

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра транспортних технологій і технічного сервісу

02-02-258M

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійного вивчення та виконання практичних
завдань з навчальної дисципліни
«Спецкурс за спеціальністю: Надійність машин»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою 275.03
«Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»
спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)»
галузі знань 27 «Транспорт»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості навчально-наукового
механічного інституту
Протокол № 3 від 19.11.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до самостійного вивчення та виконання практичних завдань з навчальної дисципліни «Спецкурс за спеціальністю: Надійність машин» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» галузі знань 27 «Транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Хітров І. О. – Рівне : НУВГП, 2024. – 44 с.

Укладач: Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск – Никончук В. М., в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, д-р. екон. наук.

Керівник групи забезпечення спеціальності – Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент

Попереднє видання МВ 02-02-156М

© І. О. Хітров, 2024

© НУВГП, 2024

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Методичні рекомендації для вивчення навчальної дисципліни згідно тем силабусу	5
2. Методичні рекомендації для вивчення окремих тем силабусу, які виносяться на самостійне опрацювання	10
3. Тестові питання для самостійного опрацювання	14
4. Типові задачі для самостійного опрацювання	18
5. Методичні вказівки до виконання практичних завдань (контрольної роботи) для студентів заочної форми навчання	20
Термінологічний словник	40
Рекомендована література	44

ВСТУП

Надійність – одна з основних проблем сучасних машин, яка вирішується на етапах проектування, виробництва, дослідження, експлуатації і ремонту машин і є запорукою функціонування всіх галузей народного господарства.

Метою вивчення даної навчальної дисципліни є ознайомлення студентів з сучасними методами підвищення надійності вузлів, агрегатів та машини у цілому. Вирішення поставлених завдань базується на необхідності впровадження широкого кола питань: підвищення конструктивного рівня, технологічного забезпечення, експлуатаційних можливостей та вміння прогнозувати зміни технічного стану транспортних засобів.

Вивченню навчальної дисципліни повинно допомогти майбутнім спеціалістам кваліфіковано виявляти та аналізувати причини відмов; провадити випробування і визначати кількісні показники надійності машин; розробляти і впроваджувати у виробництво заходи щодо забезпечення її підвищення надійності машин за рахунок удосконалення їх методики від проектування, виготовлення, експлуатації, організації технічного сервісу.

З метою засвоєння студентами теоретичного матеріалу передбачається проведення практичних робіт та самостійної роботи. Самостійна робота студента під керівництвом викладача проходить у формі ділової взаємодії: студент отримує безпосередні вказівки, рекомендації викладача з організації самостійної діяльності, а викладач виконує функцію управління через облік, контроль і коригування помилкових дій.

1. Методичні рекомендації для вивчення навчальної дисципліни згідно тем силабусу

Змістовий модуль 1. . Основи надійності технічних об'єктів автомобільного транспорту

Тема 1. Наукові цінності теорії надійності машин та їх взаємозв'язок ефективністю роботи автомобільного транспорту

- 1.1. Об'єкти, які розглядаються в теорії надійності.
 - 1.2. Надійність як складова якості машин.
 - 1.3. Основні поняття, терміни та визначення надійності.
 - 1.4. Експлуатаційна надійність машин
- Література:* [1] с. 5-12; [4] с. 6-14; [5] с. 6-10.

Питання для самоконтролю до теми 1

1. Розкрийте поняття «продукція», «вироби», «продукти».
2. Розкрийте поняття «якість продукції». Який зв'язок між якістю та надійністю техніки.
3. Що є кількісною оцінкою якості продукції?
4. Які об'єкти розглядаються у надійності машин?
5. У яких станах з точки зору надійності може бути технічний об'єкт при експлуатації? Охарактеризуйте ці стани.
6. Які події зумовлюють перехід об'єкта у несправний стан, у нероботоздатний стан? Дайте визначення цих подій.
7. Що розуміють під терміном «надійність машин»?
8. Дайте визначення властивостей надійності машин.

Тема 2. Дослідження фізичних основ надійності та їх впливу на технічний стан машин

- 2.1. Поняття технічного ресурсу об'єктів
- 2.2. Зміна стану технічних об'єктів в процесі їх експлуатації
- 2.3. Економічне значення проблеми ресурсу
- 2.4. Прогнозування залишкового ресурсу технічних об'єктів за результатами контролю їх технічного стану

Література: [1] с. 13-24; [2] с. 17-23; [3] с. 37-52; [5] с. 19-24.

Питання для самоконтролю до теми 2

1. Що таке технічний ресурс і термін служби? Яка між ними різниця?
2. Що показує гамма-відсотковий ресурс? Які він може мати значення?
3. Яка різниця між допустимим і граничним зносом деталей машин? Наведіть приклади.
4. З якою метою визначають залишковий ресурс деталі?
5. Наведіть приклад визначення залишкового ресурсу технічного об'єкта за результатами діагностування і використання номограм.
6. Дайте визначення технічного стану машини.
7. В яких одиницях може вимірюватися напрацювання технічних об'єктів?
8. Вкажіть постійні причини зміни технічного стану об'єктів.
9. Перерахуйте класифікаційні ознаки факторів впливу на інтенсивність зміни технічного стану об'єктів (машин, технологічного обладнання).
10. Яка відмінність між ресурсом та терміном служби об'єкту?
11. Дайте визначення роботоздатності машини.

Тема 3. Відмови технічних об'єктів та їх вплив на роботоздатність транспортного процесу

3.1. Види відмов.

3.2. Формалізація закону зміни вихідного параметру в часі.

3.3. Формування процесу втрати технічним об'єктом працездатності.

3.4. Показники безвідмовності.

3.5. Модель формування поступових відмов

Література: [1] с. 40-42; [3] с. 138-142; [5] с. 10-11.

Питання для самоконтролю до теми 3

1. За якими ознаками класифікуються відмови?

2. Які показники кількісно характеризують стабільність техніко-експлуатаційних властивостей технічних об'єктів?

3. Що таке відмова?

4. Що таке поступові і раптові відмови?

5. Перерахуйте показники безвідмовності технічних об'єктів.

6. Поясніть графічно поступові і раптові відмови елементів технічних об'єктів.

7. З якою метою застосовують класифікацію відмов?

Тема 4. Математичні методи визначення показників надійності

4.1. Деякі відомості з теорії ймовірностей та математичної статистики.

4.2. Характеристика основних законів розподілу показників надійності.

4.3. Збирання та обробка інформації про надійність технічних об'єктів.

4.4. Комплексні показники надійності.

Література: [1] с. 43-68; 79-83; [3] с. 143-154.

Питання для самоконтролю до теми 4

1. Що таке подія? Які є різновиди подій?
2. Що таке дискретна і неперервна випадкова величина? Наведіть їх приклади.
3. Що таке ймовірність, які є формули додавання та множення ймовірностей?
4. Які бувають функції розподілу випадкових величин?
5. Що називається щільністю розподілу випадкових величин?
6. Які основні характеристики розподілу випадкових величин?
7. Які закони розподілу випадкових величин найчастіше зустрічаються у надійності?
8. Як визначити основні характеристики (показники) надійності виробів, що не ремонтуються (не відновлюються)?
9. Як розрахувати основні показники надійності виробів, що ремонтуються (відновлюються)?

