



Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра будівельних, дорожніх та меліоративних машин



02-01-581М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт та самостійного вивчення
дисципліни «Інноваційні технології експлуатації і ремонту машин»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин і
обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості ННМІ
Протокол № 2 від 02.10.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійного вивчення дисципліни «Інноваційні технології експлуатації і ремонту машин» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Тхорук Є. І., Голотюк М. В., Хітров І. О.– Рівне : НУВГП, 2024. – 100 с.

Укладачі:

Тхорук Є. І., професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин, к.т.н., доцент;

Голотюк М. В., доцент кафедри агроінженерії, к.т.н., доцент;

Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, к.т.н., доцент.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин

Протокол № 2 від 17 вересня 2024 року

Відповідальний за випуск: в.о. завідувача кафедри Тхорук Є. І.

Керівник групи забезпечення, гарант ОПП Кравець С. В.

Попередні версії МВ: 02-02-137; 02-02-157

© Є. І. Тхорук,
М. В. Голотюк,
І. О. Хітров, 2024
© НУВГП, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Практична робота № 1 Розрахунок річного режиму роботи технічних об'єктів.....	5
Практична робота № 2 Аналіз використання технічних об'єктів.....	13
Практична робота № 3 Розрахунок кількості транспортних одиниць для забезпечення роботи одноківшового екскаватора.....	20
Практична робота № 4 Розрахунок і побудова швидкісної характеристики силової установки машини.....	25
Практична робота № 5 Розрахунок і побудова тягово-енергетичної характеристики.....	36
Практична робота № 6 Оцінка надійності об'єктів за результатами повних випробувань.....	47
Практична робота № 7 Оцінка надійності об'єктів за результатами скорочених випробувань	56
Практична робота № 8 Оцінка надійності ремонтованих об'єктів	68
Рекомендації до виконання самостійної роботи	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

Формування інженерних навичок у майбутніх фахівців з галузевого машинобудування значною мірою сприяє вивчення навчальної дисципліни «Інноваційні технології експлуатації і ремонту машин».

Під експлуатацією технічних об'єктів розуміють доцільність їх використання у виробничому процесі з метою забезпечення найбільшої продуктивності, поліпшення і полегшення умов праці при найменшій собівартості виконуваних робіт.

Важливою умовою високоефективного використання машинно-тракторного парку є забезпечення його справності та безвідмовної роботи. Простої машин, що виникають внаслідок усунення наслідків відмов машин, завдають користувачам техніки значні матеріальні збитки. Правильна експлуатація передбачає зменшення кількості і зниження часу простоїв, пов'язаних з технічними несправностями машин, високопродуктивна їх безвідмовна робота. Основне призначення цієї дисципліни у тому, щоб навчити майбутнього інженера-механіка питанням ефективного використання великого технічного потенціалу МТА, навчити його методам розрахунків раціонального використання машинно-тракторних агрегатів, проектування виробничих процесів та організації технічного обслуговування і ремонту.

Методичні вказівки є доповненням до існуючої по цій дисципліні літератури та містять приклади виконання розрахунків та вирішення практичних завдань з експлуатації машинно-тракторного парку, організації матеріально-технічного забезпечення роботи машин та інших питань раціонального використання технічного потенціалу.

Практична робота №1

РОЗРАХУНОК РІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття – набути практичні навички з розрахунку річного режиму роботи технічних об'єктів (машин).

Вказівки до виконання

1.1. Вибір початкових даних.

Вихідні дані для практичного завдання – табл. 1 відповідно до свого шифру. Шифром студента є букви, що входять в його прізвище.

Для виконання практичної роботи розглянемо приклад вибору початкових даних, допустивши, що прізвище студента Іванченко. Всі початкові дані вибираються відповідно послідовності букв, які складають прізвище. Згідно наведеної таблиці початкових даних студент повинен визначити типи машин, які йому задаються. Першій букві прізвища “І” – відповідають трактор Belarus-80.1, бульдозер ДЗ-17 і багатоковшовий екскаватор ЕТР-161. Другій букві “В” – відповідає температурна зона Миколаївської області. Третій “А” – коефіцієнт змінності – 1. Четвертій “Н” – коефіцієнт використання машини за часом – 0,75. Наступній “Ч” – кількість днів перебазування машини з об'єкта на об'єкт – 5.

Якщо кількість букв в прізвищі недостатня для вибору початкових даних, то прізвище необхідно повторити до одержання необхідної кількості букв. Наприклад прізвище студента Куц, тоді слід брати “КУЦКУЦ”. Коли студенти мають однакові прізвища, то один з них вибирає варіант за прізвищем, а другий – за

іменем, попередньо узгодивши вибір варіанту з викладачем.

Крім початкових даних приведених в таблицях додатків при проведенні розрахунків слід користуватись також довідковою літературою і матеріалами лекцій.

При рішенні завдання всі арифметичні дії необхідно вести зберігаючи не більше чотирьох значущих цифр з обов'язковим проставленням розмірностей одержаних величин.

1.2. Річний режим роботи машини.

За річним режимом роботи машини розподіляють річний календарний час на час корисної роботи і час простоїв машини з тих чи інших причин.

Річний режим роботи розробляють на середньоспискову машину для кожної групи машин, або кожному виду, або навіть кожному інвентарному номеру машин для визначення тривалості їх робочого часу протягом розрахункового періоду, найчастіше року.

В одну групу включаються машини з однаковими плановими коефіцієнтами змінності, кількістю перебазувань, часом, затраченим на перебазування однієї машини, а також співпадання кількості днів простоїв машини від дії метеорологічних факторів.

Річний режим роботи машини визначають в годинах робочого часу для машин на базі тракторів і пройдених машиною кілометрів для рухомого парку машин.

Число годин роботи машини в рік розраховується за наступною залежністю

$$T_p = D_p \cdot t_{zm} \cdot K_{zm}, \text{ год} \quad (1.1)$$

де D_p – число робочих днів машини за рік; t_{zm} – тривалість зміни в годинах; K_{zm} – коефіцієнт змінності.

Таблиця 1

Початкові дані для розрахунку річних режимів роботи машин

Буква алфавіту	Марка машини			Температурна зона (область використання машини)	Коефіцієнт змінності	Коефіцієнт використання машини за часом	Кількість днів перебазу- вань
	I	II	III				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
А	Т-50	ДП-8А	ЕТЦ-161	Одеська	1	0,5	5
Б	Т-85	ДП-3	ЕТЦ-165	Львівська	1,5	0,55	7
В	ВТЗ-2032А	Д-695А	ЕТЦ-252	Миколаївська	2	0,6	9
Г	ВТЗ-2048А	ДП-25	ЕТЦ-354	Харківська	2,5	0,65	10
Д	ХТЗ-150К- 09.172.00	ДП-5С	ЕТЦ-202	Одеська	3	0,7	12
Е	ХТЗ-241К.20	ДП-22С	ЕТЦ-2011	Львівська	1,4	0,75	14
С	ХТЗ-242К.20	ДП-9С	ЕТЦ-208	Миколаївська	1,6	0,8	16
Ж	ХТЗ-243К.20	ДЗ-29	ЕТЦ-202А	Харківська	1,8	0,85	20
З	ХТЗ-248К.20	ДЗ-42	ЕТЦ-163	Одеська	1,9	0,9	6
І, Й	BELARUS-80.1	ДЗ-17	ЕТР-161	Львівська	2,0	0,95	8
К	МТЗ 320.4 Білорус	ДЗ-18	ЕТР-253А	Миколаївська	2,1	0,6	10

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Л	ЮМЗ-8244.2	ДЗ-53	ЕТР-204	Харківська	2,2	0,65	11
М	ЮМЗ 6АКМ40.2	ДЗ-54С	ЕТР-223	Одеська	2,3	0,7	13
Н	Кіровоць К-744Р1	ДЗ-35	ЕТР-224	Львівська	2,4	0,75	15
О	ХТЗ 17221	ДЗ-27С	ЕО-2621А	Миколаївська	2,6	0,9	2
П	BELARUS-820	ДЗ-109	ЕО-3322	Харківська	2,7	0,95	3
Р	Т-150-05-09-25- 04	ДЗ-110	ЕО-4321	Львівська	2,8	0,6	10
С	ХТЗ-181.21	ДЗ-24	ЕО-4221	Одеська	2,9	0,65	8
Т	Fendt 1149 МТ	ДЗ-34С	ЕО-4121	Миколаївська	3,0	0,7	6
У, Ф	МТЗ 2103 Білорус	ДЗ-30В	ЕО-5122	Харківська	1	0,75	4
Х, Ц	МТЗ 1502 Білорус	ДЗ-33	ЕО-3111В	Львівська	1,2	0,8	9
Ч	ДТ 75-А ДРСА 2	ДЗ-12Б	ЕО-3211Б	Одеська	1,3	0,85	5
Ш, Щ	Фотон-244	ДЗ-77С	ЕО-4111	Миколаївська	1,6	0,9	10
Ю, Я, Ъ	Фотон-ТВ-404	ДЗ-20В	ЕО-10011	Харківська	1,8	0,95	15

При розрахунку кількості робочих днів враховують наступні перерви в роботі машин:

- святкові та вихідні дні;
- дні з несприятливими умовами за метрологічними причинами;
- дні простою машини з організаційних причин;
- дні, необхідні для проведення планових технічних обслуговувань і ремонтів;
- дні, що затрачуються на перебазування машин з об'єкта на об'єкт.

Кількість робочих днів машини за плановий період визначається за формулою

$$D_p = d_k - (d_c + d_e + d_m + d_o + d_p + d_{n.б.}), \text{ д\iб} \quad (1.2)$$

де d_k – кількість календарних днів за плановий період;

d_c – кількість святкових днів за плановий період, що не співпадають з вихідними;

d_e – кількість вихідних днів за плановий період;

d_m – кількість днів простою машин з метрологічних причин;

d_o – кількість днів простою машини по організаційних і технологічних причинах;

d_p – кількість днів простою машини в технічному обслуговуванні і ремонті;

$d_{n.б.}$ – кількість днів затрачених на перебазування машини з об'єкта на об'єкт.

Кількість святкових і вихідних днів приймаємо за календарем, або на основі ковзних графіків, прийнятих для роботи в даній організації.

Кількість вихідних днів для підрозділів де не вимагається безперервний цикл роботи, вибирається з умови режиму роботи прийнятому на підприємстві, якщо

вимагається безперервний цикл роботи, то діє ковзний

графік роботи машин.

Кількість днів простою машини з метрологічних причин визначають на основі даних районних управлінь гідрометеослужби (додаток 1). При цьому враховують дні з дощем і дні з низькою температурою нижче мінус 20°C для однокішшових екскаваторів з місткістю ковша більше 0,15м³, бульдозерів, стрілових кранів, тракторів і автомобілів; дні з дощем і дні промерзання ґрунту для екскаваторів з місткістю ковша 0,15м³, скреперів, грейдерів, розпушувачів і планувальних машин.

Тривалість перерв у роботі машин по кожному метрологічному фактору з врахуванням суміщень з вихідними днями розраховують за залежністю

$$d'_m = d_m [1 - (d_g + d_c) / d_k], \text{ діб} \quad (1.3)$$

де d_m – кількість днів простою машини з метрологічних причин на основі даних районних управлінь гідрометеослужби;

d_g – кількість вихідних днів за плановий період;

d_c – кількість святкових днів за плановий період;

d_k – кількість календарних днів за плановий період.

Тривалість перерв з організаційних причин приймається на основі даних за попередній звітний період, або ж в розмірі не більше 3% від кількості календарних днів за винятком святкових і вихідних.

Тривалість перебування машин в технічному обслуговуванні і ремонті визначається за формулою

$$d_p = \frac{[d_k - (d_c + d_g + d_m + d_o + d_{н.б.})] \cdot t_{zm} \cdot K_{zm} \cdot P_p}{1 + t_{zm} \cdot K_{zm} \cdot P_p}, \quad (1.4)$$

де P_p – ремонтний коефіцієнт.

Ремонтний коефіцієнт являє собою кількість днів знаходження машини в технічному обслуговуванні і ремонті в розрахунку на одну годину її роботи. Величину ремонтного коефіцієнта визначають шляхом ділення часу, що затрачується на виконання всіх видів технічних обслуговувань і ремонтів на ресурс машини до першого капітального ремонту, або в математичному виразі

$$P_p = (t_k + t_n \cdot n_n + t_{TO-2} \cdot n_{TO-2} + t_{TO-1} \cdot n_{TO-1}) / M_k, \quad (1.5)$$

де t_k – середній час перебування машини в капітальному ремонті виражений в днях (додаток 2);

t_n – середній час перебування машини в поточному ремонті і ТО-3, дні (додаток 2);

n_n – кількість поточних ремонтів і ТО-3 в міжремонтному циклі (додаток 2);

t_{TO-2} – середній час перебування машини в ТО-2, дні;

n_{TO-2} – кількість ТО-2 в міжремонтному циклі (додаток 2);

t_{TO-1} – середній час перебування машини в ТО-1, дні (додаток 2);

n_{TO-1} – кількість ТО-1 в міжремонтному циклі (додаток 2);

M_k – міжремонтний ресурс машини (періодичність капітального ремонту).

Час, що затрачається на перебазування машини з об'єкта на об'єкт визначається на основі даних про кількість і територіальне розміщення об'єктів, тривалість проведення робіт на цих об'єктах, а також даних про фактичну кількість перебазувань і їх тривалість за попередній період. При цьому враховують планові зміни структури робіт, кількість об'єктів, їх розміщення, а також заходів направлених на скорочення тривалості перебазувань.

Контрольні запитання:

1. Перерахуйте показники, що характеризують річний режим роботи машини.

2. Які види перерв у роботі технічних об'єктів враховуються в річному режимі їх роботи і чому?

3. Як визначити кількість робочих днів машини за плановий період?

4. Що характеризує ремонтний коефіцієнт?

