи РЕП $P_{\Sigma}(t_3)$ за заданий час (t_3) знаходять, використовуючи вираз

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-\lambda_1 t_3} \cdot e^{-\lambda_2 t_3} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_N t_3} = e^{-t_3 \sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (2.32)$$

де N – кількість елементів у приладі;

λ_i – параметр експоненціального розподілу для i -го елемента, який чисельно дорівнює інтенсивності відмов цього елемента, $i = 1, \dots, N$.

З формули (2.32) бачимо, що розрахунок показника $P_{\Sigma}(t_3)$ зводиться до визначення величини

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \lambda_i . \quad (2.33)$$

яку називають *сумарна інтенсивність відмов приладу*.

Середній час відновлення РЕП T_{ϵ} може бути отримано з формули

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} , \quad (2.34)$$

де τ_i – середній час відновлення i -го елемента.

Існуючі методи розрахунку показників безвідмовності і ремонтпридатності РЕП розрізняються ступенем точності врахування електричного режиму, умов праці, конструкторсько-технологічних, функціональних та інших особливостей елементів, що входять у склад приладу.

Розрахунки поділяють на *попередні* (приближені або орієнтовані) та *кінцеві*.

Приближені виконують на ранніх етапах проектування, зазвичай на стадії ескізного проекту, кінцеві – на стадії технологічного проекту. На практиці використовують різні види приближеного розрахунку. У такому випадку врахування електричного режиму, температури, інших параметрів навколишнього середовища і факторів, які впливають на експлуатаційну безвідмовність елементів, виконується приблизно з допомогою узагальненого експлуатаційного коефіцієнту $K_{e.uz}$.

Значення цього коефіцієнту залежить від виду РЕП та умов його експлуатації (додаток В).

Сумарну інтенсивність відмов РЕП з врахуванням електричного режиму і умов експлуатації знаходять так

$$\Lambda_{РЕП} = K_{e.уз.} \cdot \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} \cdot n_j, \quad (2.35)$$

де λ_{0j} – середньогрупове значення інтенсивності відмов елементів, знайдене з використанням, $j = 1, \dots, k$;

k – число груп, які були сформовані однотипними елементами;

n_j – кількість елементів в j -й групі $j = 1, \dots, k$.

Інші показники безвідмовності розраховують по прийнятими формулам для експоненціального розподілення часу до відмови РЕП:

– *напрацювання на відмову*

$$T_e = \frac{1}{\Lambda_{РЕП}}; \quad (2.36)$$

– *вірогідність безвідмовної праці за заданий час (t_3)*

$$P_{РЕП}(t_3) = e^{-t_3 \cdot \Lambda_{РЕП}}; \quad (2.37)$$

– *середній час безвідмовної праці приладу*

$$T_{cp} = T_0; \quad (2.38)$$

– *гамма-відсоткове напрацювання до відмови*

$$T_\Gamma = -\frac{\ln\left(\frac{y}{100}\right)}{\Lambda_{РЕП}} = -T_0 \cdot \ln\left(\frac{y}{100}\right). \quad (2.39)$$

Показники довговічності оцінюють один раз на будь-якій стадії дослідницько-конструкторських робіт (ДКР), якщо це обумовлено договором на виконання ДКР.

У промисловості знаходять застосування різновиди приблизного розрахунку показників безвідмовності і ремонтпридатності, в яких використовуються значення експлуатаційних інтенсивностей елементів λ_e при коефіцієнті навантаженості $K_n = 0,7$, для активних $K_n = 0,4$, для пасивних елементів, а робоча температура буде дорівнювати 35°C . При виконанні уточненого розрахунку значення експлуатаційних інтенсивностей відмов елементів знаходяться для фактичних значень параметрів електричного навантаження і умов експлуатації.

При *уточненому розрахунку* сумарну інтенсивність відмов РЕП у виді електронного модуля Λ_M визначають сумою прогнозних значень експлуатаційних інтенсивностей відмов елементів λ_e

$$\Lambda_M = \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (2.40)$$

де λ_{ei} – експлуатаційна інтенсивність відмов i -го елемента, знайдена з урахуванням його електричного режиму, умов праці у складі РЕП, конструкторсько-технологічних, функціональних та інших особливостей;

N – кількість елементів у модулі.

Користуючись отриманим значенням Λ_M , за формулами (2.32)-(2.35) можна підрахувати показники безвідмовності модуля, які цікавлять.

Значення *експлуатаційної інтенсивності відмов* λ_e більшості груп елементів (компонентів) розраховуються за допомогою математичної моделі

$$\lambda_e = \lambda_\sigma \prod_{i=1}^m K_i, \quad (2.41)$$

де λ_σ – базова інтенсивність відмов елементів даної групи;

K_i – коефіцієнти, що враховують зміни експлуатаційної інтенсивності відмов в залежності від різних факторів;

m – число чинників, що враховуються.

Для окремих груп складних РЕП, сумарний потік відмов які складаються з незалежних потоків відмов складних частин РЕП (наприклад електромагнітної котушки та контактної системи реле), математична модель розрахунку *експлуатаційної інтенсивності відмов* має вигляд

$$\lambda_e = \lambda_{B1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{Bn} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (2.42)$$

де λ_{Bj} – вихідна (базова) інтенсивність відмов j -ї частини виробу, $j = 1, \dots, n$;

n – кількість складових частин виробу;

$K_i^{(j)}$ – коефіцієнт, що враховує вплив i -го фактора для j -ї частини виробу; $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$;

m_j – факторів, що враховуються для i -ї частини виробу.

У формулі (2.42) прийнято до уваги, що різні частини (компоненти) РЕП можуть мати різні значення коефіцієнтів, що враховують вплив одного і того ж фактора, зокрема рівень якості виготовлення в умовах виробництва (вид приймання). Наприклад, електромагнітна котушка реле може виготовлятися з рівнем якості, що визначаються прийманням «1», на одному підприємстві, а контактна система і збірка реле в цілому можуть виконуватися з прийманням «3» на іншому підприємстві. Конкретна запис моделей для елементів залежить також від конструктивних особливостей елемента та кількості задіяних частин (наприклад, контактів у випадку комутаційних виробів або з'єднувачів). Індивідуальні (для компонентів) складові інтенсивності відмов λ_B , звані базовими інтенсивностями відмов, можуть бути взяті з довідників або підраховані за відповідними моделями.

У додатку В наводяться математичні моделі, рекомендовані для розрахунку (прогнозування) значень λ_e типових елементів РЕП виробництва країн СНД. Уточнення моделей було зроблено на основі аналізу та систематизації посібників військових довідників, та стандартів США, Франції і Китаю. Пояснення величин, що входять в математичні моделі, також додається в додатку В.

Перерахунок значень базових інтенсивностей відмов λ_B стосовно до інших видів приймання виконується з використанням значень коефіцієнта приймання K_{II} (додаток В).

Для визначення *коефіцієнта інтегральних схем* (КІС), що враховує кількість елементів у інтегральній мікросхемі або біт (для ІМС пам'яті), можна скористатися математичною моделлю

$$K_{IC} = AN^S, \quad (2.43)$$

де A, S – постійні коефіцієнти моделі;

N – кількість елементів в ІМС або біт.

Коефіцієнти моделей для різних груп ІМС наведені в додатку В.

Значення коефіцієнту K_t , що залежить від температури корпусу елемента (компонента), для ІМС можуть бути отримані з виразу

$$K_t = \exp[B(t_{om} - 25)], \quad (2.44)$$

де B – константа, що залежить від функціонального значення ІМС;

t_{om} – температура оточуючого середовища навколо ІМС,

$^{\circ}C$.

Для ІМС, робота яких допускається в полегшених електри-

чних режимах, значення коефіцієнта режиму роботи K_p можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі

$$K_p = 0,045 \exp(3,1K_{нол}) \exp[B(t_{ом} - 25)], \quad (2.45)$$

де $K_{нол}$ – відношення робочого електричного навантаження до максимально допустимого (електрична характеристика, яка приймається до уваги, вибирається в залежності від характеру полегшеності електричного режиму ІМС).

Значення температури оточуючого середовища $t_{ом}$ може визначатися за виразом

$$t_{ом} = t_{робmax} + \Delta t_3; \quad (2.46)$$

де $t_{робmax}$ – верхнє значення робочої температури РЕП;

Δt_3 – перегрів в нагрійтій зоні конструкції РЕП (зазвичай $\Delta t_3 \leq 25...30^\circ\text{C}$).

Значення коефіцієнта $K_{корп}$, що враховує тип корпусу в залежності від типу корпусу ІМС наведені у табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Значення коефіцієнта $K_{корп}$

Корпус	$K_{корп}$	Корпус	$K_{корп}$
Всі корпуси, крім пластмасових (полімерних)	1,0	Пластмасові (полімерні)	3,0

Значення коефіцієнта K_V , в тому числі для технологій комплементарної структури метал-оксид-напівпровідник (МОП), що враховує напругу живлення для ІМС слід вибирати з табл. 2.11.

Таблиця 2.11.

Значення коефіцієнта K_V

Технологія	Значення K_V для напруги джерела живлення, В		
	до 10	>10 до 12,6	>12,6 до 15
Комплементарна структура МОП	1,0	3,0	10,0
Інші види технологій	1,0		

Значення коефіцієнта режиму роботи K_P для напівпровідникових приладів можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі

$$K_P = A \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{om} + \Delta t K_H} + \left(\frac{273 + t_{om} + \Delta t K_H}{T_M} \right)^L \right], \quad (2.47)$$

де $A, N_T, T_M, L, \Delta t$ – константи моделі (додаток В);
 t_{om} – температура навколишнього середовища;
 K_H – коефіцієнт електричного навантаження

$$K_H = \frac{F_{роб}}{F_{ном}}, \quad (2.48)$$

де $F_{роб}$ – електричне навантаження елемента у робочому режимі, тобто фактичне навантаження на схемному елементі, що розглядається;

$F_{ном}$ – номінальне чи граничне за технічними умовами (ТУ) навантаження елемента, що виконує у конструкції функцію схемного елемента.

В якості значень електричного навантаження обирають таку електричну характеристику елемента, яка в найбільшому ступені впливає на його безвідмовність (додаток В).

Значення коефіцієнту K_{ϕ} , що враховує функціональний режим роботи приладу, коефіцієнту K_D , що залежить від значення максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності (або струму), коефіцієнту K_U , що залежить від ставлення значення робочої напруги на резисторі до максимально допустимої напруги по ТУ, для напівпровідникових приладів наведені в додатку В.

Значення коефіцієнта K_P для випромінюючих діодів, оптопар транзисторів, тїрісторів, діодних та резисторних, можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі

$$K_P = \left(\frac{I_{np.cp}}{I_{np.cp0}} \right)^m \exp \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_{II0} + 273} - \frac{1}{t_{II} + 273} \right) \right], \quad (2.49)$$

де $I_{np.cp}$, $I_{np.cp0}$ – середній прямиий струм випромінювача відповідно в робочому і номінальному режимах;

E_a – енергія активації процесів деградації ($E_a = 0,6$ еВ);

k – постійна Больцмана ($k = 8,625 \cdot 10^{-5}$ еВ/К);

m – показник ступеня, що залежить від властивостей кристала та приймає значення від 1 до 2;

t_{II} , t_{II0} – температура р-п-переходу відповідно в робочому та номінальному режимах, °С.

При роботі елемента в імпульсному режимі $m = 2$. Для інших режимів в залежності від типу випромінює матеріалу величина m дорівнює:

- 1,4 – для *GaAs*;
- 1,2 – *GaP*;
- 1,5 – для *GaAlAs*, *GaAsP*.

Температура р-п-переходу визначається за формулою

$$t_{II} = P_{роб} R_T + t_{ом}; \quad t_{II0} = P_{max} R_T + 25 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (2.50)$$

де $P_{роб}$ – розсіює потужність в робочому режимі при температурі $t_{ом}$, Вт;

R_T – тепловий опір, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

P_{max} – максимальна розсіювана потужність при температурі $+25 \text{ }^\circ\text{C}$, Вт;

$t_{ом}$ – температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$.

При відсутності значень R_T температура р-п-переходу приблизно може бути визначена як

$$t_{II} \approx t_{робmax} + \frac{I_{np.cp}}{I_{np.cp0}} 20, \text{ }^\circ\text{C}; \quad (2.51)$$

$$t_{II0} = t_{ном} + 20 = 25 + 20 = 45 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.52)$$

де $t_{робmax}$ – максимальна робоча температура РЕП, $^\circ\text{C}$.

Значення коефіцієнта режиму роботи K_P для *оптоелектронних мікросхем* може бути прийнято рівним одиниці.

Значення коефіцієнта K_P для *конденсаторів* можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі

$$K_P = A \left[\left(\frac{K_H}{N_S} \right)^H + 1 \right] \exp \left[B \left(\frac{t_{ом} + 273}{N_T} \right)^G \right], \quad (2.53)$$

де $t_{ом}$ – температура навколишнього середовища (корпусу елемента), $^\circ\text{C}$;

K_H – коефіцієнт електричного навантаження конденсатора по напрузі;

A, B, N_T, G, N_S, H – постійні коефіцієнти (додаток В).

Значення коефіцієнта K_C , що залежить від значення номінальної ємності, можуть бути підраховані за математичними моделями, наведеними в додатку В.

Значення коефіцієнта режиму роботи K_P для резисторів розраховують за моделлю

$$K_P = A \exp \left[B \left(\frac{t_{om} + 273}{N_T} \right)^G \right] + \exp \left\{ \left[\left(\frac{K_H}{N_S} \right) \left(\frac{t_{om} + 273}{273} \right)^J \right]^H \right\}; \quad (2.54)$$

де K_H – коефіцієнт електричного навантаження резистора по потужності;

t_{om} – температура навколишнього середовища (корпусу елемента), °С;

A, B, N_T, G, N_S, J, H – постійні коефіцієнти (додаток В).

Значення коефіцієнтів K_M, K_R та K_U вибирають згідно за табл. 2.12 – табл. 2.14.

Таблиця 2.12

Значення коефіцієнта K_M для металодіелектричних резисторів

Потужність, Вт	K_M	Потужність, Вт	K_M	Потужність, Вт	K_M
0,062–0,5	0,7	1–2	1,5	5–10	4,5

Таблиця 2.13

Значення коефіцієнта K_R

Діапазон опорів	K_R	Діапазон опорів	K_R	Діапазон опорів	K_R
Резистори постійні недротяні: металодіелектричні					
$< 1 \text{ кОм}$	1,0	$\geq 1 \text{ кОм}$ $< 100 \text{ кОм}$	0,7	$\geq 100 \text{ кОм}$ $< 1 \text{ МОм}$	2,0
вуглецеві					
$\leq 100 \text{ кОм}$	0,5	$> 100 \text{ кОм}$ $\leq 1 \text{ МОм}$	2,7	$> 1 \text{ МОм}$	0,7
Резистори змінні: недротяні керметні					
$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$	1,6	$> 100 \text{ кОм}$ $\leq 330 \text{ Ом}$	1,4	$> 330 \text{ Ом}$	1,0
дротові					
$\leq 1 \text{ кОм}$	1,9	$> 1 \text{ кОм}$ $\leq 10 \text{ кОм}$	0,5	$> 10 \text{ кОм}$ $\leq 100 \text{ кОм}$	0,9

Таблиця 2.14

Значення коефіцієнта K_U для змінних недротяних резисторів

$\frac{U_{роб}}{U_{ТУ}}$	K_U	$\frac{U_{роб}}{U_{ТУ}}$	K_U	$\frac{U_{роб}}{U_{ТУ}}$	K_U
$\geq 0,1 \leq 0,8$	1,0	$\geq 0,8 \leq 0,9$	1,05	$\geq 0,9 \leq 1,0$	1,2

Значення коефіцієнта K_Δ в залежності від допуску на опір резистора:

- 2 – у разі допуску $\pm 0,5\%$;
- 1 – у разі допуску $\pm 1, \pm 2, \pm 5, \pm 10\%$ та більше.

Значення режиму роботи K_P для елементів комутації розраховують за моделлю

$$K_P = 7 \left(\frac{t + 273}{398} \right)^{12} \exp(1,25 K_H)^2, \quad (2.55)$$

де t – температура, °C ($25 \leq t \leq t_{\max}$);

t_{\max} – максимально допустима по ТУ температура навколишнього середовища;

K_H – коефіцієнт електричного навантаження по струму.

Значення коефіцієнта K_K вибирають з табл. 2.15.

Значення коефіцієнта K_F в залежності від частоти включень в годину:

- $K_F = 0,5$ при $F < 100$;
- $K_F = 0,5 + 0,251gF$ при $F \geq 100$ (де F – частота комутацій виробу в РЕП, включень в годину).

Таблиця 2.15

Значення коефіцієнта K_K для комутаційних виробів

Група виробів	Кількість задіяних контактів N	K_K	Група виробів	Кількість задіяних контактів N	K_K
Тумблери	Однополюсні	0,5	Перемикачі кнопові, движкові	1	0,25
	Двополюсні	1,0		2	1,0
	Триполюсні	1,5		≥ 3	2,0
	Чотирьохполюсні	2,0	Перемикачі галетні	–	1

Значення K_P для з'єднувачів (роз'ємів) визначають за моделлю

$$K_P = \exp \left[9000 \left(\frac{1}{298 + t_{II}} - \frac{1}{273 + t_{om} + t_{II} \exp[-1,8(1 - K_H)]} \right) \right], \quad (2.56)$$

де t_{II} – температура перегріву контактів по ТУ при максимальному струнному навантаженні, по ТУ $t_{II} = 10 \dots 30$ °C;

t_{om} – температура навколишнього середовища, °С;

K_H – коефіцієнт електричного навантаження по струму.

Значення коефіцієнта, що враховує вплив на надійність з'єднувача кількості задіяних контактів N , можуть бути розраховані як

$$K_K = \exp \left\{ [0,1(N-1)]^{0,51064} \right\} \quad (2.57)$$

Значення коефіцієнта, що враховує вплив на надійність з'єднувача кількості зчленувань-розчленувань n , розраховуються за моделлю

$$K_n = 0,32 \exp(0,0028n). \quad (2.58)$$

Значення коефіцієнта K_t для радіочастотних з'єднувачів можуть бути отримані за висловом

$$K_t = \exp[0,023(t_{роб} - 25)], \quad (2.59)$$

де $t_{роб}$ – робоча температура радіочастотного з'єднувача, °С.

Температуру $t_{роб}$ визначають як

$$t_{роб} = t_{om} + 5, \text{ °С}, \quad (2.60)$$

де t_{om} – температура навколишнього середовища, °С.

Значення коефіцієнта K_P для напівпровідникових індикаторів визначаються за моделлю, аналогічною моделі для випромінюючих діодів інфрачервоного діапазону.

Значення коефіцієнта K_t для вакуумних люмінесцентних індикаторів із зеленим люмінофором можуть бути розраховані за формулою

$$K_t = \exp[0,00923(t_{om} - 25)]; \quad (2.61)$$

де t_{om} – температура навколишнього середовища, °С.

Для інших квітів люмінофора K_t приймається рівним одиниці.

Значення коефіцієнта K_P для трансформаторів розраховують за моделлю

$$K_P = A \exp \left[\left(\frac{t_M + 273}{T_M} \right)^G \right], \quad (2.62)$$

де t_M – температура максимально нагрітої точки обмотки трансформатора, характеризується класом ізоляції;

A, G, T_M – постійні моделі (табл. 2.16).

Таблиця 2.16

Значення постійних моделей

Максимально допустима температура по ТУ t_{max} , °С (клас ізоляції)	A	G	T_M	Максимально допустима температура по ТУ t_{max} , °С (клас ізоляції)	A	G	T_M
70...85 (A)	0,81	15,6	329	95...105 (B)	0,951	14	352

Температуру t_M визначають як

$$t_M = t_{om} + t_{II}, \quad (2.63)$$

де t_{om} – температура навколишнього середовища, °С;

t_{II} – температура перегріву, °С.

Значення t_{II} для частоти мережі живлення $f = 50$ Гц розраховують за формулою

$$t_{II} = 0,25t_{II.TV} (3K_H^2 + 1), \quad (2.64)$$

для $f > 50$ Гц

$$t_{II} = 0,5t_{II.TV} (K_H^2 + 1), \quad (2.65)$$

де $t_{II.TV}$ – максимальна температура перегріву по ТУ, °С;
 K_H – коефіцієнт електричного навантаження трансформатора в залежності від потужності.

Для трансформаторів живлення: $t_{\max} = 85^\circ\text{C}$; $t_{II.TV} \approx 55^\circ\text{C}$.

Значення коефіцієнта K_P для дроселів, котушок індуктивності приблизно можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі

$$K_P = 0,46 + 0,012(t_{om} - 50)^{1,3} + 0,54K_H^{3,5} \exp[0,2(t_{om} - 50)^{0,8}] \quad (2.66)$$

де K_H – коефіцієнт навантаження в залежності від струму;
 t_{om} – температура навколишнього середовища, °С (при $t_{om} < 50$ °С прийняти $t_{om} = 50$ °С).

Значення коефіцієнта K_P для реле розраховують за моделлю виду

$$K_P = A \exp\left[\left(\frac{t_{om} + 273}{N_T}\right)^G\right] \exp\left[\left(\frac{K_H}{N_S}\right)^H\right], \quad (2.67)$$

де A, N_T, G, N_S, H – постійні коефіцієнти (табл. 2.17);
 t_{om} – температура навколишнього середовища, °С;
 K_H – коефіцієнт навантаження реле по комутованому струму ($K_H = I_{роб} / I_{TV}$)

Таблиця 2.17

Значення коефіцієнтів моделі

Максимально допустима температура реле згідно з ТУ	Вид навантаження	Значення коефіцієнтів				
		A	N_T	G	N_S	H
До 85 °С включно	Активна	0,1951	352	15,7	0,8	2
	Індуктивна				0,4	
>85 °С до 125 °С	Активна	0,1951	377	10,4	0,8	2
	Індуктивна				0,4	

Значення коефіцієнта K_F в залежності від числа комутацій реле на годину F при роботі в складі РЕП можуть бути визначені як

$$K_F = 0,1 \text{ при } F \leq 1, \quad K_F = F / 10 \text{ при } F > 1. \quad (2.68)$$

Значення коефіцієнта K_K , враховує вплив на надійність реле кількості задіяних контактів N (для негерметичних реле)

$$K_K = 0,42 + 0,24N. \quad (2.69)$$

Значення (λ_B^L) та коефіцієнт $K_p^{(L)}$ визначають, як для дреселів.

Усереднені значення коефіцієнта K_t для *n*-ізоелектричних приладів можна розрахувати за моделлю

$$K_t = \exp[0,017(t_{om} - 25)], \quad (2.70)$$

де t_{om} – температура навколишнього середовища, °С.

Значення коефіцієнта K_t для запобіжників, з'єднання, багатоплатних плат з металізованими наскрізними отворами розраховують за моделлю

$$K_t = 0,061t_{om} - 0,525, \quad (2.71)$$

де t_{om} – температура навколишнього середовища, °С.

Усереднене значення коефіцієнта K_t для кабелів, шнурів, монтажних дротів визначають за математичною моделлю

$$K_t = \exp \left[E \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{t_p + 273} \right) \right], \quad (2.72)$$

де E – коефіцієнт, який визначається матеріалом ізоляції кабельного виробу, може бути прийнятий:

- 4570 – для монтажних проводів;
- 9862 – для радіочастотних кабелів, проводів;
- 11233 – кабель живлення;

t_p – робоча температура, °С.

Температура t_p складається з двох складових

$$t_p = t_{om} + \Delta t_{II}, \quad (2.73)$$

де Δt_{II} – перегрів, зумовлений втратою в кабелі (дроті) електричної або електромагнітної енергії;

t_{om} – температура навколишнього середовища.

Значення Δt_{II} для кабелю живлення та монтажних проводів можуть бути знайдені як

$$\Delta t_{II} = (t_{\max} - 25)K_H^2, \quad (2.74)$$

де t_{\max} – максимальна робоча температура шнура, проводу по ТУ, °С;

K_H – коефіцієнт електричного навантаження.

Коефіцієнт K_H визначають як відношення

$$K_H = j / j_{\max}, \quad (2.75)$$

де j – робоча густина струму в проводі;

j_{\max} – максимально допустима щільність струму згідно з ТУ.

Щільність струму j_{\max} в разі недостатності даних може бути прийнята рівною $3,5 \text{ А / мм}^2$.

Повинна виконуватися умова $t_p \leq t_{\max}$. В іншому випадку, величина K_H повинна бути зменшена.

Значення максимальної робочої температури t_{\max} для кабельних виробів РЕП широкого застосування приведені в додатку В.

Класифікація груп наземної апаратури в залежності від умов експлуатації, з урахуванням довідників і стандартів по надійності країн СНД, США і Китаю, з характеристиками умов експлуатації і значеннями K_E наведені в додатку В.

Усереднені значення коефіцієнта K_D в залежності від виду приймання елементів різних класів та груп наведені в додатку В.

Для отримання моделей, що використовуються для розрахунку (прогнозування) експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E елементів іноземного виробництва, застосовані принципи, описані раніше для елементів виробництва країн СНД.

Коефіцієнти, що входять в математичні моделі розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов різних класів елементів, умовно можна розділити на *дві групи* (додаток В):

- *перша група* коефіцієнтів є спільною для моделей більшості класів (груп) елементів та характеризує режими, та умови їх експлуатації, рівень якості елементів ;
 - *друга група* коефіцієнтів включається в моделі конкретних класів (груп) елементів та характеризує залежність експлуатаційної інтенсивності їх відмов від конструктивних, функціональних і технологічних особливостей елементів.
- Для отримання моделей, що використовуються для розра-

хунку (прогнозування) експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E елементів *іноземного виробництва*, застосовані принципи, описані для елементів виробництва країн СНД.

Розрахунок експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E окремих груп ІМС іноземного виробництва виконується за математичними моделями, що наведені в додатку В.

Інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$, $\lambda_{корп}$ для ІМС (крім ІМС над-великої ступеня інтеграції) можуть бути визначені за даними табл. 2.18 - 2.22, в тому числі і для елементів надвисоких часто (НВЧ), де N – кількість базових елементів (вентилів) для цифрових ІС та програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС), кількість транзисторів – для аналогових ІС.

Таблиця 2.18

Значення інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$ для цифрових ІС, аналогових ІС та ПЛІС

Група ІМС	$\lambda_{кр}, \times 10^{-6}$ 1/год	Значення N
1. Біполярні цифрові	$\lambda_{кр} = 0,0025$	від 1 до 100
	$\lambda_{кр} = 0,000163 \cdot N^{0,6}$	від 101 до 60 000
2. Біполярні аналогові	$\lambda_{кр} = 0,010$	від 1 до 100
	$\lambda_{кр} = 0,0174 \ln N - 0,06$	від 101 до 10 000
3. ПЛІС	$\lambda_{кр} = 0,10$	до 200
	$\lambda_{кр} = 0,00216 \cdot N^{0,43}$	від 201 до 5000
4. МОП цифрові	$\lambda_{кр} = 0,10$	від 1 до 100
	$\lambda_{кр} = 0,00111 \cdot N^{0,54}$	від 101 до 60 000
5. МОП аналогові	$\lambda_{кр} = 0,10$	від 1 до 100
	$\lambda_{кр} = 0,0174 \ln N - 0,06$	від 101 до 10 000
6. ПЛІС МОП технології	$\lambda_{кр} = 0,00085$	до 500
	$\lambda_{кр} = 0,0022 \ln N - 0,0119$	від 501 до 20 000

Таблиця 2.19

Значення інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$ для мікропроцесорів

Розрядність, біт	$\lambda_{кр}, \times 10^{-6}$ 1/год	
	Біполярні	МОП
до 8	0,060	0,14
до 16	0,12	0,28
до 32	0,24	0,56

Таблиця 2.20

Значення $\lambda_{кр}$ для ІМС пам'яті, $\lambda_{кр}, \times 10^{-6}$ 1/год

Об'єм пам'яті B , біт	ІМС КМОН технології				Біполярні ІМС	
	ПЗУ	ППЗУ, РПЗУ	Дина- мічні ОЗУ	Стати- чні ОЗУ	ПЗУ, ППЗУ	Стати- чні ОЗУ
до 16 К	0,00065	0,0085	0,0013	0,0078	0,0094	0,0052
$16 < B \leq 64$ К	0,0013	0,0017	0,0025	0,016	0,019	0,11
$64 < B \leq 256$ К	0,0026	0,0034	0,0050	0,031	0,38	0,21
$256 < B \leq 1$ М	0,0052	0,0068	0,0100	0,062	0,75	0,42

Таблиця 2.21

Значення інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$ для арсенід-галієвих ІС

НВЧ		Цифрові на MESFET транзисторах	
Складність ІС, кількість активних елементів	$\lambda_{кр}, \times 10^{-6}$ 1/год	Складність ІС, кількість акти- вних елементів	$\lambda_{кр}, \times 10^{-6}$ 1/год
1 до 100	4,5	1 до 1000	25
101 до 1000	7,2	1001 до 10000	51

Таблиця 2.22

Визначення інтенсивності відмов $\lambda_{корп}$ в залежності від
числа висновків n

Тип корпусу	$\lambda_{корп} \times 10^{-6}$ 1/год
1. Герметизовані DIP, PGA, SMT	$\lambda_{корп} = 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot n^{1,08}$
2. DIP зі скляною ізоляцією	$\lambda_{корп} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot n^{1,51}$
3. Плоский з аксіальним висновками	$\lambda_{корп} = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot n^{1,82}$
4. Металевий (Can)	$\lambda_{корп} = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot n^{2,01}$
5. Негерметизовані DIP, PGA, SMT	$\lambda_{корп} = 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot n^{1,08}$

Інтенсивність відмов, пов'язана з циклами запису / зчитування, $\lambda_{ц} = 0$ для всіх ІМС пам'яті, крім РПЗУ з електричним стиранням, для яких $\lambda_{ц}$ визначають за даними з додатку В.

Для отримання інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$, $\lambda_{корп}$, $\lambda_{ЕЛ}$ для ІМС надвеликої мірою інтеграції використовують табл. 2.23.

Таблиця 2.23

Інтенсивності відмов $\lambda_{кр}$, $\lambda_{корп}$, $\lambda_{ЕЛ}$ для ІМС
надвеликого ступеня інтеграції

Інтенсивність відмов	Формула, значення	Пояснення
$\lambda_{кр}$	$\lambda_{кр} = 0,16 \cdot 10^{-6}$, 1/год	Для логічних ІМС
	$\lambda_{кр} = 0,24 \cdot 10^{-6}$, 1/год	Для матриць логічних елементів та пам'яті
$\lambda_{корп}$	$\lambda_{корп} = (0,0022 + 1,72 \cdot 10^{-6} \cdot n) \times 10^{-6}$, 1/год	n – кількість виводів корпусу
$\lambda_{ЕЛ}$	$\lambda_{ЕЛ} = \frac{-\ln[1 - 0,00057 \exp(-0,0002V)]}{0,00876} \times 10^{-6}$, 1/год	V – чутливість до електростатичних розрядів

У формулі визначення $\lambda_{EЛ}$ при невідомому значенні V використовувати значення $V = 0 \dots 1000$ В.

Коефіцієнт, що враховує вплив температури K_t , може бути отриманий за моделями, наведеними в додатку В.

Температуру $T_{кр}$ визначають як

$$T_{кр} = T_{корп} + R_{кр-корп}P, \quad (2.76)$$

де $T_{корп}$ – температура корпусу ІМС, °С;

$R_{кр-корп}$ – тепловий опір кристал - корпус, °С / Вт;

P – фактична потужність розсіювання ІМС в робочому режимі.

Як $T_{корп}$ слід брати максимальну температуру з урахуванням роботи ІМС в складі РЕП. У разі неможливості визначити значення P , рекомендується брати інформацію про максимальну розсіювану потужність розглянутої або рівноцінних ІМС. Якщо невідомо значення $R_{кр-корп}$, то слід скористатися даними рівноцінних ІМС або ж табл. 2.24.

Таблиця 2.24

Вибір значення $R_{кр-корп}$ (для ІМС в керамічних корпусах)

Корпус ІМС	Значення $R_{кр-корп}$ (°С / Вт)	
	при площі кристала	
	$> 9,29 \text{ мм}^2$	$\leq 9,29 \text{ мм}^2$
Типу 2 (Dual-in-Line)	11	28
Типу 4 (Flat Package)	10	22
Chip Carrier	10	20
Pin Grid Array (PGA)	10	20
Can (металевий)	–	70
Organic Material Pack		80

Коефіцієнт K_L , що враховує тривалість промислового виготовлення ІМС, може бути підрахований за моделлю

$$\left. \begin{aligned} K_L &= 0,01 \exp(5,35 - 0,35L) \text{ при } L < 2,0; \\ K_L &= 1 \text{ при } L \geq 2, \end{aligned} \right\} \quad (2.77)$$

де L – тривалість в роках промислового випуску ІМС даного типу.

Значення коефіцієнта K_Φ і коефіцієнта $K_{корп}$ вибирають з табл. 2.25, 2.26.

Таблиця 2.25.

Вибір коефіцієнта K_Φ

Функціональне призначення	K_Φ
Напівпровідникові НВЧ:	
- малощумливі, малопотужні;	1
- потужні (> 100 мВт);	3
- невідомо	3
Цифрові всіх функціональних призначень	1

Таблиця 2.26

Коефіцієнт $K_{корп}$ для НВІС

Тип корпусу	Значення $K_{корп}$	
	Герметичний	Негерметичний
DIP	1	1,3
PGA	2,2	2,9
SMT	4,7	6,1

Рекомендовані значення коефіцієнта K_I складають 0,55 – при виготовленні з використанням процесів QML або QPL, 2 – при використанні інших процесів.

Коефіцієнт $K_{кр}$ може бути розрахований за формулою

$$K_{кр} = 0,36 + \left[0,64 \left(\frac{S_{кр}}{0,21} \right) \left(\frac{2}{x_s} \right)^2 \right], \quad (2.78)$$

де $S_{кр}$ – площа кристала в см²;

x_s – топологічний розмір у мікронах.

Значення коефіцієнта K_Q , що враховує вплив рівня якості виготовлених ІМС, наводяться в табл. 2.27 (мікросхеми).

Таблиця 2.27.

Значення коефіцієнта K_Q для всіх ІМС, крім мікросхем з поверхнево акустичними хвилями (ПАХ)

Рівень якості ІС	K_Q
1. Протестовані 10 температурними циклами (від -55 до +125 °С) при електричному навантаженні (приблизно відповідає прийманню «5»)	0,1
2. Нижчий рівень якості (приблизно відповідає прийманню «1»)	1,0

Розрахунок експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E окремих груп напівпровідникових приладів (НПП) виконується за математичними моделями, що наведені в додатку В.

Значення базової інтенсивності відмов λ_B наведені в табл. 2.28.

Таблиця 2.28.

Довідкові дані λ_B НПП

Група виробів	$\lambda_B \times 10^{-6}$ 1/год
1	2
1. Діоди низькочастотні:	
- діоди випрямні загального призначення;	0,0038
- діоди випрямні потужні швидкого відновлення;	0,025
- діоди випрямні потужні (в т.ч. Шотткі);	0,003
- діоди імпульсні;	0,001
- захисні діоди (супресори) / варистори;	0,0012
- регулятори струму;	0,0034
- стабілітрони	0,002

Продовження табл. 2.28.

1	2
2. Діоди високочастотні (НВЧ): - діоди лавинно-пролітні; - діоди Ганна; - діоди тунельні і звернені (включаючи змішувальніа детекторні); - діоди PIN; - діоди з бар'єром Шоттки (включаючи детекторні); - варактори (варікапи) та діоди з накопиченням заряду	0,22 0,18 0,0023 0,0081 0,027 0,0025
3. Транзистори біполярні низькочастотні	0,00074
4. Транзистори польові низькочастотні: - МОП (MOSFET); - з р-п-переходом (JFET)	0,012 0,0045
5. Транзистори одноперехідні	0,0083
6. Транзистори біполярні високочастотні малої та середньої потужності	0,18
7. Транзистори біполярні НВЧ великої потужності	за формулою (2.75) ¹
8. Транзистори польові високочастотні арсенід-галієві малої та середньої потужності, потужність менше 0,1 Вт, частота $1 < F < 10$ ГГц	0,052
9. Транзистори польові НВЧ арсенідгалієві великої потужності, частота $4 \leq F \leq 10$ ГГц, потужність $0,1 \leq P \leq 6$ Вт	за формулою (2.76) ²
10. Транзистори польові високочастотні кремнієві: - МОП (MOSFET); - з р-п-переходом (JFET)	0,06 0,023
11. Тиристори	0,0022

Значення інтенсивності відмов λ_B розраховується за формулою

$$\lambda_B = 0,032e^{0,354F} + 0,00558P. \quad (2.79)$$

Значення інтенсивності відмов λ_B обчислюється за формулою

$$\lambda_B = 0,093e^{0,429F} + 0,486P, \quad (2.80)$$

де F – робоча частота, ГГц,
 P – середня вихідна потужність (по документації), Вт.