Змістовий модуль 2. Основні шляхи підвищення надійності машин та їх вплив на організацію транспортного процесу перевезень

Тема 5. Контроль надійності машин

- 5.1. Загальні організаційно-методичні принципи випробування машин.
 - 5.2. Значення, місце та особливості випробування машин на надійність.
 - 5.3. Загальні методичні принципи випробування машин на надійність.
 - 5.4. Організація випробувань на надійність.
- Література:* [1], с. 96-132; [5], с. 85-98.

Питання для самоконтролю до теми 5

1. Що розуміють під випробуванням машин і обладнання?
2. Наведіть класифікацію випробувань за метою їх проведення.
3. Як поділяються випробування залежно від етапів розробки?
4. Поясніть існуючі плани випробувань.
5. Що повинна передбачити програма випробувань?
6. Поясніть особливість випробування на надійність машин і обладнання в умовах експлуатації.
7. Які задачі розв'язують при випробуванні машин і обладнання на надійність?
8. За якими показниками оцінюється надійність машин при випробуваннях на станціях?
9. Який комплекс показників найповніше характеризує надійність машин? Які показники надійності визначаються в умовах машиновипробувальних станції.
10. Які є методи і технічні засоби прискорених випробувань та якими шляхами забезпечується їх прискорення?

Тема 6. Методи забезпечення і підвищення надійності машин при організації перевезень

- 6.1. Керування надійністю машин на всіх стадіях їх життєвого циклу.
- 6.2. Забезпечення надійності машин на стадії проектування.
- 6.3. Забезпечення надійності машин у процесі експлуатації.
- 6.4. Забезпечення надійності машин у процесі їх ремонту.

Література: [1], с. 143-194; [2], с. 37-47; [5], с. 145-164.

Питання для самоконтролю до теми 6

1. Які основні шляхи забезпечення надійності на стадії проектування?
2. Що таке резервування, його види?
3. Які конструкторські методи існують для підвищення надійності машин?
4. Які перспективні матеріали використовуються для підвищення надійності?
5. Які існують трибологічні заходи підвищення надійності?
6. Які основні технологічні методи підвищення надійності?
7. Що таке надійність технологічного процесу?
8. У чому суть експлуатаційних заходів підтримання надійності машин?
9. Як відновлюється надійність машин в процесі ремонту?
10. Що таке модернізація машин або деталей?

2. Методичні рекомендації для вивчення окремих тем силабусу, які виносяться на самостійне опрацювання

Тема 2. Дослідження фізичних основ надійності та їх впливу на технічний стан машин

- 2.1. Зношування, види, характеристики і закономірності процесу.
- 2.1.2. Деформація і руйнування.
- 2.3. Втоmlеність металів.
- 2.4. Корозія
- 2.5. Старіння матеріалів

Література: [1] с. 15-42; [4] с. 44-53, 72-80.

Питання для самоконтролю до теми 2

1. Опишіть структуру поверхневого шару матеріалу деталі.
2. Вкажіть причини впливу поверхневого шару матеріалу на працездатність технічного об'єкту.
3. Назвіть причини зміни первинних параметрів.
4. Поясніть графічно формування поверхневого шару деталей, що руйнуються.
5. Що таке поріг чутливості?
6. Що таке „адсорбція”, „когезія”, „адгезія”?
7. Охарактеризуйте класифікаційні ознаки видів тертя.
8. У чому полягає відмінність між зношуванням і зносом?
9. Наведіть приклади різновидів механічного зношування деталей.
10. Які регламентовані визначення характеристик процесу використовуються для оцінки зношування поверхонь деталей?
11. Опишіть процес деформації на прикладі діаграми зміни навантажень.
12. Що таке втомленість металів?
13. Наведіть приклади корозії металів.

Тема 3. Відмови технічних об'єктів та їх вплив на роботоздатність транспортного процесу

- 3.1. Основні відомості з теорії імовірності та математичної статистики.
 - 3.2. Характеристика основних законів розподілу показників надійності.
 - 3.3. Збирання та обробка інформації про надійність технічних об'єктів.
 - 3.4. Комплексні показники надійності
- Література:* [1] с. 54-67; [5] с.44-53

Питання для самоконтролю до теми 3

1. Які основні поняття застосовуються у теорії імовірностей і математичної статистики?
2. Що таке математична імовірність події?
3. Яка різниця між статистичною і дослідною імовірністю події?
4. Як поділяються випадкові величини?
5. Що характеризує коефіцієнт варіації?
6. Перерахуйте основні закони розподілу показників надійності. Опишіть один з них.
7. Перерахуйте загальні вимоги до інформації про надійність технічних об'єктів.
8. Як визначається напрацювання на відмову технічного об'єкта.

Тема 4. Математичні методи визначення показників надійності

- 4.1. Показники безвідказності.
- 4.2. Показники довговічності.
- 4.3. Показники ремонтпридатності та збереженості.
- 4.4. Розрахунки показників надійності

Література: [1], с. 68-84.

Питання для самоконтролю до теми 4

1. Які показники безвідказності виробів, що не ремонтуються і ремонтуються? Дайте їх визначення.
2. Що править за показник довговічності виробів?
3. Що таке гамма-процентний ресурс?
4. Наведіть основні і додаткові показники ремонтпридатності виробів.
5. Що таке показник збереженості виробу?

Тема 5. Контроль надійності машин

5.1. Методи і технічні засоби для прискорених випробувань машин.

5.2. Оцінка надійності машин.

Література: [1] с. 119-141.

Питання для самоконтролю до теми 5

1. Які є методи і технічна засоби прискорених випробувань та якими шляхами забезпечується їх прискорення?

2. Який комплекс показників найповніше характеризує надійність машин? Які показники надійності визначаються в умовах машиновипробувальних станцій?

3. Як поділяються випробування залежно від етапів розробки?

4. Поясніть існуючі плани випробувань.

5. Що повинна передбачити програма випробувань?

Підсумком самостійної роботи над вивченням початкової дисципліни “Надійність машин” є складання письмового звіту (реферату) за темами загальним обсягом – 10-14 сторінок. Звіт включає план, вступ, основну частину, висновки, список використаної літератури.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210×297) з одного боку. Поля: верхнє, нижнє та ліве – 20 мм, праве – 10 мм. Звіт може бути рукописним або друкованим. Захист звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені студентом і викладачем.

3. Тестові питання для самостійного опрацювання

1. Як називається предмет певного цільового призначення?

- а) об'єкт
- б) суб'єкт
- в) система
- г) критерій

2. Вкажіть об'єкт цільового призначення машини.

- а) система
- б) механізм
- в) вузол
- г) всі перераховані відповіді вірні

3. Як називається комплекс визначених відмінних властивостей технічного об'єкту, який характеризує ступінь його споживчого удосконалення щодо визначених умов використання?

- а) експлуатаційні властивості технічного об'єкту
- б) надійність технічного об'єкту
- в) якість технічного об'єкту
- г) довговічність технічного об'єкту

4. Як називається стан машини, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної чи конструкторської документації?

- а) справний стан
- б) працездатний стан
- в) граничний стан
- г) несправний стан
- д) відмова

5. Як називається властивість технічного об'єкту зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність функціонувати у заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування, ремонту зберігання та транспортування?

- а) надійність технічного об'єкту
- б) експлуатаційні властивості технічного об'єкту
- в) якість технічного об'єкту
- г) довговічність технічного об'єкту

6. Як називається стан машини або конструктивного елемента, при якому подальша експлуатація неприпустима або недоцільна, настає при перевищенні припустимих меж експлуатаційних параметрів?