5. Як визначають величину ремонтного коефіцієнта?

6. Дайте визначення міжремонтного ресурсу технічних об'єктів.

7. В яких одиницях визначається напрацювання технічних об'єктів.

8. Перерахуйте способи визначення кількості технічних обслуговувань і ремонтів машин та обладнання.

Практична робота №2

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття – визначити основні показники використання рухомого парку технічних об'єктів, виявити резерви підвищення їх продуктивності.

Вказівки до виконання

Використання технічних об'єктів (машин) за часом оцінюють на основі даних квартального або річного звітів з механізації робіт, який складається підприємством, а також нормативного режиму роботи машин. Аналіз використання будівельних машин проводять за їх групами і за парком в цілому. При цьому визначають наступні показники:

1) середньоспискова кількість машин N_c , яка дорівнює відношенню фактичної сумарної кількості днів перебування групи машин на підприємстві за звітний період $D_{ф.о}$ до кількості календарних днів за цей же період d_k , тобто

$$N_c = \frac{D_{ф.о}}{d_k}, \quad (2.1)$$

2) фактична середньорічна кількість днів роботи машини $D_{ф.р}$ дорівнює відношенню фактичної сумарної кількості днів роботи групи машин $D_{ф.с.р}$ за звітний період до їх середньоспискової кількості N_c

$$N_c = \frac{D_{ф.с.р}}{N_p}, \quad (2.2)$$

3) фактичний середньодобовий корисний робочий час машини $t_{ф.к}$ дорівнює відношенню фактичної сумарної кількості годин $T_{ф.с.р}$ роботи групи машин до фактичної сумарної кількості днів $D_{ф.с.р}$ роботи машин тієї ж групи за звітний період

$$t_{ф.к} = \frac{T_{ф.с.р}}{D_{ф.с.р}}, \quad (2.3)$$

4) фактичний коефіцієнт змінності $K_{зм.ф}$ дорівнює відношенню середньодобового фактичного корисного робочого часу $t_{ф.к}$ машини до тривалості зміни $t_{зм}$,

$$K_{зм.ф} = \frac{t_{ф.к}}{t_{зм}}, \quad (2.4)$$

5) фактична середньорічна кількість годин роботи машини $T_{ф.р}$, являє собою добуток середньорічної фактичної кількості днів $D_{ф.р}$ роботи машини на середньодобовий фактичний корисний час $t_{ф.к}$ машини за звітний період

$$T_{ф.р} = D_{ф.р} \cdot t_{ф.к}. \quad (2.5)$$

6) показник виконання річного режиму роботи машини K_p (%), дорівнює відношенню середньорічної фактичної кількості днів $D_{ф.р}$ роботи машини за звітний період до кількості днів D_p роботи машини, що встановлено річним режимом роботи за цей же період

$$K_p = \frac{D_{ф.р}}{D_p} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

7) показник використання машин за часом K_u (%) дорівнює відношенню середньорічної фактичної кількості годин роботи машини $T_{\phi.p}$ до кількості годин роботи машини, які встановлені річним режимом роботи T_p

$$K_u = \frac{T_{\phi.p}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

8) коефіцієнт використання календарного часу K_k являє собою відношення середньорічної фактичної кількості годин $T_{\phi.p}$ роботи машини до кількості календарних годин за рік T_k (визначається, як добуток кількості календарних днів на тривалість доби у годинах)

$$K_k = \frac{T_{\phi.p}}{T_k}, \quad (2.8)$$

9) коефіцієнт корисної роботи машини K_p характеризується фактичним $t_{\phi.k}$ і плановим $t_{n.k}$ середньодобовим корисним робочим часом машини і визначається за залежністю

$$K_p = 1 - \frac{t_{\phi.k} - t_{n.k}}{t_{\phi.k}} \quad (2.9)$$

Після виявлення показників використання машин за часом порівнюють планову і фактичну кількість днів і годин роботи машини, показники виконання річного режиму роботи і використання машини за часом, плановий і фактичний середньодобовий час роботи машини, коефіцієнти змінності і коефіцієнти корисної роботи машини.

Аналіз використання парку машин за часом проводиться за даними табл. 2.2 згідно варіанту завдання, вказаного викладачем.

Кількість календарних днів d_k вибирають згідно календаря на поточний рік, тривалість зміни прийняти рівною 8 годинам. Невказані планові показники визначаються за вищенаведеними формулами, аналогічно до фактичних показників. Результати розрахунків звести у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Результати розрахунків

Показник	Значення показника	
	планове	фактичне
Кількість днів роботи машини за рік		
Кількість неробочих днів за рік		
Коефіцієнт змінності		
Середньодобовий час роботи машини		
Середньорічний час роботи машини		
Наднормативні простої		

Контрольні запитання:

1. Які бувають види експлуатаційних режимів роботи машин?
2. Яка структура змінного режиму роботи машин?
3. Як визначається фактичний коефіцієнт змінності?
4. Що таке коефіцієнт корисної роботи машини і як він визначається?
5. Які основні експлуатаційні властивості машини, що визначають режим її роботи?

Таблиця 2.2

Вихідні дані для розрахунку показників використання машин

№ варіанту	Кількість машин на кінець звітного періоду	Дні перебування в господарстві з початку року			Час відпрацьований машинами з початку року	Кількість робочих днів за рік	Середньорічний плановий наробіток
		Всього	В тому числі				
			на всіх видах робіт	в ремонті і очікуванні ремонту			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	70	26826	18521	955	227808	215	2950
2	65	21450	16240	840	194880	215	2580
3	85	30441	22410	1130	373981	215	2580
4	63	21900	15200	810	172421	220	2640
5	69	22995	14250	845	169936	220	2552
6	40	12410	10120	520	121540	220	2728
7	45	17155	13650	631	153800	225	2610
8	50	16425	12400	589	145532	225	2700

продовження табл. 2.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
9	55	21900	16800	764	189840	225	2520
10	60	18615	14200	699	163300	230	2576
11	75	27010	21300	986	268380	230	2944
12	30	12045	8450	481	87880	230	2484
13	35	11315	7631	430	80889	215	2236
14	20	9125	5820	395	58782	215	2150
15	25	7665	5285	350	63948	210	2436
16	47	14600	9324	534	124942	210	2688
17	39	12775	8642	455	106297	210	2520
18	22	7300	4963	341	62534	210	2604
19	72	24820	17934	835	212500	200	2400
20	67	25550	17548	947	208821	200	2320
21	62	24090	16481	812	201068	200	2480
22	58	21900	15377	769	199901	205	2788

продовження табл. 2.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
23	53	18615	12750	710	150450	205	2542
24	49	16425	11482	590	138932	205	2296
25	44	14600	10000	538	128000	220	2640
26	41	16425	10841	634	125756	220	2464
27	37	14235	9450	500	99225	220	2288
28	33	10950	7210	457	82610	190	1976
29	28	8395	5341	369	64626	190	2204
30	24	7300	5047	330	60564	190	2280

Практична робота №3
РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ
ОДИНИЦЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ
ОДНОКІВШОВОГО ЕКСКАВАТОРА

Мета заняття – на основі технічної характеристики екскаватора вибрати марку транспортних засобів і розрахувати їх кількість з умови їх максимальної продуктивності.

Вказівки до виконання

Для збільшення продуктивності одноківшових екскаваторів великим резервом є правильна організація транспортування ґрунту і підбір транспортних засобів.

Дослідами і практикою встановлено, що місткість кузовів, транспортних засобів, призначених для перевезення ґрунту, або інших матеріалів, повинна бути в від 4 до 10 разів більша місткості ковша екскаватора. Іншою умовою високої продуктивності екскаватора є відсутність простоїв транспортних засобів.

Кількість транспортних одиниць N визначається діленням годинної продуктивності екскаваторів P_e на годинну продуктивність вибраної для роботи транспортної одиниці P_{mp}

$$N = P_e / P_{mp} \quad (3.1)$$

Продуктивність транспортної одиниці для перевезення ґрунту або інших матеріалів визначається за формулою

$$P_{m.p.} = \frac{1000 \cdot Q_{mp}}{\gamma \cdot g} \quad (3.2)$$

де Q_{mp} – вантажопідйомність транспортної одиниці, кН;
 γ – об'ємна маса ґрунту або інших матеріалів у щільному тілі, кг/м³;
 m – кількість рейсів за одну годину;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².
 Кількість рейсів становить

$$m = 60 / T_{ц}. \quad (3.3)$$

Час одного циклу транспортування можна визначити за формулою

$$T_{ц.} = t_3 + \frac{60 \cdot L_1}{v_1} + \frac{60 \cdot L_2}{v_2} + t_p \quad (3.4)$$

де t_3 – час, необхідний для завантаження однієї транспортної одиниці, хв.;

L_1 – відстань транспортування ґрунту, км;

L_2 – відстань холостого пробігу транспорту, км;

v_1 – швидкість руху навантаженої транспортної одиниці, км/год.;

v_2 – швидкість руху порожньої транспортної одиниці, км/год.;

t_p – час розвантаження однієї транспортної одиниці, включаючи час на маневрування, хв.

Час на завантаження однієї транспортної одиниці екскаватором визначається за формулою

$$t_3 = \frac{10^3 \cdot 60 \cdot Q_{mp}}{g \cdot \gamma \cdot \Pi_e}, \quad (3.5)$$

Тоді продуктивність однієї транспортної одиниці в м³/год., буде становити

$$P_{mp} = \frac{10^3 \cdot 60 \cdot Q_{mp}}{g \cdot \gamma \left(t_3 + \frac{60 \cdot L_1}{v_1} + \frac{60 \cdot L_2}{v_2} + t_p \right)}, \quad (3.6)$$

Підставляючи значення продуктивності екскаватора і транспортної одиниці у формулу продуктивностей, визначають кількість транспортних одиниць

$$N = \frac{t_3 + \frac{60 \cdot L_1}{v_1} + \frac{60 \cdot L_2}{v_2} + t_p}{\frac{10^3 \cdot 60 \cdot Q_{mp}}{g \cdot \gamma \cdot P_e}}, \quad (3.7)$$

Після перетворень одержимо

$$N = 1 + \frac{\frac{60 \cdot L_1}{v_1} + \frac{60 \cdot L_2}{v_2} + t_p}{t_3}, \quad (3.8)$$

В розрахунках час на розвантаження транспортного засобу приймати в межах 1-2 хв.

Дані для розрахунку вибрати з табл. 3.1, табл. 3.2 згідно варіанту завдання.

Контрольні запитання: 1. Якими показниками характеризується продуктивність транспортної одиниці для перевезення ґрунту або інших матеріалів? 2. Як визначити час одного циклу транспортування?

Таблиця 3.1

Дані для розрахунку кількості транспортних одиниць

№ варіанту	Марка екскаватора	Відстань транспортування		Час циклу екскаватора
		вантажний хід	порожній хід	
1	EO-2621A	1000	1000	15
2	EO-3322A	1500	1500	19
3	EO-5015	2000	2000	16
4	EO-4321	2500	2500	16
5	EO-4221	3000	3000	18
6	EO-4121	3500	3500	22
7	EO-5122	4000	4000	24
8	EO-3321	4500	4500	15
9	EO-3111B	5000	5000	15
10	EO-3211	4500	5000	15
11	EO-4111	4000	4300	20
12	E-10011	3500	3700	23
13	EO-6251B	3200	3500	25
14	EO-2621A	500	500	15
15	EO-3322A	1100	1200	19
16	EO-5015	1300	1400	16
17	EO-4321	1620	1600	16
18	EO-4221	250	300	18
19	EO-4121	450	480	22
20	EO-5122	500	600	24
21	EO-3321	2300	2500	15
22	EO-3111B	1700	1800	15
23	EO-3211	2200	1700	15
24	EO-4111	4600	4200	20
25	E-10011	3350	3400	23
26	EO-6251B	2140	2300	25
27	EO-2621A	250	250	15
28	EO-3322A	380	400	19
29	EO-5015	800	800	16
30	EO-4321	1700	2000	16

Таблиця 3.2

Технічна характеристика транспортних засобів

№ з/п	Марка машини	Вантажо- підйомність, кг	Максимальна швидкість руху, км/год.	Витрата палива, л/100 км
1	ГАЗ-САЗ- 35071	3870	80	19
2	ГАЗ-3309	3500	95	17
3	ЗІЛ-5301 «Бичок»	3000	95	16
4	МАЗ 4571N2-535	3900	90	24
5	ГАЗ-33106	3150	105	14
6	ЗІЛ-4331	6000	95	22
7	HYUNDAI HD-78	3050	90	16
8	КАМАЗ 45143-6012-48	12100	80	30
9	TATA-1116	6000	115	18
10	HINO-300	3670	110	20
11	ISUZU NQR-75 P/R	3650	1000	18
12	КрАЗ-5401С2	10000	95	26
13	КАМАЗ 53605-6010-48	11800	90	29
14	КАМАЗ 43255-6010-69	7500	95	26
15	МАЗ 5550С3-520	12000	80	28
16	МАЗ 4581N2-520	6200	85	26

Практична робота №4 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття – на основі даних технічної характеристики силової установки провести розрахунки швидкісної характеристики двигуна і побудувати її в функції крутного моменту.

Вказівки до виконання

4.1. Силова установка – двигун внутрішнього згорання.