Коефіцієнти K_t в залежності від температури переходу для всіх НПП, крім транзисторів біполярних НВЧ великої потужності визначаються за допомогою табл. 2.29, де S – коефіцієнт електричного навантаження по напрузі; T_{II} – пікове значення температури переходу, °С. Розрахунок коефіцієнта режиму K_t в залежності від температури переходу для біполярних високочастотних транзисторів великої потужності проводиться згідно з додатком В.

Таблиця 2.29

Розрахунок коефіцієнта режиму K_t в залежності від температури переходу для всіх НПП, крім транзисторів біполярних НВЧ великої потужності

Група виробів	Формула, пояснення	B_a
1	2	3
Діоди низькочастотні: - все, крім регуляторів струму та стабілітронів - регулятори струму, стабілітрони	$K_T = e^{-B_a \left(\frac{1}{T_{II}+273} - \frac{1}{298} \right)}$	3091
Діоди високочастотні: - все, крім діодів лавинно-пролітних; - діоди лавинно-пролітні	$K_T = e^{-B_a \left(\frac{1}{T_{II}+273} - \frac{1}{298} \right)}$	2100 5260
Транзистори біполярні низькочастотні		2114
Транзистори польові низькочастотні		1925

Продовження табл. 2.29

1	2	3
Транзистори одноперехідні		2483
Транзистори біполярні високочастотні малої і середньої потужності		2114
Транзистори польові високочастотні арсенід-алієві		4485
Транзистори польові високочастотні кремнієві		1925
Тиристори		3082

Температура переходу T_{II} обчислюється за виразом

$$T_{II} = T_{om} + R_{кр-om} \cdot P = T_{корп} + R_{кр-корп} \cdot P, \quad (2.81)$$

де T_{om} – температура навколишнього середовища; °С;

$T_{корп}$ – температура корпусу приладу, °С;

$R_{кр-om}$ – тепловий опір «кристал - навколишнє середовище»; °С/Вт;

$R_{кр-корп}$ – тепловий опір «кристал - корпус»; °С/Вт;

P – фактична потужність розсіювання приладу, Вт.

Значення теплових опорів беруться з специфікації на виробі. Коефіцієнти K_K , K_D , K_Φ , K_M та K_S визначаються за допомогою табл. 2.30 - 2.34, де P_{\max} – максимально допустима потужність що розсіюється, Вт; $I_{пр.ср \max}$ – максимально допустимий середній прямий струм, А; D – величина, зворотна шпаруватості імпульсів (коефіцієнт заповнення),%; $U_{зв.роб}$ – постійний зворотний робоча напруга; $U_{зв. \max}$ – максимально допустимий по ТУ постійна зворотна напруга; $U_{KE.роб}$ – робоча напруга колектор-емітер; $U_{KE. \max}$ – максимально допустимий по ТУ напруга колектор-емітер.

Таблиця 2.30

Значення коефіцієнта K_K залежно від конструкції контактів
низькочастотних діодів

Конструкція контактів	K_K
Контакти паяні (зварні)	1
Контакти пружинні	2
Конструкція невідома	2

Таблиця 2.31

Розрахунок коефіцієнта K_D в залежності від максималь-
но допустимої потужності (струму) приладу

Група виробів	Потужність, Вт	K_D
1. Діоди НВЧ, крім PIN-діодів	-	$K_D = 1,0$
2. PIN-діоди		$K_D = 0,362 \cdot \ln(P_{\max}) - 0,25$
3. Транзистори біполярні низько- частотні та біпо- лярні високочас- тотні малої, та середньої потуж- ності	$\leq 0,1$ $> 0,1$	$K_D = 0,43$ $K_D = (P_{\max})^{0,37}$
4. Тиристори	-	$K_D = (I_{np.cp \max})^{0,4}$

Таблиця 2.32

Значення коефіцієнта K_{Φ} в залежності від функціонального призначення приладу

Група виробів	Функціональний режим роботи	K_{Φ}
Діоди НВЧ, крім варакторов	–	1
Варактори	Регульований напругою	0,5
	Множення частоти	2,5
Транзистори біполярні низькочастотні	Лінійного посилення	1,5
	Перемикання	0,7
Транзистори польові низькочастотні	Перемикання слабкого сигналу	0,7
Транзистори польові низькочастотні	Лінійного посилення ($P < 2$ Вт)	1,5
	Посилення ($P \geq 2$ Вт):	
	$2 \leq P < 5$ Вт	2
Транзистори польові низькочастотні	$5 \leq P < 50$ Вт	4
	$50 \leq P < 250$ Вт	8
	$P \geq 250$ Вт	10
Транзистори біполярні НВЧ великої потужності	Безперервний режим	7,6
	Імпульсний режим	$K_{\Phi} = 0,06(D, \%) + 0,4$
Транзистори польові високочастотні арсенід-огаллієві	Безперервний режим	4

Таблиця 2.33

Значення коефіцієнта K_M в залежності від наявності узгоджувальних схем для високочастотних (НВЧ) транзисторів

Характер узгодження в електричній схемі	Значення K_M
Узгоджено за входом та виходом	1
Узгоджено за входом	2
Не узгоджений, або характер узгодження невідомий	4

Таблиця 2.34

Значення коефіцієнта K_M в залежності від наявності узгоджувальних схем для високочастотних (НВЧ) транзисторів

Характер узгодження в електричній схемі	Значення K_M
Узгоджено за входом та виходом	1
Узгоджено за входом	2
Не узгоджений, або характер узгодження невідомий	4

Коефіцієнт навантаження по напрузі S визначається як

$$S = \frac{U_{KE.роб}}{U_{KE.ном}}, \quad (2.82)$$

де $U_{KE.роб}$ – напруга колектор-емітер в робочому режимі;

$U_{KE.ном}$ – гранично допустимий (номінальне) напруга колектор-емітер.

Значення коефіцієнта рівня якості K_Q вибирають з табл. 2.35 - 2.37.

Таблиця 2.35

Коефіцієнт впливу рівня якості K_Q (діоди низькочастотні; транзистори: біполярні низькочастотні, польові низькочастотні, одноперехідні; тиристори)

Рівень якості за MIL-S-19500	K_Q	Відповідність вітчизняним видам приймання
JANTXV	0,7	«7», «9»
JANTX	1,0	«5»
JAN	2,4	«3»
Більш низький рівень якості	5,5	«1»
Пластмаса	8	«1», пластмасові корпуси
Рівень якості невідомий	10	-

Таблиця 2.36

Коефіцієнт впливу рівня якості K_Q (діоди НВЧ)

Рівень якості за MIL-S-19500	K_Q		Відповідність вітчизняним видам приймання
	Діоди НВЧ, крім діодів Шотткі	Діоди Шотткі	
JANTXV	0,5	0,5	«9»
JANTX	1	1	«5»
JAN	5	1,8	«3»
Більш низький рівень якості	25	2,5	«1»
Пластмаса	50	-	«1», пластмасові корпуси

Таблиця 2.37

Коефіцієнт впливу рівня якості K_Q (Транзистори біполярні
високочастотні, польові високочастотні)

Рівень якості за MIL-S-19500	K_Q	Приблизна відповідність вітчизняним видам приймання
JANTXV	0,5	«9»
JANTX	1,0	«5»
JAN	2,0	«3»
Більш низький рівень якості	5,0	«1»
Пластмаса	8	«1», пластмасові корпуси
Рівень якості невідомий	10	–

Розрахунок експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E окремих груп оптоелектронних напівпровідникових приладів виконується за математичними моделями, включеним в табл. 2.38, де λ_B – базова інтенсивність відмов.

Значення базової інтенсивності відмов λ_B та моделі розрахунку базової інтенсивності відмов λ_B сегментних дисплеїв та дисплеїв з діодною матрицею наведені в додатку В.

Таблиця 2.38

Моделі розрахунку λ_E оптоелектронних
напівпровідникових приладів

Група виробів	Вид математичної моделі
Фотоприймачі, оптопарі, випромінювачі напівпровідникові, буквено-цифрові дисплеї	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_Q K_E$
Лазерні діоди	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_I K_\Phi K_P K_Q K_E$

Коефіцієнти K_t , K_Φ та K_S визначаються за допомогою табл. 2.39 - 2.41.

Таблиця 2.39

Розрахунок коефіцієнта режиму K_t ($K_{t,x}$) в залежності від температури переходу

Група виробів	Формула розрахунку K_t	B_a	Пояснення
Всі групи оптоелектронних напівпровідникових приладів, крім лазерних діодів	$K_t = e^{-B_a \left(\frac{1}{T_{II} + 273} - \frac{1}{298} \right)}$	2790	T_{II} – температура переходу
Лазерні діоди		4635	

Температура переходу T_{II} обчислюється за виразом

$$T_{II} = T_{om} + R_{кр-om} \cdot P = T_{корп} + R_{кр-корп} \cdot P, \quad (2.83)$$

де T_{om} – Температура навколишнього середовища, °С;

$T_{корп}$ – температура корпусу приладу, °С;

$R_{кр-om}$ – тепловий опір «кристал - навколишнє середовище»; °С/Вт;

$R_{кр-корп}$ – тепловий опір «кристал - корпус»; °С/Вт;

P – фактична потужність розсіювання приладу, Вт.

Значення теплових опорів беруться з специфікації на виробів.

Таблиця 2.40

Розрахунок коефіцієнта K_{Φ} залежно від функціонального призначення приладу для лазерних діодів

Функціональний режим роботи	K_{Φ}
Безперервний	4,4
Імпульсний	$K_{\Phi} = 1 / (\text{шпаруватість})^{0,5}$

Таблиця 2.41

Коефіцієнт впливу жорсткості електричного режиму роботи лазерних діодів K_S

Модель визначення K_S	Умова застосування моделі	Пояснення параметрів
$K_S = \frac{1}{2 \left(1 - \frac{P_{вих.роб}}{P_{вих.мах}} \right)}$	$0 < \frac{P_{вих.роб}}{P_{вих.мах}} \leq 0,95$	$P_{вих.роб}$ – вихідна потужність оптичного випромінювання в робочому режимі; $P_{вих.мах}$ – максимальна вихідна потужність оптичного випромінювання

Коефіцієнт впливу прямого струму K_I визначають за моделлю

$$K_I = I^{0,68}, \quad (2.84)$$

де I – пікове значення прямого струму, А ($I < 25$ А).

Значення коефіцієнта рівня якості K_Q вибирають в залежності від групи оптоелектронних приладів по табл. 2.42 - 2.43.

Таблиця 2.42

Коефіцієнт впливу рівня якості K_Q для лазерних діодів

Рівень якості	K_Q
Герметичний корпус	1
Негерметичний з покриттям	1
Негерметичний без покриття	3,3
Ступінь герметичності корпусу не встановлена, рівень якості невідомий	5

Таблиця 2.43.

Значення коефіцієнта впливу якості виготовлення K_Q для оптоелектронних напівпровідникових приладів, крім лазерних діодів

Рівень якості за MIL-S-19500	K_Q	Приблизна відповідність вітчизняним видам приймання
JANTXV	0,7	«9»
JANTX	1,0	«5»
JAN	2,4	«3»
Більш низький рівень якості	5,5	«1»
Пластмаса	8	«1», пластмасові корпуси
Рівень якості невідомий	10	–

Для всіх груп та типів резисторів експлуатаційну інтенсивність відмов λ_E розраховують за моделлю

$$\lambda_E = \lambda_B \cdot K_t \cdot K_P \cdot K_S \cdot K_Q \quad (2.85)$$

де λ_B – базова інтенсивність відмов резисторів даної групи (табл. 2.44).

Таблиця 2.44.

Довідкові дані для визначення параметрів моделі

Група резисторів	$\lambda_B, \times 10^{-6}$ 1/год
1. Резистори постійні композиційні ізольовані (RC, RCR)	0,0017
2. Резистори постійні плівкові ізольовані (RL, RLR)	0,0037
3. Резистори постійні плівкові високостабільні (RN)	0,0037
4. Резистори постійні плівкові безкорпусні (Chip) (RM)	0,0037
5. Резистори постійні плівкові потужні (RD)	0,0037
6. Резистори збірки постійні плівкові (RZ)	0,0019
7. Резистори постійні дротяні прецизійні (RB, RBR)	0,0024
8. Резистори постійні дротяні потужні (RW, RWR)	0,0024
9. Резистори постійні дротяні потужні, монтовані на шасі (RE, RER)	0,0024
10. Терморезистор ізольовані (RTH)	0,0019
11. Резистори змінні дротяні підлаштування (RT, RTR)	0,0024
12. Резистори змінні дротяні прецизійні (RR, RA)	0,0024
13. Резистори змінні дротяні напівпрецизійні (RK)	0,0024
14. Резистори змінні дротяні потужні (RP)	0,0024
15. Резистори змінні недротяні (RJ, RJR)	0,0037
16. Резистори змінні композиційні (RV)	0,0037
17. Резистори змінні недротяні прецизійні (RQ)	0,0037
18. Резистори змінні недротяні плівкові (RVC)	0,0037

У дужках наводяться скорочення, використовувані за кордоном для відповідних груп резисторів.

Коефіцієнти K_t , K_S та K_Q визначаються за допомогою табл. 2.45-2.47.

Таблиця 2.45

Розрахунок коефіцієнта K_t в залежності від температури корпусу резистора

Група резисторів	Формула розрахунку K_t	K_a
1	2	3
1. Постійні плівкові, в т.ч. поверхневого монтажу	$K_t = e^{-\left[\frac{-E_a}{8,617 \cdot 10^5} \left(\frac{-E_a}{T+273} - \frac{1}{298}\right)\right]}$	0,08
2. Постійні дротяні	де T – температура корпусу резистора, °C	0,08
3. Збірки резисторні, в т.ч. поверхневого монтажу		0,20
4. Змінні дровові: - усі, крім напівпрецизійних; - напівпрецизійні	$K_t = e^{-\left[\frac{-E_a}{8,617 \cdot 10^5} \left(\frac{-E_a}{T+273} - \frac{1}{298}\right)\right]}$ де T – температура корпусу резистора, °C	0,08 0,20
5. Змінні недротяні: - усі, крім прецизійних; - прецизійні		0,08 0,20

Для малопотужних резисторів (максимальна потужність розсіювання $P_{\max} < 1$ Вт) температура корпусу T прирівнюється до температури навколишнього середовища.

Коефіцієнт K_p , що враховує вплив потужності розсіювання, визначають за формулою

$$K_p = (P_{роб})^{0,39}, \quad (2.86)$$

де $P_{роб}$ – потужність розсіювання резистора в робочому режимі, Вт.

Таблиця 2.46

Розрахунок коефіцієнта K_S в залежності від
електричного навантаження резистора

Група резисторів	Формула розрахунку K_S	Пояснення
1. Постійні плівкові, в т.ч. поверхневого монтажу 2. Постійні дрітняні, крім потужних 3. Змінні дротові 4. Змінні недротяні	$K_S = 0,71 \cdot e^{1,1 \cdot S}$	S – коефіцієнт електричного навантаження: $S = \frac{P_{роб}}{P_{max}},$ де $P_{роб}$ – робоча (фактична) потужність розсіювання резистора, Вт; P_{max} – максимальна потужність розсіювання резистора при даній температурі, Вт.
5. Постійні дрітняні потужні 6. Збірки резисторні, в т.ч. поверхневого монтажу	$K_S = 0,54 \cdot e^{2,04 \cdot S}$	
7. Терморезистори	$K_S = 1$	–

Залежність максимальної потужності розсіювання P_{max} від температури наводиться в специфікаціях на резистори.

Таблиця 2.47

Значення коефіцієнта впливу якості виготовленн K_Q
для резисторів

Рівень якості	Літерне позначення рівня якості	K_Q	Приблизна відповідність вітчизняним видам приймання
1	2	3	4
Вироби з прийманням Military з опублікованим рівнем якості, виготовлені відповідно до: MIL-PRF-39017, MIL-PRF-39005, MIL-PRF-39007, MIL-PRF-39009,	S	0,03	«9»
	P	0,1	«9»
	R	0,3	«7»
	M	1	«5»

Продовження таблиці 2.47

1	2	3	4
MIL-PRF-23648, MIL-PRF-39015, MIL-PRF-39035, MIL-PRF-914, MIL-PRF-55182, MIL-PRF-55342			
Вироби з прийманням Military з неопублікованим рівнем якості	–	3	«3»
Вироби з більш низьким рівнем якості	–	10	«1»

2.3.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Друкована плата двошаровий з металізованими наскрізними отворами. Загальна кількість отворів на друкованій платі 853, з них металізацію мають 505 отворів. Електричне з'єднання модуля з РЕП, в складі якого він буде функціонувати, здійснюється за допомогою з'єднувача типу СНП34. Рівень якості елементів (компонентів), які використовуються в модулі, відповідає прийманню «1» – приймання ВТК. Модуль призначений для експлуатації в складі рухомої апаратури категорії виконання УХЛІ 2.1 за ГОСТ 15150-69. Заданий час роботи, вказаний замовником, становить $t_p = 1000$ год. Показники безвідмовності – T_0 , $P(t_p)$ та T_γ при $\gamma = 95\%$.

Припускаємо, що в нашому розпорядженні є карти електричних режимів роботи елементів модуля та результати теплового розрахунку РЕП, в складі якого буде функціонувати модуль:

- перегрів в нагрітій зоні $\Delta t_z = 15$ °С;
- середній перегрів повітря в РЕП $\Delta t_B = 15$ °С.

Схемотехнічне рішення модуля таке, що ІМС працюють в типових електричних режимах, а інформація про елементи (компонентах), що входять в модуль, відповідає табл. 2.48, де корпуси використовуваних ІМС та НПП – пластмасові, технологія виготовлення ІМС – не комплементарна структура МОП, з урахуванням металізованих отворів (МО).

Таблиця 2.48

Елементи і компоненти, що входять до модуля

Елемент, компонент	Позиційне позначення	Тип	Функці- ональне призначен- ня	Кількість	Примітка
ІМС	DA1	KP512PC11	Перетворю- вач частоти	1	5652 елемента
ІМС	DD1	KP533AG3	Пристрій для формування імпульсів	1	238 елементів
ІМС	DD2 – DD11	KP533IK4	Комбінова- на цифрова ІС	10	2200 елементів
ІМС	DD12 – DD17	KP533IP28	Регістр	6	560 елементів
МС	DD18 – DD23	KP533IE17	Лічильник	6	455 елементів
ІМС	DD24	KP541PY5	ОЗУ	1	8192 біт
ІМС	DD25	KP541PT2	ПЗУ	1	16384 біт
Діоди імпульсні	VD1 – VD12	КД520А	Перемикаю- чий режим роботи	12	$I_{нр.ср} \max TV < 1A$ $U_{обр} = 60 В,$ $K_H^{(U)} < 0,6$
Тиристор	VS1	КУ709Г2	Сімістор	1	$I_{нр.ср} \max TV = 10 А$
Біполярні транзит- тори	VT1 – VT12	КТ3130А	Перемикаю- чий режим роботи	12	Потужність до 1 Вт, $K_H^{(U)} < 0,5$
Конден- сатори керамічні	C1 – C30	К10–73	–	30	$C = 0,01$ мкФ, $U = 100 В$
Резистори	R1 – R52	C2–34	Постійні, металодіе- лектричні	52	$P_{ном} = 0,125$ Вт, $R < 1$ кОм; допуск $\pm 10\%$

Продовження таблиці 2.48

1	2	3	4	5	6
Резистори	R53 – R54	C2–23	Теж саме	2	$P_{ном} = 1$ Вт, $R < 1$ кОм; допуск $\pm 10\%$
З'єднувач (Розетка)	XS1	СНП34	–	1	135 конт., $t_{II} = 30$ °С, $n \approx 200$ за час t_p
Кварцовий резонатор	Q1	PK371	–	1	$f = 1048,576$ к Гц
МО, пропаяні хвилею	–	–	–	489	Кількість отворів N_1
МО, пропаяні ручним способом	–	–	–	16	Сторона установки елементів, кількість отворів N_2
З'єднання за допомогою пайки хвилею	–	–	–	348	Додатково до МО, пропаяне хвилею

Розв'язок:

Знаходимо коефіцієнти електричного навантаження елементів, користуючись картами електричних режимів та експлуатаційними електричними характеристиками елементів, які використовуються в модулі.

Визначаємо максимальну температуру елементів модуля при його роботі в складі РЕП. Для врахування впливу температури на експлуатаційну інтенсивність відмов елементів λ_E прийнято до уваги верхнє значення граничної робочої температури ($t_{роб.маx} = +45$ °С), відповідне РЕП виконання УХЛ 2.1 за ГОСТ 15150-69, та можливе збільшення граничної робочої тем-

ператури на значення $\Delta t_C = 10$ °C за рахунок нагріву (сонячними променями) РЕП та, отже, модуля в складі РЕП. Розрахунок експлуатаційної безвідмовності елементів модулю також заносяться у таблицю. Гранична робоча температура $t_{ел. max}$ теплонавантажених елементів (ІМС, транзистори, діоди, могутні резистори) визначена як

$$t_{ел. max} = (t_{роб. max} + \Delta t_C) + \Delta t_3 = (45 + 10) + 15 = 70 \text{ °C},$$

де Δt_3 – перегрів в нагрітій зоні конструкції РЕП.

Нагріта зона – це гіпотетичний обсяг, в якому умовно розсіюється вся теплова енергія, що виділяється елементами РЕП. Значення величини $t_{ел. max}$ для нетеплонавантажених елементів (конденсатори, слабонавантажені резистори, з'єднувач, кварцовий резонатор) підраховано як

$$t_{ел. max} = (t_{роб. max} + \Delta t_C) + \Delta t_B = (45 + 10) + 10 = 65 \text{ °C},$$

де Δt_B – середній перегрів повітря всередині конструкції РЕП.

В останньому стовпці значення $\lambda_{Ej} n_j = (\lambda_{Bj} \prod_i K_i) n_j$, де

i вказує врахований фактор, j – групу однотипних елементів.

Знаходимо довідкові значення інтенсивностей відмов елементів модуля. Отримані дані внесені в таблиці.

Обираємо математичні моделі розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов елементів λ_E . Обрані моделі також записані в таблиці.

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів, що входять в обрані моделі розрахунку експлуатаційної інтенсивностей відмов елементів λ_E .

Значення поправочного коефіцієнту

Позиційне значення	Значення поправочного коефіцієнту																
	K _{ГС}	K _Р	K _t	K _{порт}	K _V	K _Ф	K _Д	K _U	K _C	K _R	K _M	K _Δ	K _K	K _п	K _E	K _П	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
DA1	4,25		2,82	3	1										2	5,5	
DD1	1,62		2,57	3	1										2	5,5	
DD2-DD11	3,08		2,57	3	1										2	5,5	
DD12-DD17	2,08		2,57	3	1										2	5,5	
DD18-DD23	1,96		2,57	3	1										2	5,5	
DD24	2,13		2,57	3	1										2	5,5	
DD25	3,33		2,57	3	1										2	5,5	
VD1-VD12		0,26				0,6	0,6	0,7							3	8	
VS1		0,24					6								1,7	8	
VT1-VT12		0,25				0,7	0,5	0,5							4	8	
C1-C30		0,12							1,21						3	5	
R1-R52		0,48								1	0,7	1			3	3	
R53-R54		1,03								1	1,5	1			АКТИВІЗАЦІЯ ЗІПІТ-3 Щоб фактично повзати Міндітс	3,5	
XS1		3,90													43,08	0,56	2,5
Q1			1,97												1,7	9	
Друкowana плата 3			3,44												3	5	
МО																	
З'єднання ХВІЛЬОВОЮ ПАЙКОЮ			3,44												3	5	

Позитивні значення	Кількість n_j	K_H	$\lambda_B, \times 10^{-6} / \text{год}$	Вигляд математичної моделі розрахунку λ_E	$\prod K_i$	$\lambda_E n_j, \times 10^{-6} / \text{год}$
1	2	3	4	5	6	7
DA1	1	-	0,028	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	395,5050	11,0741
DD1	1	-	0,023	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	137,3922	3,1600
DD2-DD11	10	-	0,023	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	261,2148	60,0794
DD12-DD17	6	-	0,023	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	176,4048	24,9394
DD18-DD23	6	-	0,023	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	166,2276	22,9394
DD24	1	-	0,030	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	180,6453	5,4194
DD25	1	-	0,018	$\lambda_E = \lambda_B K_I K_{IC} K_{корнт} K_{\Gamma} K_E K_{\Pi}$	282,4173	5,0835
VD1-VD12	12	0,4	0,025	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_{\Phi} K_{\Delta} K_U K_E K_{\Pi}$	1,5725	0,4717
VS1	1	0,3	0,2	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_{\Delta} K_E K_{\Pi}$	19,5840	3,9168
VT1-VT12	12	0,2	0,044	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_{\Phi} K_{\Delta} K_U K_E K_{\Pi}$	AK1,4000,3	V0,7392/VS
C1-C30	30	0,1	0,022	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_C K_E K_{\Pi}$	2,1780	1,4375
R1-R52	52	0,1	0,044	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_R K_M K_{\Delta} K_E K_{\Pi}$	3,0240	6,9189
R53-R54	2	0,6	0,044	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_R K_M K_{\Delta} K_E K_{\Pi}$	13,9050	1,2236
XS1	1	0,2	0,0041	$\lambda_E = \lambda_B K_p K_K K_n K_E K_{\Pi}$	470,4336	1,9288
Q1	1	-	0,026	$\lambda_E = \lambda_B K_l K_E K_{\Pi}$	30,1410	0,7837
Друківана плата 3 МО	$N_1 = 489$ $N_2 = 16$	-	$17 \cdot 10^{-6}$	-	51,6000	0,6254
З'єднання хвильовою паїчкою	348	-	$69 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_E = \lambda_B K_l K_E K_{\Pi}$	51,6000	1,2390

Для кожного елемента знаходимо добуток поправочних коефіцієнт і значення експлуатаційної інтенсивності відмов λ_E . Для зручності розрахунку елементи одного функціонального призначення з приблизно однаковими електричними режимами, конструктивно-технологічними та іншими факторами об'єднані в одну групу. Значення сумарної експлуатаційної інтенсивності відмов елементів групи ($\lambda_{E\Sigma}$) отримано як

$$\lambda_{E\Sigma} = \lambda_{Ej} \cdot n_j = \left(\lambda_{Bj} \prod_i K_i \right) n_j,$$

де λ_{Ej} - експлуатаційна інтенсивність відмов елементів j -ої групи;

n_j - кількість елементів в j -ій групі.

Якщо в групі один елемент ($n_j=1$), то для неї $\lambda_{E\Sigma} = \lambda_{Ej}$.

Результати розрахунків етапу внесені в два останніх стовпця таблиць.

Визначаємо експлуатаційну інтенсивність відмов друкованої плати з урахуванням спільно з металізованими отворами. Значення коефіцієнта K_i визначаємо при значенні $t_{om} = 65^\circ C$. З огляду на, що для одно- та двосторонніх друкованих плат коефіцієнт $K_{CП} = 1$, отримуємо

$$\lambda_E = 0,000017 \cdot 10^{-6} \cdot [489 \cdot 1 + 16(13 + 1)] \cdot 3,44 \cdot 3 \cdot 5 \approx 0,6254 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год.)}$$

Використана для розрахунку модель поширюється тільки на з'єднання (пайку) в металізованих отворах. Пайка на друкованій платі в неметалізованих отворах повинна враховуватися окремо.

Друкована плата як компонент конструкції модуля утворює окрему групу, для неї $\lambda_{E\Sigma} = \lambda_E$. Значення записуємо в останній стовпець таблиці.

Визначаємо загальну експлуатаційну інтенсивність відмов з'єднань хвильовою пайкою для отворів, де немає металізації, і результат заносимо в останній стовпець таблиці

$$\begin{aligned}\lambda_{E\Sigma} &= 348\lambda_B K_t K_E K_{II} = \left| \lambda_B = 0,000069 \cdot 10^{-6} \right| = \\ &= 348 \cdot 3,44 \cdot 0,000069 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 5 \approx 1,2390 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год)}.\end{aligned}$$

Підраховуємо експлуатаційну інтенсивність відмов модуля (Λ_M). Для цього підсумуємо значення, наведені в останньому стовпчику таблиці

$$\Lambda_M = 151,3843 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год)}.$$

У припущенні експоненціального закону надійності знаходимо розрахункові значення інших показників безвідмовності:

- напрацювання на відмову

$$T_0 = 1 / \Lambda_M \approx 6605,7 \text{ (год)};$$

- ймовірність безвідмовної роботи за час $t_p = 1000$ год

$$P_M(t_p) = e^{-t_p/T_0} \approx 0,86;$$

- гамма-відсоткове напрацювання до відмови при $\gamma = 95\%$

$$T_\gamma = -T_0 \ln(\gamma / 100) = -6605,7 \cdot \ln 0,95 \approx 338,8 \text{ (год)}.$$

Для друкованої плати використана модель, що враховує пайки наскрізних металізованих отворів.

2.3.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Провести розрахунок показників безвідмовності функціонального модуля, виконаного з використанням друкованого монтажу відповідно до варіантів, вказаних у додатку Б. Номер варіанту відповідає останній цифрі заліковій книжці.

2.4. Розрахунок показників технологічності друкованих плат

2.4.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників технологічності друкованих плат

Окрім забезпечення високого рівня вже розглянутих показників якості виробів радіоелектронного приладобудування необхідно також враховувати забезпечення *технологічності конструкції*, яка є одним із найважливіших параметрів, що визначає більшість експлуатаційних, конструкторських та економічних показників радіоелектронних приладів.

Технологічність конструкції – це сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються в можливості оптимальних витрат праці, коштів, матеріалів і часу під час технічної підготовки виробництва, виготовлення, експлуатації і ремонту виробу порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення за умови забезпечення встановлених значень показників якості в регламентованих умовах виробництва.

Під регламентованими умовами виробництва мають на увазі тип виробництва, спеціалізацію й організацію виробництва, річний обсяг випуску, повторюваність випуску та технологічні процеси, що були застосовані.

Забезпечення технологічності конструкції виробу – функція підготовки виробництва, що передбачає взаємозалежне вирішення конструкторських і технологічних задач, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних матеріальних і трудових витрат, і скорочення часу на виробництво, технічне обслуговування і ремонт виробу.

Існують наступні *види технологічності конструкції* виробу:

- виробнича – відповідає етапу виробництва виробу;
- експлуатаційна – відповідає етапу експлуатації і поточного ремонту виробу;
- ремонтна – відповідає усім вимогам ремонту, крім поточного.

Для забезпечення технологічності конструкції виробу передбачене виконання таких заходів:

- відпрацьовування конструкції виробу на технологічність на всіх стадіях розробки, під час технологічної підготовки виробництва і, у разі необхідності, під час виготовлення виробу;
- удосконалення умов виконання робіт під час виробництва, експлуатації та ремонту виробів і фіксація прийнятих рішень у технологічній документації;
- кількісна оцінка технологічності конструкції виробів;
- технологічний контроль конструкторської документації;
- підготовка і внесення змін у конструкторську документацію за результатами технологічного контролю, що забезпечують досягнення базових показників технологічності.

Відпрацьовування конструкції на технологічність здійснюється спільно розроблювачами конструкторської і технологічної документації, підприємствами-виготовлювачами виробу і представниками замовника (фахівцями з технічного обслуговування і ремонту виробів).

На стадії *технологічної підготовки виробництва* існують такі вимоги до технологічності конструкції:

- конструкція деталі повинна складатися зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів або бути стандартною в цілому;
- деталі повинні виготовлятися зі стандартних чи уніфікованих заготовок;
- розміри і поверхні деталі повинні мати оптимальні точність і шорсткість;

- фізико-хімічні і механічні властивості деталей повинні відповідати вимогам технології виготовлення;
- показники базової поверхні (точність, шорсткість) деталі мають забезпечувати точність установа, оброблення та контролю;
- заготовки повинні бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;
- метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;
- сполучення поверхонь різних класів точності та шорсткості мають відповідати методам і засобам обробки, що були застосовані;
- конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових і стандартних ТП виготовлення.

На практиці застосовують декілька видів оцінки технологічності конструкції виробу:

- *якісна* – проводиться на початковому етапі за двобальною системою: відповідає, чи не відповідає;
- *кількісна* – проводиться з метою визначення показників технологічності.

Послідовність робіт під час оцінки технологічності конструкції виробу наступна:

- розрахунок показників технологічності конструкції;
- визначення показників рівня технологічності конструкції виробу;
- розробка рекомендацій з поліпшення показників технологічності конструкції виробу;
- внесення змін у конструкцію з метою забезпечення технологічності.

Значення комплексного показника технологічності, що є більшим одиниці, показує правильність розробки схеми електричної принципової виробу, підбору ЕРЕ та доцільність подальшої розробки автоматизованого ТП, його виготовлення. Комплексний показник технологічності включає до себе 7 основних

показників технологічності (табл. 2.48), кожен з яких має свою вагову характеристику φ_i (ступінь впливу)

$$K = \frac{\sum_{i=1}^7 K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^7 \varphi_i}, \quad (2.87)$$

де K_i – основні показники технологічності конструкції.

Таблиця 2.48

Показники технологічності конструкції

Показники технологічності	Позначення	Ступінь впливу
Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозбірок	$K_{B.MC}$	1,0
Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	K_{AM}	1,0
Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки ЕРЕ	$K_{AM EPE}$	0,75
Коефіцієнт автоматизації і механізації контролю налаштування	$K_{AM KH}$	0,5
Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ	$K_{П EPE}$	0,31
Коефіцієнт застосовності ЕРЕ	$K_{З EPE}$	0,187
Коефіцієнт прогресивності формоутворення	K_{ϕ}	0,11

Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозбірок розраховується за формулою

$$K_{B.MC} = \frac{H_{MC}}{H_{MC} + H_{EPE}}, \quad (2.88)$$

де H_{MC} – загальна кількість мікросхем і мікрозбірок у модулі, шт.;

H_{EPE} – загальна кількість ЕРЕ, шт.

Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу

$$K_{AM} = \frac{H_{AM}}{H_M}, \quad (2.89)$$

де H_{AM} – кількість монтажних з'єднань, які здійснюються механізованим і автоматизованим способом, шт.;

H_M – загальна кількість монтажних з'єднань, шт.

Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки ЕРЕ

$$K_{AMEPE} = \frac{H_{AMEPE}}{H_{EPE}}, \quad (2.90)$$

де H_{AMEPE} – кількість ЕРЕ, підготовка яких до монтажу може здійснюватися механізованим і автоматизованим способом, шт.

Коефіцієнт автоматизації і механізації контролю налаштування

$$K_{AMKH} = \frac{H_{AMKH}}{H_{KH}}, \quad (2.91)$$

де H_{AMKH} – кількість операцій контролю і налаштування, які здійснюються автоматизованим способом. У число таких операцій включаються і операції, які не потребують застосування засобів механізації та автоматизації;

H_{KH} – загальна кількість операцій контролю і налаштування.

Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ

$$K_{П\text{ЕРЕ}} = \frac{H_{Т\text{ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}}, \quad (2.92)$$

де $H_{Т\text{ЕРЕ}}$ – загальна кількість типорозмірів ЕРЕ в модулі.

Коефіцієнт застосовності ЕРЕ

$$K_{З\text{ЕРЕ}} = 1 - \frac{H_{ОТ\text{ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}}, \quad (2.93)$$

де $H_{ОТ\text{ЕРЕ}}$ – кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у модулі.

Коефіцієнт прогресивності формоутворення

$$K_{\Phi} = \frac{D_{ПД}}{D}, \quad (2.94)$$

де $D_{ПД}$ – кількість деталей, отриманих прогресивними методами формоутворення (шт.ампуванням, пресуванням, литтям під тиском і т.п.), шт.;

D – загальна кількість деталей (без нормалізованого кріплення) в блоці (виробі), шт.

Рівень технологічності залежить від комплексного показника технологічності і базового коефіцієнта технологічності, який залежить від класу блоку і типу виробництва. Для різних класів блоків і типів виробництва значення базового коефіцієнта технологічності вказані в табл. 2.49.

Таблиця 2.49.

Базові коефіцієнти технологічності

Класи блоків	Дослідний зразок	Серійне виробництво
Електронні	0,40-0,70	0,50-0,80
Електромеханічні і механічні	0,30-0,50	0,45-0,60
Радіотехнічні	0,40-0,60	0,80-0,85

Рівень технологічності виробу визначається за формулою

$$K_P = \frac{K}{K_B}. \quad (2.95)$$

Якщо значення $K_P > 1$, це свідчить про те, що конструкція технологічна. Значить, розробка схеми електричної принципової та підбір елементної бази виконано вірно, розробка автоматизованого ТП для даного пристрою актуальна.