- а) граничний стан
- б) працездатний стан
- в) справний стан
- г) відмова
- д) несправний стан

7. Як називається вид відмови – відмова генератора внаслідок зносу щіток ротора?

- а) експлуатаційна відмова
- б) конструктивна відмова
- в) раптова відмова
- г) поступова відмова
- д) ресурсна відмова

8. Граничний розмір – це:

- а) розмір деталі, який визначений вимірюванням;
- б) основний розрахунковий розмір, спільний для охоплюючої і охоплюваної поверхонь
- в) розмір, між якими може коливатися дійсний розмір

г) розмір охоплюваної деталі

9. Як називається відмова, що самоусувається, або однократна відмова, яка усувається незначним втручанням?

- а) раптова відмова
- б) збій
- в) ресурсна відмова
- г) незалежна відмова
- д) поступова відмова

10. При терті ковзання з дуже малими зворотно-поступальними переміщеннями і динамічному прикладенні навантаження має місце:

- а) фретинг-корозія
- б) адгезійне спрацювання
- в) ерозія
- г) кавітація

11. Як називається відмова, що виникла у зв'язку з порушенням встановлених правил або умов експлуатації машини?

- а) конструктивна відмова
- б) раптова відмова
- в) поступова відмова
- г) ресурсна відмова
- д) експлуатаційна відмова

12. Як називається календарна тривалість від початку експлуатації об'єкта або її поновлення після певного ремонту до переходу в граничний стан?

- а) термін служби
- б) технічний ресурс
- в) середній ресурс
- г) назначений ресурс

д) плановий ресурс

13. Яка комплексна характеристика включає в себе безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість:

- а) надійність
- б) несправний стан
- в) граничний стан
- г) відмова
- д) подія

14. Як називається властивість об'єкта зберігати роботу здатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту?

- а) довговічність
- б) надійність
- в) норма витрат
- г) термін служби
- д) ресурсозбереження

15. Вкажіть вид випробування машини, що відповідає класифікаційній ознаці – за призначенням?

- а) нормальні
- б інспекційні
- в) контрольні
- г) приймальні
- д) періодичні

16. Як називається коефіцієнт, який визначає, яку частину використаних деталей об'єкта уніфіковано?

- а) коефіцієнт конструктивної послідовності
- б) коефіцієнт взаємозамінності
- в) коефіцієнт уніфікації
- г) коефіцієнт доступності

4. Типові задачі для самостійного опрацювання

1. На експлуатаційному випробуванні знаходилося 10 елементів автомобіля. В інтервалі 10 тисяч кілометрів відмовило 3 елемента. Визначити імовірність безвідмовної роботи елементів автомобіля?

2. На експлуатаційному випробуванні знаходилося 10 елементів автомобіля. Вони вийшли з ладу за наступних пробігах, тис. км: 5; 4; 3; 10; 11; 15; 7; 8; 9; 5. Визначити середнє напрацювання до відмови елемента автомобіля?

3. На експлуатаційному випробуванні знаходилося 3 елемента автомобіля. Перший елемент вийшов з ладу при пробігу 5 тис. км, потім відновлений і знову відмовив при пробігу 3 тис. км, знову відновлений. Другий елемент відмовив на пробігу 9 тис. км, потім відновлений. Третій відмовив на пробігу 11 тис. км, відновлений і автомобіль продовжував працювати. Визначити середнє напрацювання на відмову елементів автомобіля?

4. Всього для транспортного засобу було 1000 відмов, в тому числі за двигуном – 600. Визначити коефіцієнт відмов двигуна?

5. Імовірність безвідмовної роботи одного елемента гальмівної системи автомобіля протягом заданого напрацювання становить 0,7. Визначити імовірність безвідмовної роботи системи з двома додатковим послідовними резервними елементами?

6. При експлуатаційному випробуванні 50 машин протягом 200 тис. км сталося 5 відмов двигунів. Яка статична імовірність відмови двигунів?

7. При експлуатаційному випробуванні 50 машин протягом 150 тис. км сталося 4 відмови коробок передач. Яка статична імовірність відмови коробок передач?

8. В результаті експлуатаційних досліджень встановлено, що імовірність відмови робочого гальма транспортного засобу на 100 тис. км пробігу становить 0,05; а імовірність відмови стоянкового гальма – 0,01. Визначити імовірність відмови гальмівної системи транспортного засобу?

9. За спостереженнями, імовірність безвідмовної роботи коробки передач машини становить 0,8; а двигуна – 0,75. Визначити імовірність безвідмовної роботи машини?

10. Визначити відсоток двигунів, що відмовили, до напрацювання 250 тисяч км, якщо відомо, що до ремонтний ресурс розподілений за нормальним законом розподілу з параметрами: середнє значення напрацювання двигуна – 300 тис. км; середнє квадратичне відхилення напрацювання – 300 км. Інтегральна функція закону нормального розподілу становить $f(1,67)=0,95$.

11. Визначити коефіцієнт відновлення ресурсу транспортного засобу з його напрацюванням до першого капітального ремонту 200 тис. км. Середній ресурс капітально відремонтованих транспортних засобів даного типу становить 160 тис. км.

12. Визначити імовірність безвідмовної роботи транспортного засобу, якщо імовірність безвідмовної роботи кожного з чотирьох паралельних елементів системи становить 0,5.

5. Методичні вказівки до виконання практичних завдань (контрольної роботи) для студентів заочної форми навчання

Практична робота (ПР) дозволяє студенту самостійно вибрати найраціональніше рішення з поставлених перед ним комплексних інженерних завдань і показати вміння використання передового досвіду, учбовими посібниками, довідниками, періодичною літературою на основі набутих ним знань.

ПР за темою «Оптимізація виробничих процесів ТО і ремонту машин та обладнання» складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом 10-20 сторінок. Розрахунково-пояснювальна записка включає титульний лист, зміст, вступ, вихідні дані, список літературних джерел.

Предметом теорії масового обслуговування є встановлення залежності між факторами, що визначають функціональні можливості системи масового обслуговування, і ефективністю її функціонування. У більшості випадків усі параметри, що описують системи масового обслуговування, є випадковими величинами або функціями, тому ці системи відносяться до стохастичних систем.

Випадковий характер потоку заявок (вимог), а також, у загальному випадку, і тривалості обслуговування приводить до того, що в системі масового обслуговування відбувається випадковий процес.

Компоненти і класифікація моделей масового обслуговування. Системи масового обслуговування – це такі системи, у які у випадкові моменти часу надходять заявки на обслуговування, при цьому заявки, що надійшли, обслуговуються за допомогою наявних у розпорядженні системи каналів обслуговування.

З позиції моделювання процесу масового обслуговування ситуації, коли утворюються черги заявок (вимог) на обслуговування, виникають наступним чином. Надійшовши в обслуговуючу систему, вимога приєднується до черги інших (тих, що надійшли раніше) вимог. Канал обслуговування вибирає вимогу з тих, що знаходяться в черзі, для того щоб приступити до її обслуговування. Після завершення процедури обслуговування чергової вимоги канал обслуговування приступає до обслуговування наступної вимоги, якщо така присутня в блоці очікування.