Швидкісна характеристика двигуна необхідна для побудови експлуатаційної характеристики машини. Вона наноситься в лівому квадранті експлуатаційної характеристики машини, тому зовнішню характеристику двигуна будують як залежність його основних параметрів в функції крутного моменту. Найчастіше використовуються наступні залежності параметрів двигуна

$$n_d=f(M_e), \quad N_e=f(M_e), \quad G_m=f(M_e), \quad g_e=f(M_e)$$

Для розрахунку і побудови характеристик двигуна використовуються його дані за технічною характеристикою на номінальному режимі і наступні емпіричні залежності

- для дизелів на коректорній вітці характеристики

$$N_{ex} = N_n \left[a \cdot \frac{n_x}{n_n} + b \cdot \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^3 \right], \text{ кВт}; \quad (4.1)$$

$$g_{ex} = g_{eH} \left[a_1 - b_1 \cdot \frac{n_x}{n_H} + c_1 \cdot \left(\frac{n_x}{n_H} \right)^2 \right], \text{ г/кВт}\cdot\text{год.}; \quad (4.2)$$

- для дизелів на регуляторній вітці характеристики

$$N_{ex} = 10 \cdot N_H \left(1,1 \frac{n_x}{n_H} \right), \text{ кВт}\cdot\text{год.}; \quad (4.3)$$

$$G_{mx} = 10 \cdot (G_{mH} - G_{mx.H}) \cdot \left(1,1 - \frac{n_x}{n_H} \right) + G_{mx.H}, \text{ кг}\cdot\text{год.}; \quad (4.4)$$

- для бензинових двигунів

$$N_{ex} = N_{max} \left[a \cdot \frac{n_x}{n_N} + b \cdot \left(\frac{n_x}{n_N} \right) \right] - c \cdot \left(\frac{n_x}{n_N} \right), \text{ кВт.}; \quad (4.5)$$

$$g_{ex} = g_{eN} \left[a_1 - b_1 \cdot \frac{n_x}{n_N} + c_1 \cdot \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right], \text{ кг}\cdot\text{год.}; \quad (4.6)$$

де N_H – потужність двигуна на номінальному режимі;

n_H – частота обертання колінчастого вала двигуна на номінальному режимі;

g_{eH} – питома ефективна витрата палива на номінальному режимі;

N_{max} і n_N – максимальна потужність двигуна і частота обертання, що відповідає максимальній потужності;

g_{eN} – питома витрата палива на режимі максимальної потужності;

n_x – розрахункові (біжучі) частоти обертання двигуна;

a, b, c, a_1, b_1, c_1 – коефіцієнти апроксимації;

$G_{mn}, G_{mx.x}$ – годинні витрати палива на номінальному режимі і холостому ходу.

Значення коефіцієнтів апроксимації вибирають залежно від типу двигуна (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Орієнтовні значення коефіцієнтів апроксимації дослідних характеристик двигунів внутрішнього згоряння

Тип двигуна	a	b	c	a_1	b_1	c_1
Дизелі:						
- з нерозділеною камерою згоряння	0,87	1,13	1,0	1,55	1,55	1,0
- з вихровою камерою	0,7	1,3	1,0	1,35	1,35	1,0
- з передкамерою (форкамерою)	0,6	1,4	1,0	1,2	1,2	1,0
Бензинові двигуни	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	0,8

Годинна витрата палива визначається за формулою

$$G_{mx} = g_{ex} \cdot N_{ex} \cdot 10^{-3}, \text{ кг} \quad (4.7)$$

Крутний момент двигуна

$$M_{ex} = 9554 \cdot \frac{N_{ex}}{n_x}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (4.8)$$

Годинну витрату палива на режимі максимального холостого ходу $G_{m.x.x}$ знаходять або за технічною характеристикою на двигун або за графічними

залежностями годинної витрати палива двигуна в режимі максимального холостого ходу від номінальної потужності двигуна (рис. 4.1).

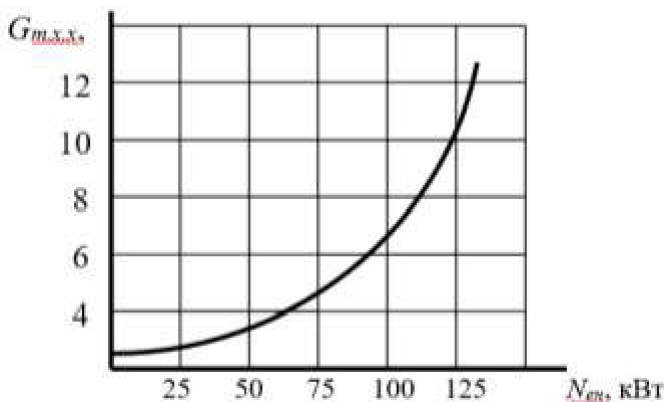


Рис. 1. Залежність годинної витрати палива на максимальному холостому ходу від номінальної потужності двигуна

Розрахунки проводяться для швидкісних режимів роботи бензинових двигунів від частоти обертання максимального холостого ходу $n_{max \text{ x.x.}}$ до номінальної частоти n_n через кожні 20-50 об/хв. та від n_n через кожні 100-300 об/хв. до числа обертів на 200-300 менше частоти обертання, що відповідає максимальному крутному моменту n_m .

Регуляторну характеристику двигунів будують враховуючи нахил регуляторної вітки. Згідно технічних умов на двигуни нахил регуляторної вітки знаходиться в межах 6-10%; тому частота обертання, що відповідає максимальному холостому ходу $n_{max \text{ x.x.}}$ визначається з умови

$$n_{max \text{ x.x.}} = 1,1 n_n, \text{ хв}^{-1}. \quad (4.9)$$

Для режиму роботи двигуна на максимальному холостому ходу $N_e = 0$; $M_e = 0$.

Для дизельних двигунів проводяться розрахунки:

- на коректорній вітці характеристики в інтервалі частот обертання від n_n через кожні 100-300 об/хв. до частот на 200-300 об/хв. менше від n_m – частоти обертання, що відповідає максимальному крутному моменту;

- на регуляторній характеристиці для частот обертання від n_n до $n_{max\ x.x.}$ через кожні 10-20 хв⁻¹.

Всі розрахункові параметри заносять в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати розрахунку швидкісної характеристики двигуна

Частота обертання колінчастого вала двигуна n , об/хв.	Крутний момент M_e , Н·м	Потужність двигуна N_e , кВт	Годинна витрата палива G_m , кг/год.
$n_{x.x.}$			
...			
...			
n_n			
...			
...			
...			
n_m			

В розрахунках запас крутного моменту для двигунів без наддуву приймати в межах 15-20%, а для двигунів з турбонадувом запас крутного моменту приймати в межах 12-15%.

Дані для розрахунку вибрати з табл. 4.3 згідно варіанту завдання.

Таблиця 4.3

Технічна характеристика двигунів машин

№ варіанту	Марка машини (трактора)	Марка двигуна	Номінальна потужність, кВт	Номінальна частота обертання, об/хв.	Питома витрата палива, г/кВт-год.
1	2	3	4	5	6
1	T-50	Д130	33,1	2000	241
2	T-85	T-10	62,5	2100	235
3	BT3-2032A	Д120	22,1	2000	245
4	BT3-2048A	Д130	33,1	2000	241
5	ХТЗ-150К-09.172.00	ЯМЗ-236М2-59	132	2100	245
6	ХТЗ-241К.20	ММЗ Д-262.2S2	184	2100	230
7	ХТЗ-242К.20	ЯМЗ-238М2-53	176	2100	245
8	ХТЗ-243К.20	ЯМЗ-536	184	2100	215
9	ХТЗ-248К.20	FPT-Iveco N67 ENT	176	2200	205
10	BELARUS-80.1	Д-243	59,6	2200	235
11	MT3 320.4 Білорус	Lombardini LDW1603/B3	26,5	3000	231
12	ЮМЗ-8244.2	ММЗ Д-243-436	57,4	2200	235
13	ЮМЗ 6АКМ40.2	Д-242-367	44,1	1800	235

продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
14	Кіровоць К-744Р1	ЯМЗ-238НД5	220	1900	220
15	ХТЗ 17221	ЯМЗ-236Д-3	128,7	2100	251
16	Кіровоць К-424	ЯМЗ-53625	176	2200	197
17	Кіровоць К-730	ЯМЗ-65854	220	1900	216
18	BELARUS-820	Д-243С	60	2200	244
19	BELARUS-1025.2	Д-245	107,4	2100	236
20	T-150-05-09-25-04	ЯМЗ-236М2-59	132	2100	245
21	Challenger MT 755E	AGCO Power	261	2200	289
22	ХТЗ-181.21	ЯМЗ-238KM2-3	140	2100	245
23	Fendt 1149 MT	AGCO Power 168 – 4	336	2100	274
24	New Holland TK4060	NEF	85	2500	223
25	МТЗ 2103 Білорус	Д-260.4S2	156	2100	248
26	МТЗ 1502 Білорус	Д-260.1S2	116	2100	235
27	ДТ 75-А ДРСА 2	А-41И	69	1750	226
28	Фотон-244	У385Т	19	2350	245
29	Фотон-ТВ-404	С490ВТ	29,4	2400	248

4.2. Силова установка – електричний двигун приводу технологічного обладнання.

Характеристику електричного двигуна будують в залежності від навантаження для кожного з режимів його роботи. В довідковій літературі наводяться технічні характеристики електродвигунів зокрема, його номінальна потужність, номінальна частота обертання, співвідношення між максимальним і номінальним моментами, співвідношення між пусковим і номінальними моментами та синхронна частота обертання поля.

На характеристику двигуна, крім залежності частоти обертання від моменту, наносяться залежності потужності від моменту, значення ковзання від моменту і інші характерні для двигуна параметри.

Для розрахунку і побудови характеристик двигуна використовуються його дані за технічною характеристикою на номінальному режимі і наступні емпіричні залежності:

- співвідношення між максимальним і номінальним моментами

$$\gamma = \frac{M_{\max}}{M_n}. \quad (4.10)$$

- співвідношення між пусковим і номінальним моментами

$$K = \frac{M_{\text{пус}}}{M_n}. \quad (4.11)$$

Номінальне значення моменту двигуна визначають за умовою

$$M_{ex} = 9554 \cdot \frac{N_n}{n_n}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (4.12)$$

де N_n – номінальна потужність двигуна за технічною характеристикою, кВт;

n_n – номінальна частота обертання за технічною характеристикою, об/хв.

Для електричного двигуна робочою віткою характеристики є вітка від максимальної частоти холостого ходу до максимального моменту. Вітка від максимального моменту до пускового моменту є неробочою.

Знаючи номінальне значення моменту двигуна, знаходимо його максимальний момент

$$M_{max} = \gamma \cdot M_n, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (4.13)$$

Проміжні точки характеристики для побудови графічної залежності знаходять за залежністю

$$M_x = \frac{M_{max}}{\left(\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} \right)}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (4.14)$$

де $S_{кр}$ – критичне ковзання двигунів яке відповідає максимальному моменту;

S – біжуче значення ковзання

За аналогією всі наступні розрахунки зводяться в табл. 4.4.

Частота обертання двигуна

$$n = n_c \cdot (1 - S), \text{ об/хв.} \quad (4.15)$$

де n_c – синхронна частота обертання

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{P}, \text{ об/хв.} \quad (4.16)$$

де $f = 50$ Гц – частота мережі живлення електродвигуна,

P – кількість пар полюсів,

За аналогією всі наступні розрахунки зводяться в табл. 4.4.

Критичне ковзання визначаємо за наступною умовою

$$S_{kp} = S_n \cdot \left(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1} \right) \quad (4.17)$$

де S_n – ковзання на номінальному режимі роботи двигуна,

$$S_n = \frac{n_c - n_n}{n_n}. \quad (4.18)$$

На робочій частині швидкісної характеристики ковзання змінює з невеликим інтервалом в межах від 0,01 до 0,05 так щоб одержати не менше 5 точок робочої вітки характеристики на неробочій вітці характеристики ковзання змінюємо через кожну 0,1 до досягнення моменту рівного пускового.

Значення пускового моменту знаходимо за залежністю

$$M_{пус} = K \cdot M_n, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (4.19)$$

Потужність при біжучому значенні ковзання знаходять за формулою

$$N_x = \frac{M_{ex} \cdot n_x}{9554}, \text{ кВт.}; \quad (4.20)$$

де M_x, n_x – біжучі значення моменту і частоти обертання при біжучому значенні двигуна.

Для побудови характеристики на робочій вітці характеристики двигуна ковзання змінюють так, щоб одержати не менше 5-ти проміжних точок.

Нанеробочій вітці ковзання змінюють через 0,1 до досягнення біжучого значення момента близького до пускового.

Результати розрахунку зводяться в Табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Розрахунок швидкісної характеристики електричного двигуна

№ з/п	S	n , об/хв.	M , Н·м	N , кВт

Контрольні запитання:

1. Які найчастіше використовуються залежності параметрів силової установки? Наведіть приклади.

2. Що собою являє швидкісна характеристика двигуна?

5. Як побудувати швидкісну характеристику двигуна? Опишіть залежність показників від крутного моменту двигуна.

6. Вкажіть вихідні дані для розрахунку потужності силової установки.

Практична робота №5 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття – на основі даних технічної характеристики технічного об'єкта (машини, обладнання) і результатів розрахунків швидкісної характеристики силової установки провести розрахунки і побудувати тягово-енергетичну характеристику об'єкта дослідження.

Вказівки до виконання

5.1 Розрахунок і побудова тягової характеристики.

Тягову характеристику машини будують залежно від тягового навантаження, для кожного типу і стану ґрунту.

В довідковій літературі наводять типові тягові характеристики машин, побудовані при детермінованому навантаженні, або навантаженнях характерних для типу машини і умов її використання. Для іншого характеру навантаження необхідно вносити відповідні поправки.

В випадку стохастичних (ймовірнісних) навантажень тягові характеристики машини будуть складатись не з однієї, а з цілого сімейства кривих в залежності від значень коефіцієнта варіації навантаження за кожним параметром.

В якості основного параметра на тяговій характеристиці наносять тягову потужність, за максимумом якої визначають номінальну силу тяги.

Сила тяги при роботі на щільних ґрунтах при достатньому відповідає коловій силі, а на ґрунтах з низькою несучою здатністю визначається силою зчеплення.

Крім потужності на тяговій характеристиці можуть бути нанесені також значення годинної витрати палива, питомі витрати палива, коефіцієнт буксування, швидкості

руху, тяговий к.к.д. та інші параметри.