2.4.2. Приклади розв'язання задач*Задача 1.*

Визначити загальний рівень технологічності друкованого модулю, що має у своєму складі наступні ЕРЕ, які наведені у табл. 2.50. Клас блоків для даного модуля – електронні, тип виробництва – серійне.

Таблиця 2.50.

Типи ЕРЕ та кількість їх виводів

Найменування	Кількість	Кількість виводів
1	2	3
Конденсатори	7	14
Резистори	6	12
Мікросхеми	4	47
Дросель	1	2
Діоди	6	12

Продовження табл. 2.50.

1	2	3
Транзистори	2	4
З'єднувачі	10	23
Загалом	36	114

Розв'язок:

Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозбірок складає

$$K_{BMC} = \frac{4}{4 + 36} = 0,1.$$

Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки ЕРЕ

$$K_{AMEPE} = \frac{36}{36} = 1$$

Коефіцієнт автоматизації і механізації контролю налаштування

$$K_{AMKH} = \frac{4}{4} = 1.$$

Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ

$$K_{PEPE} = \frac{19}{36} = 0,53.$$

Коефіцієнт застосовності ЕРЕ

$$K_{3EPE} = 1 - \frac{0}{36} = 1.$$

Коефіцієнт прогресивності формування

$$K_{\Phi} = \frac{10}{10} = 1.$$

Тоді, комплексний показник технологічності дорівнює

$$K = \frac{0,1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,75 + 1 \cdot 0,5 + 0,53 \cdot 0,31 + 1 \cdot 0,187 + 1 \cdot 0,4}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,4} = 0,75 \cdot$$

З урахуванням зазначеного класу та типу виробництва базовий коефіцієнт технологічності K_B приймемо рівним 0,6.

Рівень технологічності виробу складає

$$K_P = \frac{0,75}{0,6} = 1,25$$

Виконується умова $K_P = 1,25 > 1$, що свідчить про те, що конструкція технологічна. Значить, розробка схеми електричної принципової та підбір елементної бази виконано вірно, розробка автоматизованого ТП для даного пристрою актуальна.

2.4.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Визначити загальний рівень технологічності конструкції модулю за варіантом, що відповідає останній цифрі залікової книжки. Варіанти завдань для самостійного розв'язання наведені в додатку Б.

3. РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУЧАСНИХ ВИРОБНИЦТВ

3.1. Розрахунок загальних показників обладнання сучасних автоматизованих виробництв

3.1.1. Теоретичні відомості з розрахунку загальних показників обладнання сучасних автоматизованих виробництв

Автоматизація виробничих процесів, як правило, пов'язана з великими капітальними вкладеннями, має мету – підвищення продуктивності праці, якості продукції, що випускається за рахунок виключення суб'єктивного фактора, скорочення кількості обслуговуючих робітників у порівнянні з неавтоматизованим виробництвом.

Рівень і способи автоматизації залежать від виду, типу виробництва й оснащеності його технічними засобами.

Вид виробництва – класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознакою застосовуваного методу виготовлення продукції.

Тип виробництва – класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції.

Основними типами виробництва є:

- *одиничне виробництво* – тип виробництва, що характеризується малим обсягом випуску однакової продукції, повторне виготовлення якої, як правило, не передбачається;
- *серійне виробництво* – тип виробництва, що характеризується одночасним виготовленням на підприємстві обмеженої номенклатури однорідної продукції, випуск якої періодично повторюється протягом тривалого періоду;
- *масове виробництво* – виробництво, що характеризується великим обсягом випуску виробів, що безперервно виготовляються або ремонтуються тривалий час, протягом якого на більшості робочих місць виконується одна робоча операція.

Технологічні характеристики різних типів виробництва наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Технологічні характеристики типів виробництва

Характерна ознака	Тип виробництва		
	Одиничне	Серійне	Масове
Кількість виробів, що випускаються	1-5 шт.	Дрібносерійне 5-25 шт. Середньoserійне 25-100 шт. Крупносерійне >100 шт.	Більше 1000 шт.
Повторюваність партій	Відсутня	Періодична	Безперервний випуск тих самих виробів
Устаткування	Універсальне	Універсальне і періодично спеціалізоване	Спеціальне і спеціалізоване
Метод досягнення точності	Індивідуальний пригін	Часткова взаємозамінність	Повна взаємозамінність
Вид нормування роботи	Укрупнене нормування	Технічне нормування серійного виробництва	Детальне нормування, хронометраж
Характер технологічних розробок	Маршрутні карти	Детальні технологічні розробки (маршрутні й операційні карти)	Операційні карти
Інструмент	Універсальний	Спеціалізований	Спеціальний

Одна із основних характеристик типу виробництва – коефіцієнт закріплення операцій (коефіцієнт серійності), що визначається за формулою

$$K_c = \frac{m \cdot n}{p} \quad (3.1)$$

де p – число робочих місць;

m – середня кількість операцій, які виконуються при виготовленні кожної деталі;

n – кількість деталей в партії, яка обробляється, чи

$$K_c = \frac{K_o}{n_p}, \quad (3.2)$$

де K_o – кількість технологічних операцій у технологічному процесі виготовлення виробу;

n_p – кількість робочих місць, необхідних для виконання операції.

Кількість технологічних операцій (K_o), необхідних для повного виготовлення виробу, визначається з конструктивно-технологічного аналізу конструкторської документації на виріб.

Кількість робочих місць (n_p) визначається за співвідношенням

$$n_p = \frac{A \sum_{i=1}^{K_o} T_{um.i}}{60 \cdot K \cdot \Phi_\delta}, \quad (3.3)$$

де A – річний обсяг випуску виробів, шт.;

$T_{um.i}$ – трудомісткість i -ї технологічної операції, хв;

K_o – кількість технологічних операцій;

K – коефіцієнт виконання норм у процесі виготовлення виробу;

Φ_δ – дійсний річний робочий фонд часу, год

При $K_c \leq 1$ – тип виробництва належить до масового;

$K_c > 1$ – відповідає серійному виробництву;

$K_c \gg 1$ – відповідає одиничному виробництву.

Засоби виробництва за своїми функціональними можливостями і рівнем автоматизації поділяються на дві полярні групи:

- універсальне устаткування з ручним керуванням, що забезпечує найбільшу гнучкість виробництва (наприклад, універсальні верстати, які можуть бути пристосовані до випуску практично будь-якої продукції, але мають низьку продуктивність і потребують постійної присутності робітника-верстатника);
- автоматичні лінії з жорсткою програмою робіт, які забезпечують найбільш високу продуктивність праці, найменше залучення робочої сили і високу стабільність якості, але вони менше пристосовані до зміни продукції, що випускається.

Інше устаткування займає проміжне положення.

З погляду розв'язуваних задач можливо виділити п'ять рівнів автоматизації.

Перший рівень – автоматизація циклу обробки. Вона полягає в керуванні послідовністю і характером рухів робочого інструмента з метою одержання заданої форми, розмірів і якості поверхні оброблюваної деталі.

Другий рівень – автоматизація завантаження-вивантаження (операцій встановлення і зняття деталі з верстата). Це дуже ефективна область автоматизації, що дозволяє робітнику обслуговувати декілька технологічних одиниць устаткування, тобто перейти до багатOVERстатного обслуговування.

Другий рівень автоматизації в основному забезпечується створенням роботизованих технологічних комплексів, у яких робот обслуговує одну чи кілька одиниць технологічного устаткування.

Третій рівень – автоматизація контролю, що раніше виконувався верстатником. Зокрема, контролю:

- стану інструменту і своєчасної його заміни;
- якості оброблюваних деталей (розмірів, шорсткості поверхні);
- стану верстата і видалення стружки, а також ходу ТП і

його підналагодження (адаптивне керування).

Автоматизація вищезгаданих функцій додатково звільняє людину від постійного зв'язку з верстатом і дозволяє розширити сферу обслуговування устаткування одним робітником.

Третій рівень автоматизації забезпечується створенням адаптивних робототехнічних комплексів (РТК) і гнучких виробничих модулів, що являють собою комплекс, до складу якого входять багатоопераційний верстат, пристрої прийому і переміщення супутників (палет), промислові роботи (ПР), пристрої контролю, діагностування, підналагодження, інші допоміжні механізми та пристрої. Керування комплексом здійснюється за допомогою загального пристрою керування.

Четвертий рівень автоматизації – автоматичне переналагодження устаткування. На існуючому устаткуванні в основному переналагодження здійснюється вручну і займає значну частину календарного часу (від декількох годин до цілої зміни і більше). Чим частіше потрібно переналагодження (за умовами виробництва), тим більший час втрачається. Тому однією з важливих задач на сучасному етапі є удосконалення систем переналагодження устаткування.

Устаткування з автоматичним переналагодженням забезпечує ритмічність роботи складальних цехів, скорочує обсяг незавершеного виробництва і значно зменшує виробничий цикл виготовлення виробів.

П'ятий рівень автоматизації – гнучкі виробничі системи (ГВС), що здатні забезпечити комплексну автоматизацію всіх ланок виробничого процесу, включаючи процеси виготовлення і керування, підготовку виробництва, розробку необхідної конструкторсько-технологічної документації і планування.

В умовах масового виробництва ГВС можуть включати автоматизовані лінії, які допускають переналагодження з метою забезпечення виготовлення невідомих заздалегідь конструктивних модифікацій виробів, а в умовах серійного виробництва – автоматизовані ділянки, роботизовані комплекси, технологічні модулі і т. ін.

Підвищення рівня автоматизації устаткування, що застосовується, тісно пов'язане зі зростанням рівня організації усього виробництва на даному підприємстві. Ізольований гнучкий виробничий модуль чи верстат із числовим програмним керуванням (ЧПК), як правило, не дає бажаного ефекту при одиночному використанні на підприємстві, де не застосовують інші верстати з ЧПК, оскільки вся система організації виробництва в цьому разі не відповідає вимогам, які б забезпечили ефективне використання нової високопродуктивної техніки.

Перспективним є створення на базі гнучких виробничих модулів, гнучких автоматизованих ліній і гнучких автоматизованих центрів, гнучких автоматизованих виробництв із повним циклом виготовлення і самовідновлення.

Автоматизація з точки зору повноти охоплення і стадії вирішуваних завдань поділяється на:

- часткову;
- комплексну;
- повну.

Часткова автоматизація по стадії розв'язуваних завдань – початкова, але наступна після повної механізації ТП. По повноті охоплення – автоматизація окремих технологічних операцій за умови, що інша частина всіх операцій виконується робітником.

Вища форма автоматизації виробництва на початковій стадії: автоматичні лінії з напівавтоматів, де основні технологічні операції (процеси) виконуються автоматично, а міжстаночне транспортування, накопичення заготовок, операції завантаження-вивантаження, контроль якості, видалення відходів виконуються вручну.

Комплексна автоматизація виробництва радіоелектронних приладів припускає передачу керування всім комплексом виробничих операцій від людини засобом обчислювальної техніки, при виробництві певного виду продукції в рамках виробничої системи – лінії, ділянки, цеху, підприємства, що розглядається як єдиний, взаємопов'язаний автоматичний комплекс.

При цьому на технологічному обладнанні, що використовується, всі операції як основні, так і допоміжні, виконуються автоматично.

В обов'язки людини входить налаштування обладнання, включення і контроль за ходом процесу.

Повна автоматизація виробництва – вища форма автоматизації, при якій всі функції керування і контролю виробничим процесом покладено на автоматизовану систему управління.

Рівень автоматизації та механізації виробництва можливо визначити за наступним виразом

$$P_a = \frac{\Sigma \mathcal{C}_{м.п.} \cdot K \cdot M \cdot \Pi}{\Sigma \mathcal{C}_p \cdot K \cdot M \cdot \Pi + \Sigma \mathcal{C}_p \cdot \left(\frac{1 - P_A}{100} \right)}, \quad (3.4)$$

де $\Sigma \mathcal{C}_{м.п.}$ – кількість робітників, які зайняті автоматизованою працею;

$\Sigma \mathcal{C}_p$ – загальна кількість робітників;

K – коефіцієнт автоматизації, що дорівнює відношенню машинних витрат B_m до загальних витрат часу B_t

$$K = \frac{B_m}{B_t}; \quad (3.5)$$

M – коефіцієнт обслуговування, який виражає кількість одиниць устаткування, що обслуговується одним робітником;

Π – коефіцієнт продуктивності устаткування, який визначається відношенням трудомісткості виготовлення деталі на універсальному устаткуванні та трудомісткості виготовлення на діючому устаткуванні

$$\Pi = \frac{T_y}{T_d}, \quad (3.6)$$

U_A – загальний рівень автоматизованої праці на виробництві.

Виробничий цикл – це календарний період часу, протягом якого матеріал, заготовка або інший предмет, що оброблюється, проходить всі операції виробничого процесу, або певної його частини і перетворюється в готову продукцію. Він виражається в календарних днях або при малій трудомісткості виробу – в годинах.

Виробничий цикл розраховується, як сума часу технологічної обробки виробу (елементу виробу) часу технологічного обслуговування виробництва та тривалості перерв

$$T_{\text{ц}} = T_p + T_o + T_n, \quad (3.7)$$

де T_p – час технологічного оброблення елемента (деталі, заготовки);

T_o – час технологічного обслуговування виробництва;

T_n – тривалість перерв.

Розрізняють декілька типів переміщення предметів праці в умовах автоматизованих виробництв – послідовне та паралельне.

Тривалість виробничого циклу при послідовному переміщенні предметів праці

$$T_{\text{ц(посл)}} = n \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{C_i}, \quad (3.8)$$

де n – кількість деталей у партії;

t_i – норма часу на операції;

C_i – кількість робочих місць.

Тривалість виробничого циклу при паралельному переміщенні предметів праці

$$T_{ц(посл)} = p \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{c_i} + \frac{(n-p) \cdot t_{max}}{c_{max}}, \quad (3.9)$$

де p – розмір транспортної партії, шт.;

t_{max} – час виконання найбільш тривалої операції, хв;

c_{max} – кількість робочих місць для виконання найбільш тривалої операції.

Такт потокової лінії – інтервал часу між послідовним випуском двох однойменних одиниць продукції потокової лінії. Він розраховується як відношення планового фонду часу роботи лінії за розрахунковий період до обсягів випуску продукції за той самий період

$$r = \frac{\Phi_e}{A}, \quad (3.10)$$

де Φ_e – плановий фонд часу роботи лінії за розрахунковий період;

A – обсяги випуску продукції за той самий період.
Темп потокової лінії

$$T = \frac{60}{r}. \quad (3.11)$$

Швидкість конвеєру у загальному випадку розраховується як відношення відстані між двома сусідніми виробами, що рухаються конвеєром, до його такту

$$V_k = \frac{L}{r}, \quad (3.12)$$

Кількість деталей, що одночасно перебувають на конвеєрі

$$K = \frac{D}{r}, \quad (3.13)$$

де K – кількість деталей, які одночасно перебувають на конвеєрі;

D – тривалість циклу.

3.1.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Визначити тип виробництва за наступними умовами: технологічний процес загального виготовлення виробу включає до себе 8 технологічних операцій загальною трудомісткістю 383 години; коефіцієнт виконання норм у процесі виготовлення виробу дорівнює 0,9; дійсний річний робочий фонд часу складає 3968 годин; річний випуск виробів на підприємстві – 150 тисяч приладів.

Розв'язок:

Кількість робочих місць на вказаному підприємстві дорівнює

$$n_p = \frac{150000 \cdot 383}{60 \cdot 0,9 \cdot 3968 \cdot 60} = \frac{45960000}{214272} = 4,46.$$

Відповідно, коефіцієнт серійності дорівнює

$$K_c = \frac{8}{4,46} 1,79.$$

Отримані результати задовольняють умові $K_c > 1$, що є характерним для серійних виробництв.

Задача 2.

Визначити рівень автоматизації виробництва, на якому задіяно 72 одиниць устаткування, працюють 180 робітників, 120 з яких зайняті виключно автоматизованою працею. Коефіцієнт автоматизації відповідно до розглянутого підприємства дорівнює 0,85. Коефіцієнт продуктивності устаткування дорівнює – 0,82. Загальний рівень автоматизованої праці дорівнює 72%.

Розв'язок:

Узагальнено коефіцієнт обслуговування для заданих умов дорівнює

$$M = \frac{180}{72} = 2,5.$$

Рівень автоматизації виробництва дорівнює

$$P_a = \frac{120 \cdot 0,85 \cdot 2,5 \cdot 0,82}{180 \cdot 0,85 \cdot 2,5 \cdot 0,82 + 180 \cdot \left(\frac{1 - 0,72}{100} \right)} = 0,67$$

Задача 3.

Визначити тривалість технологічного циклу обробки партії деталей з 40 шт.ук при послідовному поєднанні чотирьох технологічних операцій, якщо тривалість виконання операцій t має наступні значення: $t_1 = 16$ хв; $t_2 = 20$ хв; $t_3 = 15$ хв; $t_4 = 10$ хв. Перша технологічна операція виконується на двох верстатах, решт.а на одному.

Розв'язок:

Тривалість технологічного циклу обробки за умови послідовного поєднання

$$T_u = 40 \cdot \left(\frac{16}{2} + \frac{20}{1} + \frac{15}{1} + \frac{10}{1} \right) = 40 \cdot 53 = 2120 \text{ (хв)}$$

Задача 4.

Розрахувати швидкість конвеєру, якщо його середня годинна продуктивність – 48 деталей, тривалість зміни – 8 год. Протягом робочої зміни передбачені технологічні перерви загальною тривалістю 30 хв. Відстань між двома сусідніми виробами, що рухаються конвеєром, дорівнює 2,8 м.

Розв'язок:

Дійсний час роботи конвеєра (плановий фонд) протягом робочої зміни дорівнює

$$\Phi_g = 80 \cdot 60 - 30 = 450 \text{ (хв);}$$

Обсяг випуску продукції за зміну

$$A = 48 \cdot 8 = 384 \text{ (шт.).}$$

Такт конвеєрної лінії

$$r = \frac{450}{384} = 1,17 \text{ (хв);}$$

Швидкість конвеєру

$$V_k = \frac{2,8}{1,17} = 2,5 \text{ (м/хв).}$$

3.1.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Визначити тип виробництва за наступними умовами: технологічний процес загального виготовлення виробу включає до себе 86 технологічних операцій загальною трудомісткістю 27 годин; коефіцієнт виконання норм у процесі виготовлення виробу дорівнює 0,84; дійсний річний робочий фонд часу складає 3468 годин; річний випуск виробів на підприємстві – 10 тисяч приладів. Розрахунки проводити відповідно до варіанту (табл. 3.2)

Таблиця 3.2

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна кількість операцій	Загальна трудомісткість, год	Річний обсяг випуску, шт.
1	2	3	4
0	86	27	10000
1	216	12	700
2	196	17	7000
3	144	23	8000
1	2	3	4
4	89	37	5000
5	146	21	500000
6	87	36	120
7	73	44	8000
8	48	71	500
9	121	25	200000

Задача 2.

Визначити рівень автоматизації виробництва згідно за варіантом (табл. 3.3), на якому задіяні 68 одиниць устаткування, працюють 170 робітників, 130 з яких зайняті виключно автоматизованою працею. Коефіцієнт автоматизації відповідно до розглянутого підприємства дорівнює 0,78. Коефіцієнт продуктивності устаткування дорівнює – 0,8. Загальний рівень автоматизованої праці дорівнює 76%.

Таблиця 3.3

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна кількість устаткування, шт.	Кількість робітників, що зайняті автоматизованою працею, чол.	Загальний рівень автоматизованої праці, %
0	68	130	76
1			
2			
3	114	110	78
4			
5	72	90	64
6			
7	72	90	64
8	87	120	83
9			

Задача 3.

Розмір партії оброблюваних деталей становить 30 шт. Технологічний процес обробки деталей складається з 4 операцій, кожна з яких має таку норму часу виконання: перша – 6 хв; друга – 10 хв; третя – 3,5 хв; четверта 4,5 хв Друга операція виконується на двох однотипних верстатах, решт.а операцій – на одному. Обчислити тривалість циклу технологічних операцій обробки деталей при їх послідовному поєднанні за варіантом (табл. 3.4).

Таблиця 3.4.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Розмір партії оброблюваних деталей	Типів переміщення деталей на конвеєрі
0	30	Послідовне переміщення
1	53	Послідовне переміщення
2	40	
3	58	
4	37	
5	35	
6	42	Паралельне переміщення
7	34	
8	50	
9	55	

Задача 4.

Розрахувати швидкість конвеєру за варіантом (табл. 3.5), якщо за його допомогою на робочу зміну виготовляється 250 не бракованих деталей, режим роботи однозмінний, тривалість зміни 8 год Протягом зміни передбачені технологічні перерви тривалістю 40 хв Втрати деталей через брак у роботі складають 2%, відстань між двома сусідніми виробами, що рухаються конвеєром, становить 3,5 м.

Таблиця 3.5.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Кількість не бракованих деталей, шт.	Тривалість зміни, год	Технологічні перерви, хв
0	250	8	40
1	350		
2	200		
3	275	7	30
4	150		
5	225	9	60
6	300		
7	375		
8	325	6	30
9	175		

Задача 5.

Визначити ритм конвеєру безперервно-потокової лінії на виробничому підприємстві за варіантом (табл. 3.6), якщо її середня годинна потужність становить 50 виробів, при пересуванні виробів уздовж лінії розмір транспортної партії дорівнює 5. Конвеєрна лінія працює у 2 зміни тривалістю 8 годин кожна. Технологічні зупинки становлять в середньому 10% добового часу роботи.

Таблиця 3.6.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Середня годинна потужність, шт.	Тривалість зміни, год	Технологічні зупинки, %
0	50	8	10
1	65		
2	80		
3	40	7	8
4	75		
5	60	9	12
6	45		
7	35		
8	55	6	9
9	70		

Задача 6.

Обчислити такт конвеєра та кількість робочих місць під окремі технологічні операції за варіантом (табл. 3.7), якщо його виробнича потужність 400 деталей за дві 8-годинні робочі зміни. Регламентовані технологічні простои під час робочої зміни складають 20 хвилин. Тривалість виконання окремих операцій така: першої – 18,4 хв, другої – 27,6 хв, третьої – 23 хв.

Таблиця 3.7

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Виробнича потужність, шт.	Кількість змін	Технологічні простои за одну зміну, хв
0	400	2	20
1	375		
2	300		
3	475	1	30
4	350		
5	525	3	25
6	450		
7	325		
8	500	2	35
9	425		

3.2. Розрахунок загальних показників надійності технологічних систем

3.2.1. Теоретичні відомості з розрахунку загальних показників надійності технологічних систем

Технологічна система (ТС) – це сукупність функціонально пов’язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій.

Склад і структура ТС, умови виробництва, режим роботи регламентуються конструкторською, технологічною та іншою технічною документацією. Зміна цієї документації призводить до відповідної зміни ТС.

Усі ТС, можливо підрозділити на чотири ієрархічних рівня:

- ТС операцій;
- ТС процесів;
- ТС виробничих підрозділів;
- ТС підприємств.

ТС операції забезпечує виконання однієї заданої технологічної операції.

ТС процесу включає в себе в якості підсистем сукупність технологічних систем операцій, які відносяться до одного методу (обробки, формоутворення, складання або контролю) або до одного найменування виготовленої продукції. При наявності автоматизованої системи управління ТП її технічні засоби входять до складу ТС цього процесу.

ТС виробничого підрозділу складається з технологічних систем процесів і (або) операцій, що функціонують в рамках даного підрозділу.

ТС підприємства складається із технологічних систем його виробничих підрозділів.

Розрізняють такі види технологічних систем:

- *послідовна* – ТС, всі підсистеми якої послідовно виконують різні частини заданого технологічного процесу;

- *паралельна* – ТС, підсистеми якої паралельно виконують заданий технологічний процес або задану технологічну операцію;
- *комбінована* – ТС, структура якої може бути представлена у вигляді об'єднання послідовних і паралельних систем більш низького рівня. (схема структури вказаних систем приведено на рис. 3.1);
- *ТС з жорстким зв'язком підсистем* – технологічна система, в якій відмова хоча б однієї підсистеми викликає негайне припинення функціонування технологічної системи в цілому;
- *ТС з нежорстким зв'язком підсистем* – технологічна система, в якій відмова однієї з підсистем не викликає негайного припинення функціонування технологічної системи в цілому.

За рівнем автоматизації ТС класифікують так:

- *механізована* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з механізовано-ручних та механізованих технічних пристроїв;
- *автоматизована* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматизовано-ручних і автоматизованих пристроїв;
- *автоматична* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматичних пристроїв.

За рівнем спеціалізації:

- *спеціальна* – ТС для виготовлення або ремонту виробу одного найменування і типорозміру;
- *спеціалізована* – ТС для виготовлення або ремонту групи виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками;
- *універсальна* – ТС для виготовлення або ремонту виробів з різними конструктивними і технологічними ознаками.

Аналогічні поняття рівнів і видів використовують також для технологічних комплексів.

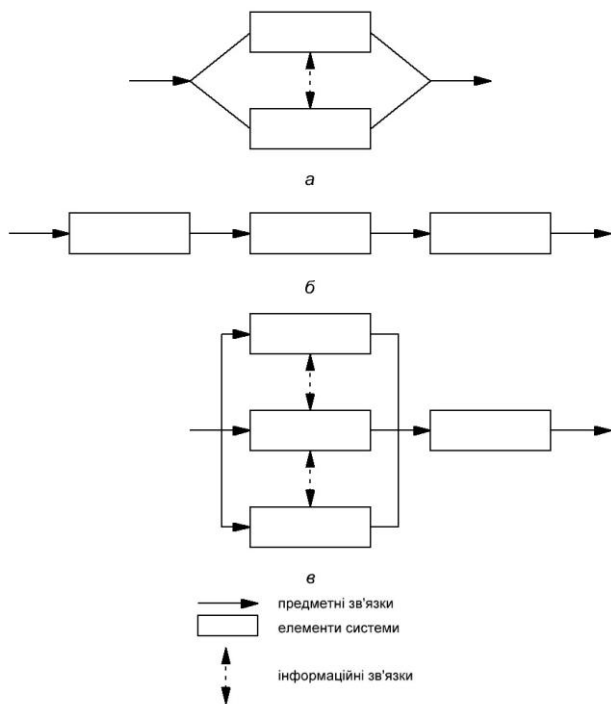


Рисунок 3.1 – Схема структури технологічних систем: а – паралельна; б – послідовна система; в – комбінована.

Окремим випадком (видовим поняттям) послідовної ТС є *технологічна лінія*, в якій технологічне обладнання розташовують у послідовності виконання операцій заданого технологічного процесу таким чином, щоб число робочих місць дорівнювало числу операцій. При цьому в послідовній ТС на одне і те ж робоче місце предмет виробництва може надходити кілька разів для виконання різних операцій.

Підсистеми паралельної ТС можуть містити загальні засоби технологічного оснащення. У випадку, якщо паралельні підсистеми верстатів не містять спільних елементів (наприклад,

шестеро однотипних верстатів виконують паралельно і незалежно один від одного одну і ту ж операцію технологічного процесу), то ТС називають багатоканальною.

Класифікація ТС за рівнем спеціалізації відноситься до технологічних систем операції, процесу та виробничого підрозділу. При цьому універсальна, спеціалізована, спеціальна ТС виробничого підрозділу (процесу) можуть містити в собі підсистеми різного рівня спеціалізації. Рівень спеціалізації ТС визначають співвідношенням обмежень, зробленого кожною підсистемою відповідно до номенклатури продукції, що виготовляється. Невдалий вибір цього співвідношення призводить до зниження технологічних можливостей системи в цілому.

ТС, що виконує груповий технологічний процес, є *універсальною*.

Рівень і вид ТС є визначальними ознаками для вибору критеріїв відмов і граничних станів, показників надійності та методів їх оцінки.

Підсистема, як і сама ТС, повинна являти собою сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення і людини-оператора та володіти основними властивостями даної системи. Тому, наприклад, систему, що забезпечує виконання декількох технологічних процесів, зручно умовно ділити на підсистеми, які виконують окремі технологічні процеси. У свою чергу, останні можливо умовно ділити на підсистеми, які виконують окремі операції. Глибина структурного розподілу залежить від мети дослідження.

У кожній ТС є обов'язковий елемент – *сукупність засобів технологічного оснащення* даної технологічної системи. При цьому сукупність засобів технологічного оснащення допускається розглядати як об'єднання технічних підсистем і елементів.

Функціональна відмова ТС призводить до повного або часткового припинення її функціонування. Прикладом часткового припинення функціонування може служити поломка одного з інструментів при обробці деталей на автоматичній лінії. При цьому може тривати випуск продукції, але без обробки відпові-

дних поверхонь деталі. До функціональних відмов слід відносити і факти перевищення термінів запланованих перерв у роботі, тобто перевищення регламентованого часу зміни інструменту, установки заготовки (партії заготовок), заданих перерв на відпочинок обслуговуючого персоналу і т.д.

Параметрична відмова ТС виражається у виході параметрів функціонування окремих її елементів за допустимі межі. Наприклад: вихід значень показників якості деталей за поле допуску на обробку; зниження ритму випуску нижче заданого рівня; нерегламентована зміна режимів обробки; перевищення матеріальних і трудових витрат; неприпустиме забруднення навколишнього середовища, причиною якого є процес функціонування даної системи і т.д.

Надійність ТС є комплексною властивістю, що у залежності від призначення та умов застосування системи може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість або певні поєднання цих властивостей. Визначення надійності ТС проводиться шляхом розрахунків показників надійності.

При *розрахунку показників надійності одноканальних ТС* із жорстким зв'язком приймаються наступні допущення:

- відмови елементів незалежні;
- потоки відмов стаціонарні;
- час між відмовами й час відновлення розподілені згідно з експоненціальним законом.

Вихідні дані для розрахунку: t_0 – заданий час виконання завдання; V_0 – обсяг завдання з випуску продукції, шт.; Q_n – номінальна продуктивність ТС, шт./ч; λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента ТС; T_{b_i} – середній час відновлення працездатності i -го елемента ТС, ч; V_0 – обсяг запасів продукції до початку виконання завдання, шт.; n – число елементів (одиниць обладнання) ТС; r – число ремонтних бригад.

Послідовність розрахунків показників надійності однока-
нальних ТС наступна.

Значення допоміжних характеристик:

- *інтенсивність відмов системи*

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i ; \quad (3.14)$$

- *середній час відновлення систем*

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} \cdot T_{b_i} ; \quad (3.15)$$

- *час виконання завдання під час безвідмовної роботи усіх елементів*

$$t_{\text{н}} = \frac{V_0}{Q_{\text{н}}} ; \quad (3.16)$$

- *припустимий сумарний час простою ТС*

$$t_p = t_0 - t_{\text{н}} ; \quad (3.17)$$

- *середнє число відмов до напрацювання*

$$a = \lambda \cdot t_{\text{н}} ; \quad (3.18)$$

- *відносне значення резерву часу*

$$b = \frac{t_p}{T_{\text{в}}} . \quad (3.19)$$

Коефіцієнт готовності ТС при $r = 1$

$$k_2 = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_0}. \quad (3.20)$$

Середній час виконання завдання з урахуванням часу, що витрачається на усунення відмов

$$T_3(V_0) = \frac{t_0}{Q_H k_2}. \quad (3.21)$$

Середня продуктивність при виготовленні продукції відповідно до заданого обсягу V_0 та на інтервалі часу $(0, t_0)$

$$Q_{cp}(V_0) = \frac{V_0}{Q_H k_2}. \quad (3.22)$$

При розрахунку показників надійності багатоканальних ТС приймають наступні допущення:

- відмови каналів незалежні;
- при відмові одного з каналів інші канали продовжують працювати;
- потоки відмов каналів стаціонарні;
- напрацювання між відмовами та час відновлення каналу мають експоненціальні розподіли;
- число ремонтних бригад дорівнює числу каналів.

Вихідні дані: m – число паралельних каналів; Q_H – номінальна продуктивність системи; Q_i – продуктивність системи при i працюючих каналах; t_0 – час виконання завдання при безвідмовній роботі усіх каналів системи.

Середній час виконання завдання

$$T_c(V_0) = \frac{V_0(1 + \lambda T_e)}{mQ_H}. \quad (3.23)$$

3.2.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Розрахувати середній час відновлення одноканальної ТС, якщо до її складу входить 8 одиниць обладнання, інтенсивність відмов п'яти з яких дорівнює 0,18 1/год, середній час відновлення складає – 0,2 год, інтенсивність відмов інших – 0,22 1/год, середній час відновлення – 0,25 год

Розв'язок:

Загальна інтенсивність відмов системи дорівнює

$$\lambda = 0,18 \cdot 5 + 0,22 \cdot 3 = +1,56 \text{ (1/год)}.$$

Тоді час відновлення зазначеної ТС дорівнює

$$T_e = \frac{0,18}{1,56} \cdot 5 \cdot 0,2 + \frac{0,22}{1,56} \cdot 3 \cdot 0,25 = 0,23 \text{ (год)}.$$

Задача 2.

Розрахувати середній час виконання завдання одноканальної ТС, якщо заданий час виконання завдання становить 28 годин, номінальна продуктивність системи дорівнює 50 шт./год, інтенсивність відмов системи – 1,2 1/год, а її середній час відновлення становить 0,18 год. Число ремонтних бригад, що обслуговують ТС – 1.

Розв'язок:

Коефіцієнт готовності ТС за умови наявності лише однієї ремонтної бригади дорівнює

$$k_z = \frac{1}{1 + 1,2 \cdot 0,18} = 0,82 \cdot$$

Середній час виконання завдання з врахуванням часу, що витрачається на усунення відмов

$$T_3(V_0) = \frac{28}{50 \cdot 0,82} = 0,68 \text{ (год).}$$

Задача 3.

Розрахувати середній час виконання завдання багатоканальної ТС з трьома паралельними каналами, якщо її загальний обсяг продукції, що дорівнює номінальній продуктивності системи, становить 12 шт./год. Загальна інтенсивність відмов становить 0,3 1/год, а середній час відновлення – 0,2 год.

Розв'язок:

Середній час виконання завдання зазначеної ТС становить

$$T_c(V_0) = \frac{12 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,2)}{3 \cdot 12} = 0,35 \text{ (год).}$$

3.2.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Розрахувати середній час відновлення одноканальної ТС згідно за варіантом (табл. 3.8), якщо до її складу входить 6 одиниць обладнання, інтенсивність відмов п'яти з яких дорівнює 0,14 1/год, середній час відновлення складає – 0,3 год, інтенсивність іншого – 0,21 1/год, середній час відновлення – 0,18 год

Таблиця 3.8

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна кількість обладнання у складі ТС, шт.	Інтенсивність відмов обладнання, 1/год		Середній час відновлення обладнання, год	
		Перша група обладнання, шт.	Друга група обладнання, шт.	Перша група обладнання, шт.	Друга група обладнання, шт.
0	6	5	1	5	1
1					
2					
3	8	6	2	6	2
4		0,22	0,3	0,17	0,22
5	7	4	3	4	3
6					
7					
8	5	2	3	2	3
9		0,17	0,32	0,2	0,16

Задача 2.

Розрахувати відносне значення резерву часу та середнє значення відмов напрацювання одноканальної ТС згідно з варіантом (табл. 3.9), якщо її загальна інтенсивність відмов становить 0,06 1/год, середній час відновлення – 0,2 год Заданий час виконання завдання становить 16 годин. Обсяг завдання з випуску продукції – 48 шт. Номінальна продуктивність ТС – 3,8 виробу на годину.

Таблиця 3.9

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальна інтенсивність відмов, 1/год	Середній час відновлення, год	Заданий час виконання завдання, год	Обсяг завдання з випуску продукції
0	0,06	0,2	16	48
1				
2	0,2	0,4	18	65
3				
4	0,09	0,3	22	81
5				
6	0,3	0,5	26	94
7				
8				
9				

Задача 3.

Розрахувати середній час виконання завдання одноканальної ТС за варіантом (табл. 3.10), якщо заданий час виконання завдання становить 22 годин, номінальна продуктивність системи дорівнює 50 шт./год, інтенсивність відмов системи – 0,23 1/год, а її середній час відновлення становить 0,16 год Число ремонтних бригад, що обслуговують ТС – 2.

Таблиця 3.10.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Заданий час виконання завдання, год	Інтенсивність відмов системи, 1/год	Середній час відновлення системи, год	Число ремонтних бригад, що обслуговують ТС
0	22	0,23	0,16	2
1				
2				
3	18	0,33	0,28	
4				
5	20	0,26	0,14	
6				
7				
8	24	0,18	0,31	
9				

Задача 4.