Цикл функціонування системи масового обслуговування подібного виду повторюється багаторазово протягом усього періоду роботи обслуговуючої системи. При цьому передбачається, що перехід системи на обслуговування чергової вимоги після завершення обслуговування попередньої вимоги відбувається миттєво, у випадкові моменти часу.

Прикладами систем масового обслуговування можуть бути:

1. пости технічного обслуговування машин;
2. пости ремонту машин;
3. колонки заправних станцій;
4. станції технічного обслуговування машин та ін.;

Основними компонентами системи масового обслуговування будь-якого виду є:

- вхідний потік вимог, або заявок, що надходять на обслуговування;
- дисципліна черги;
- механізм обслуговування.

Вхідний потік вимог. Для опису вхідного потоку потрібно задати імовірнісний закон, що визначає послідовність моментів надходження вимог на обслуговування і вказати кількість таких вимог у кожному черговому надходженні. При цьому, як правило, оперують

поняттям «імовірнісний розподіл моментів надходження вимог». В даному випадку можуть надходити як одиничні, так і групові вимоги (вимоги надходять групами в систему). В останньому випадку звичайно мова йде про систему обслуговування з паралельно-груповим обслуговуванням.

Дисципліна черги – важливий компонент системи масового обслуговування, він визначає принцип, відповідно до якого вимоги, що надходять на вхід обслуговуючої системи, підключаються з черги до процедури обслуговування. Найчастіше використовуються дисципліни черги, обумовлені наступними правилами:

- першим прийшов – перший обслуговується;
- прийшов останнім – обслуговується першим;
- випадковий вибір заявок;
- вибір заявок за критерієм пріоритетності;
- обмеження часу очікування моменту початку

обслуговування (має місце черга з обмеженим часом очікування обслуговування, що асоціюється з поняттям «припустима довжина черги»).

Механізм обслуговування визначається характеристиками самої процедури обслуговування і структурою обслуговуючої системи. До характеристик процедури обслуговування відносяться: тривалість процедури обслуговування і кількість вимог, що задовольняються в результаті виконання кожної такої процедури. Для аналітичного опису характеристик процедури обслуговування оперують поняттям «імовірнісний розподіл часу обслуговування вимог».

Слід зазначити, що час обслуговування заявки залежить від характеру самої заявки або вимог клієнта та від стану і можливостей обслуговуючої системи. У ряді випадків приходиться також враховувати імовірність виходу обслуговуючого приладу в плинні деякого обмеженого інтервалу часу.

Структура обслуговуючої системи визначається кількістю і взаємним розташуванням каналів обслуговування (механізмів, приладів і т.п.). Насамперед варто підкреслити, що система обслуговування може мати не один канал обслуговування, а декілька; система такого роду здатна обслуговувати одночасно кілька вимог. У цьому випадку всі канали обслуговування пропонують ті самі послуги, і, отже, можна стверджувати, що має місце паралельне обслуговування.

Система обслуговування може складатися з декількох різнотипних каналів обслуговування, через які повинні пройти кожна вимога, що обслуговується, тобто в обслуговуючій системі процедури обслуговування вимог реалізуються послідовно. Механізм обслуговування визначає характеристики вихідного (обслуженого) потоку вимог.

Незалежно від характеру процесу, що протікає в системі масового обслуговування, розрізняють два основних види СМО:

- системи з відмовами, у яких заявка, що надійшла в систему в момент, коли всі канали зайняті, одержує відмову і відразу ж залишає чергу;

- системи з очікуванням (чергою), у яких заявка, що надійшла в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, стає в чергу і чекає, поки не звільниться один з каналів.

Системи масового обслуговування з очікуванням поділяються на системи з обмеженим очікуванням і системи з необмеженим очікуванням.

У системах з обмеженим очікуванням може обмежуватися:

- довжина черги;
- час перебування в черзі.

У системах з необмеженим очікуванням заявка, що стоїть в черзі, чекає обслуговування необмежено довго,

тобто поки не підійде черга.

Усі системи масового обслуговування розрізняють по числу каналів обслуговування:

- одноканальні системи;
- багатоканальні системи.

2. Приклади моделювання систем масового обслуговування.

Примітка. Для вирішення практичних задач вибір вихідних даних згідно варіанту проводити у відповідності до двох останніх цифр залікової книжки, де m – передостання цифра; n – остання цифра залікової книжки.

Задача 2.1. Моделювання одноканальної СМО з пуассонівським вхідним потоком та експоненціальним розподілом тривалості обслуговування

Нехай одноканальна СМО з відмовами являє собою один пост щоденного обслуговування (ЩО) для мийки машин. Заявка – машина, що прибула у момент, коли пост зайнятий, – одержує відмову в обслуговуванні. Інтенсивність потоку машин $\lambda = 1 \cdot n$ (одна машина на годину). Середня тривалість обслуговування – $1,8 \cdot m$ години. Потік машин і потік обслуговування є найпростішими.

Визначити в сталому режимі граничні значення:

- відносної пропускної здатності q ;
- абсолютної пропускної здатності A ;
- імовірності відмов $P_{відм}$;

Порівняти фактичну пропускну здатність СМО з номінальною, котра була б, якби кожна машина обслуговувалася точно $1,8 \cdot m$ години і машини надходили одна за другою без перерви.

Послідовність вирішення задачі

1. Визначимо інтенсивність потоку обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{об}} = \frac{1}{1,8} = 0,555.$$

2. Обчислимо відносну пропускну здатність:

$$q = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{0,555}{1 + 0,555} = 0,356.$$

Величина q означає, що в сталому режимі система буде обслуговувати приблизно 35% машин, які надходять на пост ЩО.

3. Абсолютну пропускну здатність визначимо по формулі:

$$A = \lambda q = 1 \cdot 0,356 = 0,356.$$

Це означає, що система (пост ЩО) здатна здійснити в середньому 0,356 обслуговування машин на годину.

4. Імовірність відмови:

$$P_{відм} = 1 - q = 1 - 0,356 = 0,644.$$

Це означає, що близько 65% машин, що надійшли на пост ЩО одержать відмову в обслуговуванні.

5. Визначимо номінальну пропускну здатність системи:

$$A_{ном} = \frac{1}{\bar{t}_{об}} = \frac{1}{1,8} = 0,555 \text{ (маш./год.)}$$

Виявляється, що $A_{ном}$ у 1,5 рази $\left(\frac{0,555}{0,356} \approx 1,5 \right)$ більша, ніж фактична пропускну здатність, обчислена з врахуванням випадкового характеру потоку заявок і часу обслуговування.

Задача 2.2. Моделювання одноканальної СМО з очікуванням

Спеціалізований пост діагностики являє собою одноканальну СМО. Число стоянок для машин, що очікують проведення діагностики, обмежено і дорівнює 3 $[(N - 1) = 3] (m)$. Якщо всі стоянки зайняті, тобто в черзі вже знаходиться три машини, то чергова машина, що прибула на діагностику, у чергу на обслуговування не стає. Потік машин, що прибувають на діагностику, розподілений за законом Пуассона і має інтенсивність $\lambda = 0,85(+0,2 \cdot n)$ (машин за годину). Час діагностики машини розподілено за показниковим законом і у середньому дорівнює $1,05(+0,1 \cdot m)$ години.

Потрібно визначити імовірнісні характеристики поста діагностики, що працює в стаціонарному режимі.