Тягова характеристика може бути побудована як за експериментальними даними так і теоретично, виходячи з даних технічної характеристики машини.

Типова тягова характеристика будується для горизонтальної ділянки, а також заданих ґрунтових умов, використовуючи швидкісну характеристику двигуна і характеристику трансмісії.

Для всіх швидкісних режимів роботи на кожній передачі розрахункового ряду послідовно розраховують

1) Рушійну силу P_p

$$P_p = P_\kappa = \frac{M_e \cdot i_{mp} \cdot \eta_{mp}}{r_\kappa}, \text{ Н.}; \quad (5.1)$$

де M_e – крутний момент двигуна для даного швидкісного режиму;

i_{mp} – загальне передавальне число трансмісії на заданій передачі;

η_{mp} – к.к.д. трансмісії;

r_κ – радіус кочення колеса, або зірочки, м.

2) Теоретичну швидкість руху v_m

$$v_m = \frac{0,377 \cdot r_\kappa \cdot n_\delta}{i_{mp}}, \text{ км/ГОД, або } v_m = \frac{\pi \cdot n_\delta \cdot r_\kappa}{30 \cdot i_{mp}}, \text{ м/с, (5.2)}$$

де n_δ – частота обертання двигуна.

Для визначення дійсної швидкості будують криву буксування залежно від тягового зусилля, для цього можна скористатись одним з наведених варіантів:

а) за відсноною силою тяги згідно наведеної таблиці 5.1.

В таблиці p – відносна сила тяги, що визначається за формулою

$$P_p = p = \frac{P_z}{\varphi \cdot \lambda \cdot G_m}, \quad (5.3)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення;

λ – коефіцієнт навантаження ведучих частин машини, який приймається: для гусеничних машин $\lambda = 1$, для колісних машин типу 4×4 $\lambda = 0,9-1$, для колісних машин типу 4×2 $\lambda = 0,76-0,8$;

$P_z = P_k - P_f$ – зусилля на гаку машини;

G_m – вага машини.

Таблиця 5.1

Залежність буксування δ від відносної сили тяги

p		0-0,3	0,4	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
δ	для коліс	0,21 p	0,084	0,136	0,152	0,180	0,270	0,46	-
	для гусениць	0,03 p	0,013	0,028	0,036	0,05	0,105	0,24	0,57

б) за розрахунковою формулою

$$\delta = A \cdot \frac{P_k}{R} + B \cdot \left(\frac{P_k}{R} \right)^2, \quad (5.4)$$

де P_k – колова сила тяги, для якої визначається величина буксування;

R – нормальна реакція поверхні на колісний рушій;

$A = 0,11-0,13$ – емпіричний коефіцієнт;

$m = 5-6$.

Коефіцієнт B визначається залежно від коефіцієнта зчеплення за формулою

$$B = \frac{1 - A \cdot \varphi}{\varphi^m}, \quad (5.5)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення ($\varphi = 0,6-0,8$).

Дана залежність справедлива для роботи колісних машин на сухих щільних ґрунтах.

Для гусеничних машин в аналогічних умовах

$$\delta = 0,07 \cdot \frac{P_k}{R}, \quad (5.6)$$

При $P_k/R=1,0$ проходить миттєвий перехід з режиму часткового на режим повного буксування.

в) за даними таблиць приведеними в довідковій літературі [5]. Тоді дійсна швидкість машини v_δ визначиться за залежністю

$$v_\delta = (1 - \delta) \cdot v_m, \text{ м/с (км/год)}. \quad (5.7)$$

3). Тягова потужність N_m

$$N_m = \frac{P_k \cdot v_\delta}{10^3}, \text{ кВт} \quad (5.8)$$

де P_k – Н, v_δ – м/с;
або

$$N_m = \frac{P_k \cdot v_\delta}{3,6 \cdot 10^3}, \text{ кВт} \quad (5.9)$$

де $P_k - \text{Н}$, $v_d - \text{км/год}$.

4). Питома витрата палива g_m

$$g_m = \frac{G_m \cdot 10^3}{N_m}, \text{ г/тяг. кВт}\cdot\text{год.} \quad (5.10)$$

5) Тяговий К.К.Д.

$$\eta_{\text{тяг}} = \frac{N_m}{N}. \quad (5.11)$$

Розрахунки заносяться в таблицю 5.2 (вихідні дані – табл. 5.3).

За даними таблиці 5.2 будується швидкісна і тягові характеристики машини.

Таблиця 5.2

Дані розрахунку для побудови тягової характеристики машини

n , об/хв.	M_e , Н·м	N_e , кВт	G_m , кг/год	P_k , Н	v_m , м/с (км/год)	v_d , м/с (км/год)	N_m , кВт	g_m , г/кВт·год	$\eta_{\text{тяг}}$
1 передача ($i_{mp} = \quad$)									
$n_{x,x}$									

n_H									

n_M									
2 передача ($i_{mp} = \quad$)									
$n_{x,x}$									

n_H									

n_M									
.....									

5.2. Розрахунок і побудова енергетичної характеристики.

Експлуатаційна характеристика дозволяє розрахувати оптимальні режими роботи самохідних машин і агрегатів і визначити взаємозв'язок між тягово- швидкісними можливостями, показниками двигуна, опором робочих машин, продуктивністю і паливною економічністю машини.

З допомогою цих характеристик можна також провести оцінку на різних передачах таких показників як максимальна тягова потужність, оптимальна робоча швидкість, сила тяги при максимальній тяговій потужності, максимальна сила тяги на нижчій передачі, швидкість холостого ходу, перепад між швидкостями поступального руху при максимальній тяговій потужності, буксування, здатність машини долати короточасні перевантаження без переходу на нижчу передачу, характер зміни максимальних значень тягової потужності і ін.

Експлуатаційна характеристика машини будується на основі тягової характеристики, використовуючи два нижні квадранти.

В нижньому правому квадранті будується характеристика робочого середовища при постійному значенні питомого опору на робочому органі від сили тяги машини, наприклад, для землерийно-транспортних машин – залежність площі стружки від сили тяги $F = f(P_k)$ при фіксованих значеннях питомого опору K (рис. 5) виходячи з залежності

$$P_k = F_{cm} \cdot K, \quad (5.12)$$

Звідки

$$F_{cm} = \frac{P_k}{K}. \quad (5.13)$$

Для цього вниз по осі ординат наноситься шкала значень параметра, а віссю абсцис служить шкала значень P_k з тягової характеристики. При фіксованих значеннях питомого опору залежність має лінійний вигляд, що має початок ліній в точці перетину осей координат, тому додатково визначити значення параметра при одному значенні P_k і нанести знайдені значення на графік, з'єднавши одержані точки з початком координат. Побудову променевої номограми виконують, задаючись різними значеннями питомого опору K з таким розрахунком, щоб охопити всі можливі умови роботи машини (рис. 5).

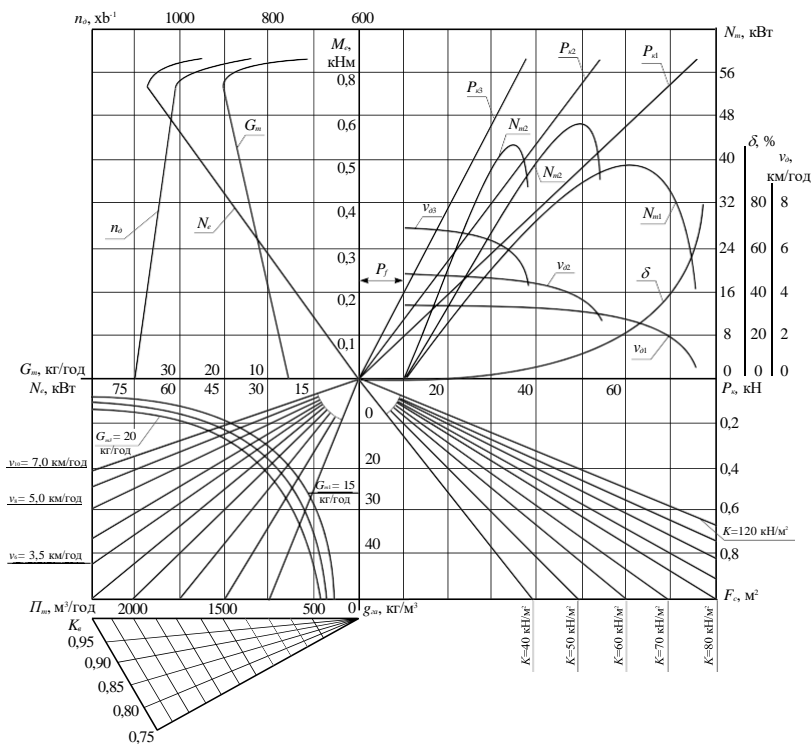


Рис. 5. Тягово-експлуатаційна характеристика автогрейдера

В лівому нижньому квадранті системи координат будується номограма для визначення технічної продуктивності машини при різних робочих швидкостях. Для побудови цієї номограми використовують по осі ординат шкалу параметра для правого нижнього квадранта, а по осі абсцис – наносять шкалу продуктивності Π_m вліво від початку координат. Для побудови використовується залежність

$$\Pi_m = F_{cm} \cdot v_p, \quad (5.14)$$

де v_p – робоча швидкість.

Задаючись різними значеннями робочої швидкості з можливого діапазону будуємо номограму аналогічно попередній. Вона являє собою пучок прямих, що виходять з початку координат.

В тому ж квадранті вниз по осі ординат наносять шкалу питомої витрати палива g_{za}

$$g_{za} = \frac{G_m}{\Pi_m}. \quad (5.15)$$

і в координатах Π_m - g_{za} будуємо криві теоретичної витрати палива на одиницю продуктивності машини в залежності від годинної витрати палива G_{mi} .

Для визначення експлуатаційної продуктивності Π_e , яка визначається залежністю

$$\Pi_e = \Pi_m \cdot K_e, \quad (5.16)$$

де K_e – коефіцієнт використання машини за часом.

Необхідно побудувати додаткову номограму в лівому нижньому квадранті в наступний спосіб.

Задаючись певним значенням технічної продуктивності P_m відкладаємо дану точку на шкалі P_m .

Задаємося найменшим можливим значенням коефіцієнта використання машини за часом K_e для даної машини і знаходимо для заданої технічної продуктивності експлуатаційну продуктивність при заданому найменшому значенні K_e . Одержане значення експлуатаційної продуктивності відкладаємо на шкалі продуктивності і через цю точку проводимо вниз пряму перпендикулярну до осі абсцис. На цій прямій відкладаємо довільний відрізок, а тоді одержану точку з'єднуємо прямою з точкою, що відповідає технічній продуктивності на осі абсцис (див. рис. 5). Одержаний похилий відрізок розбиваємо рівномірною шкалою від $K_e = 1$ до K_e , що відповідає мінімальному вибраному значенні. Після цього з'єднуємо точки шкали з новим початком координат і, через поділки шкали продуктивності проводимо прямі паралельні похилому відрізку.

Контрольні запитання:

1. Охарактеризуйте експлуатаційні властивості тракторного двигуна.
2. Охарактеризуйте потужнісні показники машин.
3. Назвіть основні тягові і паливо-енергетичні показники машин.
4. Що собою являє швидкісна характеристика двигуна?
5. Від чого залежить тягова характеристика машини?
6. На основі чого будується експлуатаційна характеристика машини?

Таблиця 5.3

Варіанти завдань загальних характеристик машин для розрахунку тягових характеристик

№ варіанту	Марка машини	Марка двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна частота обертання, об/хв	Загальні передаточні числа трансмісії на передачах				Радіус кочення, м	Дорожні умови	Вага машини, кг
					1	2	3	4			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
1	T-16M	Д-21-А2	16,3	1650	82,48	64,67	52,97	44,79	0,65	асфальт	1616
2	T-25А	Д-21А	18,4	1800	68,80	54,43	46,90	37,05	0,65	стерня	1780
3	T-40	Д-37	29,6	1600	78,68	65,98	56,02	47,94	0,80	стерня	2370
4	T-40АН	Д-37	29,6	1600	76,71	64,37	54,67	46,78	0,71	стерня	2650
5	T-40М	Д-37Е	36,8	1800	78,63	66,01	56,00	49,93	0,80	стерня	2380
6	T-40АМН	Д-37Е	36,8	1800	77,29	64,81	55,10	46,98	0,71	цілина	2700
7	T-28x4M	Д-144	40,5	2000	211,00	153,10	108,25	78,31	0,77	асфальт	2770
8	MT3-50	Д-50	41	1700	94,94	77,62	62,23	55,67	0,83	стерня	2750
9	MT3-52	Д-50Л	41	1700	340,80	200,62	94,94	77,62	0,83	стерня	2950
10	MT3-80	Д-240Л	55	2200	94,90	77,30	62,57	55,75	0,83	стерня	3160
11	MT3-82	Д-240	55,3	2200	275,20	161,51	94,90	77,30	0,83	стерня	3370
12	ЮМЗ-6М	Д-65М	46,3	1750	176,50	103,26	80,48	72,01	0,83	асфальт	3200
13	MT3-100	Д-245	77,2	2200	105,20	85,47	70,28	58,21	0,83	стерня	3450

продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	МТЗ-102	Д-245	77,2	2200	137,90	112,23	92,22	76,28	0,83	асфальт	3620
15	Т-150К	СМД-62	121,4	2100	67,98	59,42	50,27	37,91	0,70	стерня	7535
16	К-700	ЯМЗ-238НБ	153,7	1750	105,20	86,96	72,29	60,00	0,91	асфальт	11000
17	К-701	ЯМЗ-240Б	198	1900	100,8	83,25	69,51	57,73	1,0	асфальт	12400
18	Т-54В	Д-50	38,2	1600	111,65	56,3	45,80	38,68	0,326	глиниста дорога	3500
19	Т-54С	Д-50	38,2	1600	111,65	56,3	45,80	38,68	0,326	стерня	4060
20	ДТ-75	СМД-14	56,6	1800	45,08	37,37	33,56	30,20	0,335	поле	6050
21	ДТ-75Б	СМД-14Н	58,4	1800	64,36	57,52	51,76	46,56	0,335	поле	7160
22	ДТ-75М	А-41	66,2	1750	41,68	37,38	33,57	30,22	0,335	стерня	6110
23	ДТ-75С	СМД-66	126,4	1900	41,68	37,38	33,57	30,22	0,335	стерня	7435
24	ДТ-75К	СМД-14НГ	58	1800	69,70	62,42	56,10	50,26	0,335	цілина	8040
25	Т-150	СМД-60	111	2000	37,36	33,12	29,37	26,89	0,382	стерня	6975
26	Т-4А	А-01М	99,3	1700	75,36	69,93	60,48	54,20	0,44	стерня	7960
27	Т-130	Д-160	117,6	1250	64,36	53,96	46,46	38,95	0,44	цілина	11500
28	Т-130Б	Д-160Б	110,3	1050	55,08	47,43	39,74	-	0,44	торф'яник	15520

Практична робота №6 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОВНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Мета заняття: оволодіння розрахунковими методами оцінки показників надійності елементів машини за результатами їх повних випробувань.