Розрахувати середній час виконання завдання багатоканальної ТС з двома паралельними каналами за варіантом (табл. 3.11), якщо її загальний обсяг продукції, що дорівнює номінальній продуктивності системи, становить 8 шт./год. Загальна інтенсивність відмов становить 0,2 1/год, а середній час відновлення – 0,18 год.

Таблиця 3.11.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Загальний обсяг продукції, шт	Кількість паралельних каналів у складі ТС
0	8	2
1	10	
2	16	
3	15	4
4	14	
5	12	3
6	9	
7	18	
8	13	5
9	11	

3.3. Розрахунок виробничого циклу складального процесу

3.3.1. Теоретичні відомості з розрахунку виробничого циклу складального процесу

Загальна тривалість скоординованих у часі простих процесів, що входять у складний процес виготовлення виробів або його партій, являє собою *виробничий цикл складного складального процесу*. Він охоплює виробничі цикли виготовлення всіх деталей, складання всіх складальних одиниць, складання виробу в цілому, його регулювання, налагоджування, випробування та контроль, остаточне приймання. У складному виробничому процесі можуть використовуватися всі розглянуті види руху предметів праці по операціям: послідовний, паралельний та паралельно-послідовний. В умовах одиничного виробництва в єдиному циклі, як правило, поєднуються процеси не тільки виготовлення й складання, а й проектування виробу та підготовки його виробництва.

Складний виробничий процес будується на великій кількості складальних, монтажних, регулювально-налагоджувальних операцій та операцій простих процесів, тому визначення й оптимізація виробничого циклу потребує багатьох варіантів розрахунків, що неможливо здійснити без спеціальних прикладних комп'ютерних програм та без застосування обчислювальної техніки.

Побудова складного виробничого процесу в часі проводиться для того, щоб визначити виробничий цикл, скоординувати окремі прості процеси, отримати вихідну інформацію для оперативного-календарного планування виробництва і розрахунку операцій запуску-випуску предметів праці.

Метою координації виробничих процесів, що формують складний процес, є забезпечення комплектності і безперебійності виробництва при повному завантаженні устаткування, робочих місць та самих робітників.

Структура виробничого циклу складного процесу визначається складом операцій і зв'язками між ними. Склад операцій

залежить від номенклатури деталей, складальних одиниць і технологічних процесів виготовлення та складання. Взаємний зв'язок операцій та процесів визначається *схемою складання* виробу і виробничими умовами. Складальна схема являє собою віяльну діаграму, на якій відображено комплектацію окремих вузлів і виробів у цілому (рис. 3.2), а також які вузли, підвузли або дрібні складальні одиниці можливо виготовляти паралельно незалежно один від одного, а які – тільки послідовно.

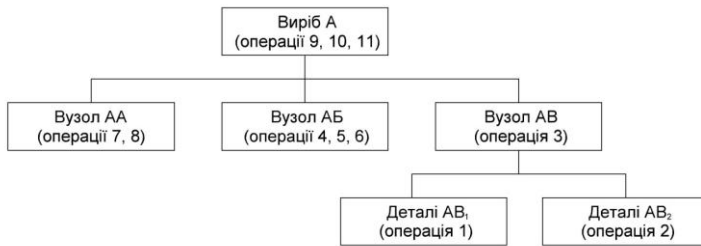


Рисунок 3.2 – Складальна схема виробу А

Особливість розрахунку виробничого циклу складних виробів полягає в тому, що вони запускаються на складання партіями. *Партійний метод* забезпечує зростання продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення продукції за рахунок:

- застосування найпродуктивнішого процесу;
- скорочення витрат ресурсів;
- зменшення підготовчо-завершального часу на одиницю продукції;
- швидкого опанування робітниками раціональних прийомів і методів складальних робіт;
- спрощення календарного планування виробництва.

Для забезпечення точності розрахунку виробничого циклу використовуються *календарно-планові нормативи*:

- розмір партії;
- кількість партій, що запускаються;
- ритм.

- Використовуючи нормативні дані, послідовно визначають:
- час операційного циклу партій виробів за складальними одиницями;
 - необхідну кількість робочих місць;
 - цикловий графік складання виробів без урахування завантаження робочих місць;
 - закріплення операцій за робочими місцями;
 - стандарт-план складання виробу;
 - уточнений цикловий графік з урахуванням завантаження робочих місць;
 - тривалість виробничого циклу;
 - випередження запуску-випуску за складальними одиницями.

В одиничному та серійному виробництвах важливо спочатку встановити економічно оптимальний розмір партії виробів, який є базовим для розрахунку інших нормативів. Відомо, що необмежене збільшення розміру партії порушує *принцип безперервності*, оскільки зростають, з одного боку, час пролежування кожної складальної одиниці і, відповідно, тривалість виготовлення партії, а з іншого – незавершене виробництво і додаткові площі для збереження цих складальних одиниць.

На практиці використовують *спрощений метод розрахунку оптимального розміру партії*. Для цього використовується відповідна таблиця, у якій наводяться норми часу на виконання операцій з виготовлення деталей та складання виробів, підготовчо-завершальний час, розмір подач складальних одиниць на операції, а також отримані в ході розрахунків значення показників. Розрахунок виконується таким способом.

Установлення межі нормального розміру партії (n_n) виробів розраховується за виразом

$$n_{\min} \leq n_n \leq n_{\max} . \quad (3.24)$$

Для цього визначається розмір мінімальної партії, виходячи з затрат часу на переналагодження і поточний ремонт робочих місць ($\alpha_{об}$). Для серійного виробництва $\alpha_{об} = 0,2 - 0,1\%$, дрібносерійного і одиничного $\alpha_{об} = 2 - 10\%$. Розрахунок мінімальної величини партії проводиться за формулою

$$n_{\min} = \frac{(100 - \alpha_{об}) \sum_{i=1}^m T_{n-з_i}}{\alpha_{об} \sum_{i=1}^m T_{ум_i}}, \quad (3.25)$$

де $T_{n-з_i}$ – сумарний час підготовчо-завершального часу на i -і операції виготовлення партій складальних одиниць;

$T_{ум_i}$ – сумарний штучний час на i -і операції.

Місячна програма випуску виробів (складальних одиниць) зазвичай вважається як максимальна величина партії. Коригування граничного розміру партії виробів здійснюється, виходячи з мінімального його значення. Спершу встановлюється зручний для планування ритм ($R_{нл}$) періоду черговості партій виробів за таких умов: якщо в місяці 20 робочих днів, ритмами будуть 20, 10, 5, 4, 2, 1; якщо 21 день, ритмами будуть 21, 7, 2, 1; якщо 22 дня, то відповідно – 22, 11, 2, 1.

Період чергування партій виробів розраховується за формулою

$$R_{нл} = \frac{D_p \cdot n_{\min}}{n_{\max}}, \quad (3.26)$$

де D_p – кількість робочих днів у місяці.

У разі отримання нецілого числа вибирають із зручних для планування ритмів найближче ціле число, яке і буде прийнятим періодом чергування партій (R_{np}).

Потім відповідно до прийнятого періоду чергування, коригуючи параметри, визначаємо розмір *нормальної (оптимальної) партії* за формулою

$$n_n = \frac{R_{np} \cdot n_{\max}}{D_p}; \quad (3.27)$$

Нормальний розмір партії має бути кратним місячній програмі випуску (запуску) виробів.

Кількість партій у місяці (X) визначається таким чином

$$X = \frac{n_{\max}}{n_n}; \quad (3.28)$$

Тривалість операційного циклу партії виробів за кожною операцією (t_{in}) розраховується за формулою

$$t_{in} = t \cdot n_n + \frac{T_{n-z_i}}{60}. \quad (3.29)$$

Тривалість операційного циклу партії виробів за складальними одиницями визначається за формулою

$$T_{o_{ск.од}} = \sum_{i=1}^k t_{in}, \quad (3.30)$$

де k – кількість операцій, що входить у складальну одиницю.

Необхідну кількість робочих місць для складання виробу розраховують за наступним виразом

$$PM_{np} = \frac{\sum t_{i, сум}}{T_{зм} \cdot S \cdot R_{np}}. \quad (3.31)$$

Кількість робітників визначається за формулою

$$Ч_{р.ск} = РМ_{пр} \cdot K_{зм} \cdot K_{сн}, \quad (3.32)$$

де $K_{зм}$ – коефіцієнт змінності;

$K_{сн}$ – коефіцієнт, що враховує списки у чисельність (можливо прийняти $K_{сн} = 1,1$).

Побудова циклового графіка складання виробу здійснюється на основі складальної схеми, тривалості циклів виготовлення та складання кожної складальної одиниці без урахування завантаження робочих місць. Графік формується у зворотному порядку ходу технологічного процесу, враховуючи час завершення операцій, з яких здійснюється поставка оброблених деталей або складальних одиниць.

Наступним кроком є побудова стандарт-плану складання виробу, який має назву циклового графіка з урахуванням завантаження робочих місць. У стандарт-плані цикли окремих операцій проєкціюються на відповідні робочі місця.

Принцип пропорційності полягає в рівномірному завантаженні робочих місць і робітників. Для його дотримання здійснюється розподіл обсягу робіт по робочих місцях таким чином, щоб тривалість операційного циклу кожної з них не перевищувала їх пропускну спроможність протягом прийнятого періоду чергування партій.

Побудова уточненого циклового графіка складання виробу дає змогу визначити фактичну тривалість виробничого циклу, яка звичайно більша мінімальної тому, що виконання окремих операцій зсунуто на більш ранні терміни.

Для планування й організації виробництва важливим календарно-плановим нормативом є випередження запуску-випуску складальних одиниць виробів.

Для визначення повного виробничого циклу виготовлення готового виробу до циклового графіка складання додають графіки заготівельних та обробних процесів виготовлення деталей.

Виробничий цикл складного виробу дорівнює найтривалішому ланцюжку взаємопов'язаних робіт, що послідовно виконуються (тривалості виготовлення найбільш трудомісткої деталі з урахуванням партійності, складання найбільш трудомісткого вузла і тривалості загального складання виробу).

Іншими словами, виробничий цикл складного виробу визначається найбільшою сумою циклів послідовно пов'язаних простих процесів і міжциклових перерв

$$T_{ц.скл} = \left(\sum_{i=1}^{m^1} T_{ц_i} \right) + \sum_{i=1}^{m^1} T_{мц_i}, \quad (3.33)$$

де m^1 – кількість послідовно пов'язаних між собою процесів виготовлення деталей і складальних процесів;

$T_{ц_i}$ – тривалість циклу виготовлення деталей або виконання складальних процесів;

$T_{мц_i}$ – тривалість міжциклових перерв.

Цикловий графік дає можливість визначити термін запуску деталей у виробництво. При цьому запускаються деталі не всі одночасно, а виходячи з термінів подачі їх на складання й тривалості виробничого циклу та термінів випередження запуску порівняно з випуском.

При виготовленні складної продукції застосовуються сітьові методи планування, і тривалість виробничого циклу визначається довжиною критичного шляху.

3.3.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

На підприємстві місячна програма випуску виробу А становить 700 шт. Кількість робочих днів у місяці – 21, режим роботи дільниці – 2 зміни. Втрати часу на планові ремонти 2% номінального фонду часу. У табл. 3.12 наводяться норми часу на виконання операцій з виготовлення деталей та складання виробів, підготовчо-завершальний час, розмір подач складальних одиниць на операції. Розрахуйте значення, що відповідають незаповненим коміркам у табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Технологічний процес складання виробу А

Позначення складальних одиниць	№ операції	Штучний час на операцію, хв	Підготовчо-завершальний час, хв	Подача складальної одиниці до операції	Розмір партії виробу, шт.	Тривалість операційного циклу партії/ виробів, год	Тривалість операційного циклу партії складальної одиниці, год
АВ ₁	1	7,0	20	3			
АВ ₂	2	16,5	30	3			
АВ	3	4,7	10	11			
АБ	4	15,9	30	5			
	5	12,4	20	6			
	6	4,7	10	10			
АА	7	7,0	20	8			
	8	16,6	20	9			
А	9	11,3	10	11			
	10	7,6	20	11			
	11	9,5	10	-			
Усього		113,2	200	-			

Розв'язок:

Графи 6-8 таблиці заповнюються після розрахунку показників. Послідовність розрахунку наступна.

Використовуючи дані табл. 3.13, проведемо розрахунок мінімальної величини партії

$$n_{\min} = \frac{(100 - 2) \cdot 200}{2 \cdot 113,2} = 86 \text{ (шт.)}.$$

Місячна програма випуску виробів у нашому прикладі $n_{\max} = 700$ шт. Період чергування дорівнюватиме

$$R_{nl} = \frac{21 \cdot 86}{700} = 2,58 \text{ (дня)}.$$

У даному випадку $R_{np} = 3$ дні (з ритмів 21, 7, 3, 1).

Потім відповідно до прийнятого періоду чергування, коригуючи параметри, визначаємо розмір *нормальної (оптимальної) партії* за формулою

$$n_n = \frac{3 \cdot 700}{21} = 100 \text{ (шт.)}.$$

Отже, виконується умова $86 < 100 < 700$.

Кількість партій у місяці (X) визначається таким чином

$$X = \frac{700}{100} = 7 \text{ (партій)}.$$

Результати розрахунку оптимального розміру партії заносимо в гр. 6 табл. 3.13.

Тривалість операційного циклу партій виробів для складальної одиниці АВ

$$t_{in} = 7 \cdot 100 + \frac{20}{60} = 12 \text{ (год)}.$$

Розрахунки записуються в гр. 7 табл. 3.13.

Тривалість операційного циклу партії виробів для складальної одиниці АБ

$$T_{o_{ск.од}} = 27 + 21 + 8 = 56 \text{ год}$$

Аналогічно здійснюються розрахунки і за іншими складальними одиницями, результати яких записуються в гр. 8 табл. 3.13. Таким чином, наведена таблиця з внесеними значеннями розрахованих показників набуває наступного виду (табл. 3.14).

Необхідну кількість робочих місць для складання виробу у нашому прикладі дорівнює

$$PM_{np} = \frac{192}{8 \cdot 2 \cdot 3} = 4 \text{ (р. місця)}.$$

Тоді кількість робітників дорівнює

$$Ч_{p.ск} = 4 \cdot 2 \cdot 1,1 = 9 \text{ (чол)}.$$

На основі отриманих значень та складальної схеми (рис. 3.2) будується цикловий графік складання виробу А (рис. 3.3).

Наступним кроком є побудова стандарт-плану складання виробу А, який має назву циклового графіка з урахуванням завантаження робочих місць. У стандарт-плані цикли окремих операцій проєкціюються на відповідні робочі місця (рис. 3.3, б).

Таблиця 3.13

Технологічний процес складання виробу А

Позначення складальних одиниць	№ операції	Штучний час на операцію, хв	Підготовчо-завер- шальний час, хв	Подача складальної одиниці до операції	Розмір партії виробу, шт.	Тривалість операційно- го циклу партії/ виробів, год	Тривалість операційно- го циклу партії скла- дальної одиниці, год
1	2	3	4	5	6	7	8
АБ ₁	1	7,0	20	3	100	12	12
АВ ₂	2	16,5	30	3	100	28	18
АВ	3	4,7	10	11	100	8	8
АБ	4	15,9	30	5	100	27	
	5	12,4	20	6	100	21	56
	6	4,7	10	10	100	8	
АА	7	7,0	20	8	100	12	40
	8	16,6	20	9	100	28	
А	9	11,3	10	11	100	19	
	10	7,6	20	11	100	13	48
	11	9,5	10	-	100	16	
Усього		113,2	200	-	-	192	192

З урахуванням принципу пропорційності здійснюємо розподіл обсягу робіт по робочих місцях таким чином, щоб тривалість операційного циклу кожної з них не перевищувала їх пропускну спроможність протягом прийнятого періоду чергування партій (табл. 3.14).

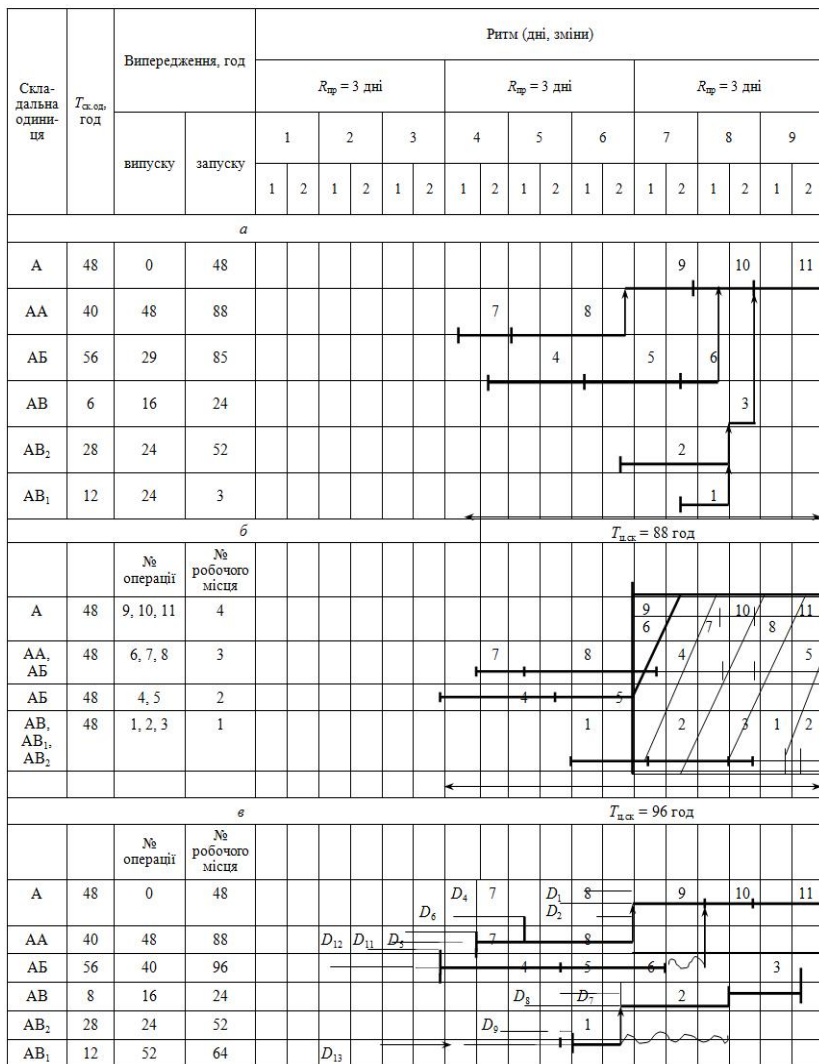


Рисунок 3.3 – Цикловий графік складання виробу А

Таблиця 3.14

Розрахункові параметри циклу

№ робочого місця	№ операції, що закріплена за робочим місцем	Умовне позначення складальної одиниці	Сумарна тривалість операційного циклу, год	Пропускна спроможність робочого місця за 48 год	Коефіцієнт завантаження робочого місця
4	9, 10, 11	А	48	48	1
3	6, 7, 8	АА, АБ	48	48	1
2	4, 5	АБ	48	48	1
1	1, 2, 3	АВ, АВ ₁ , АВ ₂	48	48	1

Зміщення початку виконання робіт зазвичай пов'язане з завантаженістю робочих місць. Так, зсув початку здійснення операцій 4, 5, 6, 1 (рис. 3.3, б) збільшив тривалість виробничого циклу, спричинивши пролежування складальних одиниць. Завдання полягає в організації виробництва другої, третьої та наступної партій виробів за термінами таким чином, щоб повністю заповнити період чергування цих партій. Після цього графік називатиметься стандарт-планом. У ньому показані стандартні повторювальні терміни проведення окремих операцій складання кожним робітником.

Побудова уточненого циклового графіка складання виробу (рис. 2.2, в) дає змогу визначити фактичну тривалість виробничого циклу, яка звичайно більша мінімальної тому, що виконання окремих операцій зсунуто на більш ранні терміни. Як показано на рис. 3.3, фактична тривалість виробничого циклу складання виробу збільшилася до 96 год. Хвильова лінія показує зміщення запуску відповідних складальних одиниць АБ та АВ₁.

Для планування й організації виробництва важливим календарно-плановим нормативом є випередження запуску-випуску складальних одиниць виробів. У нашому випадку його розрахунок здійснюється безпосередньо на самих графіках (рис. 3.3, а, в). Зсув запуску складальних одиниць АБ та АВ₁ на

раніші терміни (рис. 3.3, в) змінив випередження їх запуску-випуску. При цьому тривалість виробничого циклу стала на 8 годин більшою, ніж на початковому графіку.

Для визначення повного виробничого циклу виготовлення готового виробу до циклового графіка складання додають графіки заготівельних та обробних процесів виготовлення деталей (рис. 3.4).

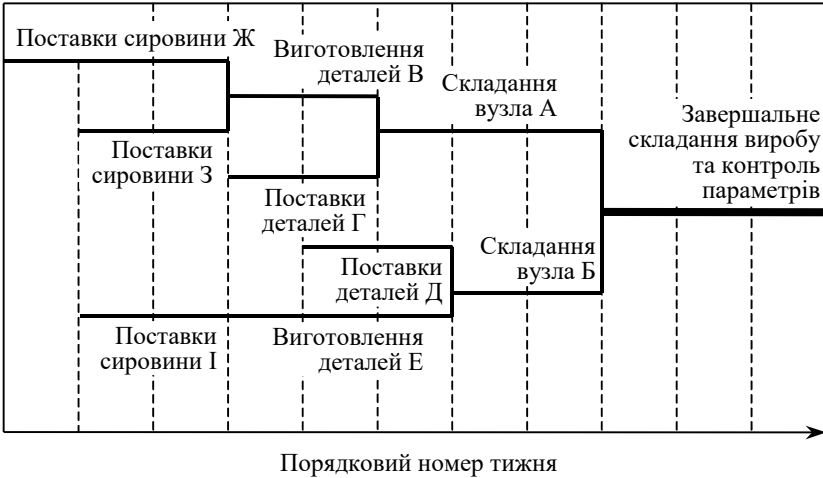


Рисунок 3.4 – Циклограма виготовлення складного виробу

3.3.3. Задачі для самостійного розв’язку

Задача 1.

На підприємстві місячна програма випуску виробу А становить 600 шт. Кількість робочих днів у місяці – 22, режим роботи дільниці – 2 зміни. Втрати часу на планові ремонти 2,5% номінального фонду часу. У табл. 3.15 наводяться норми часу на виконання операцій з виготовлення деталей та складання виробів, підготовчо-завершальний час, розмір подач складальних одиниць на операції.

Таблиця 3.15

Технологічний процес складання виробу А

Позначення складальних одиниць	№ операції	Штучний час на операцію, хв	Підготовчо-завершальний час, хв	Подача складальної одиниці до операції
АВ ₁	1	6,65	30	3
АВ ₂	2	14,2	20	3
АВ	3	3,7	10	11
АВ	4	14,3	20	5
	5	12,4	30	6
	6	3,9	10	10
АА	7	6,0	30	8
	8	16,2	30	9
А	9	11,3	10	11
	10	7,8	20	11
	11	9,4	10	-

Необхідно визначити повний виробничий цикл виготовлення виробу, згідно з варіантом (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Місячна програма випуску виробу, шт.	Втрати часу на планові ремонти від номінального фонду часу, %	Кількість змін у режимі роботи дільниці
0	600	2,5	2
1	2	3	4
1	525	2,7	2
2	650	2,9	
3	575	2,1	1
4	700	2,8	
5	500	2,4	
6	725	3	3
7	675	2,2	
8	550	2,6	
9	620	2,3	

3.4. Розрахунок показників надійності автоматичних ліній складання з різними типами міжагрегатних зв'язків

3.4.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників надійності автоматичних ліній складання з різними типами міжагрегатних зв'язків

Автоматична лінія (АЛ) – комплекс автоматичного обладнання, розташованого в технологічній послідовності виконання операцій, пов'язаний з автоматичною транспортною системою і системою автоматичного управління, і забезпечує автоматичне перетворення вихідних матеріалів (заготовок) в готовий виріб. В АЛ робочий виконує функції налагодження, контролю за роботою обладнання і завантаження лінії заготовками (для завантаження-розвантаження та укладання заготовок можуть використовуватися ПР)

Автоматичні лінії призначені для обробки заготовок різанням, тиском, для металопокриттів, для отримання виливків, термічної обробки, складальних операцій; є і комплексні автоматичні лінії.

Застосування автоматичних поточкових ліній досягає найбільшої ефективності в умовах масового виробництва.

До складу *автоматичної лінії* може входити наступне обладнання:

- автоматичне обладнання (верстати, агрегати, установки і т.д.) для виконання технологічних операцій;
- механізми для орієнтування, установки і закріплення виробів на обладнанні;
- пристрій для транспортування виробів за операціями;
- контрольні машини і прилади (для контролю якості і автоматичної підналагодження устаткування);
- засоби завантаження і розвантаження ліній (заготовок і готових деталей);
- апаратура та прилади системи управління;
- пристрої зміни інструменту і оснастки;
- пристрої видалення відходів;

- пристрої забезпечення необхідними видами енергії (електрична енергія, пар, інертні гази, стиснуте повітря, вода, каналізаційні системи);
- пристрої забезпечення мастильно-охолоджуючими рідинами і їх видалення і т.д.

До складу автоматичних ліній останнього покоління також включаються наступні електронні пристрої.

«Розумні супервізори» з моніторами на кожній одиниці обладнання і на центральному пульті управління. Їх призначення – завчасно попереджати персонал про хід процесів, що відбуваються в окремих агрегатах і в системі в цілому, і давати інструкції про необхідні дії персоналу (текст на моніторі), наприклад:

- негативна тенденція технічного параметра агрегату;
- інформація про напрацювання і кількості заготовок;
- про брак та його причини і т.д.

Статистичні аналізатори з графопобудовувачами, призначені для статистичної обробки різноманітних параметрів роботи обладнання:

- час роботи простоїв (причини простоїв);
- кількість продукції, що випускається (всього, рівень браку);
- статистична обробка кожного параметра виробу на кожній автоматично контрольованій операції;
- статистична обробка виходу з ладу (поломка, збій) систем кожної одиниці обладнання та лінії в цілому і т.д.

Діалогові системи селективного складання (тобто підбір параметрів щодо грубо (неточно) оброблених деталей, що входять в складальну одиницю, поєднання яких забезпечує високоякісні параметри складальної одиниці).

На підприємствах радіоелектронного приладобудування застосовуються автоматичні лінії, що відрізняються між собою як за технологічними принципами дії, так і за формами організації. Класифікація та характерні риси автоматичних ліній наведені в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

Класифікація автоматичних ліній

№	Ознака	Найменування і коротка характеристика
1	Гнучкість	1.1. Жорсткі переналагоджувальні АЛ, призначені для обробки одного виробу. 1.2. Переналагоджувальні АЛ на певну групу виробів одного найменування. 1.3. Гнучкі АЛ, що складаються з обробних центрів гнучких транспортно-складських систем з промисловими роботами та призначених для обробки будь-яких деталей певної номенклатури і габаритів.
2	Число виробів, що оброблюються одночасно	2.1. АЛ поштучної обробки. 2.2. АЛ групової обробки.
3	Спосіб транспортування виробів по АЛ	3.1. АЛ з безперервним транспортуванням оброблюваних виробів. 3.2. АЛ з періодичним транспортуванням.
4	Кінематичний зв'язок агрегатів (устаткування) АЛ	4.1. АЛ з жорстким зв'язком агрегатів 4.2. АЛ з гнучким зв'язком агрегатів (гнучкість забезпечується наявністю перед кожним агрегатом пристроїв для накопичення і видачі запасу виробів).

За типом зв'язку між агрегатами розрізняють автоматичні лінії з жорстким і гнучким зв'язком. У лініях з жорстким зв'язком відсутні між операційні заділи заготовок, при виході з ладу одного верстата зупиняється вся АЛ. В автоматичних лініях з гнучким зв'язком є міжопераційні заділи заготовок, відсутнє жорстке координування в часі роботи агрегатів, зупинка будь-якого агрегату не викликає простою всієї АЛ.

Оцінка надійності АЛ за параметрами продуктивності проводиться шляхом встановлення вимог і чисельних значень показників надійності та продуктивності як окремих одиниць технологічного обладнання лінії, так і для АЛ у цілому.

До параметрів продуктивності АЛ відносять:

- виробнича програма;
- номінальна продуктивність (кількість продукції, що виготовлена АЛ за одиницю часу без обліку простоїв обладнання) або штучний час;
- циклова продуктивність (кількість продукції, що виготовлена АЛ за один цикл) або оперативний час.

Критерієм відмови АЛ за параметрами продуктивності може бути: припинення функціонування на час, що перевищує припустимий; зниження продуктивності чи ритму випуску продукції нижче заданого рівня; невиконання завдання за обсягом випуску продукції.

Під час *розрахунку надійності АЛ з гнучким міжагрегатним зв'язком* використовують таку інформацію: λ_i – інтенсивність відмови агрегатів АЛ, 1/год; Q_{ni} – номінальна продуктивність агрегатів АЛ, шт./год; λ_{ni} – інтенсивність відмов міжопераційних накопичувачів, 1/год; S_{0i} – рівні початкового заповнення накопичувачів, шт.; T_{ei} – середній час відновлення працездатності агрегатів, год; S_i – ємність i -го накопичувача, шт; T_{vni} – середній час відновлення накопичувачів, год

Розрахунок надійності здійснюється за такими допущеннями: відмови агрегатів незалежні; потоки відмов стаціонарні; час між відмовами і час відновлення розподілені за експоненціальним законом.

Ймовірність виконання завдання АЛ, що складається з двох агрегатів із проміжним накопичувачем для випадку, коли номінальна продуктивність АЛ (Q_n) визначається номінальною продуктивністю другого агрегату, визначаємо за формулою

$$P_3(t_0, s_{01}) = e^{-(\lambda_1 - \lambda_n) \cdot t_0} \left(1 - g \cdot e^{-\frac{(1-g) \cdot s_{01}}{T_{e1} \cdot Q_{n2}}} \right), \quad (3.34)$$

де

$$g = \frac{\lambda_1 T_{\epsilon 1} \cdot Q_{H2}}{Q_{H1} - Q_{H2}}, \quad (3.35)$$

$$Q_{H1} > Q_{H2}, \quad (3.36)$$

t_0 – час виконання завдання, год;

s_{01} – рівень початкового заповнення першого накопичувача, шт;

e – неперово число;

λ_1 – інтенсивність відмов другого агрегату, 1/год;

λ_H – інтенсивність відмов накопичувача, 1/год;

$T_{\epsilon 1}$ – середній час відновлення працездатності першого агрегату, год;

Q_{H1} – номінальна продуктивність першого агрегату АЛ, шт/год;

Q_{H2} – номінальна продуктивність другого агрегату АЛ, шт/год

Формулу (3.34) можна використовувати у випадку, коли початкове значення накопичувача $s_{01} = 0$, але за напрацювання

t_0 сумарний час простою не має бути більш $\tilde{\tau} = \frac{s_{01}}{Q_{H2}}$.

Коефіцієнт готовності двоагрегатної АЛ за однаковою продуктивністю агрегатів Q_{H2} та експоненціальним розподілом напрацювання і часу відновлення агрегатів обчислюють за формулою

$$K_z(s_{01}) = K_{z2} \cdot K_{zn} (1 - (1 - K_{z1})^{\delta(s_{01})}), \quad (3.37)$$

де K_{zi} – коефіцієнт готовності i -го агрегату, $i=1, 2$

$$K_{zi} = \frac{1}{1 + \lambda_n \cdot T_{ei}}; \quad (3.38)$$

K_{zn} – коефіцієнт готовності накопичувача

$$K_{zn} = \frac{1}{1 + \lambda_n \cdot T_{en}}. \quad (3.39)$$

$\delta(s_{01})$ – коефіцієнт накладення втрат (відношення сумарного часу простоїв другого агрегату, обумовлених простоями першого агрегату, до сумарного часу простоїв першого агрегату за розглянутий проміжок часу)

$$\delta(s_{01}) = \frac{\lambda_2 T_{e2} - \lambda_1 T_{e1}}{\lambda_1 T_{e1} + \lambda_2 T_{e2} \left[\exp\left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_1} + \frac{T_{e1} T_{e2}}{T_{e1} + T_e}\right) \frac{(\lambda_2 T_{e2} - \lambda_1 T_{e1}) s_{01}}{T_{e1} T_{e2} Q_n} \right] - 1} \quad (3.40)$$

Визначивши ймовірність виконання завдання та коефіцієнт готовності АЛ, можна зробити висновки щодо надійності лінії в цілому.

Вихідними даними для *розрахунку показників надійності АЛ із жорстким зв'язком* є: t_0 – планований час виконання завдання, год; λ_i – інтенсивність відмов i -го агрегату АЛ, 1/год; Q_n – номінальна продуктивність АЛ, шт/год; T_{ei} – середній час відновлення працездатності i -го агрегату, год; V_0 – обсяг завдання з випуску продукції, шт; $V(0)$ – обсяг завдання продукції до початку виконання завдання, шт; n – кількість агрегатів (одиниць обладнання) АЛ, шт; r – кількість ремонтних бригад для відновлення працездатності агрегатів; t_n – час виконання завдання обсягом V_0 під час безвідмовної роботи агрегатів АЛ, год

$$t_n = \frac{V_0}{Q_n}; \quad (3.41)$$

t_p – припустимий час простою АЛ, год

$$t_p = t_0 - t_n; \quad (3.42)$$

m – кількість паралельних каналів (агрегатів) АЛ, шт; Q_n – номінальна продуктивність лінії, шт/год; Q_i – продуктивність лінії i -их працездатних каналів (агрегатів), шт/год; t_0 – час виконання завдання під час безвідмовної роботи всіх агрегатів АЛ, год

Розрахунок показників надійності *одноагрегатних АЛ із жорстким зв'язком* наступний.

Спочатку обчислюються значення допоміжних характеристик, а саме інтенсивності відмов АЛ за формулою

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (3.43)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го агрегату АЛ, 1/год;

Середній час відновлення АЛ розраховується за формулою

$$T_{\sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{\sigma_i}, \quad (3.44)$$

де T_{σ_i} – середній час відновлення працездатності i -го агрегату АЛ, год;

Середня кількість відмов до напрацювання за формулою

$$a = \lambda \cdot t_n, \quad (3.45)$$

де t_n – час виконання завдання обсягом V_0 при безвідмовній роботі всіх агрегатів АЛ, год;

Відносний резерв часу за розрахуюють за формулою

$$b = \frac{t_p}{T_e}, \quad (3.46)$$

Ймовірність виконання завдання визначається з урахуванням відповідних умов. Для наближених оцінок імовірності виконання завдання – нижньої $P_3^H(t_0, V_0)$ і верхньої $P_3^6(t_0, V_0)$ при $a \leq 5$ і $b \leq 8$ верхнє та нижнє значення імовірності складає

$$P_3^H(t_0, V_0) = l^{-a} \left[1 + a(a - l^{-b}) \right]; \quad (3.47)$$

$$P_3^6(t_0, V_0) = l^{-a-b} \left[1 + \frac{a}{2}(a + b) \right]. \quad (3.48)$$

При $a > 5$ і $b > 8$ двосторонні наближені оцінки імовірності

$$P_3^H(t_0, V_0) = \Phi \left[\frac{1 + b - a}{\sqrt{2b}} \right]; \quad (3.49)$$

$$P_3^6(t_0, V_0) = \Phi \left[\frac{b - a}{\sqrt{2a}} \right]. \quad (3.50)$$

Коефіцієнт готовності ТС (за умови наявності лише однієї ремонтної бригади для відновлення працездатності агрегатів)

$$K_z = \frac{1}{1 + \lambda T_e}. \quad (3.51)$$

Середній час виконання завдання з урахуванням часу, що затрачується на усунення відмов, визначається за формулою

$$T_3(V_0) = \frac{V_0}{Q_n K_e} \cdot \quad (3.52)$$

Середня фактична продуктивність під час виготовлення продукції заданого обсягу V_0 визначається за формулою

$$Q_{cp}(V_0) = Q_n K_e \cdot \quad (3.53)$$

Визначення надійності та продуктивності *багатоагрегатних АЛ із жорстким зв'язком* виконується за наступною послідовністю. Ймовірність виконання завдання з виготовлення продукції обсягом V_0 дорівнює

$$P_3(t_0, V_0) = \Phi \left[\frac{m Q_n t_0 - V_0 (1 + \lambda T_g)}{m Q_n t_g \sqrt{\frac{2 \lambda t_0}{m (1 + \lambda T_g)}}} \right] \quad (3.54)$$

Середній час виконання завдання з виготовлення продукції

$$T_3(V_0) = \frac{V_0 (1 + \lambda T_g)}{m Q_n} \cdot \quad (3.55)$$

Середня продуктивність АЛ з виготовлення продукції заданого обсягу V_0

$$Q_{cp}(V_0) = \frac{m Q_n}{1 + \lambda T_g} \cdot \quad (3.56)$$

Коефіцієнт збереження продуктивності

$$K_c = \sum_{i=k}^m \frac{Q_i}{Q_n} P_{m-i}, \quad (3.57)$$

де k – мінімально припустима кількість працездатних агрегатів;

P_{m-i} – імовірність того, що в системі працездатна i -та кількість агрегатів.