Послідовність вирішення задачі

1. Параметр потоку обслуговування машин:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{об}} = \frac{1}{1,05} = 0,952$$

2. Приведена інтенсивність потоку машин визначається як відношення інтенсивностей λ та μ , тобто

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,85}{0,952} = 0,893.$$

3. Обчислимо фінальні імовірності системи:

$$P_0 = \frac{1 - \psi}{1 - \psi^{N+1}} = \frac{1 - 0,893}{1 - 0,893^5} \approx 0,248;$$

$$P_1 = \psi P_0 = 0,893 \cdot 0,248 \approx 0,221;$$

$$P_2 = \psi^2 P_0 = 0,893^2 \cdot 0,248 \approx 0,198;$$

$$P_3 = \psi^3 P_0 = 0,893^3 \cdot 0,248 \approx 0,177;$$

$$P_4 = \psi^4 P_0 = 0,893^4 \cdot 0,248 \approx 0,158.$$

4. Імовірність відмови в обслуговуванні машини:

$$P_{відм} = P_4 = \psi^4 P_0 \approx 0,158.$$

5. Відносна пропускна здатність поста діагностики:

$$q = 1 - P_{\text{відм}} = 1 - 0,158 = 0,842.$$

6. Абсолютна пропускна здатність поста діагностики:

$$A = q\lambda = 0,842 \cdot 0,85 = 0,716 \text{ (машин./год)}$$

7. Середнє число машин, що знаходяться на обслуговуванні й у черзі (тобто в системі масового обслуговування):

$$L_s = \frac{\psi [1 - (N+1)\psi^N + N\psi^{N+1}]}{(1-\psi)(1-\psi^{N+1})} = \frac{0,893 \cdot [1 - (4+1) \cdot 0,893^4 + 4 \cdot 0,893^5]}{(1-0,893)(1-0,893^5)} = 1,77$$

8. Середній час перебування машини в системі:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda(1-P_N)} = \frac{1,77}{0,85(1-0,158)} \approx 2,473 \text{ години}$$

9. Середня тривалість перебування заявки в черзі на обслуговування:

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = 2,473 - \frac{1}{0,952} = 1,423 \text{ години.}$$

10. Середнє число заявок у черзі (довжина черги):

$$L_q = \lambda(1-P_N)W_q = 0,85 \cdot (1-0,158) \cdot 1,423 = 1,02.$$

Роботу розглянутого поста діагностики можна вважати задовільною, тому що пост діагностики не обслуговує машини в середньому в 15,8% випадків ($P_{\text{відм}} = 0,158$).

Задача 2.3. Моделювання одноканальної СМО з очікуванням без обмеження на довжину черги

В постановці задачі 2.2 зробимо наступні припущення.

Нехай розглянутий пост діагностики має у своєму розпорядженні необмежену кількість площадок для стоянки прибуваючих на обслуговування машин, тобто довжина черги не обмежена.

Визначити фінальні значення наступних імовірнісних характеристик:

- імовірності станів системи (поста діагностики);
- середнє число машин, що знаходяться в системі (на обслуговуванні й у черзі);
- середню тривалість перебування машини в системі (на обслуговуванні й у черзі);
- середнє число машин у черзі на обслуговування;
- середню тривалість перебування машини в черзі.

Послідовність вирішення задачі

1. Параметр потоку обслуговування μ та приведена інтенсивність потоку машин ψ визначені в задачі 2.2:

$$\mu = 0,952;$$

$$\psi = 0,893.$$

2. Обчислимо граничні імовірності системи:

$$P_0 = 1 - \psi = 1 - 0,893 = 0,107;$$

$$P_1 = (1 - \psi)\psi = (1 - 0,893) \cdot 0,893 = 0,096;$$

$$P_2 = (1 - \psi)\psi^2 = (1 - 0,893) \cdot 0,893^2 = 0,085;$$

$$P_3 = (1 - \psi)\psi^3 = (1 - 0,893) \cdot 0,893^3 = 0,076;$$

$$P_4 = (1 - \psi)\psi^4 = (1 - 0,893) \cdot 0,893^4 = 0,068;$$

$$P_5 = (1 - \psi)\psi^5 = (1 - 0,893) \cdot 0,893^5 = 0,061, \text{ і т.д.}$$

Слід зазначити, що $P_0(t)$ визначає частку часу, протягом якого пост діагностики вимушено не діє (простоє). У нашому прикладі вона складає 10,7%, оскільки $P_0(t) = 0,107$.

3. Середнє число машин, що знаходяться в системі (на обслуговуванні й у черзі):

$$L_s = \frac{\psi}{1-\psi} = \frac{0,893}{1-0,893} = 8,346 \text{ машин.}$$

4. Середня тривалість перебування клієнта в системі:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\psi)} = \frac{1}{0,952 \cdot (1-0,893)} = 9,817 \text{ годин.}$$

5. Середнє число машин у черзі на обслуговування:

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\psi^2}{1-\psi} = \frac{0,893^2}{1-0,893} = 7,453.$$

6. Середня тривалість перебування машини в черзі:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\psi}{\mu(1-\psi)} = \frac{0,893}{0,952 \cdot (1-0,893)} = 8,766 \text{ годин.}$$

7. Відносна пропускна здатність системи: $q = 1$, тобто, кожна заявка, що прийшла в систему, буде обслужена.

8. Абсолютна пропускна здатність:

$$A = \lambda q = 0,85 \cdot 1 = 0,85.$$

Слід зазначити, що підприємство, що здійснює діагностику машин, насамперед цікавить кількість клієнтів, що відвідає пост діагностики при знятті обмеження на довжину черги.

Припустимо, у початковому варіанті кількість місць для стоянки прибуваючих машин рівне трьом (див. задачу 2.2). Частота m виникнення ситуацій, коли машина, яка прибуває на пост діагностики не має можливості приєднатися до черги:

$$m = \lambda \psi^N P_0.$$

Тобто, при $N = 3 + 1 = 4$ і $\psi = 0,893$:

$$m = 0,85 \cdot 0,248 \cdot 0,893^i = 0,134 \text{ маш./год.}$$

При 12-годинному режимі роботи поста діагностики це еквівалентно тому, що пост діагностики в середньому за зміну (день) буде втрачати $12 \cdot 0,134 = 1,6$ машин.

Зняття обмеження на довжину черги дозволяє збільшити кількість обслужених клієнтів (у нашому прикладі в середньому на 1,6 машини за зміну (12 годин роботи) поста діагностики). Рішення щодо розширення площі для стоянки машин, що прибувають на пост діагностики, повинне ґрунтуватися на оцінці економічного збитку, що обумовлений втратою клієнтів при наявності всього трьох місць для стоянки цих машин.

Задача 2.4. Моделювання багатоканальної СМО з пуасонівським вхідним потоком і експоненціальним розподілом тривалості обслуговування

Нехай n -канальна СМО являє собою централізований склад (ЦС) по обробці вантажів в контейнерах із трьома ($n = 3$) (для індивідуального завдання ($n+m$)) взаємозамінними навантажувачами для обробки вантажів. Потік вантажів в контейнерах, що надходять на ЦС, має інтенсивність $\lambda = 1(+0,8 \cdot m)$ контейнер на годину. Середня тривалість обслуговування $\bar{t}_{об} = 1,8(+0,1 \cdot n)$ години. Потік заявок обробку вантажів і потік обслуговування цих вантажів вважати найпростішими.