Об'єкт, для якого проведення ремонтів не передбачено в нормативно-технічній і конструкторській документації, називається таким, що не підлягає ремонту (неремонтнопридатним).

Для неремонтованих об'єктів знаходять застосування наступні показники надійності:

- середній наробіток до відмови T ;
- імовірність безвідмовної роботи $R(t)$;
- гамма-процентний ресурс t_γ .

Для визначення показників надійності необхідний статистичний матеріал про відмови в експлуатації розглянутого класу об'єктів.

Відомо, що закон розподілу ресурсу t (наробітку неремонтованих об'єктів до відмови) добре описується універсальним двохпараметричним законом Вейбулла-Гнеденко, для якого щільність розподілу визначається з виразу

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right], \quad (6.1)$$

а функція розподілу має вигляд

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right] \quad (6.2)$$

де a та b – параметри закону.

Невідомі параметри a і b можуть бути визначені аналітично або графічно за допомогою імовірнісного листка.

Параметри a і b зв'язані із середнім наробітком до відмови T , середнім квадратичним відхиленням σ і коефіцієнтом варіації v описуються залежністю

$$T = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right), \quad (6.3)$$

$$\sigma = a \cdot \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{b}\right)}, \quad (6.4)$$

$$v = \frac{\sigma}{T}. \quad (6.5)$$

У формулах (6.3) і (6.4) $\Gamma(x)$ – гамма-функція, що визначається за таблицями (додаток 4).

Імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ в інтервалі від 0 до t

$$R(t) = 1 - F(t), \quad (6.6)$$

де $F(t)$ – функція розподілу ресурсу, обумовлена у випадку закону Вейбулла-Гнеденко співвідношенням (6.2).

Гамма-процентний ресурс t_γ знаходять графічним рішенням трансцендентного рівняння

$$R(t_\gamma) = 0,01 \cdot \gamma, \quad (6.7)$$

де γ – задана імовірність (γ %).

Довірчі границі для середнього наробітку до відмови T та імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ обчислюють зі співвідношень

$$T_{\min}^{\max} = T \pm t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (6.8)$$

$$R_{\min}^{\max}(t) = R(t) \pm t_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{R(t) \cdot [1 - R(t)]}{N}}, \quad (6.9)$$

де t_{β} – квантиль нормального розподілу, що відповідає імовірності $\alpha = \frac{1 + \beta}{2}$, тобто

$$t_{\beta} = U_{\alpha} = U_{\frac{1 + \beta}{2}},$$

де β – довірча імовірність;

N – обсяг вибірки;

U_{α} – квантиль, значення якого визначають за таблицею (додаток 3).

Довірчі границі для гамма-процентного ресурсу визначають графічно після побудови графіка $R(t)$ з довірчими границями.

Послідовність розв'язування задачі.

При повних випробуваннях всі об'єкти доводяться до відмови, і результатом випробування є вибірка наробітків до відмови – t_i , $i = 1, 2, \dots, N$.

Для знаходження апроксимуючого закону розподілу наробітку до відмови необхідне знання емпіричної функції розподілу F^* . З цією метою весь діапазон значень випадкової величини t_i , розбивають на K інтервалів однакової довжини h . Число інтервалів вибирають у залежності від обсягу вибірки N . Число інтервалів, що рекомендується, $K \cong 5 \lg N$, округлене до цілого значення.

Далі визначають розмах вибірки R і довжину інтервалу h

$$R = t_{max} - t_{min} \quad (6.10)$$

$$h = \frac{R}{K}$$

Отримане значення h заокруглюють до більшого цілого, а потім обчислюють ліві t_i' і праві t_i'' границі кожного з K інтервалів за формулами

$$\begin{aligned} t_1' &= t_{min}; & t_1'' &= t_1' + h; \\ t_2' &= t_1''; & t_2'' &= t_2' + h; \\ t_3' &= t_2''; & t_3'' &= t_3' + h, \end{aligned} \quad (6.11)$$

і т. д., та підраховують кількість відмов n_i , наробітки до яких потрапили в кожен інтервал.

Перевіркою правильності визначення границь інтервалів є попадання всередину останнього інтервалу максимального t_{max} наробітку. Сумарна кількість попадань повинна бути рівною обсягові вибірки

$$\sum_{i=1}^k n_i = N. \quad (6.12)$$

Далі визначають значення відносної частоти W_i попадання наробітків у i -й інтервал

$$W_i = \frac{n_i}{N}, \quad (6.13)$$

а потім емпіричну функцію розподілу F_i^*

$$F_i^* = W_1 + W_2 + \dots + W_i \quad (6.14)$$

при цьому наприкінці останнього k -го інтервалу $F_k^* = 1$.

При графічному вписуванні теоретичного закону Вейбулла-Гнеденко і визначенні його параметрів a і b на спеціальному імовірнісному листку по осі абсцис відкладають значення правих границь інтервалу t_i , а по осі ординат – відповідному даному інтервалу значення емпіричної функції розподілу F_i^* , в результаті одержують K точок, через які проводять пряму таким чином, щоб вона проходила по можливості ближче до всіх точок. Побудована пряма є графіком теоретичного розподілу $F(t)$. Відповідність теоретичного закону розподілу емпіричному розподілові перевіряють за критерієм А.Н. Колмогорова. Для цього в кожному інтервалі підраховують модуль різниці між значеннями емпіричної і теоретичної функцій розподілу, вибирають з них максимальний

$$D_{\max} = \max |F_i - F_i^*|. \quad (6.15)$$

і визначають величину критерію

$$\lambda = D_{\max} \cdot \sqrt{N}. \quad (6.16)$$

Якщо $\lambda < 1,0$, то прийнятий теоретичний закон Вейбулла-Гнеденко не суперечить емпіричному. Шукані параметри a і b теоретичного закону визначають (рис. 6.1) у такий спосіб:

a – безпосередньо з графіка

$$b = 1,3 \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

де φ – кут нахилу прямої до осі абсцис.

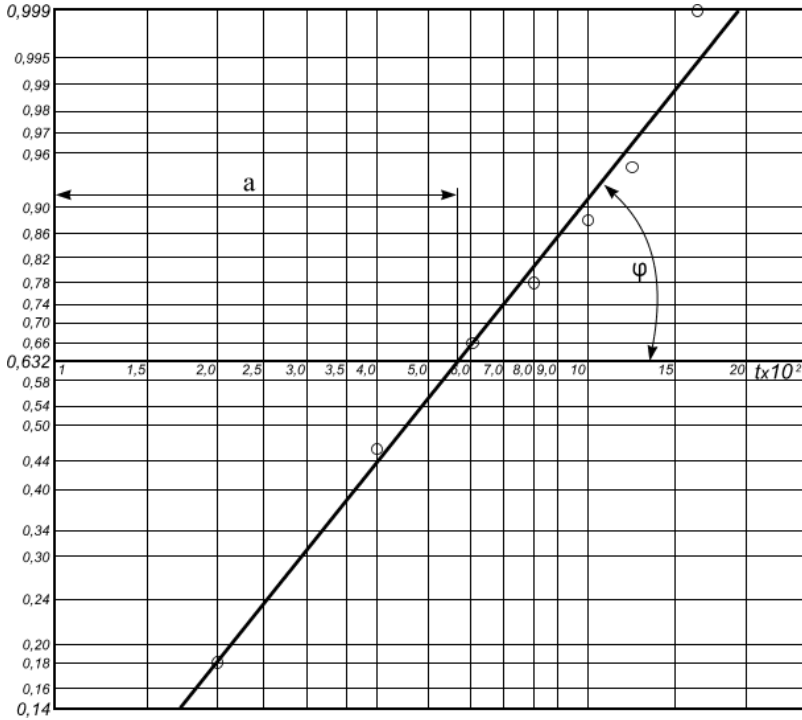


Рис. 6.1. Імовірнісний листок для закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і графічне визначення параметрів a і b

Після визначення середнього наробітку до відмови T і значень імовірності $R(t)$ за формулами (6.3) і (6.6) відповідно, проводять розрахунок цих же величин з довірчими границями, використовуючи залежності (6.8) і (6.9), і будують графік $R(t)$. Гамма-процентний ресурс t_γ знаходять графічно.

Приклад 1.

За результатами повних випробувань до відмови 50 деталей побудувати графік імовірності безвідмовної роботи $R(t)$, знайти середній T та 80%-ий ресурси з довірчими границями ($\beta = 90\%$ і $t_\beta = 1,645$) при вихідних даних, що відповідають наробіткам до відмов: 350; 570; 490; 1080; 250; 1540; 340; 550; 930; 370; 350; 410; 510; 180; 1190; 290; 610; 380; 530; 120; 1150; 830; 930; 370; 510; 150; 660; 190; 420; 1350; 310; 880; 10; 270; 640; 790; 1360; 150; 540; 500; 190; 320; 300; 260; 540; 180; 980; 580; 740; 260.

Розв'язок

Із приведеного ряду значень знаходимо мінімальне $t_{\min} = 10$ годин і максимальне $t_{\max} = 1540$ годин значення наробітків.

Розмах вибірки:

$$R = t_{\max} - t_{\min} = 1540 - 10 = 1530 \text{ годин.}$$

Приймаємо число інтервалів $K = 8$.

$$\text{Довжина інтервалу } h = \frac{R}{K} = \frac{1530}{8} = 192,5 \text{ годин,}$$

приймаємо $h = 200$ годин.

Результати подальших розрахунків приведені в табл. 6.1, за матеріалами якої побудований графік (див. рис. 6.1) і розраховані:

параметри закону розподілу Вейбулла-Гнеденко

$$a = 580 \text{ годин; } b = 1,3 \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,3 \cdot 1,27 = 1,65 ;$$

$$\text{середній ресурс } T = 580 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,65}\right) = 519 \text{ годин;}$$

середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = 519 \cdot \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{1,65}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{1,65}\right)} = 322 \text{ години;}$$

коефіцієнт варіації $v = \frac{\sigma}{T} = \frac{322}{519} = 0,62$;

середній ресурс із довірчими границями при $\beta = 0,9$ та $t_\beta = 1,645$:

$$T_{\min}^{\max} = 519 \pm 1,645 \cdot \frac{322}{\sqrt{50}} = 519 \pm 75 \quad \text{годин}; \quad T_{\max} = 594$$

години; $T_{\min} = 444$ години.

80%-ий ресурс із довірчими границями (за графіком):

$$t_{80} = 240 \text{ годин}; \quad t_{80\max} = 310 \text{ годин}; \quad t_{80\min} = 170 \text{ годин};$$

Таблиця 6.1
Результати розрахунків до прикладу №1

№	Границі інтервалів $t_i' \div t_i''$	Серед. ін-терв. t_i	Число величин в ін-терв. n_i	Частота W_i	Емпірич. функція F_i^*	Теор. функція F_i	Відхил. $ F_i^* - F_i $	Імов. безвідм. роботи	$R_{\max}(t)_{\min}$
1	0÷200	100	9	0,18	0,18	0,16	0,02	0,84	0,76÷0,93
2	200÷400	300	14	0,28	0,46	0,42	0,04	0,58	0,47÷0,70
3	400÷600	500	11	0,22	0,68	0,65	0,03	0,35	0,24÷0,46
4	600÷800	700	5	0,10	0,78	0,82	0,04	0,18	0,09÷0,27
5	800÷1000	900	5	0,10	0,88	0,91	0,03	0,09	0,02÷0,15
6	1000÷1200	1100	3	0,06	0,94	0,964	0,024	0,036	0,00÷0,08
7	1200÷1400	1300	2	0,04	0,98	0,986	0,006	0,014	0,00÷0,04
8	1400÷1600	1500	1	0,02	1,00	0,995	0,005	0,005	0,00÷0,02
Σ			50	1,00					

Перевірка за критерієм А.Н. Колмогорова проводиться по максимальній величині відхилення $|F_i^* - F_i^*|_{\max} = 0,04$, (див. табл. 4.1)

$$\lambda = 0,04 \cdot \sqrt{50} = 0,283 < 1.$$

Отже, емпіричний розподіл добре узгоджується з те-

оретичним розподілом Вейбулла-Гнеденко. За отриманими даними побудований (рис. 6.2) графік імовірності безвідмовної роботи деталей, на якому показані довірчі межі R_{\max} , 80%-й ресурс t_{80} і його довірчі межі $t_{80\max}$ та $t_{80\min}$.