При лінійній залежності продуктивності АЛ від кількості працездатних агрегатів

$$Q_i = Q_n \cdot i. \quad (3.58)$$

$$Q_{nc} = m \cdot Q_n. \quad (3.59)$$

При експоненціальному розподілу напрацювання та часу відновлення агрегатів імовірності P_{m-i} визначаємо за формулою

$$P_{m-i} = \frac{Q_{m-i}}{\sum_{i=0}^m Q_i} m. \quad (3.60)$$

де $Q_0 = 1$;

$$Q_i = \frac{\nu_1 \nu_2 \dots \nu_{i-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_i}; \quad (3.61)$$

$$\nu_i = (m - i)\lambda; \quad (3.62)$$

$$\mu_i = i \cdot \mu; \quad (3.63)$$

$$\mu = \frac{1}{T_e} \cdot \quad (3.64)$$

Ймовірність виконання завдання з виготовлення продукції визначаємо за формулами (3.47), (3.48), (3.49) і (3.50) при

$$a = \frac{\lambda V_0}{Q_n}; \quad (3.65)$$

$$b = \frac{t_0 - \frac{V_0}{mQ_n}}{T_e}; \quad (3.66)$$

Середній час виконання завдання з виготовлення продукції

$$T_3(V_0) = \frac{V_0}{mQ_n} \cdot (1 + m\lambda T_e); \quad (3.67)$$

Середня продуктивність виготовлення продукції заданого обсягу V_0

$$Q_{cp}(V_0) = \frac{mQ_n}{1 + m\lambda T_e} \cdot \quad (3.68)$$

3.4.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Розрахувати ймовірність виконання завдання та коефіцієнт готовності АЛ, що складається з автомата складання ДП, автомата контролю ДП та накопичувача. Продуктивність автомата складання – 280 ДП, автомата контролю – 230 ДП. Інтенсивність відмов всіх складових АЛ однакова та дорівнює 0,1 1/год Ємність накопичувача складає 150 ДП, а його рівень початкового заповнення – 100 ДП. Середній час відновлення для автомата складання дорівнює 0,08 год, автомату контролю – 0,2 год, накопичувача – 0,06 год Обсяг завдання з випуску продукції складає 900 шт., планований час виконання завдання – 6 год

Розв'язок:

Ймовірність виконання завдання для заданої АЛ, що складається з двох агрегатів із проміжним накопичувачем для випадку, коли номінальна продуктивність АЛ (Q_n) визначається номінальною продуктивністю другого агрегату, визначаємо за формулою

$$g = \frac{0,1 \cdot 0,08 \cdot 230}{280 - 230} = 0,0368,$$

$$P_3 = e^{-(0,1-0,1) \cdot 6} \left(1 - 0,0368 \cdot e^{-\frac{(1-0,0368) \cdot 100}{0,08 \cdot 230}} \right) = 0,583.$$

Коефіцієнт готовності автомата складання дорівнює

$$K_{z1} = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot 0,08} = 0,992.$$

Коефіцієнт готовності контролю дорівнює

$$K_{z2} = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot 0,2} = 0,98 \cdot$$

Коефіцієнт готовності контролю накопичувача

$$K_{zn} = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot 0,06} = 0,994 \cdot$$

Коефіцієнт накладення втрат (відношення сумарного часу простоїв другого агрегату, обумовлених простоями першого агрегату, до сумарного часу простоїв першого агрегату за розглянутий проміжок часу) дорівнює

$$\delta(s_{01}) = \frac{0,1 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,08}{0,1 \cdot 0,08 + 0,1 \cdot 0,2 \left[\exp\left(\frac{1}{0,1 + 0,1} + \frac{0,08 \cdot 0,2}{0,08 + 0,2}\right) \frac{(0,1 \cdot 0,2 - 0,10,08) \cdot 100}{0,08 \cdot 0,2 \cdot 230} \right] - 1} = 0,042$$

Тоді, коефіцієнт готовності АЛ

$$K_z(s_{01}) = 0,98 \cdot 0,994 \cdot (1 - (1 - 0,992) \cdot 0,042) = 0,974 \cdot$$

Задача 2.

Визначити ймовірність виконання завдання, коефіцієнт готовності, середній час виконання завдання та середню фактичну продуктивність багатоагрегатної АЛ з жорстким міжагрегатним зв'язком, що складається з автомата складання, автомата монтажу та автомата контролю. Продуктивність першого – 280 ДП, другого – 200 ДП, третього – 230 ДП. Інтенсивність відмов автомата складання та автомата контролю однакова та дорівнює 0,1 1/год, а автомата монтажу – 0,01 1/год. Середній час відновлення для автомата складання дорівнює 0,08 год, автомата монтажу – 0,06 год, автомата контролю – 0,2 год. Обсяг завдання з випуску продукції складає 900 шт., планований час виконання завдання – 6 год. Зазначену лінію обслуговує лише одна ремонтна бригада.

Розв'язок:

Інтенсивність відмов АЛза формулою

$$\lambda = 0,1 \cdot 2 = +0,01 = 0,21 \text{ (1/год)}.$$

Середній час відновлення АЛ

$$T_e = \frac{0,1}{0,21} \cdot 0,08 + \frac{0,01}{0,21} \cdot 0,06 + \frac{0,1}{0,21} \cdot 0,2 = 0,135 \text{ (год)}.$$

Час виконання завдання складає

$$t_n = \frac{900}{200} = 4,5 \text{ (год)}.$$

Середня кількість відмов до напрацювання розраховується за формулою

$$a = 0,21 \cdot 4,5 = 0,94 \text{ (1/год)}.$$

Відносний резерв часу

$$b = \frac{1,5}{0,135} = 11,11 \text{ (год)}.$$

Ймовірність виконання завдання: для наближених оцінок імовірності виконання завдання складає

$$P_3^H = e^{-0,94} \cdot [1 + 0,94 \cdot (0,94 - e^{-11,19})] = 0,73;$$

$$P_3^6 = 1 - e^{-0,94 - 11,19} \cdot \left[1 + \frac{0,94}{2} \cdot (1 + 11,19) \right] = 0,999 \cdot$$

Коефіцієнт готовності дорівнює

$$K_2 = \frac{1}{1 + 0,21 \cdot 0,135} 0,98 \cdot 0,994 \cdot (1 - (1 - 0,992) \cdot 0,042) = 0,972 \cdot$$

Середній час виконання завдання з урахуванням часу, що затрачується на усунення відмов, визначаємо за формулою

$$T_3 = \frac{900}{280} \cdot 0,972 = 3,11 \text{ (год).}$$

Середня фактична продуктивність під час виготовлення продукції заданого обсягу дорівнює

$$Q_{cp} = 280 \cdot 0,972 = 272,16 \text{ (шт/год).}$$

3.4.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Розрахувати ймовірність виконання завдання та коефіцієнт готовності АЛ згідно з варіантом (табл. 3.18), що складається з автомата підготовки ЕРЕ до монтажу, автомата приклеювання ЕРЕ та автомата паяння ЕРЕ на ДП. Продуктивність автомата складання – 280 ДП, автомата контролю – 230 ДП. Інтенсивність відмов всіх складових першого та третього автоматів однакова та дорівнює 0,2 1/год, другого – 0,01 1/год. Середній час відновлення для автомату підготовки – 0,04 год, автомата приклеювання – 0,06 год, паяння – 0,2 год. Обсяг завдання з випуску продукції складає 1000 шт., запланований час виконання завдання – 9 год.

Таблиця 3.18

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Обсяг завдання з випуску продукції, шт.	Запланований час виконання завдання, год	Тип міжагрегатного зв'язку
0	1000	9	Жорсткий
1	1150	10	
2	850	8	
3	1100	9	
4	950	8	
5	800	6	Гнучкий
6	700	7	
7	1050	9	
8	900	10	
9	750	7	

Задача 2

Розрахувати ймовірність виконання завдання та коефіцієнт готовності АЛ за варіантом (табл. 3.19), що складається з автомата складання ДП, автомата контролю ДП та накопичувача. Продуктивність автомата складання – 240 ДП, автомата контролю – 220 ДП. Інтенсивність відмов першого автомата складає 0,02 1/год, другого автомата – 0,04 1/год, накопичувач – 0,01 1/год Ємність накопичувача складає 140 ДП, а його рівень початкового заповнення – 105 ДП. Середній час відновлення для автомата складання дорівнює 0,07 год, автомата контролю – 0,08 год, накопичувача – 0,06 год Обсяг завдання з випуску продукції складає 800 шт., планований час виконання завдання – 4 год

Таблиця 3.19.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Обсяг завдання з випуску продукції, шт.	Запланований час виконання завдання, год	Продуктивність, шт	
			1 автомат	2 автомат
0	800	4		
1	950	7	240	220
2	1100	5		
3	850	8		
4	1000	6	250	200
5	1150	8		
6	700	4	260	240
7	1050	7		
8	750	5	200	220
9	900	6		

Задача 3.

Визначити ймовірність виконання завдання, коефіцієнт готовності, середній час виконання завдання та середню фактичну продуктивність багатоагрегатної АЛ з жорстким міжагрегатним зв'язком за варіантом (табл. 3.20), що складається з автомата складання, автомата монтажу та автомата контролю. Продуктивність першого – 240 ДП, другого – 200 ДП, третього – 205 ДП. Інтенсивність відмов автомата складання та автомата контролю однакова та дорівнює 0,04 1/год, а автомата монтажу – 0,06 1/год. Середній час відновлення для автомата складання дорівнює 0,07 год, автомата монтажу – 0,06 год, автомата контролю – 0,1 год. Обсяг завдання з випуску продукції складає 800 шт., планований час виконання завдання – 7 год. Зазначену лінію обслуговує дві ремонтні бригади.

Таблиця 3.20.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Обсяг завдання з випуску продукції, шт.	Запланований час виконання завдання, год	Продуктивність, шт			Кількість ремонтних бригад
			1 авто-мат	2 авто-мат	3 авто-мат	
1	800	7	240	200	205	2
2	1050	6	210	240	235	
3	900	8	260	260	265	
4	750	4	250	210	285	3
5	1000	6	200	250	215	
6	950	5	280	270	275	
7	700	7	230	220	245	1
8	1100	6	220	280	225	
9	850	4	270	230	255	

3.5. Розрахунок показників якості складальних процесів для роботизованих технологічних комплексів

3.5.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників якості складальних процесів для робототехнічних комплексів

Робототехнічний комплекс є сукупністю одиниці технологічного обладнання, промислових роботів і засобів оснащення, які функціонують автономно і здійснюють багаторазові цикли.

Засобами оснащення РТК можуть бути пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, що забезпечують функціонування РТК.

Основною РТК в рамках сучасних автоматизованого виробництва радіоелектронних приладів є *промислові роботи* – автоматичні машини, стаціонарні або мобільні, які складаються з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і перепрограмувального пристрою програмного керування для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі.

Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів в умовах великої номенклатури та частотої зміни виробів. Вони можуть виконувати як основні, так і допоміжні операції з обслуговування технологічного обладнання. При обслуговуванні основного технологічного обладнання ПР здійснюють такі операції, як завантаження і розвантаження деталей, контроль, зміна інструментів, прибирання відходів, встановлення та зміна засобів контролю в автоматичному режимі. Широко поширене застосування ПР для обслуговування складського обладнання.

РТК в умовах сучасних виробництв можуть бути задіяні майже на всіх етапах виробництва радіоелектронних приладів, в тому числі і на етапі реалізації технологічних процесів (ТП) складання.

ТП складання полягає в послідовному з'єднанні і фіксації всіх деталей, складових в ту або іншу складальну одиницю із метою одержання виробу, що відповідає встановленим на нього технічним вимогам. Крім цього, в процесі складання здійснюється контроль необхідної точності взаємного положення деталей.

Під час створення РТК важливим є оптимізація структури технологічного процесу. Це обумовлюється тим, що в структурі РТК знаходить своє відображення структура технологічного процесу.

Структура будь-якого ТП, так само як і РТК, включає комплекс технічних засобів, які забезпечують виконання технологічного завдання. До числа *основних параметрів* структур РТК відносяться: g – кількість одиниць технологічного обладнання, необхідних для виконання повного обсягу технологічних операцій; n_{pn} – кількість робочих позицій (секцій), на які розділений РТК, що складається з g послідовно розташованих одиниць технологічного обладнання.

Робоча позиція є сукупністю жорстко зблокованих в єдину систему декількох одиниць обладнання і ПР, які функціонують

так, що відмовлення в роботі однієї одиниці призводить до зупинки всієї позиції.

Наведені параметри є змінними для різних варіантів структур РТК, а параметр n_{pn} – найважливіша структурна ознака. Як правило, $1 \leq n_{pn} \leq g$. Під час дослідження варіантів структури РТК важливою умовою вибору кращого варіанта є зв'язок розрахунків продуктивності РТК з вимогами надійності. Слід розрізняти циклову і фактичну продуктивність РТК.

Математичною моделлю якості структури РТК у даному випадку є

$$I = \Phi[\eta_z, \mu(t), \lambda(t), Q_\phi], \quad (3.69)$$

за такими обмеженнями: $\eta_z \rightarrow 1$; $\mu(t) \rightarrow 0$; $\lambda(t) \rightarrow 0$; $Q_\phi \rightarrow \max$,

де I – функціонал якості структури;
 η_z – коефіцієнт готовності РТК;
 $\mu(t)$ – інтенсивність відновлення РТК;
 $\lambda(t)$ – параметр потоку відмов;
 Q_ϕ – фактична продуктивність РТК.

За показник надійності, що характеризує ступінь безвідмовності РТК, доцільно прийняти коефіцієнт готовності, який визначає математичне очікування того, що РТК виявиться працездатним у будь-який момент часу t і враховує тільки випадкові відмови обладнання.

Коефіцієнт готовності за великий час спостережень визначається за формулою

$$\eta_z = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_e}, \quad (3.70)$$

де T_{cp} – середній час роботи РТК до виникнення відмови, год;

T_g – середній час відновлення працездатності РТК, год

Середній час безперервної роботи визначається як величина, обернена параметру потоку відмов $\lambda(t)$, що характеризує щільність імовірності виникнення відмов РТК у розглянутій проміжок часу, тобто

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)}, \quad (3.71)$$

де $\lambda(t)$ – параметр потоку відмов, який визначається за формулою

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \lambda_3(t) + \lambda_4(t), \quad (3.72)$$

де $\lambda_1(t)$ – щільність імовірності відмов з подачі на позицію непридатних деталей;

$\lambda_2(t)$ – щільність імовірності відмов обладнання;

$\lambda_3(t)$ – щільність імовірності відмов ПР;

$\lambda_4(t)$ – щільність імовірності відмов системи керування.

Середній час відновлення працездатності РТК після виникнення відмов визначається за формулою

$$T_g = \frac{1}{\mu(t)}, \quad (3.73)$$

де $\mu(t)$ – інтенсивність відновлення комплексу.

Отже, підставляючи отримані вирази в формулу (3.70), одержимо

$$\eta_2 = \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda(t)}, \quad (3.74)$$

Фактична продуктивність РТК визначається за формулою

$$Q_{\phi} = Q_{\psi} \cdot \eta_{\psi}, \quad (3.75)$$

де Q_{ψ} – циклова продуктивність;
 η_{ψ} – коефіцієнт готовності РТК.

Виходячи з прийнятого підходу незалежного визначення Q_{ψ} і η_{ψ} , та враховуючи трудомісткість виконання кожної технологічної операції T_i , визначаємо циклову продуктивність у залежності від варіанта структурної побудови РТК. При *послідовному розташуванні* робочих позицій вихід придатних виробів із РТК визначається тривалістю самої трудомісткої операції, отже, *циклова продуктивність*

$$Q_{\psi}^{nosc} = \frac{1}{\max(T_i)}. \quad (3.76)$$

При *паралельному розташуванні* робочих позицій у РТК

$$Q_{\psi}^{narp} = \sum_1^n Q_{\psi} = \sum_1^n \frac{1}{T_i}, \quad (3.77)$$

або

$$Q_{\psi}^{narp} = \frac{n}{\sum_1^n T_i}, \quad (3.78)$$

якщо трудомісткості окремих операцій рівномірно розподілені за робочими позиціями; де n – кількість робочих позицій.

Коефіцієнт готовності РТК визначається на підставі коефіцієнтів готовності одиниць технологічного обладнання і ПР. При цьому передбачається, що в послідовному розташуванні обладнання на робочій позиції відмова кожного з них призводить до відмови всієї позиції. В цьому випадку ймовірність від-

мови робочої позиції визначається добутком імовірності відмов складових позицій, отже, коефіцієнт готовності дорівнює

$$\eta_z^{nocл} = \prod_{i=1}^k \eta_i, \quad (3.79)$$

де K – кількість обладнання і ПР, що входять у робочу позицію;

η_i – коефіцієнт готовності i -го обладнання.

При *паралельному розташуванні* робочих позицій сумарний коефіцієнт готовності дорівнює

$$\eta_z^{nap} = \frac{1}{n \sum_{i=1}^k \eta_i}, \quad (3.80)$$

Кожна структура досліджується в двох варіантах: послідовному і паралельному згідно з варіантами побудови.

3.5.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Визначити коефіцієнт готовності, середній час роботи до виникнення відмови, фактичну продуктивність та циклову продуктивність РТК за умов його паралельної та послідовної структури. До складу РТК входить бункерний пристрій з наступними характеристиками: трудомісткість – 2,7 хв (0,045 год), параметр потоку відмов – 0,03 1/год, інтенсивність відновлення – 0,01 1/год.; автомат складання трудомісткістю 1,1 хв (0,018 год), з параметром потоку відмов – 0,01 1/год та інтенсивністю відновлення – 0,01 1/год.; ПР трудомісткістю 0,5 хв (0,008 год), з параметром потоку відмов – 0,05 1/год та інтенсивністю відновлення – 0,02 1/год.; автомат паяння з трудомісткістю 0,75 хв (0,013 год), з параметром потоку відмов – 0,01 1/год та інтенсивністю відновлення – 0,03 1/год Кількість робочих позицій автомату складання та кількість пристроїв, які входять у робочу позицію – 2.

Розв'язок:

Визначимо загальний параметр потоку відмов РТК

$$\lambda(t) = 0,03 + 0,01 + 0,05 + 0,01 = 0,1 \text{ (1/год).}$$

Інтенсивність відновлення комплексу

$$\mu(t) = 0,01 + 0,01 + 0,02 + 0,03 = 0,07 \text{ (1/год).}$$

Середній час відновлення працездатності РТК після виникнення відмов дорівнює

$$T_g = \frac{1}{0,07} = 14,3 \text{ (год).}$$

Середній час роботи РТК до виникнення відмови

$$T_{cp} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ (год).}$$

Тоді, коефіцієнт готовності РТК за великий час спостережень

$$\eta_2 = \frac{10}{10 + 14,3} = 0,41.$$

Для послідовної структури РТК циклова продуктивність дорівнює

$$Q_{ц}^{носл} = \frac{1}{0,045} = 22,2 \text{ (шт./год).}$$

Коефіцієнт готовності для всіх типів обладнання, що входять до складу РТК:

– для бункерного пристрою

$$\eta_{z1} = \frac{0,01}{0,01 + 0,03} = 0,25;$$

– для автомата складання

$$\eta_{z2} = \frac{0,01}{0,01 + 0,01} = 0,5;$$

– для ПР

$$\eta_{z3} = \frac{0,02}{0,02 + 0,05} = 0,29;$$

– для автомата паяння

$$\eta_{z4} = \frac{0,03}{0,03 + 0,01} = 0,75.$$

Тоді, коефіцієнт готовності РТК для послідовної структури дорівнює

$$\eta_2^{посл} = 0,25 \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 0,29 \cdot 0,75 = 0,005$$

Фактична продуктивність

$$Q_{\phi_{посл}} = 22,2 \cdot 0,005 = 0,111 \text{ (шт./год).}$$

Для паралельної структури РТК циклова продуктивність дорівнює

$$Q_{\phi}^{пар} = \frac{2}{0,045 + 0,018 + 0,008 + 0,013} = 23,8 \text{ (шт./год).}$$

Коефіцієнт готовності РТК для паралельної структури

$$\eta_c^{нар} = \frac{1}{0,25 + 0,05 \cdot 2 \cdot 2 + 0,29 + 0,75} = 0,67 \cdot$$

Фактична продуктивність

$$Q_{\phi} = 23,8 \cdot 0,67 = 15,95 \text{ (шт./год).}$$

3.5.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Визначити коефіцієнт готовності, середній час роботи до виникнення відмови, фактичну продуктивність та циклову продуктивність РТК за умов його паралельної та послідовної структури згідно з вихідними даними за варіантом, що відповідає останній цифрі залікової книжки (табл. 3.21).

Таблиця 3.21

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Склад РТК	Трудомісткість операцій, хв	Ймовірності відмов, 1/год	Інтенсивність відновлення, 1/год	Кількість робочих позицій, шт	Кількість пристроїв, які входять у роботу позицію, шт
1	2	3	4	5	6
Варіант 0					
Установка пресування	1,7	0,025	0,183		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат свердління	1,3	0,27	0,28	1	3
Установка очищення	0,8	0,09	0,11		
Варіант 1					
Установка нанесення фоторезиста на ДП	2,3	0,05	0,05		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Установка сушіння фоторезиста	5,7	0,15	0,09		
Установка фотоекспонування	0,95	0,23	0,17	2	2
Установка термічної обробки фоторезиста на ДП	2,2	0,185	0,08		
Варіант 2					
Бункерний пристрій	2,4	0,3	0,02		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат складання	1,3	0,01	0,1		
Автомат паяння	0,6	0,05	0,6	2	2
Варіант 3					
Автомат встановлення ЕРЕ на ДП	5,6	0,04	0,8		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат підігріву ДП	3,1	0,03	0,16		
Установка флюсування ДП	2,1	0,11	0,8	4	1
Установка паяння ДП	0,15	0,11	0,11		
Варіант 4					
Установка пресування	1,3	0,028	0,16		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат свердління	1,1	0,2	0,22		
Установка очищення.	0,8	0,07	0,15	2	3

Продовження табл. 3.21

1	2	3	4	5	6
Варіант 5					
Установка нанесення фоторезиста на ДП	2	0,03	0,05		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Установка сушіння фоторезиста	3,8	0,22	0,07		
Установка фотоекспонування	0,9	0,18	0,19	1	3
Установка термічної обробки фоторезиста на ДП	2,4	0,18	0,07		
Варіант 6					
Бункерний пристрій	1,8	0,3	0,01	2	2
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат складання	1,1	0,06	0,4		
Автомат паяння	0,9	0,04	0,2		
Варіант 7					
Автомат встановлення ЕРЕ на ДП	4,2	0,04	0,7		
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат підігріву ДП	3,3	0,05	0,2		
Установка флюсування ДП	2,2	0,18	0,8	3	1
Установка паяння ДП	1,3	0,2	0,11		
Варіант 8					
Установка пресування	1,6	0,02	0,3	1	2
ПР	0,4	0,04	0,2		
Автомат свердління	1,4	0,4	0,14		
Установка очищення.	0,8	0,07	0,22		
Варіант 9					
Установка нанесення фоторезиста на ДП	3,8	0,05	0,03		
ПР	0,4	0,04	0,1		
Установка сушіння фоторезиста	3,1	0,2	0,09		
Установка фотоекспонування	0,6	0,6	0,15	2	2
Установка термічної обробки фоторезиста на ДП	2,4	0,12	0,09		

3.6. Розрахунок показників функціонування робототехнічних комплексів

3.6.1. Теоретичні відомості з розрахунку показників функціонування робототехнічних комплексів

Під час досліджування функціонування РТК, виникає необхідність аналізу роботи технологічного обладнання на основі методів аналізу і синтезу структур РТК. Прикладом таких РТК є сукупність автоматизованого обладнання і промислових роботів, об'єднаних єдиною метою і загальними компоувальними рішеннями.

У залежності від умов і мети дослідження за *основні характеристики* РТК можуть бути прийняті такі:

- продуктивність РТК;
- надійність РТК;
- величина капітальних витрат;
- вартість комплексу;
- точність виготовлення виробів.

Для аналізу РТК важливо знати такі параметри:

- тривалість робочого часу комплексу;
- кількість роботів у комплексі;
- кількість основного технологічного обладнання;
- тип і кількість транспортно-завантажувальних пристроїв;
- коефіцієнт завантаження транспорту;
- час роботи транспорту протягом зміни.

Під час дослідження структури РТК велике значення має розрахунок *завантаження транспортних пристроїв*, що забезпечують своєчасне доставляння виробів до обладнання РТК, яке виключає простоювання обладнання РТК.

Коефіцієнт завантаження транспортного пристрою K_3 можна визначити як відношення річного часу роботи транспортного пристрою T у годинах до його ефективного річного фонду часу F_{ef} у годинах

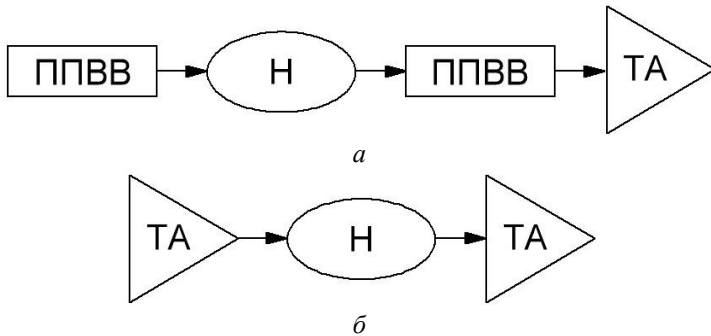
$$K_3 = \frac{T}{F_{ef}}, \quad (3.81)$$

Час роботи транспорту за зміну визначається добутком кількості циклів переміщення одиниці вантажу і середньою тривалістю одного циклу (цикл – час переміщення одиниці вантажу з однієї позиції в другу).

Всі цикли переміщення можна зобразити двома схемами (рис. 3.5):

- позиція «прийому/видачі» виробу – накопичувач – позиція «прийому/ видачі» виробу – технологічний агрегат (рис. 3.5, а);
- накопичувач – технологічний агрегат – накопичувач (рис. 3.5, б).

За першою схемою здійснюється транспортування в дві зміни, за другою – у три.



*Рисунок 3.5 – Схеми переміщення (подачі) виробів в РТК:
а – перша схема; б – друга схема; ППВВ – позиція «прийому/видачі»
виробу; Н – накопичувач; ТА – технологічний агрегат*

Виходячи з кількості виробів, які мають бути виготовлені в РТК за добу, кількість циклів \mathcal{C} переміщення транспорту за зміну визначається формулою

$$Ц = 2 \cdot \left[\left(\frac{n}{2n_1} + \frac{n_2}{2} \right) + \left(\frac{n}{3n_1} + \frac{n_2}{3} \right) \right], \quad (3.82)$$

де $\frac{n}{2n_1}$ – кількість циклів за першою схемою транспортування

виробів за зміну;

n – кількість виробів, що виготовляється за добу;

n_1 – кількість виробів, що устанавлюється одночасно на вантажній одиниці;

$\frac{n}{3n_1}$ – кількість циклів за другою схемою транспортування

виробів за зміну;

n_2 – кількість інструментальних магазинів, які необхідні за добу;

$\frac{n_2}{2}$ – кількість циклів за першою схемою транспортування

інструментальних магазинів за зміну;

$\frac{n_2}{3}$ – кількість циклів за другою схемою транспортування

інструментальних магазинів за зміну.

Час циклу можна визначити за формулою

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{г}} + t_{\text{в}}, \quad (3.83)$$

де $t_{\text{г}}$ і $t_{\text{в}}$ – час переміщення транспорту по горизонталі та вертикалі, відповідно.

Час переміщення транспорту по горизонталі визначається за формулою

$$t_2 = \frac{L}{3v_2} + \frac{v_2}{a} + t_{вст} + t_{пер}, \quad (3.84)$$

де v_2 – швидкість переміщення транспорту по горизонталі;
 L – найбільша довжина переміщення;
 a – прискорення;
 $t_{вст}$ – час переміщення транспорту за встановленою швидкістю;
 $t_{пер}$ – час на перевантаження одиниці вантажу.
 По вертикалі

$$t_6 = \frac{H}{v_6}, \quad (3.85)$$

де v_6 – швидкість переміщення транспорту по вертикалі;
 H – середня висота підняття.
 Час роботи транспорту за зміну визначається формулою

$$t = t_{ц} \cdot Ц, \quad (3.86)$$

Коефіцієнт завантаження транспорту K_3 визначається за формулою

$$K_3 = \frac{t}{F_{эф}} \cdot 3 \cdot 271. \quad (3.87)$$

При $K_3 \geq 1$ РТК функціонувати не буде, в такому разі необхідно переглянути компоновальну схему РТК.

3.6.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Розрахувати розглянуті в теоретичній частині підрозділу параметри функціонування РТК для двох переміщення (подачі) виробів (рис. 3.5), якщо його час роботи транспортного пристрою для першої схеми дорівнює 3725 год (13410000 с), для другої – 5468 год (19684800). Ефективний фонд часу для першої схеми – 2565 год (9234000), для другої – 4760 год (17136000). Найбільша довжина переміщення для обох схем складає 0,28 м., а середня висота підняття – 0,65 м. За добу на РТК виготовляється 100 приладів. Кількість виробів, що установлюється одночасно на вантажній одиниці – 20. Кількість інструментальних магазинів, які необхідні за добу – 3. Швидкість переміщення транспорту по горизонталі складає 3 м/с, а по вертикалі – 0,4 м/с. Час переміщення транспорту за встановленою швидкістю – 8 с, час на перевантаження одиниці вантажу – 12 с. Прискорення складає 9,8 м/с.

Розв'язок:

Коефіцієнт завантаження транспортного пристрою для першої схеми

$$K_3 = \frac{3725}{2565} = 1,45 \cdot$$

Для другої

$$K_3 = \frac{5465}{4760} = 1,15 \cdot$$

Кількість циклів переміщення транспорту за зміну складає

$$Ц = 2 \cdot \left[\left(\frac{100}{2 \cdot 20} + \frac{3}{2} \right) + \left(\frac{100}{3 \cdot 20} + \frac{3}{3} \right) \right] = 12,34 \text{ (цикл)}.$$

Оскільки потрібно враховувати повні цикли $Ц = 13$ циклів.

Час переміщення транспорту по горизонталі

$$t_2 = \frac{0,28}{3 \cdot 0,35} + \frac{0,35}{9,8} + 8 + 12 = 20,303 \text{ (с)}.$$

По вертикалі

$$t_6 = \frac{0,65}{0,4} = 1,625 \text{ (с)}.$$

Тоді, час циклу дорівнює

$$t_{\text{ц}} = 20,303 + 1,625 = 21,928 \text{ (с)}.$$

Час роботи транспорту за зміну складає

$$t = 21,928 \cdot 13 = 285,064 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт завантаження транспорту для першої схеми

$$K_3 = \frac{285,064 \cdot 3 \cdot 271}{9234000} = 0,025.$$

Коефіцієнт завантаження транспорту для другої схеми

$$K_3 = \frac{285,064 \cdot 3 \cdot 271}{17136000} = 0,014.$$

3.6.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Розрахувати розглянуті параметри функціонування РТК для двох схем за вихідними даними, що наведені в табл. 3.22, у відповідності до схем переміщення (подачі) виробів (рис. 3.5), за умови того, що прискорення дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$, а середня висота підняття вантажу на РТК – $0,86 \text{ м}$.

Таблиця 3.22.

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Схема	Час роботи транспортного пристрою, год	Ефективний річний фонд часу, год	Найбільша довжина переміщення, м	Кількість виробів, що виготовляється за добу, шт.	Кількість виробів, що установлюється одночасно на вантажній одиниці, шт.	Кількість інструментальних магазинів, які необхідні за добу, шт.	Швидкість переміщення транспорту по горизонталі, м/с	Швидкість переміщення транспорту по вертикалі, м/с	Час переміщення транспорту за встановленою швидкістю, с	Час на перевантаження одиниці вантажу, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Варіант 0										
1	3725	2565	0,28	100	20	3	0,35	0,4	8	12
2	5465	4760	0,28	100	20	3	0,35	0,4	8	12
Варіант 1										
1	2840	2265	0,68	200	50	6	0,3	0,3	10	15
2	3980	3260	0,68	200	50	6	0,3	0,3	10	15
Варіант 2										
1	2560	2265	0,86	280	30	5	0,55	0,55	12	20
2	3740	3260	0,86	280	30	5	0,55	0,55	12	20
Варіант 3										
1	2426	2134	0,22	140	40	4	0,4	0,45	11	16
2	3773	2476	0,22	140	40	4	0,4	0,45	11	16

Продовження табл. 3.22.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Варіант 4										
1	4274	3898	0,74	240	45	7	0,65	0,5	14	17
2	3456	3141	0,74	240	45	7	0,65	0,5	14	17
Варіант 5										
1	3896	3573	0,32	180	55	9	0,6	0,6	9	11
2	3256	2997	0,32	180	55	9	0,6	0,6	9	11
Варіант 6										
1	2944	2684	0,44	260	60	12	0,45	0,7	13	18
2	1952	1852	0,44	260	60	12	0,45	0,7	13	18
Варіант 7										
1	3863	3499	0,57	220	25	10	0,75	0,65	18	13
2	3212	2941	0,57	220	25	10	0,75	0,65	18	13
Варіант 8										
1	2841	2753	0,83	120	68	11	0,5	0,35	14	19
2	2598	2234	0,83	120	68	11	0,5	0,35	14	19
Варіант 9										
1	4257	4012	0,35	160	35	8	0,7	0,75	19	14
2	4122	3996	0,35	160	35	8	0,7	0,75	19	14

3.7. Розрахунок надійності робототехнічних комплексів за параметрами точності

3.7.1. Теоретичні відомості з розрахунку надійності робототехнічних комплексів за параметрами точності

Метою оцінки надійності робототехнічних комплексів, як різновиду технологічних комплексів (ТК) за параметрами точності є:

- визначення можливості застосування досліджуваного РТК для виготовлення продукції за заданими параметрами точності;
- оцінка змін точнісних характеристик ТП упродовж часу і визначення їх відповідності вимогам, що встановлені нормативно-технічною документацією (НТД);
- одержання інформації для регулювання ТП.

Оцінку надійності РТК за параметрами точності необхідно проводити за результатами контролю точності технологічних процесів (операцій). Під час оцінки надійності ТК за параметрами точності можливо використовувати будь-який з методів:

- дослідно-статистичний;
- метод квалітетів;
- розрахунковий, його різновиди та ін.

Контроль точності РТК необхідно виконувати за якісними або кількісними ознаками. Під час контролю за якісними ознаками визначають відповідність параметрів ТП (операцій) вимогам НТД. Під час контролю за кількісними ознаками визначають значення показників точності. Наведені далі методики розрахунку можливо застосовувати для різноманітних ТК.

Для розрахунку надійності РТК за параметрами точності розробляється програма досліджень, яка містить такі етапи:

- дослідження надійності РТК за параметрами точності з нормальним розподілом контролюючого параметра;
- перевірка умови $K_T = K_T < 1$;
- перевірка умови $K_3(t) > 0$;

- визначення коефіцієнта точності за контролюючим параметром;
- визначення коефіцієнта миттєвого розсіювання за контролюючим параметром;
- визначення коефіцієнта зміщення контролюючого параметра;
- визначення коефіцієнта запасу точності за контролюючим параметром.

У процесі роботи визначають такі основні показники точності:

- коефіцієнт точності K_T ;
- коефіцієнт миттєвого розсіювання $K_p(t)$;
- коефіцієнт зміщення контролюючого параметра $K_{3m}(t)$;
- коефіцієнт запасу точності за контролюючим параметром $K_3(t)$.

Коефіцієнт точності за контролюючим параметром визначається за формулою

$$K_T = \frac{\Omega}{T}. \quad (3.88)$$

де Ω – поле розсіювання або різниця максимального і мінімального значень контролюючого параметра за встановлений наробіток ТК, який визначається з довірчою ймовірністю γ з виразу

$$\omega = \rho(\gamma) \cdot S. \quad (3.89)$$

де $\rho(\gamma)$ – коефіцієнт, який залежить від закону розподілу контролюючого параметра і величини γ ;

S – середнє квадратичне відхилення контролюючого параметра;

T – допуск на контролюючий параметр. Для нормального закону розподілу поле розсіювання контролюючого параметра з довірчою імовірністю $\gamma = 0,9973$, $\rho(\gamma) = 6$, тоді $\omega = 6S$.