Обчислити фінальні значення:

- імовірності станів ЦС;
- імовірності відмов в обслуговуванні заявки;
- відносної пропускну здатності ЦС;
- абсолютної пропускну здатності ЦС;
- середнього числа зайнятих навантажувачів на ЦС.

Визначити, скільки додатково треба придбати

навантажувачів, щоб збільшити пропускну здатність ЦС у 2 рази.

Послідовність вирішення задачі

1. Визначимо параметр μ потоку обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{об}} = \frac{1}{1,8} = 0,555.$$

2. Приведена інтенсивність потоку заявок

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1}{0,555} = 1,8.$$

3. Граничні імовірності станів знайдемо по формулах Ерланга:

$$P_1 = \frac{\psi}{1!} P_0 = 1,8 P_0; \quad P_2 = \frac{\psi^2}{2!} P_0 = 1,62 P_0; \quad P_3 = \frac{\psi^3}{3!} P_0 = 0,97 P_0$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^3 \frac{\psi^k}{k!}} = \frac{1}{1 + 1,8 + 1,62 + 0,97} \approx 0,18;$$

$$P_1 \approx 1,8 \cdot 0,186 \approx 0,344; \quad P_2 \approx 1,62 \cdot 0,186 \approx 0,301;$$

$$P_3 \approx 0,97 \cdot 0,186 \approx 0,18.$$

4. Імовірність відмови в обслуговуванні заявки:

$$P_{відм} = P_3 = 0,18.$$

5. Відносна пропускну здатність ЦС:

$$q = 1 - P_{відм} = 1 - 0,18 = 0,82.$$

6. Абсолютна пропускну здатність ЦС:

$$A = \lambda q = 1 \cdot 0,82 = 0,82.$$

7. Середнє число зайнятих каналів – навантажувачів:

$$\bar{k} = \psi(1 - P_{відм}) = 1,8 \cdot (1 - 0,18) = 1,476.$$

Таким чином, при сталому режимі роботи СМО в середньому буде зайнято 1,5 навантажувача з трьох - інші півтора будуть простоювати. Роботу розглянутого ЦС навряд чи можна вважати задовільною, тому що ЦС не обслуговує заявки в середньому в 18% випадків.

Очевидно, що пропускну здатність ЦС при даних λ та μ можна збільшити тільки за рахунок збільшення числа навантажувачів.

Визначимо, скільки потрібно використовувати навантажувачів, щоб скоротити число необслужених заявок, що надходять на ЦС, у 10 разів, тобто щоб імовірність відмови в обробці вантажів не перевершувала 0,0180. Для цього використовуємо формулу

$$P_{\text{відм}} = P_n = \frac{\psi^n}{n!} P_0$$

Результати розрахунків наводимо в табличній формі:

n	1	2	3	4	5	6
P_0	0,357	0,266	0,186	0,172	0,167	0,166
$P_{\text{відм}}$	0,643	0,367	0,18	0,075	0,026	0,0078

Задача 2.5. Моделювання багатоканальної СМО з очікуванням

Механічна майстерня заводу з трьома постами (каналами) (для індивідуального завдання число каналів обслуговування прийняти **4 пости**) виконує ремонт малої механізації. Потік несправних механізмів, що прибувають у майстерню - пуасонівський і має інтенсивність $\lambda = 2,5(+0,2 \cdot m)$ механізми за добу, середній час ремонту одного механізму розподілено за показниковим законом і дорівнює $\bar{t}_{\text{об}} = 0,5$ доби. Припустимо, що іншої майстерні на заводі немає, і, отже, черга механізмів перед майстернею може рости практично необмежено.

Обчислити наступні граничні значення імовірнісних характеристик системи:

- імовірності станів системи;
- середнє число заявок у черзі на обслуговування;
- середнє число заявок, що знаходяться в системі;

- середню тривалість перебування заявки в черзі;
- середню тривалість перебування заявки в системі.

Послідовність вирішення задачі

1. Визначимо параметр потоку обслуговувань:

$$\mu = \frac{1}{t_{об}} = \frac{1}{0,5} = 2.$$

2. Приведена інтенсивність потоку заявок:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{2,5}{2} = 1,25, \text{ причому: } \frac{\lambda}{\mu S} = \frac{2,5}{2 \cdot 3} = 0,41.$$

Оскільки $\frac{\lambda}{\mu S} < 1$, то черга не росте безмежно, і у системі настає граничний стаціонарний режим роботи.

3. Обчислимо імовірності станів системи:

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{\psi^n}{n!} + \frac{\psi^S}{S! \left[1 - \frac{\psi}{S} \right]} \right\}^{-1} = \frac{1}{1 + \frac{\psi^1}{1!} + \frac{\psi^2}{2!} + \frac{\psi^3}{3! \left(1 - \frac{\psi}{3} \right)}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 1,25 + \frac{1,25^2}{2} + \frac{1,25^3}{6 \left(1 - \frac{1,25}{3} \right)}} = 0,279$$

$$P_1 = \frac{\psi^1}{1!} P_0 = 1,25 \cdot 0,279 = 0,349;$$

$$P_2 = \frac{\psi^2}{2!} P_0 = \frac{1,25^2}{2!} \cdot 0,279 = 0,218;$$

$$P_3 = \frac{\psi^3}{3!} P_0 = \frac{1,25^3}{3!} \cdot 0,279 = 0,091;$$

$$P_4 = \frac{\psi^4}{4!} P_0 = \frac{1,25^4}{4!} \cdot 0,279 = 0,028.$$

4. Імовірність відсутності черги в майстерні:

$$P_{\text{відс.черз}} = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 \approx 0,279 + 0,349 + 0,218 + 0,091 = 0,937.$$

5. Середнє число заявок у черзі на обслуговування:

$$L_q = \left[\frac{S\psi}{(S-\psi)^2} \right] P_s = \frac{3 \cdot 1,25}{(3-1,25)^2} 0,091 = 0,111.$$

6. Середнє число заявок, що знаходяться в системі:

$$L_s = L_q + \psi = 0,111 + 1,25 = 1,361.$$

7. Середня тривалість перебування механізму в черзі на обслуговування:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0,111}{2,5} = 0,044 \text{ доби.}$$

8. Середня тривалість перебування механізму в майстерні (у системі):

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} = 0,044 + \frac{1}{2} = 0,544 \text{ доби.}$$

Задача 2.6. Моделювання замкнутої СМО

Нехай для обслуговування десяти автопоїздів (АП) виділено два механіки з однаковою продуктивністю праці. Потік відмов (несправностей) одного автопоїзда - пуасонівський з інтенсивністю $\lambda = 0,2(+0,1 \cdot (m+n))$. Час обслуговування АП розподілений за показниковим законом. Середній час обслуговування одного АП одним механіком складає: $\bar{t}_{об} = 1,25(+0,05 \cdot m)$ години.

Можливі наступні варіанти організації обслуговування:

- обоє механіки обслуговують усі десять автопоїздів, так що при відмові АП його обслуговує один з вільних механіків, у цьому випадку $R = 2, N = 10$;

- кожний із двох механіків обслуговує по п'ять закріплених за ним АП. У цьому випадку $R = 1, N = 5$.

Вибрати найкращий варіант організації

обслуговування автопоїздів.