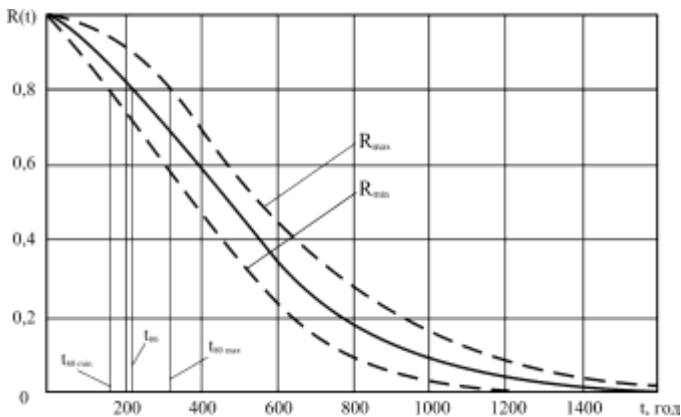


Рис. 6.2. Графік імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ з довірчими межами

При виконанні практичної роботи, вихідні дані відповідно до варіанту, вибрати з табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Вихідні дані до виконання практичної роботи

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	310	880	10	270	640	790	1360	150	540	500
2	190	320	300	260	540	180	980	580	740	260
3	1150	830	930	370	510	150	660	190	420	1350
4	350	570	490	1080	250	1540	340	550	930	370
5	626	624	622	493	816	619	496	600	1059	997
6	831	310	620	688	436	530	137	940	564	151
7	285	416	349	1014	663	652	639	788	461	708
8	165	480	275	345	552	538	570	673	130	566
9	202	324	634	244	776	379	289	496	632	136
0	350	110	510	180	1190	290	610	380	530	120

Практична робота № 7

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СКОРОЧЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Мета заняття: оволодіння розрахунковими методами оцінки показників надійності елементів машини за результатами скорочених випробувань.

Випробування на надійність не завжди проводяться до відмови усіх випробовуваних об'єктів. В багатьох випадках, особливо в експлуатаційних умовах, випробування припиняються ще до настання відмов у частини об'єктів. Якщо кількість відмов при таких скорочених випробуваннях складає не менше 50% від загального числа випробовуваних зразків, то, як показує практика, за такими даними можна з достатньою імовірністю оцінювати (відновлювати) показники надійності, що могли б бути визначені при проведенні повних випробувань всіх об'єктів до відмов.

За результатами скорочених випробувань одержана вибірка даних містить наробітки до відмов і наробітки до припинення (призупинення) випробувань. На відміну від повних вибірок, що містять тільки наробітки до відмов, такі вибірки називають цензурованими. Якщо припинення випробувань відбувається в різні моменти часу по випадкових причинах, то вибірка даних є випадково цензурованою.

Групуючи випадково цензуровану вибірку по інтервалах, одержимо, що в будь-який i -й інтервал потрапить деяка кількість n_{oi} наробітків до відмови і n_{ni} наробітків до припинення випробувань. Якщо загальне число об'єктів, що випробувалися – N , то нижньою границею для оцінювання емпіричної функції розподілу наробітку до відмови в i -му інтервалі є відношення

$$F_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^i n_{oj}}{N}. \quad (7.1)$$

так, як при цьому передбачається, що об'єкти, випробування яких припинені, надалі відмовляти не можуть. У цьому випадку оцінка надійності об'єкта буде завищеною.

Верхньою границею при оцінюванні функції розподілу може служити відношення

$$F_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^i n_{oj} + \sum_{j=1}^i n_{nj}}{N}, \quad (7.2)$$

використання якого припускає, що в моменти припинення випробувань відбуваються відмови. При такому оцінюванні надійність випробовуваного об'єкта занижується. Вираз (7.2) одночасно є оцінкою емпіричної функції розподілу фактичної тривалості скорочених випробувань.

Істинне значення емпіричної функції розподілу наробітку до відмови F_i^* буде знаходитися в інтервалі

$$F_{oi} < F_i^* < F_{ci}. \quad (7.3)$$

Ширина цього інтервалу збільшується при збільшенні числа об'єктів, випробування яких не доведені до відмови.

Ширина цього інтервалу збільшується при збільшенні числа об'єктів, випробування яких не доведені до відмови.

Для точкової оцінки (відновлення) за цензурованими даними функції розподілу F_i^* всередині інтервалу її можливих значень (7.3) при незалежних випадкових наробітках до відмови і цензурування застосовується наступний метод.

Оцінимо емпіричну імовірність безвідмовної роботи

об'єкта в першому інтервалі групування R_1 , як відношення кількості об'єктів, що не відмовили в цьому інтервалі зразків до числа випробуваних в ньому об'єктів. При визначенні числа випробуваних об'єктів N_1 врахуємо, що в першому інтервалі випробування n_{n1} зразків були припинені при різному наробітку, меншому, чим права границя першого інтервалу. Припускаючи напрацювання призупинених зразків розподіленими симетрично відносно середини інтервалу, можна вважати, що умовне число об'єктів, що випробувалися в першому інтервалі, складає

$$N_1 = N - \frac{1}{2}n_{n1}.$$

Кількість об'єктів, що не відмовили в першому інтервалі дорівнює $N_1 - n_{o1}$, а імовірність безвідмовної роботи до кінця першого інтервалу

$$R_1 = \frac{N_1 - n_{o1}}{N_1} = 1 - \frac{n_{o1}}{N_1}.$$

За цим же принципом оцінимо умовну імовірність безвідмовної роботи в другому інтервалі \tilde{R}_2 для об'єктів, що не відмовили в першому інтервалі. Умовне число об'єктів, що випробувалися у другому інтервалі, дорівнює

$$N_2 = N - n_{o1} - n_{n1} - \frac{1}{2}n_{n2},$$

а кількість об'єктів, що не відмовили складає $N_2 - n_{o2}$. Їх відношення дає оцінку для умовної імовірності

$$\tilde{R}_2 = \frac{N_2 - n_{o2}}{N_2} = 1 - \frac{n_{o2}}{N_2}.$$

Безумовну імовірність безвідмовної роботи об'єкта R_2 у першому і другому інтервалах (тобто від початку випробувань і до правої границі другого інтервалу) можна оцінити як добуток імовірностей R_1 та \tilde{R}_2

$$R_2 = R_1 \cdot \tilde{R}_2 = \left(1 - \frac{n_{o1}}{N_1}\right) \left(1 - \frac{n_{o2}}{N_2}\right).$$

Аналогічно в третьому інтервалі умовна імовірність безвідмовної роботи \tilde{R}_3 для об'єктів, що не відмовили в перших двох інтервалах, визначається з виразу

$$\tilde{R}_3 = 1 - \frac{n_{o3}}{N_3},$$

де $N_3 = n_{o1} - n_{o2} - n_{n1} - n_{n2} - \frac{1}{2}n_{n3}$.

Безумовна імовірність безвідмовної роботи об'єкта R_3 від початку випробувань до правої границі третього інтервалу рівна добутку

$$R_3 = R_2 \cdot \tilde{R}_3 = \left(1 - \frac{n_{o1}}{N_1}\right) \left(1 - \frac{n_{o2}}{N_2}\right) \left(1 - \frac{n_{o3}}{N_3}\right),$$

і т. д.

Отже, для будь-якого i -го інтервалу групування випадково цензурованої вибірки емпірична імовірність безвідмовної роботи R_i може бути визначена як добуток, (вважаючи $R_0 \equiv 1$),

$$R_i = R_{i-1} \cdot \tilde{R}_i = \prod_{j=1}^i \left(1 - \frac{n_{oj}}{N_j}\right), \quad (7.4)$$

$$\text{де } N_j = N - \sum_{k=1}^{j-1} (n_{ok} + n_{nk}) - \frac{1}{2} n_{nj}.$$

Відповідні значення відновленої емпіричної функції розподілу наробітку до відмови F_i^* визначаються з відомого співвідношення

$$F_i^* = 1 - R_i. \quad (7.5)$$

Далі, як і у випадку повної вибірки, значення відновленої емпіричної функції розподілу можуть бути нанесені на імовірнісний листок, після чого графічно визначені параметри теоретичного закону розподілу і показники надійності об'єкта.

Послідовність розв'язування задачі.

При рішенні даної задачі використовуються ті ж вихідні дані про наробітки до відмов при випробуваннях, що й у задачі 1, причому, попередньо повна вибірка даних, узята за шифром задачі 1 з табл. 6.2, піддається випадковому цензуруванню. Цензурування даних проводиться за допомогою табл. 7.1 наступним чином.

Кожному рядку даних про наробітки до відмов з табл. 6.2 ставиться у відповідність кожен з рядків наробітків до припинення випробувань з табл. 7.1. Потім суміщені наробітки попарно порівнюються між собою, і в цензуровану вибірку відбирається менший наробіток із двох порівнюваних.

Таким чином формується випадково цензурована вибірка даних обсягом $N = 50$, що містить наробітки до відмов і наробітки до припинення випробувань. Усі наробітки отриманої вибірки, групуються по інтервалах, границі яких приймаються такими ж, якими вони були при групуванні повної вибірки в задачі 1. При цьому

підраховується кількість попадань наробітків до відмов – n_{oi} і наробітки до призупинення – n_{ni} у кожен інтервал.

Таблиця 7.1

Наробітки до призупинення випробувань

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	202	750	168	1980	256	1322	622	1706	1272	1476
2	1466	410	538	1806	1600	1150	22	1956	664	1292
3	676	112	1064	584	1416	348	110	40	702	1060
4	1040	1790	1290	754	314	146	1144	1138	650	1060
5	718	860	1860	144	1230	1370	482	1492	1410	956
6	1970	236	1669	1774	1992	1310	1602	200	1398	198
7	35	1010	599	1080	934	235	870	355	1254	641
8	1343	628	681	7	978	1483	703	805	73	103
9	1811	1616	578	1015	1035	937	1454	104	504	451
0	1721	1546	1616	1680	994	190	1603	1442	1829	1702

За формулою (7.1) оцінюються значення нижньої границі F_{oi} , для емпіричної функції розподілу наробітку до відмови. Їх наносять на імовірнісний листок і, потім графічно визначають параметри закону Вейбулла a_0 та b_0 .

За допомогою виразу (7.2) визначаються значення функції розподілу тривалості випробувань F_{ci} , що також наносять на імовірнісний листок і графічно визначають відповідні параметри a_c та b_c .

Визначають середню тривалість скорочених випробувань за формулою

$$T_c = a_c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right). \quad (7.6)$$

Величину середньої тривалості скорочених випробувань T_c порівнюють з величиною середньої тривалості по-

вних випробувань, що співпадає із середнім ресурсом T об'єкта, обчисленим у задачі 1, і визначають коефіцієнт скорочення випробувань за формулою

$$K_c = \frac{T_c}{T}. \quad (7.7)$$

Використовуючи вирази (7.4) і (7.5), послідовно, починаючи з першого інтервалу, відновлюють значення емпіричної функції розподілу наробітку до відмови F_i^* . Процедура відновлення F_i^* закінчується на інтервалі, у якому зафіксовані останні відмови. Відповідні результати розрахунків зводяться в таблицю 7.2 (див. приклад). Значення F_i^* наносять на імовірнісний листок, і за ним графічно визначають параметри теоретичного закону a_e та b_e .

За результатами оцінки параметрів теоретичного закону визначають показники надійності: значення середнього ресурсу $T_e = a_e \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_e}\right)$, а також значення гамма-процентного ресурсу t_γ^e (при $\gamma = 80\%$) за формулою

$$t_\gamma^e = a_e \cdot \left(\ln \frac{100}{\gamma}\right)^{1/b_e}. \quad (7.8)$$

Отримані за результатами скорочених випробувань величини середнього і гамма-процентного ресурсу порівнюються з відповідними показниками, визначеними за повними даними у задачі 1.

Визначаються відносні похибки при оцінці середнього Δ_T і гамма-процентного ресурсу Δ_γ за формулами

$$\Delta_T = \frac{|T - T_e|}{T} \cdot 100\% ; \quad \Delta_{t_\gamma} = \frac{|t_\gamma - t_\gamma^e|}{t_\gamma} \cdot 100\% . \quad (7.9)$$

Приклад 2.

За даними про повні випробування з прикладу до задачі 1 за допомогою табл. 7.1 сформована випадково цензурована вибірка результатів скорочених випробувань:

202*; 570; 168*; 1080; 250; 1322*; 340; 550; 930; 370; 350; 110; 510; 180; 1190; 290; 22*; 380; 530; 120; 676*; 112*; 930; 370; 510; 150; 110*; 40*; 420; 1060*; 310; 880; 10; 270; 314*; 146*; 1144*; 104*; 540; 500; 190; 320; 300; 144*; 540; 180; 482*; 580; 740; 260.

Примітка: Зірочкою позначені наробітки до припинення випробувань.

Розв'язок

Групуємо цензувану вибірку по інтервалах з тими ж границями, що були обрані для повної вибірки. При цьому підрахунок кількостей попадань наробітків до відмов n_{oi} і наробітків до призупинення випробувань n_{ni} у кожен інтервал проводимо окремо і результати заносимо в табл. 7.2.