Для закону Максвелла $\omega = 5,25S$. Середнє квадратичне відхилення контролюючого параметра визначається за формулою

$$S = \frac{R}{d_n}, \quad (3.90)$$

де R – величина розмаху в миттєвій вибірці,

$$R = x_{max} - x_{min}; \quad (3.91)$$

x_{max} – максимальне значення в миттєвій вибірці;

x_{min} – мінімальне значення в миттєвій вибірці;

d_n – коефіцієнт, який змінюється в залежності від об'єму n миттєвої вибірки.

Коефіцієнт миттєвого розсіювання за контролюючим параметром визначається за формулою

$$K_p(t) = \frac{\omega(t)}{T}; \quad (3.92)$$

де $\omega(t)$ – поле розсіювання контролюючого параметра в момент часу t .

Коефіцієнт зміщення за контролюючим параметром визначається за формулою

$$K_c = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T}; \quad (3.93)$$

де $\bar{\Delta}(t)$ – середнє значення відхилення контролюючого параметра відносно середини поля допуску в момент часу t ,

$$\bar{\Delta}(t) = |x_{cp}(t) - x_0|; \quad (3.94)$$

де $x_{cp}(t)$ – середнє значення контролюючого параметра в момент часу t ;

x_0 – значення параметра, відповідне середині поля допуску (при симетричному полі допуску значення x_0 збігається з номінальним значенням параметра $x_{ном}$).

Коефіцієнт запасу точності за контролюючим параметром визначається за формулою

$$K_3(t) = 0,5 - K_c(t) - 0,5K_p(t); \quad (3.95)$$

При контролі точності за кількісною ознакою з використанням коефіцієнта точності має виконуватись умова

$$K_T = K_{T0} < 1, \quad (3.96)$$

де K_{T0} – нормативне значення,

$$K_3(t) > 0; \quad (3.97)$$

3.7.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Визначити надійність РТК за параметрами точності, якщо поле розсіювання (різниця максимального і мінімального значень контролюючого параметра за встановлений наробіток) складає $6S$, його довірча ймовірність – 0,9973. Поле розсіювання контролюючого параметра в конкретний момент часу – 0,48 мм, допуск на контролюючий параметр – 70 мкм (0,07 мм). Об'єм миттєвої вибірки дорівнює 2, коефіцієнт, який змінюється в залежності від об'єму миттєвої вибірки – 1,12. Максимальне значення в миттєвій вибірці – 15,05, мінімальне – 15. Середнє значення контролюючого параметра в конкретний момент часу – 15,025, номінальне – 15.

Розв'язок:

Величина розмаху в миттєвій вибірці складає

$$R = 15,05 - 15 = 0,05.$$

Середнє квадратичне відхилення контролюючого параметра

$$S = \frac{0,05}{1,12} = 0,045.$$

Поле розсіювання складає

$$\omega = 6 \cdot 0,045 = 0,27.$$

Коефіцієнт точності за контролюючим параметром дорівнює

$$K_T = \frac{0,27}{0,07} = 3,86.$$

Визначимо коефіцієнт миттєвого розсіювання за контролюючим параметром

$$K_p(t) = \frac{0,48}{0,07} = 6,86.$$

Середнє значення відхилення контролюючого параметра відносно середини поля допуску в заданий момент часу

$$\bar{\Delta}(t) = |15,025 - 15| = 0,025.$$

Тоді, коефіцієнт зміщення за контролюючим параметром складає

$$K_c = \frac{0,025}{0,07} = 0,357.$$

Коефіцієнт запасу точності за контролюючим параметром

$$K_3(t) = 0,5 - 0,357 - 0,5 \cdot 6,86 = -3,197.$$

Проаналізуємо отримані дані з точки зору виконання вимог (3.95) та (3.96): $K_T = 3,86 < 1$ – отримані дані задовольняють першій вимозі; $K_3(t) = -3,197 < 0$ – отримані дані не задовольняють першій вимозі.

Виходячи з цього, точність розглянутого РТК є недостатньою для отримання його достатнього рівня надійності.

3.7.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Визначити надійність РТК за параметрами точності згідно з варіантом, що відповідає останній цифрі залікової книжки (табл. 3.23)

Таблиця 3.23

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

№	Поле розсіювання	Довірча ймовірність	Поле розсіювання контролюючого параметра в момент часу, мм	Допуск на контролюючий параметр, мкм	Об'єм миттєвої вибірки	Коефіцієнт, який змінюється в залежності від об'єму миттєвої вибірки	Максимальне значення в миттєвій вибірці	Мінімальне значення в миттєвій вибірці	Середнє значення контролюючого параметра в момент часу	Номінальне значення контролюючого параметра в момент часу
0	6s	0,9973	0,48	65	3	1,457	18,05	18	18,035	18
1	5,25s	0,9573	0,55	40	3	1,693	20,03	20	20,015	20
2	6,s	0,9973	0,6	65	4	2,059	18,02	18	18,01	18
3	6,s	0,9973	0,38	35	5	2,326	40,2	40	40,01	40
4	5,25s	0,9573	0,65	25	6	2,534	35,4	35	35,2	35
5	5,25s	0,9591	0,45	50	7	2,704	10,15	10	10,07	10
6	6s	0,9973	0,61	42	8	2,847	60,3	60	60,15	60
7	5,49s	0,9815	0,58	55	9	2,970	49,3	49,1	49,15	49
8	6s	0,9973	0,44	60	10	3,078	34,2	34	34,1	34
9	5,49s	0,9984	0,46	45	8	2,702	38,2	38	40,07	40

3.8. Розрахунок точності позиціонування складального промислового робота

3.8.1. Теоретичні відомості з розрахунку точності позиціонування складального промислового робота

Точність позиціонування маніпулятора – одна з найважливіших характеристик промислового робота, яка значною мірою визначає можливість його застосування для конкретного виробничого процесу й область використання.

Точність позиціонування різних моделей ПР коливається в межах $\pm (0,1\dots0,05)$ мм для складальних роботів і до $\pm (2,0\dots3,0)$ мм для вантажно-розвантажувальних роботів.

У процесі функціонування ПР робочий інструмент, встановлений у руці робота, може відхилитися від тієї точки виробу, в яку він має бути введений за програмою. Це *помилка позиціонування*.

Для маніпулятора важливого компонування помилки ΔX , ΔY , ΔZ (рис. 3.6) визначають як різницю між положеннями 1 і 2 умовної точки центра захвата. Задача полягає в тому, щоб визначити фізичні основи появи таких помилок, закон їх розподілу, вплив на функціонування робота та можливість прогнозування їхньої появи.

Дослідження показують, що помилка позиціонування ПР складається з помилок, спричинених помилками роботи пристрою керування та приводів; помилок, що залежать від механічної частини маніпулятора. До останнього відносяться пружні деформації в ланках кінематичних ланцюгів маніпулятора, неточність виготовлення, наявність «мертвих ходів» і люфтів, вібрації тощо.

Розглянемо другу групу причин. Вважаємо, що пристрій керування і привід працюють точно.

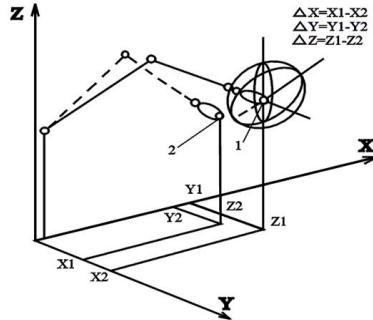


Рисунок 3.6 – Схема для визначення точності позиціонування ПР:
 1 і 2 – положення умовної точки центра захвата

Проаналізуємо помилки за рахунок пружних деформацій, неточності виготовлення та складання. Аналіз різних ситуацій, характерних для промислових роботів, приводить до висновку, що існують три види помилок, які залежать від пружних деформацій, неточностей виготовлення та складання виробів; власне маніпулятора робота; виготовлення деталі; встановлення деталі.

Розглянемо схему (рис. 3.7) елементарного процесу, коли ПР несе в руці 1 інструмент, у даному випадку циліндр 2, що має бути встановлений в отвір деталі 3. Деталь у свою чергу встановлена на основі 4. Усі ці три частини складають систему «робот – інструмент – деталь» (РІД).

На рис. 3.7, а наведений ідеальний випадок, коли вісі всіх трьох елементів збігаються і складання легко здійснюється рухом руки вниз. На рис. 3.7, б наведено положення захвата, коли він відхилився від осі РІД вправо (чи вліво) на величину δ_1 . Це і є помилка позиціонування робота. На рис. 3.7, в наведений випадок, коли деталь виготовлена неточно.

Зрушення δ_2 осі отвору від осі виробу є помилкою виготовлення виробу. На рис. 3.7, в зображені положення, коли виріб стосовно основи 4 встановлено неточно. Ця помилка позначена δ_3 .

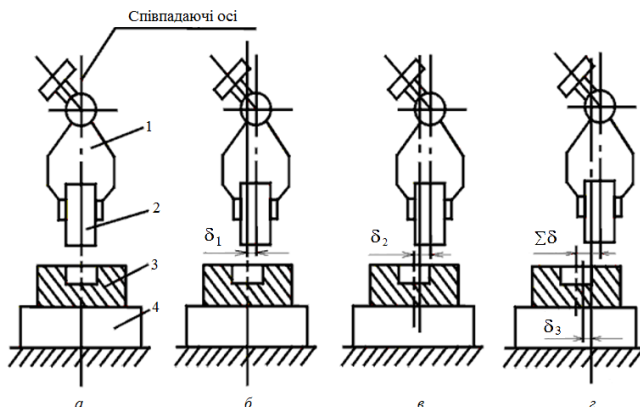


Рисунок 3.7 – Схеми, що пояснюють помилки позиціонування:
 а – рука; б – циліндр; в – отвір деталі; г – основа

На всіх рисунках помилки для наочності розташовані так, що складаються за величиною і створюють *максимальну помилку*

$$\Sigma \delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; \quad (3.98)$$

Прийнято вважати, що перераховані помилки мають ймовірний характер, а закон їхнього розподілу – нормальний (закон Гауса). Слід зазначити, що цьому закону підлягають помилки з виготовлення виробів у виробництві й описані вони системою допусків і посадок.

За нормальним законом розподілу помилок (рис. 3.8) щільність розподілу має вигляд

$$P_p(x) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-x_k)^2}{\sigma_p^2}}; \quad (3.99)$$

де $P_p(x)$ – імовірність влучення випадкової величини в точку x ;

σ_p – середнє квадратичне відхилення помилок позиціонування робота;

x_k – середнє значення розподілу помилок позиціонування робота, тобто та точка, в якій має знаходитися предмет.

Щільність розподілу помилок виробу

$$P_p(x) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_u^2}}; \quad (3.100)$$

де σ_u – середня квадратична помилка відповідно виробу

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{ui}^2 + \sigma_{pi}^2}; \quad (3.101)$$

де σ_{ui} та σ_{pi} – середні квадратичні помилки відповідно виготовлення виробу та його розміщення.

Сумарна помилка від трьох факторів

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_u^2} = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_{ui}^2 + \sigma_{pi}^2}, \quad (3.1020)$$

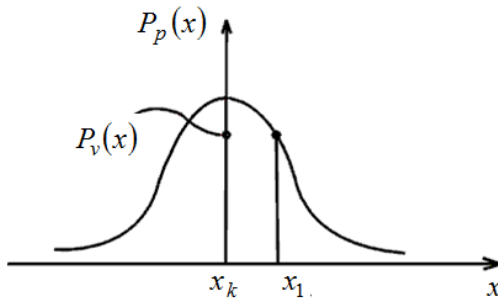


Рисунок 3.8 – Крива нормального закону розподілу помилок

Очевидно, що

$$P(x) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_c^2}}. \quad (3.103)$$

Отже, якщо

$$\sum \delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \leq 3\sigma. \quad (3.104)$$

тоді робот виконає свою задачу, і циліндр встане в отвір.

Якщо $\sum \delta \leq 3\sigma$, то операція, що передбачена програмою, може бути не виконана, циліндр увіпреться бортиком у виріб. Отже, робот застосовувати в цих умовах не можна.

Під час вибору ПР виникає необхідність оцінити придатність даного робота до виконання запропонованої («нової» для нього) технологічної операції. Для оцінки придатності робота, що виконує визначену технологічну операцію, необхідно визначити сумарну помилку. Для чого, у свою чергу, необхідно знати закони розподілу складових помилок.

Приймаємо, що кожна зі складових помилок розподіляється за нормальним законом. Тоді для прогнозування сумарної помилки необхідно знати ряд характеристик складових помилок: математичне очікування, середнє квадратичне відхилення і відносний коефіцієнт асиметрії центрів розсіювання. Якщо відносний коефіцієнт асиметрії розсіювання помилки позиціонування маніпуляторів і помилки встановлення деталей дорівнює нулю, тоді задача прогнозування спрощується, оскільки можна використовувати суму цих двох помилок (розподіл сумарної помилки позиціонування маніпулятора й встановлення деталі матиме вигляд кривої Гаусса).

Оцінювання проводиться у вигляді перевірки перебування її в межах, зазначених у технічному паспорті. Для ПР РФ 202-М похибка повторюваності позиціонування за всіма координатами має бути не більш $\pm 0,10$ мм.

Для перевірки необхідно в режимі «ручного керування» вивести механізм затиску маніпулятора в точку захвату. Здійснити «захват» деталі та виконати 50 робочих рухів маніпулятора (з поверненням у вихідну точку після кожного руху). Зафіксувати олівцем 50 точок на міліметровому папері, розташованому на горизонтальному крузі, позначаючи при кожному новому підході деталі до круга з папером положення однієї обраної точки фіксації положення деталі, потім визначити діаметр d поля розкиду точок фіксації положення деталі на крузі з папером (рис. 3.9).

Діаметр поля розкиду точок визначається шляхом вимірювання поля в трьох положеннях через 120°, тобто одержуємо діаметри d_1, d_2, d_3 . Потім за формулою (3.105) визначаємо d_{cp}

$$d_{cp} = \frac{(d_1 + d_2 + d_3)}{3}. \quad (3.105)$$

Для зручності одержання фігури, обмеженої криволінійною лінією в крайніх точках, і подальшого визначення середнього діаметра фігури (коло), рекомендується застосувати 20-кратне збільшення значень координат точок.

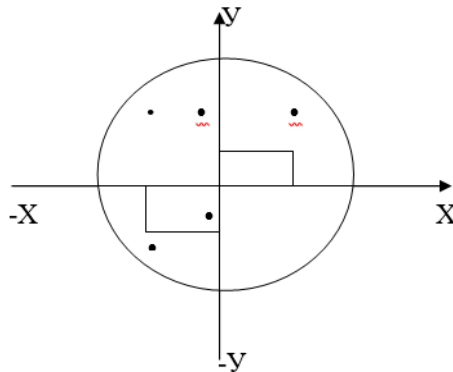


Рисунок 3.9 – Схема визначення координат точок

Далі обробка отриманого статистичного матеріалу виконується за такою методикою.

Визначається максимальний діаметр зони розсіювання точок (рис. 3.9). Потім розбивається величина діаметра зони розсіювання на інтервали (від 5 до 10, у залежності від кількості вимірів).

Значення частоти показань у кожному з інтервалів заносяться у таблицю 3.24. Після чого обчислюється математичне очікування сумарної помилки встановлення деталі та позиціонування маніпулятора (вплив помилки виготовлення деталі виключається).

Тут R_i – позначення i -го розряду; k – кількість розрядів; R_i, R_{i+1} – його межі; p_i^* – відповідна частота, яка дорівнює

$$p_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad (3.106)$$

де m_i – кількість спостережень у даному інтервалі;
 n – загальна кількість спостережень;

Таблиця 3.24

Статистичні дані

R_i	X_1, X_2	X_2, X_3	...	X_i, X_{i+1}	...	X_k, X_{k+1}
m_i	m_1	m_2	...	m_i	...	m_k
p_i	p_1^*	p_2^*	...	p_i^*	...	p_k^*

Математичне очікування визначається за формулою

$$p_x^* = \sum_{i=1}^n \overline{X_i} p_i^*, \quad (3.107)$$

де X_i – середнє значення в i -му розряді; p_i^* – частота i -го розряду.

Наступним етапом обчислюється дисперсія сумарної помилки, середнє квадратичне відхилення і відносна величина розсіювання.

Дисперсія випадкової величини X називається математичне очікування квадрата відповідної центрованої величини

$$D[X] = M\left[|X - m_i|^2\right] = \sigma_x^2. \quad (3.108)$$

Дисперсія випадкової величини – це характеристика розсіювання, розкиданості значень випадкової величини біля її математичного очікування. Вона має розмірність квадрата випадкової величини. Для наочності зручніше користуватися величиною, розмірність якої збігається з розмірністю випадкової величини X

$$\sigma[x] = \sqrt{D|x|}. \quad (3.109)$$

Відносна величина розсіювання оцінюється за допомогою стандартного відхилення

$$V = \frac{\sigma|x|}{M|x|}. \quad (3.110)$$

Наступним перевіряється гіпотеза про те, що сумарна помилка встановлення деталі та позиціонування маніпулятора розподілена за нормальним законом.

Для перевірки питання про узгодження теоретичного і статистичного розподілу застосовують критерій згоди. Мірою розбіжності між теоретичними і статистичними розподілами за критерієм Колмогорова приймається максимальне значення модуля різниці між статистичною функцією розподілу і відповідною теоретичною функцією розподілу

$$D_{max} = F^*(x) - F(x). \quad (3.111)$$

Для визначення модуля різниці необхідно побудувати статистичну функцію розподілу $F^*(x)$ і теоретичну функцію розподілу $F(x)$ і визначити D_{max} між ними.

Потім визначається величина λ за формулою

$$\lambda = D_{max} \sqrt{n}. \quad (3.112)$$

де D_{max} – максимальне значення модуля різниці, що знімається з графіка;

n – кількість вимірів.

За значенням λ за допомогою табл. 3.25 визначається величина $P(\lambda)$, тобто імовірність того, що за рахунок випадкових причин максимальна розбіжність між $F^*(x)$ і $F(x)$ буде не менше, ніж фактично обмірюване, якщо величина x дійсно розподілена за законом $F(x)$.

Якщо імовірність $P(\lambda)$ дуже мала, гіпотезу слід відкинути, при порівняно великих $P(\lambda)$ її можна вважати сумісною з дослідними даними.

Таблиця 3.25

Чисельні значення $P(\lambda)$

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,0	1,0	1,2	0,112
0,1	1,0	1,3	0,068
0,2	1,0	1,4	0,04
0,3	1,0	1,5	0,022
0,4	0,997	1,6	0,012
0,5	0,964	1,7	0,006
0,6	0,864	1,8	0,003
0,7	0,711	1,9	0,002
0,8	0,544	2,0	0,001
0,9	0,393	-	-
1,0	0,270	-	-
1,1	0,178	-	-

3.8.2. Приклади розв'язання задач

Задача 1.

Визначити точність позиціонування ПР за вихідними даними. Що наведені в табл. 3.26.

Таблиця 3.26.

Вихідні дані для розрахунку

Номер точки	Координати точок		Номер точки	Координати точок	
	X	Y		X	Y
1	2	3	4	5	6
1	0,15	0,2	26	0,77	-0,55
2	-0,55	-0,35	27	0,49	-0,88
3	-0,53	0,44	28	0,77	-0,66
4	0,66	0,45	29	0,36	0,66
5	0,46	-0,55	30	-0,71	0,74
6	-0,73	-0,52	31	-0,66	-0,89
7	0,43	0,77	32	0,33	-0,91
8	0,51	-0,33	33	0,44	-0,73
9	-0,66	0,77	34	-0,81	0,97
10	-0,75	-0,66	335	-0,59	-0,83
11	-0,44	-0,67	36	0,99	-0,86
12	0,33	-0,48	37	-0,59	0,19
13	-0,77	0,88	38	-0,65	-0,63
14	-0,87	-0,84	39	0,77	-0,59
15	0,64	0,55	40	0,93	-0,84
16	-0,76	-0,88	41	0,24	-0,69
17	-0,48	-0,85	42	-0,82	-0,64
18	0,89	-0,79	43	-0,77	-0,88
19	-0,83	0,71	44	-0,86	0,79
20	-0,12	-0,92	45	-0,29	-0,58
21	-0,44	-0,96	46	-0,19	-0,88
22	-0,88	-0,98	47	-0,66	0,96
23	-0,77	0,79	48	0,76	-0,35
24	-0,66	0,77	49	-0,71	-0,47
25	-0,53	-0,76	50	-0,81	-0,39

Розв'язок:

Схематичне зображення точок представлено на рис. 3.10. Результати попередніх розрахунків за точками занесені в табл. 3.27

Таблиця 3.27.

Результати попередніх розрахунків за точками

Номер точки	R, мм	Кут, рад	Кут, °	Номер точки	R, мм	Кут, рад	Кут, °
1	0,25	0,927295	53,1301	26	0,946256	-0,62025	-35,5377
2	0,65192	-2,57486	-147,529	27	1,007224	-1,06273	-60,8901
3	0,68884	2,448713	140,3009	28	1,01415	-0,70863	-40,6013
4	0,798812	0,598419	34,28688	29	0,751798	1,07145	61,38954
5	0,717008	-0,87427	-50,0921	30	1,025524	2,335508	133,8147
6	0,89627	-2,52264	-144,537	31	1,108016	-2,20888	-126,56
7	0,88193	1,061495	60,81919	32	0,967988	-1,22291	-70,0675
8	0,607454	-0,5743	-32,9052	33	0,85235	-1,02836	-58,921
9	1,01415	2,279423	130,6013	34	1,263725	2,266548	129,8636
10	0,99905	-2,41994	-138,652	335	1,018332	-2,18876	-125,407
11	0,801561	-2,15188	-123,294	36	1,311373	-0,71524	-40,9804
12	0,582495	-0,96851	-55,4915	37	0,619839	2,830046	162,1497
13	1,169316	2,289626	131,1859	38	0,905207	-2,37182	-135,895
14	1,209339	-2,37374	-136,005	39	0,970052	-0,65381	-37,4606
15	0,84386	0,709912	40,67494	40	1,253196	-0,73459	-42,0892
16	1,162755	-2,28315	-130,815	41	0,730548	-1,23606	-70,821
17	0,976166	-2,08486	-119,454	42	1,040192	-2,47886	-142,028
18	1,190042	-0,72594	-41,5936	43	1,169316	-2,28963	-131,186
19	1,092245	2,433959	139,4556	44	1,167776	2,398593	137,4293
20	0,927793	-1,7005	-97,4314	45	0,64846	-2,03444	-116,565
21	1,05603	-2,00056	-114,624	46	0,900278	-1,78344	-102,184
22	1,317118	-2,30248	-131,923	47	1,164989	2,173084	124,5085
23	1,103177	2,343375	134,2655	48	0,83672	-0,43157	-24,7273
24	1,01415	2,279423	130,6013	49	0,851469	-2,55685	-146,497
25	0,926553	-2,17975	-124,891	50	0,898999	-2,69287	-154,29

Діаметр поля розкиду точок визначаємо шляхом вимірювання поля в трьох положеннях через 1200, тобто одержуємо діаметри d_1, d_2, d_3 . Потім визначається d_{cp} .

Розбиваємо площу на наступні зони:

- 1 зона – 0° - 120° ;
- 2 зона – 120° - 240° ;
- 3 зона – 240° - 360° .

Значення для кожної зони також заносяться у таблиці.
Точки, що належать зоні 0°-120°.

Номер точки	X	Y	d , мм	Кут, рад	Кут, °
4	0,66	0,45	0,79881	0,59842	34,2869
15	0,64	0,55	0,84386	0,70991	40,6749
1	0,15	0,2	0,25	0,9273	53,1301
7	0,43	0,77	0,88193	1,0615	60,8192
29	0,36	0,66	0,7518	1,07145	61,3895

$$d_1 = 0,70528 \text{ (мм)}.$$

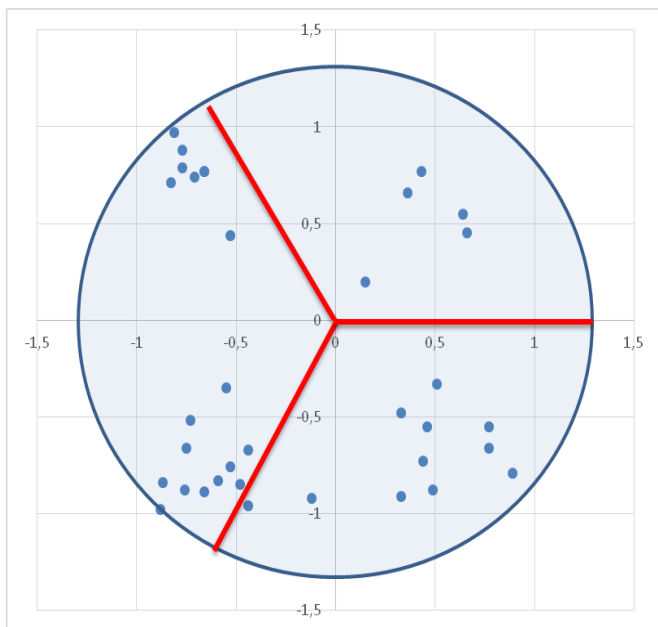


Рисунок 3.10 – Схематичне зображення точок

Точки, що належать зоні 120°-240°

Номер точки	X	Y	d , мм	Кут, рад	Кут, °
47	-0,66	0,96	1,16499	2,17308	124,509
34	-0,81	0,97	1,26372	2,26655	129,864
9	-0,66	0,77	1,01415	2,27942	130,601
24	-0,66	0,77	1,01415	2,27942	130,601
13	-0,77	0,88	1,16932	2,28963	131,186
30	-0,71	0,74	1,02552	2,33551	133,815
23	-0,77	0,79	1,10318	2,34337	134,265
44	-0,86	0,79	1,16778	2,39859	137,429
19	-0,83	0,71	1,09225	2,43396	139,456
3	-0,53	0,44	0,68884	2,44871	140,301
37	-0,59	0,19	0,61984	2,83005	162,15
50	-0,81	-0,39	0,899	-2,6929	-154,29
2	-0,55	-0,35	0,65192	-2,5749	-147,53
49	-0,71	-0,47	0,85147	-2,5568	-146,5
6	-0,73	-0,52	0,89627	-2,5226	-144,54
42	-0,82	-0,64	1,04019	-2,4789	-142,03
10	-0,75	-0,66	0,99905	-2,4199	-138,65
14	-0,87	-0,84	1,20934	-2,3737	-136,01
38	-0,65	-0,63	0,90521	-2,3718	-135,9
22	-0,88	-0,98	1,31712	-2,3025	-131,92
43	-0,77	-0,88	1,16932	-2,2896	-131,19
16	-0,76	-0,88	1,16276	-2,2832	-130,82
31	-0,66	-0,89	1,10802	-2,2089	-126,56
35	-0,59	-0,83	1,01833	-2,1888	-125,41
25	-0,53	-0,76	0,92655	-2,1798	-124,89
11	-0,44	-0,67	0,80156	-2,1519	-123,29

$$d_2 = 1,010763 \text{ (мм)}.$$

Точки, що належать зоні 240°-360°

Номер точки	X	Y	d, мм	Кут, рад	Кут, °
17	-0,48	-0,85	0,976166	-2,08486	-119,454
45	-0,29	-0,58	0,64846	-2,03444	-116,565
21	-0,44	-0,96	1,05603	-2,00056	-114,624
46	-0,19	-0,88	0,900278	-1,78344	-102,184
20	-0,12	-0,92	0,927793	-1,7005	-97,4314
41	0,24	-0,69	0,730548	-1,23606	-70,821
32	0,33	-0,91	0,967988	-1,22291	-70,0675
27	0,49	-0,88	1,007224	-1,06273	-60,8901
33	0,44	-0,73	0,85235	-1,02836	-58,921
12	0,33	-0,48	0,582495	-0,96851	-55,4915
5	0,46	-0,55	0,717008	-0,87427	-50,0921
40	0,93	-0,84	1,253196	-0,73459	-42,0892
18	0,89	-0,79	1,190042	-0,72594	-41,5936
36	0,99	-0,86	1,311373	-0,71524	-40,9804
28	0,77	-0,66	1,01415	-0,70863	-40,6013
39	0,77	-0,59	0,970052	-0,65381	-37,4606
26	0,77	-0,55	0,946256	-0,62025	-35,5377
8	0,51	-0,33	0,607454	-0,5743	-32,9052
48	0,76	-0,35	0,83672	-0,43157	-24,7273

$$d_3 = 0,92082 \text{ (мм)}.$$

$$d_{cp} = \frac{(0,70528 + 1,010763 + 9,2082)}{3} = 0,878954 \text{ (мм)}.$$

Статистичні дані також заносяться у таблицю.

$X_i,$ X_{i+1}	0,25-0,356	0,356-0,462	0,462-0,568	0,568-0,674	0,674-0,78	0,78-0,886	0,886-0,992	0,992-1,098	1,098-1,204	1,204-1,31
\overline{X}_i	0,303	0,409	0,515	0,621	0,727	0,833	0,939	1,045	1,151	1,257
m_i	1	0	0	5	4	9	8	10	9	4
p_i	0,02	0	0	0,1	0,08	0,18	0,16	0,2	0,18	0,08
$p_i^* \cdot \overline{X}_i$	0,006	0	0	0,062	0,058	0,149	0,150	0,209	0,207	0,1005

За отриманими даними будуться графіки експериментального та теоретичного розподілу похибки, що приведені на рис. 3.11.

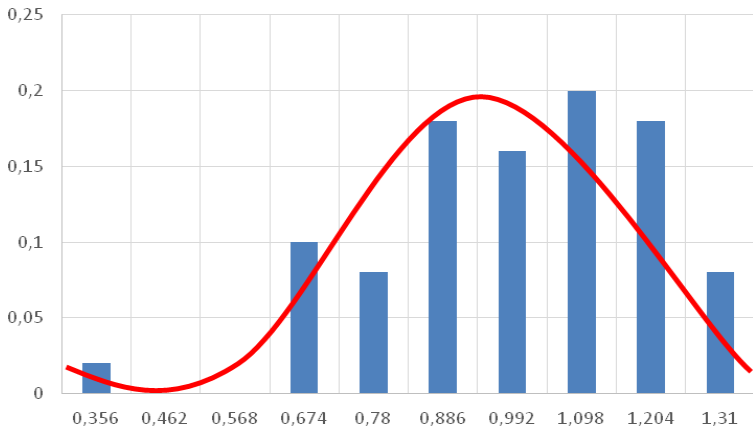


Рисунок 3.11 – Графіки експериментального та теоретичного розподілу похибки

Математичне очікування складає

$$p_x^* = 0,006 + 0 + 0 + 0,062 + 0,058 + 0,149 + 0,150 + 0,209 + 0,207 + 0,1005 = 0,942$$

$$m_x^* = 0,006 + 0 + 0 + 0,062 + 0,058 + 0,149 + 0,15 + 0,209 + 0,207 + 0,1005 = 0,942$$

Обчислимо дисперсію сумарної помилки, середнє квадратичне відхилення і відносну величину розсіювання.

Дисперсія випадкової величини для заданого випадку $D[X] = 0,046$.

Дисперсія випадкової величини при використанні величини, розмірність якої збігається з розмірністю випадкової величини X

$$\sigma[x] = \sqrt{0,046} = 0,21.$$

Відносна величина розсіювання оцінюється за коефіцієнта варіації складає

$$V = \frac{0,21}{0,942} = 0,22.$$

Коефіцієнт варіації застосовується тоді, коли необхідно оцінити мінливість ознак об'єкта. Варіювання вважається слабким, якщо $V < 10\%$, якщо V від 11-25%, то середнім і значним при $V > 25\%$.

Таким чином, відносна міра розкиду значень ознаки у статистичній сукупності має середнє значення.

3.8.3. Задачі для самостійного розв'язку

Задача 1.

Визначити точність позиціонування ПР за вихідними даними. Що наведені в табл. 3.28.

Таблиця 3.28

Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Номер точки	Координати точок							
	Варіанти							
	0-1		2-4		5-6		7-9	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,11	-0,13	0,21	0,35	-0,22	-0,42	0,53	-0,45
2	0,22	-0,65	-0,65	-0,53	-0,24	-0,33	0,44	-0,22
3	-0,42	-0,66	0,64	-0,34	0,21	-0,66	-0,55	-0,44
4	-0,99	0,77	-0,88	-0,88	-0,77	-0,55	0,88	0,55
5	-0,57	-0,49	0,88	0,95	0,66	-0,86	0,58	0,88
6	0,88	-0,88	0,55	0,77	0,44	-0,88	0,45	0,32
7	-0,39	-0,77	-0,77	-0,55	-0,59	0,66	-0,66	0,65
8	-0,33	0,87	0,39	-0,77	-0,66	-0,59	-0,45	0,78
9	0,46	-0,91	0,92	0,65	0,36	0,76	-0,62	0,62
10	0,64	0,88	-0,66	-0,76	-0,87	0,76	-0,88	0,43
11	0,73	-0,83	0,63	0,69	-0,77	-0,99	-0,56	-0,87
12	-0,89	-0,54	-0,59	0,47	0,88	-0,66	-0,38	-0,38
13	0,28	0,77	-0,87	-0,87	0,56	-0,59	-0,56	-0,56
14	-0,62	-0,89	0,66	-0,74	0,33	0,56	-0,87	-0,34
15	0,39	0,99	0,76	-0,81	0,78	0,87	0,76	-0,48
16	0,45	-0,38	0,34	0,56	0,29	0,14	0,77	-0,89
17	-0,96	-0,37	0,61	-0,61	-0,75	-0,75	0,33	-0,99
18	0,83	-0,49	0,99	-0,88	0,33	-0,66	0,88	-0,66
19	-0,81	-0,77	-0,77	0,65	0,79	0,32	0,55	-0,55
20	0,33	-0,55	0,59	-0,61	-0,29	0,67	0,88	-0,88
21	0,57	-0,66	0,19	0,86	0,71	0,55	0,77	-0,66
22	0,99	-0,89	-0,18	0,32	0,35	-0,46	0,48	-0,48
23	-0,66	-0,88	0,32	0,87	0,43	-0,61	-0,94	-0,94
24	-0,45	0,88	0,93	0,96	0,35	-0,39	-0,54	-0,77

Продовження табл. 3.28

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	-0,77	0,99	-0,19	0,66	0,61	0,88	0,92	-0,83
26	-0,54	-0,77	0,62	-0,77	0,59	0,12	0,88	0,77
27	0,81	-0,81	0,48	0,62	-0,77	-0,44	0,77	0,88
28	0,56	-0,56	0,38	0,19	-0,62	0,88	0,66	0,66
29	-0,77	-0,77	0,37	-0,65	0,68	0,78	0,61	0,88
30	0,27	0,19	-0,82	-0,99	0,54	0,32	0,55	-0,55
31	0,44	-0,56	0,99	0,66	0,55	-0,53	0,23	-0,66
32	-0,78	-0,88	0,67	0,35	-0,78	-0,52	0,44	-0,44
33	0,84	0,84	0,51	-0,77	-0,53	-0,78	0,29	-0,29
34	0,66	0,66	-0,97	-0,48	0,82	0,11	0,69	-0,69
35	-0,77	0,85	0,49	-0,77	0,32	0,45	-0,38	-0,38
36	0,38	0,39	-0,88	0,67	-0,66	-0,88	-0,62	-0,88
37	-0,84	0,77	-0,69	0,93	0,28	0,16	-0,76	0,76
38	-0,88	0,36	0,66	0,66	0,77	0,77	0,49	-0,49
39	-0,77	-0,44	0,88	-0,88	0,55	0,85	0,39	-0,73
40	-0,76	-0,89	-0,88	-0,55	0,27	0,27	0,85	-0,66
41	0,37	-0,82	-0,28	0,82	0,36	-0,36	0,48	-0,48
42	-0,48	-0,75	0,54	0,54	-0,54	-0,54	0,99	-0,99
43	0,26	-0,49	0,76	0,76	-0,76	-0,76	0,49	0,77
44	0,66	0,44	-0,88	0,99	-0,44	-0,44	0,29	0,12
45	-0,88	-0,99	-0,81	0,81	0,58	-0,58	0,48	-0,13
46	0,54	0,83	-0,38	0,38	0,17	-0,17	0,96	-0,78
47	-0,72	0,72	0,70	0,76	-0,74	-0,88	-0,71	-0,54
48	-0,77	-0,26	-0,61	-0,77	-0,99	0,56	-0,93	0,18
49	-0,76	0,76	0,83	-0,83	-0,71	-0,71	0,38	-0,79
50	0,59	-0,77	0,27	-0,27	-0,33	-0,33	0,85	0,26

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.
2. Нестеренко В.Ю. Економіка і організація виробництва [Текст]: Конспект лекцій / В.Ю. Нестеренко, І.І. Токар. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 58 с.
3. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів [Текст]: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.
4. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів [Текст]: Підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк, Національний ун-т харч. технологій. – К.: НУХТ, 2013. – 796 с.
5. Рачков М. Ю. Технические средства автоматизации [Текст]: Учебник / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., стер. – М.: МГИУ, 2009. – 185 с.
6. Шегда А.В. Економіка підприємства: збірник тестів і задач [Текст]: Навчальний. посібник / А.В. Шегда, Т.Б. Харченко, Ю.А. Сагайдак, Л.О. Пашнюк. – К.: ЦУЛ, 2016. – 240 с.
7. Макурін М.С. Виробництво електронних засобів. Частина 1 [Текст]: Навч. посібник / М.С. Макурін – Харків: ХТУ-РЕ, 1999. – 176 с.
8. Селиванова З.М. Технология радиоэлектронных средств [Текст]: Учеб. пособие / З.М. Селиванова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 80 с.
9. Величко В.В. Економіка підприємства [Текст]: Конспект лекцій / В.В. Величко– Харків: ХНАМГ, 2004. – 114 с.
10. Гринчуцький В.І. Економіка підприємства [Текст]: Навчальний посібник / В.І. Гринчуцький, Е.Т. Карапетян, Б.В. Погрішук. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 304 с.
11. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів.