Послідовність вирішення задачі

1. Обчислимо параметр обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{об}} = \frac{1}{1,25} = 0,8.$$

2. Приведена інтенсивність:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25.$$

3. Обчислимо імовірнісні характеристики СМО для двох варіантів організації обслуговування АП.

Варіант 1.

1. Визначимо імовірності станів системи:

$$P_k = \begin{cases} \frac{N! \psi^k}{k! (N-k)!} P_0, & 1 \leq k < R \\ \frac{N! \psi^k}{R! R^{k-R} (N-k)!} P_0, & R \leq k \leq N \end{cases};$$

$$P_1 = \frac{10! \cdot 0,25^1}{1! \cdot (10-1)!} \cdot P_0 = 2,5 \cdot P_0;$$

$$P_2 = \frac{10! \cdot 0,25^2}{2! \cdot 2^{2-2} \cdot (10-2)!} \cdot P_0 = 2,812 \cdot P_0;$$

$$P_3 = \frac{10! \cdot 0,25^3}{2! \cdot 2^{3-2} \cdot (10-3)!} \cdot P_0 = 2,812 \cdot P_0;$$

$$P_4 = \frac{10! \cdot 0,25^4}{2! \cdot 2^{4-2} \cdot (10-4)!} \cdot P_0 = 2,461 \cdot P_0;$$

$$P_5 = \frac{10! \cdot 0,25^5}{2! \cdot 2^{5-2} \cdot (10-5)!} \cdot P_0 = 1,864 \cdot P_0;$$

$$P_6 = \frac{10! \cdot 0,25^6}{2! \cdot 2^{6-2} \cdot (10-6)!} \cdot P_0 = 1,154 \cdot P_0;$$

$$P_7 = \frac{10! \cdot 0,25^7}{2! \cdot 2^{7-2} \cdot (10-7)!} \cdot P_0 = 0,577 \cdot P_0;$$

$$P_8 = \frac{10! \cdot 0,25^8}{2! \cdot 2^{8-2} \cdot (10-8)!} \cdot P_0 = 0,216 \cdot P_0;$$

$$P_9 = \frac{10! \cdot 0,25^9}{2! \cdot 2^{9-2} \cdot (10-9)!} \cdot P_0 = 0,054 \cdot P_0;$$

$$P_{10} = \frac{10! \cdot 0,25^{10}}{2! \cdot 2^{10-2} \cdot (10-10)!} \cdot P_0 = 0,007 \cdot P_0.$$

З огляду на те, що $\sum_{k=0}^N P_k = 1$, і використовуючи результати розрахунку P_k , обчислимо P_0 :

$$\sum_{k=0}^N P_k = P_0 + 2,5P_0 + 2,812P_0 + 2,812P_0 + \dots + 0,007P_0 = 1.$$

Звідки $P_0 = 0,065$.

Тоді: $P_1 \approx 0,162$; $P_2 \approx 0,183$; $P_3 \approx 0,183$; $P_4 \approx 0,16$; $P_5 \approx 0,11$; $P_6 \approx 0,075$; $P_7 \approx 0,037$; $P_8 \approx 0,014$; $P_9 \approx 0,003$; $P_{10} \approx 0,000$.

- Визначимо середнє число автопоїздів у черзі на обслуговування:

$$L_q = \sum_{k=R}^N (k-R)P_k = 0 + (3-2) \cdot 0,182 + (4-2) \cdot 0,16 + (5-2) \cdot 0,11 + (6-2) \cdot 0,075 + (7-2) \cdot 0,037 + (8-2) \cdot 0,014 + (9-2) \cdot 0,003 = 1,42$$

- Визначимо середнє число автопоїздів, що знаходяться в системі (на обслуговуванні й у черзі):

$$L_s = \sum_{k=R}^N kP_k = 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + 3 \cdot P_3 + 4 \cdot P_4 + 5 \cdot P_5 + 6 \cdot P_6 + 7 \cdot P_7 + 8 \cdot P_8 + 9 \cdot P_9 + 10 \cdot P_{10} = 0,162 + 2 \cdot 0,183 + 3 \cdot 0,183 + 4 \cdot 0,16 + 5 \cdot 0,11 + 6 \cdot 0,075 + 7 \cdot 0,037 + 8 \cdot 0,014 + 9 \cdot 0,003 + 10 \cdot 0 = 3,11$$

- Визначимо середнє число механіків, що простоюють через відсутність роботи:

$$\bar{R}_n = \sum_{k=0}^{R-1} (R-k)P_k = 2 \cdot P_0 + (2-1) \cdot P_1 = 2 \cdot 0,065 + 1 \cdot 0,162 = 0,292$$

- Коефіцієнт простою автопоїзда в черзі наступний:

$$\alpha_1 = \frac{L_q}{N} = \frac{1,42}{10} = 0,142.$$

- Коефіцієнт використання автопоїздів визначається по формулі:

$$\alpha_2 = 1 - \frac{L_s}{N} = 1 - \frac{3,11}{10} = 0,689.$$

- Коефіцієнт простою обслуговуючих механіків:

$$\alpha_3 = \frac{\bar{R}_n}{R} = \frac{0,292}{2} = 0,146.$$

- Середній час очікування АП обслуговування:

$$W_q = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2} \right) - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{1 - 0,689}{0,689} - \frac{1}{0,8} = 1,01 \text{ години.}$$

Варіант 2

Визначимо імовірності станів системи:

$$P_1 = \frac{5! \cdot 0,25^1}{1! \cdot (5-1)!} \cdot P_0 = 1,25 \cdot P_0; \quad P_2 = \frac{5! \cdot 0,25^2}{1! \cdot 2^{2-1} \cdot (5-2)!} \cdot P_0 = 1,25 \cdot P_0;$$

$$P_3 = \frac{5! \cdot 0,25^3}{(5-3)!} \cdot P_0 = 0,938 \cdot P_0; \quad P_4 = \frac{5! \cdot 0,25^4}{(5-4)!} \cdot P_0 = 0,469 \cdot P_0;$$

$$P_5 = 5! \cdot 0,25^5 \cdot P_0 = 0,117 \cdot P_0.$$

$$\sum_{k=0}^N P_k = P_0 + 1,25P_0 + 1,25P_0 + 0,938P_0 + 0,469P_0 + 0,117P_0 = 1$$

Звідки: $P_0 = 0,199$.

Тоді: $P_1 \approx 0,249$; $P_2 \approx 0,249$; $P_3 \approx 0,187$; $P_4 \approx 0,093$;
 $P_5 \approx 0,023$.