У кожному інтервалі визначаємо значення нижньої границі F_{oi} для функції розподілу F_i *

$$F_{o1} = \frac{7}{50} = 0,14; \quad F_{o2} = \frac{7+12}{50} = 0,38, \text{ і т. д.}$$

Результати заносимо в табл. 7.2 і наносимо на імовірнісний листок (див. рис. 7.1). Будуємо графік функції F_0 і визначаємо значення її параметрів

$$a_0 = 800 \text{ годин; } b_0 = 1,3 \cdot 1,07 = 1,4.$$

У кожному інтервалі визначаємо значення функції розподілу тривалості випробувань F_{ci}

$$F_{c1} = \frac{7+8}{50} = 0,30; \quad F_{c2} = \frac{7+12+8+2}{50} = 0,58, \text{ і т. д.}$$

Таблиця 7.2

Результати розрахунків до прикладу №2

№	$t_i' \div t_i''$	n_{oi}	n_{ni}	F_{oi}	F_{ci}	N_i	\tilde{R}_i	R_i	F_i^*
1	0÷200	7	8	0,14	0,30	46	0,848	0,848	0,152
2	200÷400	12	2	0,38	0,58	34	0,647	0,549	0,451
3	400÷600	10	1	0,58	0,80	20,5	0,512	0,281	0,719
4	600÷800	1	1	0,60	0,84	9,5	0,895	0,251	0,749
5	800÷1000	3	0	0,66	0,90	8	0,625	0,157	0,843
6	1000÷1200	2	2	0,70	0,98	4	0,5	0,079	0,921
7	1200÷1400	0	1	—	1,00	—	—	—	—

Результати розрахунків заносимо в табл. 7.2, наносимо на імовірнісний листок (рис. 7.1) і будуємо графік функції F_c . Графічно визначаємо параметри: $a_c = 440$ годин; $b_c = 1,3 \cdot 1,27 = 1,65$. Середня тривалість скорочених випробувань складає:

$$T_c = 440 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,65}\right) = 394 \text{ години.}$$

Коефіцієнт скорочення випробувань

$$K_c = \frac{394}{519} = 0,759.$$

У кожному інтервалі (до шостого включно) визначаємо умовне число деталей, що випробовувалися

$$N_1 = 50 - \frac{1}{2} \cdot 8 = 46; \quad N_2 = 50 - 7 - 8 - \frac{1}{2} \cdot 2 = 34;$$

$$N_3 = 50 - 7 - 12 - 8 - 2 - \frac{1}{2} \cdot 1 = 20,5, \text{ і т. д.}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 7.2.

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи в першому інтервалі

$$R_1 = 1 - \frac{7}{46} = 0,848.$$

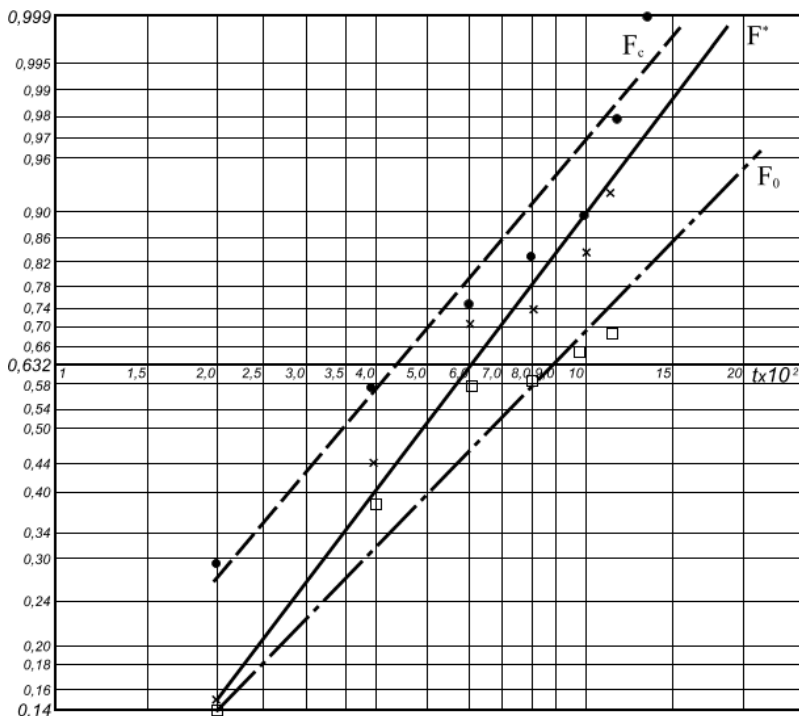


Рис. 7.1. Графіки для визначення параметрів функцій розподілу F_o , F_c , і F^*

Умовна імовірність безвідмовної роботи \tilde{R}_2 у другому інтервалі складає

$$\tilde{R}_2 = 1 - \frac{12}{34} = 0,647.$$

Безумовна імовірність безвідмовної роботи R_2 визначається як добуток

$$R_2 = 0,848 \cdot 0,647 = 0,549.$$

Умовна імовірність \tilde{R}_3 у третьому інтервалі

$$\tilde{R}_3 = 1 - \frac{10}{20,5} = 0,512.$$

Безумовна імовірність R_3 у третьому інтервалі

$$R_3 = 0,549 \cdot 0,512 = 0,281.$$

Результати розрахунків імовірності безвідмовної роботи R_i , для всіх інтервалів до шостого (у якому зафіксовані останні відмови) наведені в табл. 7.2.

Визначаємо значення відновленої емпіричної функції розподілу в кожному інтервалі

$$F_1^* = 1 - 0,848 = 0,152;$$

$$F_2^* = 1 - 0,549 = 0,451;$$

$$F_3^* = 1 - 0,281 = 0,719, \text{ і т. д.}$$

Результати заносимо в табл. 7.2, наносимо їх на імовірнісний листок, будуємо графік відновленої функції F^* (рис. 7.1) і визначаємо її параметри

$$a_g = 600 \text{ годин; } b_g = 1,3 \cdot 1,37 = 1,8.$$

Визначаємо середній ресурс

$$T_g = 600 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,8}\right) = 534 \text{ години.}$$

Визначаємо 80%-ий ресурс

$$t_{80}^e = 600 \cdot \left(\ln \frac{100}{80} \right)^{1/1.8} = 261 \text{ година.}$$

Визначаємо похибки оцінки показників надійності по цензурованій вибірці даних
– за середнім ресурсом

$$\Delta_T = \frac{|519 - 534|}{519} \cdot 100\% = 2,9\% ;$$

за 80%-му ресурсу

$$\Delta_{t_{80}} = \frac{|240 - 261|}{240} \cdot 100\% = 8,8\% .$$

З отриманих результатів випливає, що при скороченні тривалості випробувань у середньому на 24% вдалося оцінити показники довговічності випробовуваних деталей з досить високою точністю.

Практична робота № 8 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РЕМОНТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета заняття: оволодіння методикою оцінки надійності технічних об'єктів, для яких передбачено ремонт.

Об'єкт, для якого проведення ремонтів передбачено в нормативно-технічній або конструкторській документації, називається таким, що підлягає ремонту.

Для ремонтів об'єктів знаходять застосування наступні показники надійності:

- середній наробіток на відмову T_o ;
- середній час відновлення працездатного стану T_g ;
- коефіцієнт готовності K_g .

Перший показник надійності характеризує безвідмовність об'єкта і може бути визначений як відношення повної тривалості роботи об'єкта $\sum_{i=1}^{n_o} t_{oi}$ до повної кількості зареєстрованих відмов n_o

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} t_{oi}}{n_o}; \quad (8.1)$$

Другий показник характеризує ремонтнопридатність об'єкта; його визначають як відношення сумарного часу, затраченого на відновлення $\sum_{i=1}^{n_o} t_{gi}$, до загального числа відновлень, чисельно рівних кількості виниклих відмов n_o

$$T_g = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{gi}}{n_o} . \quad (8.2)$$

Коефіцієнт готовності K_2 – комплексний показник надійності. Він кількісно характеризує властивості як безвідмовності об'єкта, так і ремонтпридатності, і визначається як імовірність того, що об'єкт виявиться в працездатному стані в довільний момент часу

$$K_2 = \frac{T_o}{T_o + T_g} . \quad (8.3)$$

Надійність машини, як системи, залежить від її структури. Більшість машин і агрегатів – це системи з послідовною структурою, при якій відмова системи настає в випадку відмови будь-якого її елемента. Вид такої структури з трьох елементів представлений на рис. 8.1. У цьому випадку говорять про послідовне з'єднання елементів у системі, а імовірність безвідмовної роботи системи при незалежних відмовах елементів визначають за формулою

$$R_c = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 , \quad (8.4)$$

де R_1, R_2, R_3 – імовірності безвідмовної роботи елементів.

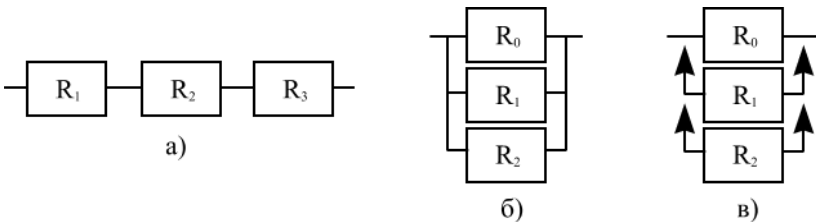


Рис. 8.1. Структурні схеми з трьох елементів:
а) послідовне з'єднання; б) паралельне з'єднання (постійне резервування); в) резервування заміщенням

У випадку незалежності відмов імовірність без відмовної роботи системи з паралельним з'єднанням трьох елементів (рис. 8.1, б) визначається за формулою

$$R_c = 1 - (1 - R_0) \cdot (1 - R_1) \cdot (1 - R_2), \quad (8.5)$$

де R_0 , R_1 , і R_2 – імовірності безвідмовної роботи основного і резервного елементів.

В мобільних машинах постійне резервування використовується значно рідше, ніж резервування заміщенням. При резервуванні заміщенням середній наробіток до відмови системи, що складається з одного основного (працюючого) і K таких же резервних елементів, визначається за формулою

$$T_c = (1 + K) \cdot T_e, \quad (8.6)$$

де T_e – середній наробіток до відмови елемента.

Середнє квадратичне відхилення σ_c наробітку до відмови цієї системи визначається з виразу

$$\sigma_c = \sigma_e \cdot \sqrt{1 + K}, \quad (8.7)$$

де σ_e – середнє квадратичне відхилення наробітку до відмови елемента.

З (8.6) і (8.7) випливає, що коефіцієнти варіації наробітку до відмови системи v_c і елемента v_e при резервуванні заміщенням зв'язані співвідношенням

$$v_c = \frac{v_e}{\sqrt{1 + K}}. \quad (8.8)$$

При розподілі наробітку до відмови системи по закону Вейбулла його параметр форми b_c однозначно визначається величиною коефіцієнта варіації v_c . Ця залежність при

$0,1 < v_c < 1$ з достатньою для практичного використання точністю описується наближеним виразом

$$b_c = \frac{1,126}{v_c} + \frac{0,011}{v_c^2} - 0,137, \quad (8.9)$$

звідки (з врахуванням 8.8) випливає, що

$$b_c = \frac{1,126}{v_e} \sqrt{1+K} + \frac{0,011}{v_e^2} (1+K) - 0,137. \quad (8.10)$$

Параметр масштабу розподілу наробітку до відмови системи, виходячи з (8.6) визначається за формулою

$$a_c = \frac{T_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)} = \frac{(1+K) \cdot T_e}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}. \quad (8.11)$$

При зроблених припущеннях імовірність безвідмовної роботи системи з одного працюючого і K резервних (запасних) елементів, що включаються послідовно в роботу при настанні відмови на заданому інтервалі наробітку T , визначається з виразу

$$R_c(T) = \exp\left\{-\left[\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}{T_e(1+K)}\right]^{b_c}\right\}. \quad (8.12)$$

у якому параметр b_c визначається за формулою (8.10).

Імовірність безвідмовної роботи елемента $R_e(T)$ на інтервалі T можна також визначати за формулою (8.12). Поклавши в ній $K=0$, одержимо вираз

$$R_e(T) = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{b_e} \right)}{T_e} \right]^{b_e} \right\}. \quad (8.13)$$

в якому параметр форми b_e відповідно до (8.10) визначається за формулою

$$b_e = \frac{1,126}{v_e} + \frac{0,011}{v_c^2} - 0,137. \quad (8.14)$$

Величина $R_c(t)$ визначає імовірність того, що за період T не наступить стан, при якому подальше відновлення працездатності системи стане вже неможливим через відсутність резервних елементів. Імовірність того, що в будь-який момент часу система не буде знаходитися в стані відновлення при наявності резервних елементів, визначається величиною коефіцієнта готовності K_z .

Імовірність того, що ще не витрачені резервні елементи і система не знаходиться в стані відновлення, визначається добутком зазначених вище імовірностей і є комплексним показником надійності резервованих способом заміщення систем, що називають коефіцієнтом оперативної готовності $K_{oz}(T)$

$$K_{oz}(T) = K_z \cdot R_c(T). \quad (8.15)$$

Величина цього показника відповідає заданому інтервалу часу роботи T , зі збільшенням якого коефіцієнт оперативної готовності монотонно зменшується. З його допомогою можна визначити середнє число працездатних машин до кінця періоду T

$$N_p(T) = N \cdot K_{oz}(T),$$

де N – загальна кількість машин.

Послідовність розв’язування задачі.

Вихідні статистичні дані про наробіток між відмовами t_i і часу відновлення t_{ei} системи (машини), що складається з трьох умовних елементів (агрегатів) з послідовним з’єднанням (рис. 8.1. а) вибирають з табл. 8.1. Вони повинні містити задану кількість наробітків системи між відмовами t_i , і таку ж кількість значень часу відновлення t_{ei} .

Далі, використовуючи обрані статистичні дані, за формулами (8.1), (8.2) і (8.3) визначають показники надійності системи: середній наробіток на відмову T_0 , середній час відновлення T_e , і коефіцієнт готовності K_2 . Коефіцієнт готовності K_2 припускає можливість необмеженого числа відновлень (або запасних елементів).