- Типові задачі [Текст]: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2009. – 400 с.
12. Грабовецький Б.Є. Економічний аналіз [Текст]: Навчальний посібник / Б.Є. Грабовецький. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 256 с.
 13. Алексеев О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств [Текст]: Учеб. пособие / О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров, Г.Г. Чавка / Под. ред. О.В. Алексеева. – М.: Высш. Шк., 2000. – 479 с.
 14. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств [Текст]: Учебно-методическое пособие / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян; под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.
 15. Валетов В. А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: Учебное пособие / В.А. Валетов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 112 с.
 16. Чалюк П.В. Бухгалтерський облік в 2 частинах [Електронне видання]: П.В. Чалюк, Л.Я. Швейкіна, Л.В. Чаплигіна. – 19.04.2017 – Режим доступу: http://posibnyky.vntu.edu.ua/buh_ob/.
 17. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат [Текст] / В.А. Ильин; под ред. П.М. Вячеславова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 77 с.
 18. Кудрин Л.П. Конструктивно-технологические параметры печатных плат [Текст]: Учебное пособие / Л.П. Кудрин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 14 с.
 19. Белинский В.Т. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА [Текст] / В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин, и др.; под ред. К.Б. Круковского-Синкевича, Ю.Л. Мазора. – К.: Вища шк., 1992. – 494 с.
 20. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат [Текст]: Учебник / Е.В. Пирогова. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.

ДОДАТОК А

Лінійні розміри друкованих плат

Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д
10	10 15 20 30 40	50	50	90	90	120	220	160	300
			60				240		320
			75				280		360
			80				320		
			85				360		
			90						
15	15 20 25 30	60	60	100	130	130	130	170	170
			75				140		180
			80				150		190
			85				160		200
			90				170		200
			95				180		200
20	20 25 30 40 45 50 60 80	60	100	100	135	240	180	180	
			110					190	190
			120					200	200
			140					220	220
			160					240	240
			180					260	260
			190					280	280
			200					300	300
			220					320	320
			240					340	340
30	30 40 45 50 60	75	75	100	140	140	180	200	
			80					190	200
								200	220
								220	

Ш – ширина, мм; Д – довжина, мм

Лінійні розміри друкованих плат, мм

Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д		
30	80	75	85	100	240	140	240	200	240		
	90		90		280		260				
40	40		95	110	110		150		150	220	260
	45		100		120				160		170
	50	170	130		170	180					
	60	80	80	120	135	180	190	220			
	75		85		140	190	200				
	80		90		150	200	220				
	100		95		160	160	170				
	120		100		170	170	180				
	140		110		180	180	190				
	160	120	190	190	200						
45	45	130	120	160	160	200	240	240			
		50						140	170	220	
		60						150	180	240	
		70						160	190	260	
	75	85	170	85	120	160		200	280		
	80		85						170	220	
	85		90						180	240	
	90		95						190	260	
	100		100						200	280	
							320				
							340				
							360				

Ш – ширина, мм; Д – довжина, мм

Матеріали друкованих плат

Марка матеріалу	Товщина фольги, мкм	Товщина матеріалу з фольгою, мм	Надійність зчеплення, гс/3 мм	Галузь застосування
ГФ-1-35	35	1,5; 2; 2,5; 3; 0	220	Одно- та двосторонні ДП без гальванічного з'єднання шарів
ГФ-2-35		1; 1,5; 2; 2,5; 3		
СФ-1-35	35	0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300	Одно- та двосторонні ДП з гальванічним з'єднання шарів
СФ-2-35				
СФ-1-50	5	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300	Одно- та двосторонні ДП з гальванічним з'єднання шарів
СФ-2-50				
СФПН-1-50	5	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	450	Одно- та двосторонні ДП з підвищеною нагрівостійкістю
СФПН-2-50				
СТФ-1	35	0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35	400	Одно- та двосторонні БШДП та гнучкі ДП з підвищеною нагрівостійкістю та вологостійкістю
		0,5; 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5	450	
СТФ-2	35	0,8; 1; 1,5; 2; 3	450	

ГФ – гетинакс фольгований; СФ – стеклотекстоліт фольгований; СФПН – стеклотекстоліт фольгований нагрівостійкий; СТФ – стеклотекстоліт фольгований теплостійкий

Матеріали друкованих плат

Марка матеріалу	Товщина фольги, мкм	Товщина матеріалу з фольгою, мм	Надійність зчеплення, гс/3 мм	Галузь застосування
ФТС-1	20	0,08; 0,15	300	Гнучкі та багатопшарові ДП
	35	0,1; 0,12; 0,19	360	
ФТС-2	20	0,18; 0,27; 0,5	300	
	35	0,14; 0,23; 0,5	360	
ФДМ-1	35	0,25; 0,35	100	Гнучкі ДП
ФДМ-2				
СТФ-1-2ЛК	-	1; 1,5	-	Одно- та двосторонні ДП
СТП-3		0,1; 0,12; 0,13		Прокладки для БШДП
СТП-0,25				
СТПА-5-1	5	0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5	360	Одно-, двосторонні та ДШДП
СТПА-5-2		0,8; 1; 1,5; 2		

ФТС – стеклотекстоліт фольгований класів травлення А, АО, Б; СТФ – стеклотекстоліт фольгований теплостійкий; ФДМ – діелектрик фольгований тонкий; СТПА – стеклотекстоліт теплостійкий

Діапазон значень параметрів

Похибка розташування отворів відносно координатної сітки, що обумовлена точністю свердлильного станка, мм	δ_0	0,02...0,10
Похибка базування плат на свердлильному станку, мм	δ_δ	0,01...0,03
Похибка розташування контактних площадок на фотошаблоні, мм	$\delta_{ш}$	0,02...0,08
Похибка розташування друкованих елементів під час експонування, мм	δ_e	0,01...0,03
Похибка розташування базових отворів на заготовці, мм	δ_3	0,01...0,03
Похибка розташування базових отворів у фотошаблоні, мм	δ_ϕ	0,01...0,05

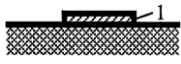
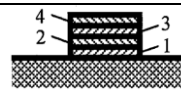
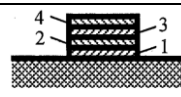
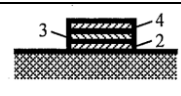
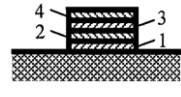
Діапазон значень параметрів

Похибка розташування провідника відносно координатної сітки на фотошаблоні	δ_t	0,03...0,06
Похибка розташування базових отворів у фотошаблоні	Δ_d	0,01...0,03
Товщина гальванічно нарощеної міді	h_2	0,05...0,06
Товщина гальванічного резисту	h_p	0,02
Товщина попередньо осадженої міді	$h_{ГМ}$	0,005...0,008

Класи точності друкованого монтажу

Елемент	Умовне позначення елемента	Найменші номінальні значення розмірів елементів для класів точності, мм						
		1	2	3	4	5	6	7
Ширина провідника	t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Відстань між провідниками, контактними площадками, провідником та контактною площадкою	S	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки	b_m	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025	0,02	0,015
Відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати	γ	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2	-	-

Узагальнена характеристика друкованих плат та методів їх виготовлення

Метод виготовлення ДП	Тип ДП	Конструктивна складність	Клас точності	Конструкція друкованого провідника
Хімічний негативний	Одношарові ДП та шари БШДП	Мала	1,2	
Комбінований негативний	Двосторонні ДП та шари БШДП	Середня	3	
Тентинг-метод		Висока	4	
Електрохімічний полуадитивний		Висока	4	
Металізація наскрізних отворів	БШДП	Середня і висока	3	

1 – мідна фольга (товщина 9, 12, 18, 35, 50 мкм); 2 – хімічна мідь (товщина 2-5 мкм); 3 – гальванічна мідь (товщина 25-30 мкм); 4 – металорезист (сплав олова-свинця товщиною 9-10 мкм)

Допустима щільність струму у провіднику

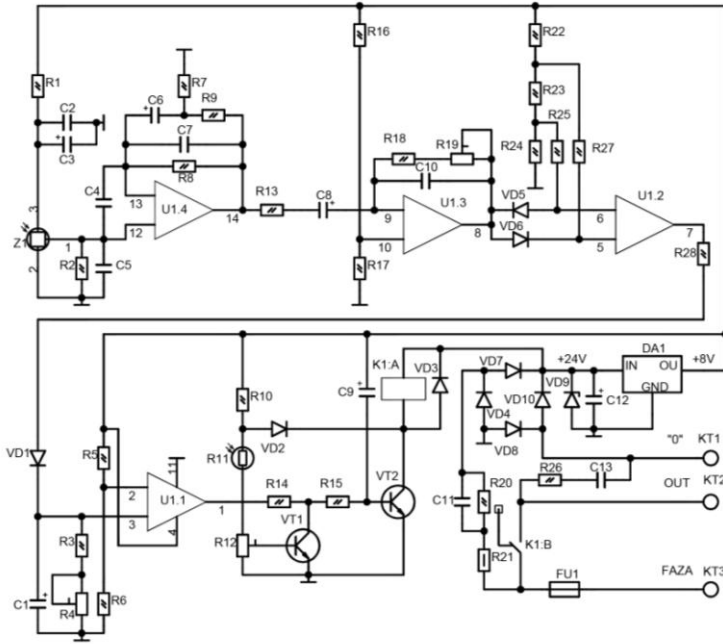
Метод виготовлення ДП	Товщина фольги, мкм	Допустима щільність струму $j_{доп}$, А/мм ²
Хімічний негативний: - для внутрішніх шарів БШДП - для односторонніх ДП	18,35,50	15
		20
Комбінований позитивний	18	75
	35	48
	50	38
Електрохімічний полуадитивний	-	25

Залежність граничної щільності струму та питомого опору від матеріалу провідника

Матеріал провідника ДП	Гранична щільність струму, А/мм ²	Питомий опір, $\cdot 10^5$ Ом \cdot мм
Мідна фольга	100-250	1,72
Хімічна мідь	30-50	2,8
Гальванічна мідь	60-100	1,9
Металорезист (сплав олово-свинець)	60-100	12

ДОДАТОК Б

*Інфрачервоний датчик для попередження перешикод.
Варіанти 0,2.*

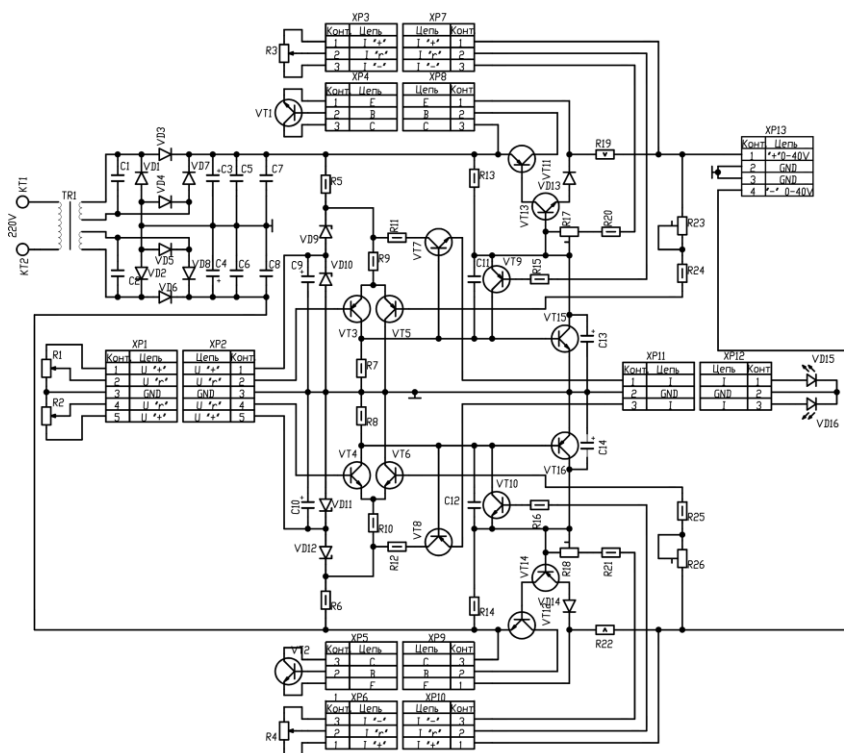


Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1	GS – 220,0 мкФ×16В	1
C2	CL21 – 0,01 мкФ	1
C3	GS – 100,0 мкФ×16В	1
C4	CL21 – 0,01 мкФ	1
C5	CL21 – 1000,0 мкФ	1
C6	GS – 22,0 мкФ×25В	1
C7	CL21 – 0,01 мкФ	1

Позначення	Найменування	Кількість
C8	GS – 10,0 мкФ×50В	1
C9	GS – 22,0 мкФ×25В	1
C10	CL21 – 0,022 мкФ	1
C11	CL21 – 0,33 мкФ×400В	1
C12	GS – 470,0 мкФ×50В	1
C13	CL21 – 0,01 мкФ×400В	1
Мікросхеми		
DA1	78L08	1
U1	LM324N	1
Реле		
K1	BT-24	1
Резистори		
R1	МЛТ 0,125100 кОм	1
R2	МЛТ 0,12533 кОм	1
R3	МЛТ 0,12522 кОм	1
R4	SP3-19 1 МОм	1
R5	МЛТ 0,125100 кОм	1
R6	МЛТ 0,12510 кОм	1
R7	МЛТ 0,1254,7 кОм	1
R8	МЛТ 0,1251,2 МОм	1
R9	МЛТ 0,125 820 кОм	1
R10	МЛТ 0,125 22 кОм	1
R11	FR-1 1 кОм – 500 кОм	1
R12	SP3-1933 кОм	1
R13	МЛТ 0,125 22 кОм	1
R14 - R15	МЛТ 0,125 5,1 кОм	2
R16 - R17	МЛТ 0,125 51 кОм	2
R18	МЛТ 0,125 1 кОм	1
R19	SP3-191 кОм	1
R20	МЛТ 0,125 2,2 кОм	1
R21	МЛТ 0,5 150Ом	1
R22	МЛТ 0,125 100 кОм	1
R23	МЛТ 0,125 10 кОм	1
R24	МЛТ 0,125 100 кОм	1

Позначення	Найменування	Кількість
R25	МЛТ 0,125 1 МОм	1
R26	МЛТ 0,125 150 Ом	1
R27	МЛТ 0,125 1 МОм	1
R28	МЛТ 0,125 360 Ом	1
Напівпровідникові прилади		
VD1 - VD9	1N4148	9
VD10	KS524	1
Транзистори		
VT1 - VT2	КТ3102	2
Піродетектор		
Z1	RE-46	1
Запобіжник		
FU1	ВП-1	1

Багатофункціональне джерело живлення. Варіанти 1,3

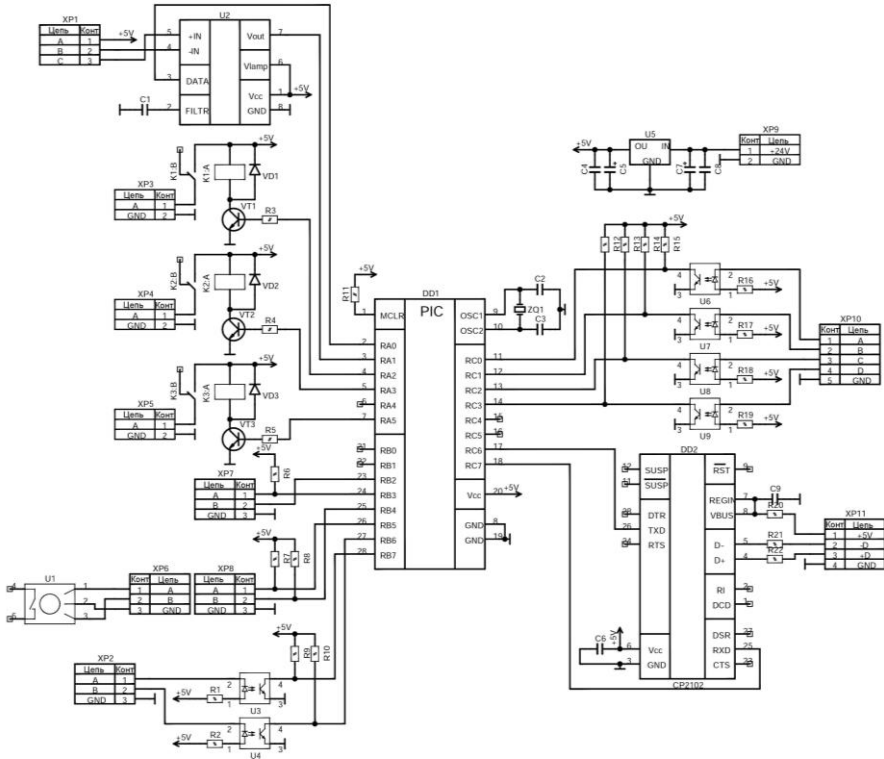


Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1 - C2	CL21-0,47 мкФХ 63В	2
C3 - C4	GS-4700,0 мкФХ 63В	2
C5 - C6	CL21-0,1 мкФХ 63В	2
C7 - C8	CL21-0,01 мкФХ 63В	2
C9 - C10	GS-10,0 мкФХ 63В	2
C11 - C12	CL21-2200 пФ	2
C13 - C14	GS-4,7 мкФХ 63В	2

Позначення	Найменування	Кількість
Резистори		
R1 - R2	SP3-4BM10 кОм	2
R3 - R4	SP3-4BM100 кОм	2
R5 - R6	MLT 0.52,2 кОм	2
R7 - R8	MLT 0.510 кОм	2
R9 - R10	MLT 0.53,3 кОм	2
R11 - R12	MLT 0.56,8 кОм	2
R13 - R14	MLT 0.5100 кОм	2
R15 - R16	MLT 0.51 кОм	2
R17 - R18	SP-04250 кОм	2
R19	S5-16B-5BT 0,56 Ом	1
R20 - R21	MLT 0.510 кОм	2
R22	S5-16B-5BT 0,56 Ом	1
R23	SP-0425 кОм	1
R24 - R25	MLT 0.58,2 кОм	2
R26	SP-0425 кОм	1
Діоди		
VD1 -VD8	KD202	8
VD9	KS515	1
VD10 - VD11	KS510	2
VD12	KS515	1
VD13 - VD14	KD522	2
VD15 - VD16	AL307	2
Транзистори		
VT1 - VT2	КТ819БМ	2
VT3	КТ3107	1
VT4	КТ3102	1
VT5	КТ3107	1
VT6	КТ3102	1
VT7	КТ315	1
VT8	КТ361	1
VT9	КТ3107	1
VT10	КТ3102	1
VT11	КТ816	1
VT12	КТ817	1

Позначення	Найменування	Кількість
VT13	КТ3102	1
VT14	КТ3107	1
VT15	КТ3102	1
VT16	КТ3107	1
Роз'єми		
XP1 - XP2	PLS5	2
XP3 - XP12	PLS3	10
XP13	МКДСN_4	1

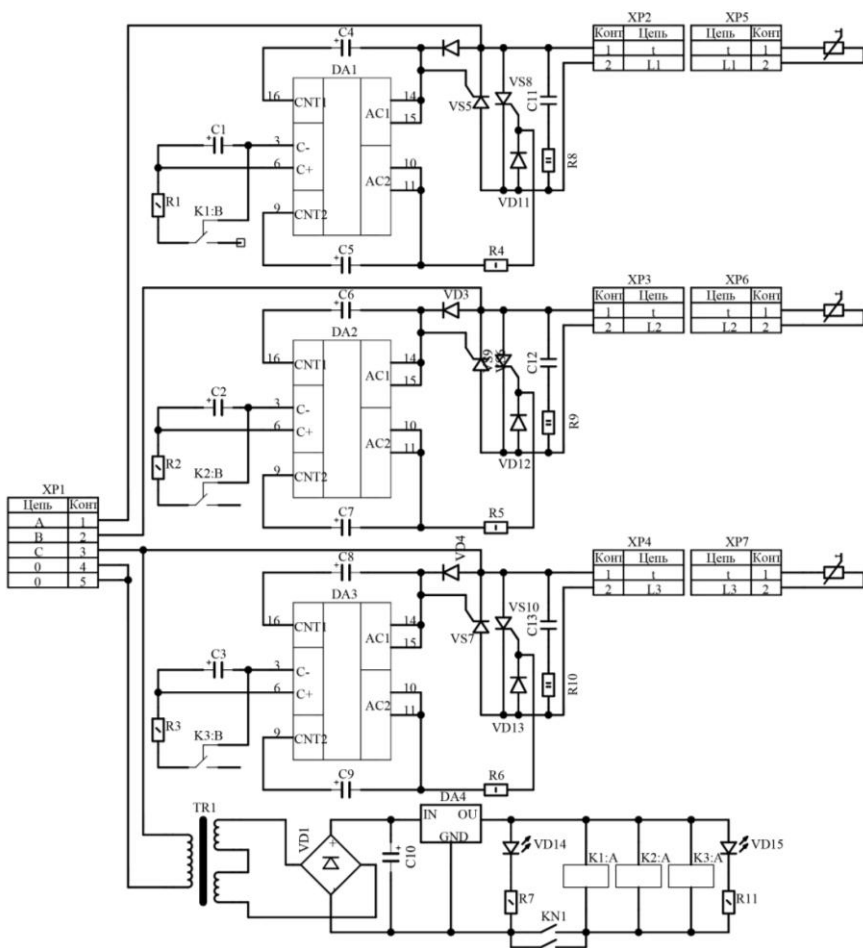
Модуль керування копером. Варіанти 4,6.



Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1	Чіп конденсатор C0805-0,01 нФ	1
C2 -C3	Чіп конденсатор C0805 – 30 пФ	2
C4	Чіп конденсатор C1206 -0,1 нФ	1
C5	Чіп конденсатор C+E - 47,0 мкФх 50В	1
C6	Чіп конденсатор C0805 - 0,1 нФ	1
C7	Чіп конденсатор C+E - 47,0 нФх 50В	1

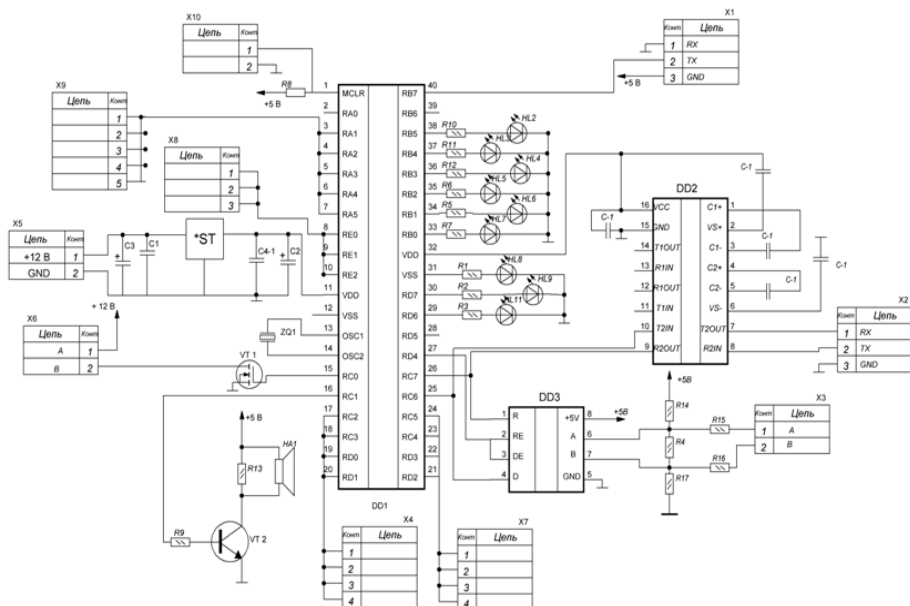
Позначення	Найменування	Кількість
C8	Чіп конденсатор C1206 - 0,1 нФ	1
C9	Чіп конденсатор C0805 - 0,1 нФ	1
Мікросхеми		
DD1	PIC16F886_SOP-28	1
DD2	CP2102	1
Реле		
K1 -K3	PB114012	3
Резистори		
R1-R2	Чіп-резистор керам. R0805- 220 Ом	2
R3 -R5	Чіп-резистор керам. R0805 -14 кОм	3
R6	Чіп-резистор керам. R0805- 10 кОм	1
R7-R8	Чіп-резистор керам. R0805 - 4,7 кОм	2
R9 -R15	Чіп-резистор керам. R0805- 10 кОм	7
R16 -R19	Чіп-резистор керам. R0805 - 220 Ом	4
R20 -R22	Чіп-резистор керам. R0805 -20 Ом	3
Перетворювач		
U1	PEC12R_2	1
U2	AD8555	1
U3 -U4	TLP281	2
U5	78XX_TO-263_D2PAK7805	
U6 -U9	TLP281	4
Діоди		
VD1 -VD3	КД522	3
Транзистори		
VT1 -VT3	2SC4081	3
Конектори		
XP1 -XP2	PLS3	2
XP3 -XP5	MKDSN_2	3
XP6 -XP8	PLS3	3
XP9	MKDSN_2	1
XP10	PLS5	1
XP11	USB_MINI_CH	1
Резонатор кварцевий		
ZQ1	RK16920,0 MHz	1

Пристрій плавного пуску двигуна. Варіанти 5,7



Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1 - C3	K50-35 100,0 мкФх25В	3
C4 - C9	K50-35 1,0 мкФх25В	6
C10	K50-35 1000,0 пФх35В	1
C11 - C13	K73-17В 0.22 мкФх630В	3
Мікросхеми		
DA1 - DA3	1182PM1	3
DA4	7812	1
Реле		
K1 - K3	BT-12	3
Кнопка тактова		
KN1	MP9-12MM	1
Резистори		
R1 - R3	МЛТ 0.25 3,3 кОм	3
R4 - R6	МЛТ-1390 Ом	3
R7	МЛТ 0.25 1 кОм	1
R8 - R10	МЛТ-247 Ом	3
R11	МЛТ 0.25 1 кОм	1
R12 - R14	TVR20471	3
Трансформатори		
TR1	TR_2X9V_40MMX35MM	1
Діоди		
VD1	KBU6M	1
VD2 - VD13	1N4007	6
VD14 - VD15	AL307	2
VS5 - VS10	40TPS12	6
Роз'єми		
XP1	MKDSN_5	1
XP2 - XP7	MKDSN_2	6

Модуль керування інтелектуальними датчиками. Варіанти 8,9.



Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1-C2	CE-470/25PLC	2
C3-C4	SD1E107M05011PC, 470 мкФ, 25 В	2
C5-C10	K10-17B 0,01 мкФ 0805 50В X7R 10%	6
Мікросхеми		
DA1	PIC16F887	1
DA2	MAX232	1
DA3	MAX485	1
Акустичний пристрій		
HA1	HF-003 2A 5 В, 30 мА, 85 дБ, 2.3 КГц.	1
Світлодіоди		
HL1-HL9	5WW4TC 160 3.0-3.2В	9

Позначення	Найменування	Кількість
Резистори		
R1-R10	1кОм С1-4 0.125 / 0.25 Вт 5%	
R16-R17	1кОм С1-4 0.125 / 0.25 Вт 5%	12
R11-R12	200м С1-4 0.125 / 0.25 Вт 5%	2
R13	1200м С1-4 0.125 / 0.25 Вт 5%	1
R14-R15	3.3кОм С1-4 0.125 / 0.25 Вт 5%	2
Лінійний стабілізатор		
VT1	L7805CV $U_{вх} = 7.5 \dots 25$, $U_{вих}: 4.8 \dots 5.2В$	1
Транзистори		
VT2	IRFZ44N	1
VT3	BC 547	1
Роз'єми		
X1	DG350-3.5-03P-14-00AH	1

ДОДАТОК В

Значення узагальненого експлуатаційного коефіцієнту

Вид РЕП, умови експлуатації	Значення $K_{e.uz.}$
Лабораторні умови	1,0
Приміщення з регульованою температурою та вологістю	1,1
Космос (на орбіті)	1,5
Наземні стаціонарні умови	2...4,7(2,5)
Наземні РЕП, що возяться	4...7(5,0)
Наземні переносні РЕП	7...15(7,0)
Морські захищені умови	7...12(7,6)
Морські не захищені умови	7...15(10,0)
Бортові літакові РЕП	5...10(7,0)
Запуск ракети	10...44(20,0)

У дужках вказані значення, які рекомендуються для виконання розрахунків у випадках з відсутністю даних про умови експлуатації.

Математичні моделі визначення значень λ_e для елементів виробництва країн СНД

Клас (група) елементів	Вид математичної моделі
Інтегральні мікросхеми (типовий електричний режим роботи)	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_{IC} K_{корп} K_V K_E K_{II}$
Інтегральні мікросхеми, що працюють в полегшених електричних режимах	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{IC} K_{корп} K_V K_E K_{II}$
Діоди, крім стабілітронів. Діодні збірки	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_{Д} K_U K_E K_{II}$
Стабілітрони	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_E K_{II}$
Транзистори біполярні, транзисторні збірки	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_{Д} K_U K_E K_{II}$
Транзистори польові	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_E K_{II}$
Тірістори	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{Д} K_E K_{II}$
Діоди НВЧ	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_{Д} K_E K_{II}$

*Математичні моделі визначення значень λ_e для
елементів виробництва країн СНД*

Клас (група) елементів	Вид математичної моделі
Транзистори біполярні потужні НВЧ	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_F K_\Phi K_E K_\Pi$
Оптоелектронні елементи (світлодіоди, оптопари)	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_E K_\Pi$
Мікросхеми оптоелектронні (типовий електричний режим роботи)	$\lambda_E = \lambda_B K_E K_\Pi$
Конденсатори неполярні, оксидно-електролітичні, крім імпульсних	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_C K_E K_\Pi$
Оксидно-електролітичні, імпульсні	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_C K_E K_\Pi$
Резистори постійні: - металодіелектричні; - металізовані, композиційні	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_R K_M K_\Delta K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_P K_R K_E K_\Pi$
Резистори змінні: - дротові; - недротові	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_R K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_P K_R K_U K_E K_\Pi$
Терморезистори	$\lambda_E = \lambda_B K_E$
Елементи комутації (перемика- чі, тумблери, кнопки і т.п.)	$\lambda_E = (\lambda_B^{K.I} K_K K_F + \lambda_B^{6kl} NF) K_P K_E K_\Pi$
З'єднувачі (роз'єми): - низькочастотні; - радіочастотні; - напівпровідникові; - вакуумні люмінесцентні; - інші індикатори, кінескопи т.п.	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_K K_n K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_t K_K K_n K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_P K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_t K_E K_\Pi$ $\lambda_E = \lambda_B K_E K_\Pi$
Трансформатори	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_E K_\Pi$
Дроселі, котушки індуктивності	$\lambda_E = \lambda_B K_P K_E K_\Pi$
Реле електромагнітні загально- го призначення	$\lambda_E = (\lambda_B^{(L)} K_P^L K_F K_\Pi^L + \lambda_B^{KOM} F K_P K_K K_\Pi) K_E$
Резонатори п'єзоелектричні	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_E K_\Pi$

Математичні моделі визначення значень λ_e для елементів виробництва країн СНД

Клас (група) елементів	Вид математичної моделі
Запобіжники	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_E K_{II}$
Плати з наскрізними металізованими отворами (пайки отворів)	$\lambda_E = \lambda_B [N_1 K_{cl} + N_2 (K_{ш} + 13)] K_t K_E K_{II}$
З'єднання, в тому числі пайкою	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_E K_{II}$
Електричні лампочки	$\lambda_E = \lambda_B K_E K_{II}$, приймається $K_E = 1$
Кабелі, шнури, монтажні дроти	$\lambda_E = \lambda_B L K_T K_E K_{II}$

Пояснення величин (параметрів), що входять у математичні моделі для елементів виробництва країн СНД

Параметр	Пояснення
Складові, що входять до моделі для всіх видів елементів	
λ_B	Базова інтенсивність відмов елементів даної групи (або конкретного типу), що відповідає температурі навколишнього середовища +25 °С та номінальному електричному навантаженню, тобто значенням коефіцієнта електричного навантаження $K_H = 1$
K_P	Коефіцієнт режиму роботи, що залежить від електричного навантаження (коефіцієнта K_H) та температури корпусу елемента
K_t	Коефіцієнт, що залежить від температури корпусу елемента (компонента)
K_E	Коефіцієнт експлуатації, залежить від жорсткості умов експлуатації РЕП
K_{II}	Коефіцієнт приймання, що враховує ступінь жорсткості вимог до контролю якості та правила приймання елементів (компонентів РЕП) в умовах виробництва
K_{IC}	Коефіцієнт, що враховує кількість елементів в ІМС або біт (для ІМС пам'яті)
K_{corp}	Коефіцієнт, що враховує тип корпусу

Пояснення величин (параметрів), що входять у математичні моделі для елементів виробництва країн СНД

Параметр	Пояснення
Складові, що входять до моделі для напівпровідникових приладів	
K_V	Коефіцієнт, що враховує напругу живлення для комплементарних структур МОП ІМС
K_Φ	Коефіцієнт, що враховує функціональний режим роботи приладу
K_D	Коефіцієнт, що залежить від значення максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності (або струму)
K_U	Коефіцієнт, що залежить від відношення робочої напруги до максимально допустимого по ТУ (коефіцієнта навантаження по напрузі)
Складові, що входять до моделі для конденсаторів	
K_C	Коефіцієнт, що залежить від значення номінального опору
Складові, що входять до моделі для резисторів	
K_R	Коефіцієнт, що залежить від значення номінального опору
K_M	Коефіцієнт, що залежить від значення номінальної потужності (для метало-діелектричних резисторів)
$K_{доп}$	Коефіцієнт, що залежить від значення допуску на опір (для метало-діелектричних резисторів)
K_U	Коефіцієнт, що залежить від ставлення значення робочої напруги $U_{роб}$ на резисторі до максимально допустимої напруги по ТУ ($U_{ТУ}$); $U_{роб} = \sqrt{P_{роб} R}$, де $P_{роб}$ – робоча потужність, Вт; R – опір, Ом

Коефіцієнт приймання K_{Π} коригує довідкові дані про безвідмовності з урахуванням рівня якості виготовлення використовуваних елементів (компонентів). Коригування виконується щодо того рівня, для якого наводяться довідкові дані про інтенсивність відмов елемента.