- Середнє число АП у черзі на обслуговування:

$$L_q = \sum_{k=R}^N (k - R) P_k = (2 - 1) \cdot 0,249 + (3 - 1) \cdot 0,187 + (4 - 1) \cdot 0,09 + \\ + (5 - 1) \cdot 0,023 = 0,994$$

- Середнє число АП, що знаходяться на обслуговуванні й у черзі:

$$L_s = \sum_{R=1}^N kP_k = 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + 3 \cdot P_3 + 4 \cdot P_4 + 5 \cdot P_5 =$$

$$= 0,249 + 2 \cdot 0,249 + 3 \cdot 0,187 + 4 \cdot 0,093 + 5 \cdot 0,023 = 1,8$$

- Середнє число механіків, що простоюють через відсутність роботи:

$$\bar{R}_n = \sum_{k=0}^{R-1} (R-k)P_k = (1-0) \cdot P_0 = 0,199.$$

- Коефіцієнт простою автопоїзда в черзі:

$$\alpha_1 = \frac{L_q}{N} = \frac{0,994}{5} = 0,199.$$

- Коефіцієнт використання автопоїздів:

$$\alpha_2 = 1 - \frac{L_s}{N} = 1 - \frac{1,8}{5} = 0,64.$$

- Коефіцієнт простою обслуговуючих механіків:

$$\alpha_3 = \frac{\bar{R}_n}{R} = \frac{0,199}{1} = 0,199.$$

- Середній час очікування АП обслуговування:

$$W_q = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2} \right) - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{1 - 0,64}{0,64} - \frac{1}{0,8} = 1,56 \text{ годин.}$$

Зведемо отримані результати по двох варіантах у таблицю:

Результуючі імовірнісні характеристики	Варіант організації робіт	
	1	2
α_1	0,142	0,199
α_2	0,689	0,64
α_3	0,146	0,199
W_q , годин	1,01	1,56

Таким чином, у варіанті 1 кожен автопоїзд перебуває в черзі в очікуванні початку його обслуговування приблизно 0,142 частини робочого часу, що менше

аналогічного показника при організації робіт за варіантом 2. У варіанті 1 імовірність того, що АП у будь-який момент часу буде працювати вище, ніж у варіанті 2. Очевидно, варіант 1 організації робіт з обслуговування автопоїздів ефективніший, ніж варіант 2.

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Безпека машини – здатність машини виконувати функції з можливістю її транспортування, встановлення, регулювання, обслуговування, утилізації в умовах визначеного терміну використання відповідно до інструкції виготовлювача (а в деяких випадках, протягом заданого інтервалу часу, відповідно до інструкції з експлуатації) без травмування або нанесення іншої шкоди здоров'ю.

Взаємозамінність – властивість конструкції задовольняти оптимальним експлуатаційним і виробничим показникам, обумовлена виготовленням складових частин конструкції в заданих допусках на геометричні, фізичні та інші функціональні параметри якості

Випробування – експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результату впливу на нього, при його функціонуванні, при моделюванні об'єкта і впливів.

Виріб – предмет або набір предметів виробництва, які підлягають виготовленню або ремонту на підприємстві.

Властивість продукції – об'єктивна особливість, яка може виявлятися при створенні, експлуатації або вживанні продукції.

Вузол – зчленування кількох деталей, які виконують окремі функції.

Гамма-відсотковий ресурс – напрацювання, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану із заданою імовірністю γ процентів.

Граничний розмір – два граничні значення розміру, між якими повинен знаходитися дійсний розмір

Довговічність – властивість об'єкта зберігати роботу здатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Довговічність машини економічна – це сумарна

тривалість роботи машини у певних умовах експлуатації з врахуванням подовження термінів служби після ремонтів, кількість яких обмежується економічними умовами.

Довговічність машини моральна – це тривалість служби машини, обмежена «моральним спрацюванням», тобто, коли при появі нової машини, експлуатація старої є економічно не вигідна.

Довговічність машини фізична – це тривалість її роботи у середніх умовах експлуатації до першого капітального ремонту або до її списання (якщо капітальний ремонт не передбачається).

Експлуатація – термін, який застосовується до об'єктів або виробів, які в процесі використання витрачають ресурс.

Елемент системи – найпростіша частина системи, окремі частини якої у рамках конкретного випадку не розглядаються.

Імовірність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що у межах заданого напрацювання відказ об'єкта не виникає.

Інтенсивність відмов – умовна щільність ймовірності виникнення відказу невідновлюваного об'єкта, обчислюється для моменту часу, що розглядається за умови, що до цього моменту відмови не було.

Коефіцієнт готовності – ймовірність того, що об'єкт виявиться роботоздатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачається.

Матеріаломісткість виробу – витрата матеріалу, необхідного для виробництва, технічного обслуговування і ремонту виробу.

Машина (обладнання) – сукупність зв'язаних між собою частин або пристроїв, з яких принаймні одне рухається, а також елементи приводу, керування та

енергетичні вузли, які призначені для визначеного застосування. До терміну «машина» відносять також і сукупність машин, що функціонують як єдине ціле для досягнення однієї і тієї ж мети.

Надійність – властивість об'єкта зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність функціонувати у заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування, ремонту зберігання та транспортування.

Обстеження – систематична або разова перевірка стану підприємства з метою визначення відповідності проведеної роботи та отриманих результатів плановим, проектним і іншим ресурсним можливостям.

План випробувань – це правила, які встановлюють обсяг вибірки, порядок проведення випробувань і критерії їх припинення.

Призначений ресурс – сумарне напрацювання об'єкта, по досягненні якого експлуатація припиняється незалежно від його стану.

Продукція – матеріальний результат процесу трудової діяльності, отриманий у певному місці за певний інтервал часу і призначений для використання споживачами з метою задоволення їх потреб як суспільного, так і особистісного характеру.

Ресурсовикористання – природне або цілеспрямоване використання ресурсів різних видів (матеріальних, енергетичних, інтелектуальних, трудових, інформаційних, фінансових, тимчасових і інших) на стадіях життєвого циклу об'єкта (виробу, продукції, процесу).

Ресурсозбереження – діяльність (організаційна, економічна, технічна, наукова, практична, інформаційна), методи, процеси, комплекс організаційно-технічних засобів і заходів, що супроводжують всі стадії життєвого циклу об'єктів і спрямовані на раціональне використання та

ощадливе витрачання ресурсів.

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

Система випробувань – комплекс експериментів і спостережень, які виконуються у повному обсязі, заданій послідовності і забезпечують отримання інформації про надійність машини у встановлені строки з припустимими витратами.

Термін служби – календарна тривалість від початку експлуатації об'єкта або її поновлення після певного ремонту до переходу в граничний стан; вимірюється в роках.

Технічна система – об'єкт, який є сукупністю сумісно діючих елементів, призначених для самостійного виконання наданих функцій.

Технічний об'єкт – предмет певного цільового призначення, який розглядається при проектуванні, виробництві, експлуатації, дослідженнях і випробуваннях на надійність.

Технічний ресурс – напрацювання об'єкта від початку експлуатації або поновлення її після певного ремонту до переходу в граничний стан; вимірюється в одиницях виміру напрацювання (наробітку).

Якість продукції – сукупність її властивостей, які зумовлюють придатність продукції задовольняти певні потреби споживачів згідно з її призначенням.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гранкін С. Г., Малахів В. С., Черновол М. І., Черкнун В. Ю. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник. Київ : «Урожай», 1998. 205 с.

2. Хітров І. О., Гавриш В. С. Кристопчук М. Є. Корнієнко В. Я. Ресурсо- та енергозбереження : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2014. 103 с.

3. Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мастикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навч. посіб. Львів: Афіша, 2004. 492с.

4. Полянський С. К., Білякович М. О. Технічна експлуатація будівельно-дорожніх машин та автомобілів : підручник в 3 кн. Київ : Видавничий дім „Слово”, 2010. Кн. 1. 384 с.

5. Канарчук В. Є. Надійність машин: підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. Київ: Либідь, 2003. 424 с.

6. Грабар І.Г. Основи надійності машин: навч. пос. Житомир : ЖІТІ, 1998. 298 с.

7. Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С., Мельник В.І. Надійність машин та обладнання. Частина 2. Ремонтвання машин та відновлення деталей: навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 309 с.