Пояснення величин (параметрів), що входять у математичні моделі для елементів виробництва країн СНД

Параметр	Пояснення
Складові, що входять до моделі для виробів комутації та з'єднувачів	
K_K	Коефіцієнт, що залежить від кількості задіяних контактів
K_n	Коефіцієнт, що залежить від кількості зчленувань-розчленувань n (з'єднувачі)
t_{II}	Температура перегріву контактів по ТУ при максимальному струмовому навантаженні. Використовується для вибору коефіцієнта K_K
K_F	Коефіцієнт, що враховує число комутацій в годину
$\lambda_B^{(k,i)}$	Базова інтенсивність відмов комунікаційного виробу в цілому, 1/год
$\lambda_B^{(вкл)}$	Додаткова інтенсивність відмов, яка припадає на одне включення при роботі комунікаційного виробу у складі РЕП, 1/вкл
L	Верхній індекс, що означає, що відповідні величини відносяться до електромагнітної котушки реле
$\lambda_B^{(вкл)}$	Інтенсивність відмов реле, яка припадає на одну комутацію
F	Середня частота перемикаць або комутації виробу на годину в РЕП
N	Кількість активних контактів (контактуючих точок)
Складові, що входять до моделі для друкованих плат з металізованими наскрізними отворами	
λ_B	Базова інтенсивність відмов міжз'єднань в залежності від технології
$K_{ш}$	Коефіцієнт, що враховує кількість шарів n в платі
N_1	Кількість наскрізних отворів, виконаних методом «пайка хвилею»
N_2	Кількість наскрізних отворів, припаяних ручним способом

Пояснення величин (параметрів), що входять в математичні моделі для елементів виробництва країн СНД

Параметр	Пояснення
Складові, що входять до моделі для шнурів, кабелів, монтажних проводів	
L	Довжина кабельного виробу в РЕП, м
K_T	Коефіцієнт, що залежить від робочої температури, матеріалу, конструкції ізоляції і оболонки
λ_B	Базова інтенсивність відмов кабельних виробів при температурі +25 °С, 1/год·м
Складові, що входять до моделі для з'єднань	
λ_B	Базова інтенсивність відмов з'єднання

Базові інтенсивності відмов груп елементів та компонентів РЕП

Група елементів	$\lambda_B, \times 10^{06}$ 1/год
1. Інтегральні мікросхеми	
Напівпровідникові цифрові: - логічні, арифметичні, мікропроцесори і мікропроцесорні комплекти, регістри зсуву та ін.;	0,023
- оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗУ);	0,030
- постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗУ, ППЗУ, РПЗУ)	0,018
Напівпровідникові аналогові	0,028
Гібридні ІМС	0,043
2. Напівпровідникові прилади	
Діоди випрямляючі	0,091
Стовпи (мости) випрямні	0,21
Діоди імпульсні	0,025
Варикапи підлаштування	0,022
Стабілітрони	0,0041
Транзистори біполярні кремнієві, крім НВЧ	0,044
Транзистори польові: - кремнієві;	0,065
- арсенідогалеві	0,578
Тірістори кремнієві	0,2

Базові інтенсивності відмов груп елементів та компонентів РЕП

Група елементів	$\lambda_B, \times 10^{06}$ 1/год
Діоди НВЧ:	
- кремнієві (крім помножувальних та налагоджувальних);	0,162
- кремнієві помножувальні та налагоджувальні;	1,61
- арсенід-галієві	0,21
Транзистори НВЧ малої та середньої потужності	0,064
Транзистори НВЧ великої потужності	0,18
3. Оптиелектронні напівпровідникові прилади	
Фотодіоди на основі кремнію	0,185
Фототранзистори	0,15
Фоторезистори на основі <i>PbS</i>	1,8
Діоди випромінюючі інфрачервоне та видимого діапазону (світлодіоди)	0,034
Оптопари діодні, транзисторні	0,051
Оптопари тиристорні, резисторні, мікросхеми оптиелектронні	0,19
4. Знакосинтезуючі індикатори	
Індикатори напівпровідникові:	
- літеро-цифрові;	0,42
- дисплеї з діодною матрицею	0,21
Індикатори вакуумні люмінесцентні:	
- цифрові;	0,83
- літеро-цифрові	0,69
Індикатори вакуумні розжарюючі цифрові	0,31
Індикатори газорозрядні:	
- цифрові;	0,79
- літеро-цифрові	2,25
Індикатори рідкокристалічні цифрові багаторозрядні	0,88
5. Конденсатори	
Слюдяні	0,04
Керамічні	0,022
Паперові та металопаперові	0,019
З органічним синтетичним діелектриком	0,028
Електролітичні алюмінієві	0,173

Базові інтенсивності відмов груп елементів та компонентів РЕП

Група елементів	$\lambda_B \times 10^{06}$ 1/год
6. Резистори	
Резистори постійні недротяні: - металодіелектричні, металізовані; - композиційні	0,44 0,34
Резистори змінні: - недротяні; - дровотві	0,179 0,183
Терморезистори	0,007
7. Елементи комутації	
Перемикачі галетні	0,058/0,0027 (1/вкл.)
Тумблери	0,1/0,0064 (1/вкл.)
Кнопки, перемикачі	0,16/0,009 (1/вкл.)
Мікроперемикачі	0,045/0,0019 (1/вкл.)
Перемикачі на базі герконів	0,13/0,005 (1/вкл.)
Контакти магнітокеровані: - замикаючого типу; - перемикаючого типу	0,0007 (1/спрац.) 0,018 (1/спрац.)
8. З'єднувачі (роз'єми):	
Низькочастотні прямокутні для друкованого монтажу	0,0041
Низькочастотні для об'ємного монтажу	0,0104
Радіочастотні з поліетиленовою ізоляцією	0,015
9. Інші елементи та компоненти	
Трансформатори: - живлення; - перетворювачів напруги; - що погоджують, імпульсні та ін.	0,0035 0,0072 0,0019
Електронно-променеві трубки: - осцилографічні, індикаторні; - кінескопи монохромні; - кінескопи кольорові	1,67 1,1 13,17

Базові інтенсивності відмов груп елементів та компонентів РЕП

Група елементів	$\lambda_B, \times 10^{06}$ 1/год
9. Інші елементи та компоненти	
Дроселі	0,033
Котушки індуктивності	0,01
Реле електромагнітні загального призначення	0,0304 (1/ком.)
П'єзоелектричні прилади (кварцові резонатори, датчики, фільтри)	0,026
Лінії затримки	0,04
Запобіжники	0,011
Тримачі запобіжників	0,003
Індикаторні електричні лампочки при мінімальній тривалості горіння T_{min} , про яку йдеться в ТУ: - при змінній напрузі до 12 В; - при постійній напрузі до 12 В; - при змінній напрузі 200 ... 240 В	1,8 5,4 77,8
З'єднання (значення базової інтенсивності відмов): - ручна пайка без закрутки; - ручна пайка з закруткою; - пайка хвилею; - обтиск (опресовування); - клемний блок (вузол)	0,0013 0,00007 0,000069 0,00012 0,062
Пайки наскрізних металізованих отворів в платах з металізованими отворами (значення базової інтенсивності відмов в залежності від технології між'єднань): - друкований монтаж; - монтаж дискретними провідниками	0,000017 0,00011
Кабелі, шнури, дроти монтажні (значення базової інтенсивності відмов): - кабелі (проводи) радіочастотні коаксіальні; - дроти монтажні низьковольтні звичайної теплостійкості; - шнури харчування гнучкі з гумовою ізоляцією (без вилок живлення)	0,00127 (1/м) 0,0577 (1/м) 0,037 (1/м)

Коефіцієнти моделей для різних груп ІМС

Група ІМС	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>B</i>
1. Напівпровідникові цифрові (логічні, арифметичні, мікропроцесори, регістри зсуву та ін.)	0,336	0,288	0,021
2. Оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗП)	0,468	0,168	0,021
3. Постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗУ) та програмовані ПЗП (ППЗУ)	0,963	0,128	0,021
4. З можливістю перепрограмування ПЗУ (РПЗУ)	1,113	0,128	0,021
5. Аналогові ІМС	0,478	0,253	0,023
6. Гібридні інтегральні ІМС	0,796	0,120	0,024

Константи моделі для напівпровідникових приладів

Група елементів	<i>A</i>	N_T	T_M	<i>L</i>	Δt
Діоди, крім стабілітронів. Діодні збірки	44,1025	-2138	448	17,7	150
Стабілітрони	2,1935	-800	448	14,0	150
Транзистори біполярні, крім потужних з надвисокими частотами (НВЧ). Транзисторні збірки. Польові транзистори	5,2	-1162	448	13,8	150
Тиристори	37,2727	-2050	448	9,6	150

Електричні характеристики, що використовуються для визначення коефіцієнта електричного навантаження

Група елементів	Характеристика <i>F</i>
1. Резистори	Потужність, що розсіюється
2. Конденсатори	Напруга, що прикладається
3. Варіапи підналаштувальні. Транзистори. Транзисторні збірки. Діоди НВЧ	Потужність, що розсіюється
4. Діоди, крім стабілітронів. Діодні збірки	Середній прями́й струм
5. Напівпровідникові знаковитезуючі індикатори. Оптопарі. Напівпровідникові випромінювачі	Середній прями́й струм

Електричні характеристики, що використовуються для визначення коефіцієнта електричного навантаження

Група елементів	Характеристика F
6. Стабілітрони	Струм стабілізації. Потужність, що розсіюється
7. Тиристори	Середній прямиий струм. Потужність, що розсіюється
8. Трансформатори	Потужність
9. Дроселі. Котушки індуктивності	Струм підмагнічування, чи струм, що протікає
10. Реле	Струм, що комутується
11. З'єднувачі (роз'єми). Елементи комутації (перемикачі, кнопки, тумблери і т.п.)	Струм, що протікає
12. Кабелі. Шнури. Монтажні дроти	Щільність струму у дроті

Вплив функціонального режиму роботи на напівпровідникових приладів коефіцієнт K_{Φ}

Група приладів	Функціональний режим роботи	K_{Φ}
Діоди випрямляючі, універсальні, імпульсні, стовпи випрямні, варикапи підлаштування, діодні збірки	- лінійний;	1,0
	- перемикальний;	0,6
	- випрямний	1,5
Транзистори біполярні, крім потужних НВЧ. Транзисторні збірки	- лінійний;	1,5
	- перемикальний;	0,7
	- генераторний;	0,7
	- високовольтні прилади	1,5
Транзистори польові	Кремнієві прилади:	
	- лінійний;	1,5
	- перемикаючий;	0,7
	- генераторний;	1,0
	- НВЧ-діапазону	5,0
	Арсенід-галієві прилади	7,5

Значення коефіцієнта K_D для напівпровідникових приладів

Група приладів	Навантаження	Значення навантаження	K_D
Діоди. Діодні збірки	Максимально допустимий по ТУ середній прямий струм I_{maxTU} , А	≤ 1	0,6
		$> 1 \leq 3$	0,8
		$> 1 \leq 10$	1,0
		$> 1 \leq 20$	2,0
Транзистори біполярні, крім потужних НВЧ. Транзисторні збірки. Варикапи підлаштування	Максимально допустима по ТУ розсіює потужність P_{maxTU} , Вт	≤ 1	0,5
		$> 1 \leq 5$	0,8
		$> 5 \leq 20$	1,0
		$> 20 \leq 50$	1,3
		$> 50 \leq 200$	2,5
Тиристри	Максимально допустимий по ТУ середній прямий струм $I_{пр.срmaxTU}$, А	≤ 1	1,0
		$> 1 \leq 5$	3,0
		$> 5 \leq 25$	6,0
		$> 25 \leq 50$	10,0

Значення коефіцієнта K_U для напівпровідникових приладів

Група приладів	Коефіцієнт навантаження по напрузі $K_H^{(U)}$	Значення або модель розрахунку K_U
Діоди, варикапи підналаштування, діодні збірки	Від 0 до 0,6 > 0,5 до 1,0	$K_U = \frac{0,7}{\left[\frac{1}{2,11 - 1,11 K_H^{(U)}} \right]}$
Транзистори біполярні, крім потужних НВЧ. Транзисторні збірки.	Від 0 до 0,5 > 0,5 до 1,0	$K_U = \frac{0,5}{\left[\frac{1}{2,42 - 2,09 K_H^{(U)}} \right]}$

Постійні коефіцієнти моделі для конденсаторів

Група конденсаторів	<i>A</i>	<i>B</i>	N_T	<i>G</i>	N_S	<i>H</i>
Керамічні, склокерамічні, підналаштування з твердим діелектриком	$5,909 \cdot 10^{-7}$	14,3	398	1	0,3	3
Слюдяні	$9,885 \cdot 10^{-8}$	16	358	1	0,4	3
З органічним синтетичним діелектриком	$9,259 \cdot 10^{-3}$	2,5	358	18	0,4	5
Паперові та металопаперові	$9,583 \cdot 10^{-3}$	2,5	358	18	0,4	5
Оксидно-електролітичні алюмінієві	$3,59 \cdot 10^{-2}$	4,09	358	5,9	0,55	3

Моделі для підрахунку коефіцієнта K_C для конденсаторів

Група конденсаторів	Модель	Примітка
Тонкоплівкові з неорганічних діелектриком	$K_C = 1$	–
Керамічні та склокерамічні	$K_C = 0,4C^{0,12}$	С в пФ
Слюдяні	$K_C = 0,4C^{0,14}$	С в пФ
Паперові та металопаперові	$K_C = C^{0,05}$	С в мкФ
З органічним синтетичним діелектриком	$K_C = C^{0,05}$	С в мкФ
Оксидно-електролітичні алюмінієві	$K_C = 2C^{0,23}$	С в мкФ

Постійні коефіцієнти моделі для резисторів

Група резисторів	<i>A</i>	<i>B</i>	N_T	<i>G</i>	N_S	<i>J</i>	<i>H</i>
Резистори постійні							
Металодіелектричні, металізовані	0,260	0,5078	343	9,278	0,878	1	0,886
Композиційні плівкові	0,06	1,616	328	2,746	0,622	1,198	0,770

Постійні коефіцієнти моделі для резисторів

Група резисторів	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>N_T</i>	<i>G</i>	<i>N_S</i>	<i>J</i>	<i>H</i>
Композиційні об'ємні	0,093	2,194	358	2,019	1,245	1,2	1,362
Резистори змінні							
Недротяні керметні	0,399	1,5419	343	9,896 5	3,1668	1,307 1	0,601 2
Композиційні об'ємні, потенціометри	0,655	0,693	373	7,223	2,895	1	1,335
Дротові	0,202	1,14	343	21,7	0,529	1	0,599

*Максимальна робоча температура кабелів,
дротів, монтажних дротів*

Група кабельного виробу	Значення t_{\max} , °C	Сумарне перетин струмопровідних жил, мм ²
1. Монтажні і сполучні низьковольтні дроти з полівінілхлоридною (ПВХ) ізоляцією	70	0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5
2. Монтажні та з'єднувальні низьковольтні дроти з ізоляцією з бавовняної пряжі або шовку та полівінілхлоріда	70	0,08; 0,12; 0,14; 0,20; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5
3. Монтажні і сполучні низьковольтні дроти з поліетиленовою (ПЕ) ізоляцією	85	0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5
4. Монтажні і сполучні низьковольтні дроти з двошаровою шовковою поліетиленовою (ПЕ) ізоляцією	100	0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,5; 0,75; ...
5. Шнури живлення з ПВХ ізоляцією	70	0,35; 0,5; 0,75
6. Кабелі живлення з ПВХ ізоляцією в ПВХ оболонці	70	0,5; 0,75; 1,0; 1,5
7. Кабелі живлення гнучкі з ізоляцією і в оболонці з кремнійорганічної гуми	100	0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0
8. Кабелі радіочастотні із суцільною ПЕ ізоляцією і в ПЕ або ПВХ оболонці	85	—

Класифікація апаратури за умовами її експлуатації

Умовне позначення групи апаратури	Характеристика апаратури і умов її експлуатації	Приблизна відповідність групі за документами інших країн	
		ГОСТ В 20.39.304-76 (СНД)	MIL-HDBK-217F (США)
<i>З</i>	Наземна (експлуатована на землі) апаратура, загальне позначення	1	<i>G</i>
<i>З_Р</i>	Стаціонарна апаратура, експлуатована в лабораторних умовах, капітальних житлових приміщеннях, приміщеннях з штучно регульованими кліматичними умовами	1.1	<i>G_B</i>
<i>З_{ЧР}</i>	Стаціонарна апаратура, що експлуатується в нерегулярно опалюваних приміщеннях (обсягах), у виробничих, в тому числі вентиляваних підземних приміщеннях (шахтах); можливе часткове регулювання кліматичних умов	1.1	<i>G_B, G_{MS}</i>
<i>З_{ОВ}</i>	Стаціонарна апаратура, експлуатована під навісом або в неопалюваних приміщеннях (обсягах), де кліматичні умови близькі до умов відкритого повітря	1.2	<i>G_F</i>
<i>З_{ПН}</i>	Переносна апаратура, експлуатована в режимі стаціонарного застосування в будь-яких приміщеннях або під навісом (в умовах експлуатації апаратури груп <i>З_Р</i> , <i>З_{ЧР}</i> та <i>З_{ОВ}</i>)	1.10	<i>G_F</i>
<i>З_М</i>	Мобільна апаратура (переносна, рухлива), експлуатована в будь-яких приміщеннях, в тому числі в кузовах та причепах автомобілів, наметах або на відкритому повітрі	1.3 – 1.9	<i>G_M</i>

Класифікація апаратури за умовами її експлуатації

Умовне позначення групи апаратури	Характеристика апаратури і умов її експлуатації	Приблизна відповідність групі за документами інших країн	
		ГОСТ В 20.39.304-76 (СНД)	MIL-HDBK-217F (США)
Z_{MD}	Мобільна апаратура, експлуатована на залізничному транспорті, в кузовах та салонах автомашин та інших механічних транспортних засобів	1.3 – 1.9	G_M
B	Апаратура літаків та гелікоптерів, експлуатована в повітряному просторі (бортова апаратура), загальне позначення	3	A
$B_{СК}$	Апаратура вантажних та пасажирських літаків, експлуатована в відсіках (салонах, кабінах), де знаходяться люди	3.2	A_{IC}

Значення коефіцієнта K_E

Клас (група елементів)	Група апаратури в залежності від умов експлуатації						
	Z_P	Z_{CP}	Z_{OV}	$Z_{ПН}$	Z_M	Z_{MD}	$B_{СК}$
1. ІМС	1	1,2	1,5	1,7	2	3	3,5
2. ППП, включаючи оптоелектронні:							
- діоди, крім діодів НВЧ;	1	1,2	1,5	2	3	4	4
- стабілітрони, обмежувачі напруги;	1	1,2	1,7	2,5	4	5	5
- діоди НВЧ;	1	1,2	1,3	1,5	2	2	3
- транзистори біполярні, крім НВЧ;	1	1,2	1,5	2	4	5	4
- транзистори біполярні НВЧ;	1	1,2	2	2,5	4	5	5

Значення коефіцієнта K_E

Клас (група елементів)	Група апаратури в залежності від умов експлуатації						
	Z_p	Z_{qP}	Z_{OB}	Z_{PH}	Z_M	Z_{MD}	B_{CK}
- транзистори польові, тиристори;	1	1,2	1,3	1,5	1,7	2	3
- випромінювачі напівпровідникові (світлодіоди), оптопарі;	1	1,1	1,3	1,5	2	2,5	6
- фотодіоди, фоторезистори, фототранзистори	1	1,1	1,5	2	3	4	6
3. Знакосинтезуючі індикатори (вакуумні люмінесцентні, вакуумні розжарювання, газорозрядні, напівпровідникові)	1	1,1	1,3	1,5	2	2,5	6
4. П'єзоелектричні прилади, електро механічні фільтри	1	1,1	1,3	1,5	1,7	2	2
5. Резистори:							
- постійні недротяні;	1	1,2	1,5	2	3	5	6
- постійні дротяні і фольгові;	1	1,2	1,5	2	3	5	10
- змінні недротяні;	1	1,5	2	2,5	4	6	8
- змінні дротяні;	1	1,5	2	2,5	4	5	5
- резисторні мікросхеми, збірки;	1	1,2	1,5	2	3	5	6
- терморезистори	1	1,2	1,5	2	3	5	6
6. Конденсатори:							
- керамічні, скляні, слюдяні, тонкоплівкові з неорганічним діелектриком;	1	1,1	1,3	1,5	3	5	4
- з органічним діелектриком, паперові;	1	1,1	1,3	1,5	3	5	4

Значення коефіцієнта K_E

Клас (група елементів)	Група апаратури в залежності від умов експлуатації						
	Z_p	$Z_{чр}$	$Z_{ов}$	$Z_{пн}$	Z_M	$Z_{мд}$	$B_{СК}$
- окисдно-електролітичні;	1	1,2	1,5	2	3	5	5
- окисдно-пористі.	1	1,2	1,5	2	3	5	5
7. Трансформатори	1	1,3	1,6	2	3	5	10
8. Дроселі, котушки індуктивності	1	1,3	1,6	2	3	5	10
9. Лінії затримки	1	1,2	2	3	3	5	10
10. Комутаційні вироби:							
- тумблери, кнопки; перемикачі кнопкові, галетні, програмні та моторні, перемикачі на базі герконів;	1	1,5	2	2,5	2,7	3	5
- мікроперемикачі;	1	1,7	2,5	3	4	5	10
- контакти магнітокерівані	1	1,7	2,5	5	10	16	50
11. З'єднувачі низько-частотні	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3
12. З'єднувачі радіочастотні	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3
13. Реле:							
- електромагнітні середньої потужності та слабкострумові	1	1,5	2,5	4	5	6	8
- реле та автомати захисту, вимикачі та перемикачі автоматичні та т.п.	1	1,1	1,3	1,5	1,7	2	4
14. Електричні кабелі, шнури, дроти	1	1	1,2	1,5	2	3	7

Значення коефіцієнта K_E

Клас (група елементів)	Група апаратури в залежності від умов експлуатації						
	Z_p	Z_{cp}	Z_{ob}	$Z_{пн}$	Z_M	Z_{MD}	B_{CK}
15. З'єднання (пайка, зварювання, скручування тощо)	1	1,2	1,7	2	3	4	5
16. Пайки на платах з металізованими отворами	1	1,2	1,7	2	3	4	5
17. Установчі вироби (запобіжники, власники запобіжників)	1	1,2	1,7	2	4	8	9
18. Інші елементи:							
- електронно-промислові трубки;	1	1	1,3	1,5	1,7	2	4
- індикаторні лампочки	1	1,2	2	3	3,5	4,5	6

Значення коефіцієнта K_D

Клас (група) елементів	Значення K_D для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пластмасові корпуси	–				
1. ІМС	10	–	5,5	3,1	1	0,5	0,3
2. ППП, включаючи оптоелектронні:							
діоди НЧ (загального призначення, перемикальні, випрямні, стабілітрони й інші.)	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,35

Значення коефіцієнта K_{II}

Клас (група) елементів	Значення K_{II} для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пласт- масові корпуси	–				
діоди НВЧ, крім діодів Шотткі	50	50	25	5	1	0,6	0,6
діоди НВЧ Шотткі		–	2,5	1,8	1	0,5	0,5
транзистори: біполярні, Si польові, одноперехідні	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,35
транзистори НВЧ біполярні і польові, включаючи арсенід- галієві	10	–	5	2	1	0,5	0,35
транзистори: НЧ малошумні, ВЧ ($f > 400$ МГц), Si польові	10	–	5	2	1	0,5	0,35
тиристори Si	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,2
оптоелектронні ППП	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,6
3. Знакосинтезуючі індикатори:							
напівпровідникові	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,6

Значення коефіцієнта K_D

Клас (група) елементів	Значення K_D для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пластмасові корпуси	–				
люмінесцентні	4	–	2	1,5	1	–	–
розжарювання	5	–	3	2	1	–	–
газорозрядні	4	–	2	1,5	1	0,8	0,8
рідкокристалічні цифрові	10	–	5,5	3	1	–	–
4. П'єзоелектричні прилади: кварцові резонатори інші прилади	10	–	9	3	1	–	–
	10	–	4	2	1	0,7	0,7
5. Резистори:							
змінні недротяні, композиційні та плівкові	10	–	5	3	1	0,8	0,8
потенціометри недротяні	10	–	5	3	1	–	–
інші постійні та змінні резистори	10	–	3	2	1	0,5	0,3
6. Конденсатори	10	–	3	2	1	0,5	0,3

Значення коефіцієнта K_{II}

Клас (група) елементів	Значення K_{II} для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пластмасові корпуси	–				
7. Трансформатори:							
живлення	30	–	20	10	1	0,5	0,2
ВЧ (радіочастотні)	20	–	10	5	1	0,5	0,2
НЧ, звукові	10	–	5	3	1	0,4	0,2
імпульсні	10	–	4	2	1	0,3	0,2
8. Дроселі, котушки індуктивності:							
всі дроселі, крім живлення	10	–	5	3	1	0,5	0,2
дроселі живлення	20	–	10	5	1	0,5	0,2
котушки індуктивності	10	–	5	3	1	0,5	0,2
9. Лінії затримки	5	–	4	2,1	1	0,5	0,2
10. Комутаційні виробы:							
тумблери, перемикачі	15	–	3	2	1	0,5	0,2
галетні перемикачі	15	–	3	2	1	0,5	0,2
схемні вимикачі, переривники (ручні та автоматичні, магнітні, теплові та ін)	15	–	8,4	3	1	0,5	0,2

Значення коефіцієнта K_D

Клас (група) елементів	Значення K_D для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пластмасові корпуси	–				
11. З'єднувачі НЧ	5	–	2,5	1,5	1	0,5	0,5
12. З'єднувачі радіочастотні	5	–	2,5	1,5	1	0,5	0,5
13. Реле	9	–	3	1,5	1	0,5	0,2
14. Кабелі, шнури, дроти монтажні	5	–	2	1,5	1	0,8	0,8
15. З'єднання:							
пайка припоєм	–	–	5	3	1	1	1
зварювання	–	–	20	5	1	1	1
16. Паяні з'єднання на ПП з металізованими отворами	–	–	5	3	1	1	1
17. Запобіжники, власники запобіжників	20	–	15	7	1	0,5	0,2
18. ЕПТ приймальні, крім осцилографічних без запам'ятовування	5	–	3	2	1	–	–

Значення коефіцієнта K_{II}

Клас (група) елементів	Значення K_{II} для видів приймання:						
	Невідомий вид приймання (рівень якості)	ОТК			«5» (ВП, ОВП)	«7» (ОСМ)	«9» (ОС)
		«1»		«3»			
		Пластмасові корпуси	–				
19. ЕПТ приймальні, осцилографічні без запам'ятовування	5	–	3	2	1	0,8	0,8
20. Кінескопи	5	–	3	2	1	–	–
21. Індикаторні лампочки	5	–	3	2	1	1	1

Пояснення коефіцієнтів, що входять у математичні моделі для елементів іноземного виробництва

Умовне позначення та назва коефіцієнта	Фактори, що враховуються коефіцієнтом
Коефіцієнти, що входять до моделі для всіх класів елементів	
K_t – коефіцієнт температурного режиму	Значення температури елемента
K_S – коефіцієнт електричного режиму	Електричне навантаження – коефіцієнт навантаження K_H
K_E – коефіцієнт експлуатації	Ступінь жорсткості умов експлуатації РЕП
K_Q – коефіцієнт якості (аналог коефіцієнта приймання K_{II})	Рівень якості – ступінь жорсткості вимог до контролю якості та правила приймання елементів в умовах виробництва
Коефіцієнти, що входять до моделі для інтегральних мікросхем (ІМС)	
K_L	Тривалість промислового виробництва ІМС
K_ϕ	Функціональне призначення ІМС

Пояснення коефіцієнтів, що входять в математичні моделі для елементів іноземного виробництва

Умовне позначення та назва коефіцієнта	Фактори, що враховуються коефіцієнтом
K_H	Процес виготовлення ІМС
$K_{кр}$	Складність кристала
$K_{корп}$	Тип корпусу
Коефіцієнти, що входять до моделі для напівпровідникових приладів	
K_K	Конструкція контактів НЧ діодів
K_Φ	Функціональне призначення приладу
K_D	Максимально допустиме за ТУ навантаження по потужності (струму)
K_U	Коефіцієнт, що залежить від ставлення робочої напруги до максимально допустимого за ТУ (коефіцієнта навантаження за напрузі)
Коефіцієнти, що входять до моделі для напівпровідникових приладів	
K_I	Максимально допустимий за технічною документацією пікове значення прямого струму
K_Φ	Функціональне призначення приладу для лазерних діодів
K_S	Величина електричного навантаження для лазерних діодів
Складові, що входять до моделі для резисторів	
K_R	Значення номінального опору
K_P	Значення потужності розсіювання в робочому режимі
Складові, що входять до моделі для конденсаторів	
K_C	Значення номінальної ємності
K_{SR}	Послідовне активний опір між конденсатором та шиною живлення (для оксидно-напівпровідникових конденсаторів)

Моделі прогнозування λ_E ІМС

Група ІМС	Вид математичної моделі	
1. Мікросхеми цифрові 2. Мікросхеми аналогові 3. ПЛІС 4. Мікропроцесори	$\lambda_E = (\lambda_{кр} K_t + \lambda_{корп} K_E) K_Q K_L$	1
5. Мікросхеми пам'яті	$\lambda_E = (\lambda_{кр} K_t + \lambda_{корп} K_E + \lambda_{Ц}) K_Q K_L$	2
6. Мікросхеми GaAS НВЧ (GaAS ММІС) ІМС арсенід-галієві на основі польових транзисторів і металізації золотом	$\lambda_E = (\lambda_{кр} K_t K_\Phi + \lambda_{корп} K_E) K_Q$	3
7. ІМС надвеликого ступеня інтеграції (більше 60 000 логічних елементів - вентилів)	$\lambda_E = (\lambda_{кр} K_I K_t K_{кр} + \lambda_{корп} K_{корп}) K_E K_Q + \lambda_{ЕЛ}$	4
8. Мікросхеми ПАХ	$\lambda_E = 2,1 \cdot 10^{-10} \cdot K_E \cdot K_Q$	5

$\lambda_{кр}$ – інтенсивність відмов ІМС, обумовлена кристалом;

$\lambda_{корп}$ - інтенсивність відмов ІМС, пов'язана з відмовами корпусу; $\lambda_{Ц}$ – інтенсивність відмов, обумовлених циклами запису/зчитування;

$\lambda_{ЕЛ}$ – інтенсивність відмов, обумовлена чутливістю до електростатичних розрядів.

Модель (1) поширюється на наступні групи ІМС: цифрові ІС біполярної технології; аналогові ІС біполярної технології; програмованими логічні ІС (матриці) біполярної технології; цифрові ІС МОП технології; аналогові ІС МОП технології; програмовані логічні ІС МОП технології; мікропроцесори біполярної технології; мікропроцесори МОП технології.

Модель (2) використовується для наступних груп ІМС пам'яті: ПЗУ МОП технології; ППЗУ МОП технології; РПЗУ з ультрафіолетовим і РПЗУ з електричним стиранням; динамічні ОЗУ МОП технології; статичні ОЗУ МОП і комбінованої технології; ПЗУ, ППЗУ біполярної технології; статичні ОЗУ біполярної технології.

Модель (3) використовується для наступних груп арсенід-галієвих ІС: цифрові; напівпровідникові НВЧ діапазону

Розрахунок інтенсивності відмов $\lambda_{Ц}$ для РПЗУ

Параметр, коефіцієнт	Формула, значення	Пояснення
$\lambda_{Ц}$	$\lambda_{Ц} = A_1 B_1 K_{пом}$	$A_1, B_1, K_{пом}$ – коефіцієнти
A_1	$A_1 = 6,817C \cdot 10^{-12}$	C – кількість циклів запису / зчитування
B_1	$B_1 = \left(\frac{S}{16000}\right)^{0,5} \exp\left[\frac{-0,15}{8,617 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{кр} + 273} - \frac{1}{333}\right)\right]$	S – кількість біт (1К = 1024 біт); $T_{кр}$ – температура кристала
$K_{пом}$	$K_{пом} = 1$ (не вбудована в кристал) $K_{пом} = 0,72$ (вбудована в кристал) $K_{пом} = 0,68$ (надмірно, 2 в 1)	$K_{пом}$ – коефіцієнт, враховує наявність в складі ІМС системи корекції помилок

Розрахунок коефіцієнта режиму K_t

Група виробів	E_a	K_t
Цифрові біполярної технології	0,40	$K_t = 0,1 \exp \left[\frac{-E_a}{8,617 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{кр} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right]$
Цифрові МОП технології	0,35	
Аналогові біполярної та МОП технологій	0,65	
Мікросхеми пам'яті	0,60	$K_t = 0,1 \exp \left[\frac{-E_a}{8,617 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{кр} + 273} - \frac{1}{423} \right) \right]$
Арсенід-галієві (GaAs) НВЧ	1,50	
Арсенід-галієві (GaAs) на MESFET транзисторах	1,40	

E_a – енергія активації, eВ; $T_{кр}$ – температура кристала (переходу кристал - корпус для Si приладів або середня температура каналу – для GaAs приладів), °С.

Розрахунок коефіцієнта режиму K_t в залежності від температури переходу для біполярних високочастотних транзисторів великої потужності

Коефіцієнт навантаження за напругою S	Модель визначення K_t	
	Металізація золотом	Металізація алюмінієм
$S \leq 0,4$	$K_t = 0,1e^{-2903 \left(\frac{1}{T_{II} + 273} - \frac{1}{373} \right)}$	$K_t = 0,38e^{-5794 \left(\frac{1}{T_{II} + 273} - \frac{1}{373} \right)}$
$0,4 < S \leq 0,55$	$K_t = 2(S - 0,35)e^{-2903 \left(\frac{1}{T_{II} + 273} - \frac{1}{373} \right)}$	$K_t = 7,55(S - 0,35)e^{-5794 \left(\frac{1}{T_{II} + 273} - \frac{1}{373} \right)}$

S – коефіцієнт електричного навантаження по напрузі;
 T_{II} – пікове значення температури переходу, °С.

*Математичні моделі розрахунку λ_E
напівпровідникових приладів*

Група виробів	Вид математичної моделі
1. Діоди низькочастотні	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_S K_K K_Q K_E$
2. Діоди високочастотні	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_D K_Q K_E$
3. Транзистори біполярні низькочастотні (частота менше 200 МГц)	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_D K_S K_Q K_E$
4. Транзистори польові низькочастотні (p- та n-каналні кремнієві, частота менше 400 МГц)	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_Q K_E$
5. Транзистори одноперехідні	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_Q K_E$
6. Транзистори біполярні високочастотні малої та середньої потужності, в тому числі маломішумні, частота більше 200 МГц, потужність менш 1 Вт	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_D K_S K_Q K_E$
7. Транзистори біполярні високочастотні (НВЧ) великої потужності, середня потужність більше 1 Вт	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_m K_S K_Q K_E$
8. Транзистори польові високочастотні арсенідгалієві малої та середньої потужності	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_m K_S K_Q K_E$
9. Транзистори польові високочастотні арсенідгалієві великої потужності, частота понад 1 ГГц	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_\Phi K_m K_S K_Q K_E$
10. Транзистори польові високочастотні кремнієві	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_Q K_E$
11. Тиристри	$\lambda_E = \lambda_B K_t K_D K_S K_Q K_E$

λ_B – базова інтенсивність відмов

Довідкові дані λ_B окремих груп
оптоелектронних напівпровідникових приладів

Група виробів	$\lambda_B \times 10^{-6}$ 1/год
1. Фотоприймачі транзисторні (фототранзистори)	0,0055
2. Фотоприймачі діодні (фотодіоди)	0,004
3. Оптопари діодні одиничні	0,0025
4. Оптопари транзисторні одиничні (включаючи пару Дарлінгтона)	0,013
5. Оптопари резисторні одиничні	0,0064
6. Оптопари діодні двійкові	0,0033
7. Оптопари транзисторні двійкові (включаючи пару Дарлінгтона)	0,017
8. Оптопари резисторні двійкові	0,0086
9. Випромінюючі діоди інфрачервоного діапазону	0,0013
10. Світловипромінюючі діоди	0,00023
11. Сегментні дисплеї	За табл. 6.30 ¹
12. Дисплеї з діодною матрицею	За табл. 6.30 ¹
13. Лазерні діоди (тип напівпровідникового випромінюючого матеріалу): - GaAs/AlGaAs; - InGaAs/InGaAsP.	3,23 5,65

Базова інтенсивність відмов λ_B сегментних дисплеїв та дисплеїв з діодною матрицею

Група оптоелектронних приладів	Модель розрахунку λ_B , 1/год	Пояснення параметрів
Сегментні дисплеї	$\lambda_B = (0,00043N + \lambda_{LC}) \times 10^{-6}$	N – кількість розрядів дисплея; $\lambda_{LC} = 0,000043$ – для дисплеїв з логічним чипом; $\lambda_{LC} = 0$ – для дисплеїв без логічного чіпа
Дисплеї з діодною матрицею	$\lambda_B = (0,0009 + 0,00017N + \lambda_{LC}) \times 10^{-6}$	

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич,
Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф

**ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ. ЗБІРНИК ЗАДАЧ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ
галузі знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

*Коректор В.Г. Андріященко
Комп'ютерна верстка О.О. Роголюк*

Підписано до друку 05.03.2018 р. Формат 60×84 1/16.
Папір офсет. Гарнітура Таймс 20,8 Умов. Друк. Арк..
15,3 Умов. вид. арк. Тираж 300 прим. Зам. № 22.

Видано на замовлення ХНУРЕ