Таблиця 8.1

Статистичні дані про наробітки між відмовами і часу відновлення системи

№ з/п	Наробіток між відмовами t_{oi} , годин					Час відновлення t_{ei} , годин				
	0	41	20	97	104	53	2,1	2,4	8,6	5,6
1	88	76	302	176	12	6,3	7,0	2,3	2,8	8,2
2	34	84	168	28	96	5,5	3,6	7,0	5,0	3,7
3	205	72	28	136	173	3,4	5,4	10,2	3,3	4,7
4	44	80	35	192	306	2,5	5,6	6,4	6,9	7,7
5	67	224	111	260	79	1,3	3,4	10,2	2,2	3,9
6	93	224	319	188	56	1,9	4,9	2,8	5,8	12,1
7	133	216	107	32	39	7,5	3,4	9,4	1,5	11,0
8	84	360	148	248	16	3,5	1,1	13,4	3,9	8,7
9	37	112	49	196	201	6,6	1,8	1,6	11,6	5,4

На наступному етапі проводять оцінку надійності

системи на заданий період часу T у випадку, коли число можливих відновлень обмежено кількістю наявних резервних елементів. Вихідні дані для такої оцінки вибирають з табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Вихідні дані про надійність об'єктів

№ з/п	Коефіцієнти варіації наробітку до відмови			Середні наробітки до відмови, годин		
	v_{e1}	v_{e2}	v_{e3}	T_{e1}	T_{e2}	T_{e3}
0	0,4	0,5	0,6	200	500	300
1	0,5	0,4	0,7	400	200	300
2	0,6	0,5	0,8	500	400	200
3	0,4	0,7	0,5	200	300	500
4	0,5	0,8	0,4	400	500	200
5	0,6	0,4	0,7	300	200	400
6	0,4	0,6	0,8	500	300	200
7	0,5	0,6	0,8	300	500	400
8	0,6	0,4	0,5	500	200	400
9	0,8	0,4	0,7	200	400	500

За допомогою цих даних за формулою (8.14) визначають параметри b_{e1} , b_{e2} , b_{e3} , а потім за формулою (7.13) для заданого періоду $T = 100$ годин визначають імовірності безвідмовної роботи елементів системи $R_{e1}(T)$, $R_{e2}(T)$, $R_{e3}(T)$ і за формулою (8.4) – імовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи $R_{nc}(T)$.

Потім з урахуванням знайдених значень $R_{e1}(T)$, $R_{e2}(T)$, $R_{e3}(T)$ відбирають найбільш раціональні варіанти (не менше двох) резервування системи заміщенням за допомогою трьох резервних елементів зі схем, приведених на рис. 8.2 таким чином, щоб забезпечити максимальну імовірність

безвідмовної роботи системи. При виборі раціональних варіантів резервування слід розглядати в першу чергу схеми, що забезпечують резервування найменш надійних елементів системи.

Для відібраних варіантів схем, використовуючи формули (8.4) і (8.5), розраховують величини імовірності безвідмовної роботи системи, спочатку вважаючи, що резервні елементи утворюють паралельне з'єднання з основними (постійне резервування). Порівнюючи альтернативні варіанти схем, вибирають остаточний варіант із найбільшою імовірністю безвідмовної роботи системи з постійним резервуванням і потім за формулами (8.10), (8.12) і (8.4) для обраного варіанта схеми резервування визначають імовірність безвідмовної роботи системи $R_c(T)$ при резервуванні заміщенням. Цей показник характеризує надійність системи при миттєвій заміні елементів, що відмовили – резервними.

За формулою (8.15) розраховують коефіцієнт оперативної готовності $K_{oz}(T)$, що враховує реальний час заміни елементів і обмеженість їх числа, і будують графіки зміни $K_{oz}(T)$ і $R_c(T)$ при збільшенні T . За графіком функції $K_{oz}(T)$ визначають період роботи \tilde{T} , що відповідає заданому значенню коефіцієнта оперативної готовності \tilde{K}_{oz} .

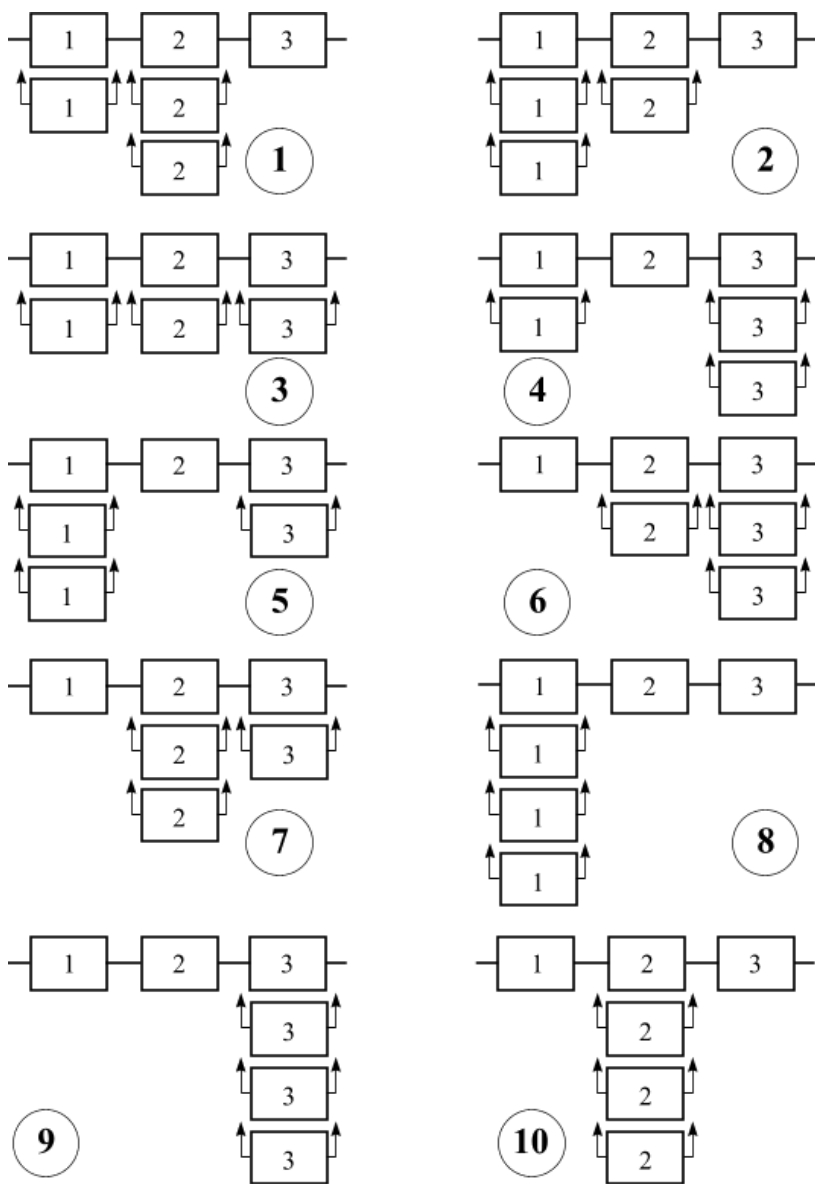


Рис. 8.2. Варіанти резервування елементів у системі

Приклад 4.

Таблиця 8.3

Вихідні дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Наробіток між відмовами t_{oi} , ГОДИН	41	76	168	136	306	67	244	107	248	201	$\sum t_i = 1594$
Час відновлення t_{ei} , ГОДИН	2,1	7,0	5,0	4,7	3,6	3,4	6,9	10,2	5,8	1,8	$\sum t_{ei} = 50,5$

Розв'язок.

Відповідно до формул (8.1), (8.2), (8.3):

- середній наробіток на відмову системи

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_i}{n_o} = \frac{1594}{10} = 159,4 \text{ ГОДИНИ};$$

- середній час відновлення

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{ei}}{n_o} = \frac{50,5}{10} = 5,05 \text{ ГОДИН}$$

Коефіцієнт готовності

$$K_z = \frac{T_o}{T_o + T_e} = \frac{159,4}{159,4 + 5,05} = 0,969.$$

Таблиця 8.4

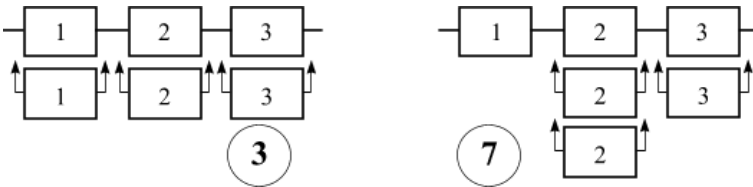
Вихідні дані та результати розрахунків імовірності
безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_e , год	v_e	b_e	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_e}\right)$	$R_e(100)$
1	450	0,5	2,16	0,8856	0,9706
2	200	0,7	1,49	0,9033	0,7364
3	400	0,6	1,77	0,8900	0,9324

Імовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи

$$R_{nc}(100) = 0,9706 \cdot 0,7364 \cdot 0,9324 = 0,6664.$$

Альтернативні варіанти постійного резервування



Імовірність безвідмовної роботи за варіантом 3:

$$R_{C1} = 1 - (1 - 0,9706)^2 = 0,9991;$$

$$R_{C2} = 1 - (1 - 0,7364)^2 = 0,9305;$$

$$R_{C3} = 1 - (1 - 0,9324)^2 = 0,9954;$$

$$R_C^* = 0,9991 \cdot 0,9305 \cdot 0,9954 = 0,9254.$$

Імовірність безвідмовної роботи за варіантом 7:

$$R_{C2} = 1 - (1 - 0,7364)^3 = 0,9817;$$

$$R_C^* = 0,9706 \cdot 0,9817 \cdot 0,9954 = 0,9485.$$

Для варіанту 7, у якого R_C^* вище, розраховуємо імо-

вірність безвідмовної роботи при резервуванні заміщенням.

Для другого елемента при $K=2$ за формулою (8.10) визначаємо параметр форми

$$b_2 = \frac{1,126}{0,7} \sqrt{3} + \frac{0,011}{0,49} \cdot 3 - 0,137 = 2,72.$$

Значення гамма-функції з таблиці (додаток 4)

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,72}\right) = 0,8893.$$

Імовірність безвідмовної роботи з формули (8.12)

$$R_{c_2}(100) = \exp\left\{-\left[\frac{100 \cdot 0,8893}{200 \cdot 3}\right]^{2,72}\right\} = 0,9945.$$

Для третього елемента при $K=1$ маємо

$$b_3 = \frac{1,126}{0,6} \sqrt{2} + \frac{0,011}{0,36} \cdot 2 - 0,137 = 2,58; \quad \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,58}\right) = 0,8879;$$

$$R_{c_2}(100) = \exp\left\{-\left[\frac{100 \cdot 0,8879}{400 \cdot 2}\right]^{2,58}\right\} = 0,9966.$$

Імовірність безвідмовної роботи системи при $T = 100$ годин

$$R_c(100) = 0,9706 \cdot 0,9945 \cdot 0,9966 = 0,962.$$

Коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{oz}(100) = 0,969 \cdot 0,962 = 0,9322.$$

Величини R_c і K_{oz} при значеннях $T = 150$ годин і $T = 200$ годин розраховуємо аналогічно і заносимо в табл. 8.5.

Таблиця 8.5

Результати розрахунків R_c і K_{oz} до прикладу

T , ГОД	0	100	150	200
R_{c1}	1	0,9706	0,9308	0,8751
R_{c2}	1	0,9945	0,9834	0,9640
R_{c3}	1	0,9966	0,9903	0,9796
R_c	1	0,9620	0,9065	0,8264
K_{oz}	0,969	0,9322	0,8784	0,8008

Будуємо графіки R_c і K_{oz} у функції T та визначаємо період роботи, що відповідає заданому значенню $\tilde{K}_{oz} = 0,9$: $T = 130$ год (рис. 8.3). На графіку наносимо постійний рівень $K_c = 0,969$.

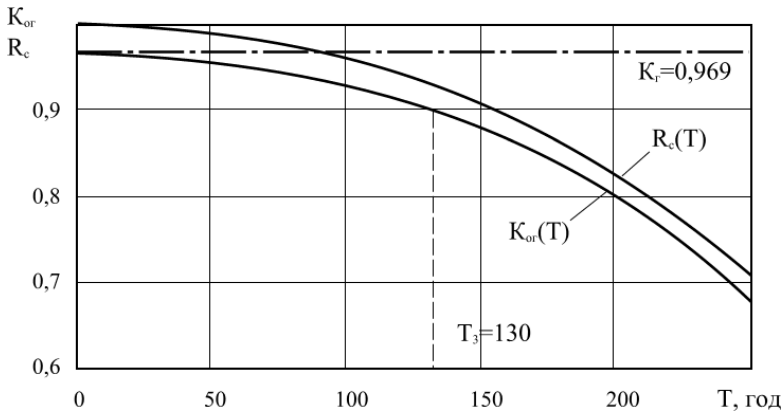


Рис. 8.3. Графіки імовірності безвідмовної роботи системи і коефіцієнта оперативної готовності.

Одержані показники комплексно характеризують надійність системи, що ремонтується.

При виконанні практичної роботи вибрати вихідні дані з таблиць 8.1 і 8.2 (по рядках) і використовувати варіанти резервування з рис. 8.2.

9. Рекомендації до виконання самостійної роботи

Розподіл годин самостійної роботи для здобувачів освіти денної форми навчання:

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

25 годин (0,5 год./1,0 год. лекції та практичних занять) – опрацювання лекційного матеріалу, підготовка до практичних занять;

30 годин (6 год/1 кредит ECTS) – підготовка до контрольних заходів;

45 годин – підготовка питань, які не розглядаються під час аудиторних занять.

опрацювання окремих тем програми або її частин, які не розглядаються на лекціях – $100-25-30=45$ год.

Всього: 100 годин

№	Назва теми	Кількість годин
Змістовний модуль №1		
1	Вступ. Технічний стан машин і його зміна в процесі експлуатації	3
2	Характеристика прогресивних технологій технічного сервісу	4
3	Інформаційні та інтелектуальні технології діагностики машин	4
4	Загальна характеристика технологічних процесів забезпечення роботоздатності і справності машин	4
5	Діагностування двигунів, агрегатів систем і механізмів машин	5
Змістовний модуль 2		
6	Концепція прогнозування ресурсу машин і обладнання	6
7	Основні способи відновлення деталей машин та обладнання	5
8	Методи аналізу експлуатаційної надійності машин та їх технічних станів	5
9	Організація виробничої діяльності підприємства, управління та оптимізація матеріальних потоків	5

10	Комплексна оцінка ефективності сервісного обслуговування та ремонту машин	5
	Всього	45

Оцінка рівня освоєння здобувачами освіти питань, які виносяться на самостійне опрацювання проводиться на модульних контролях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробнича експлуатація і ремонт машин та обладнання : навч. посіб. / Романюк В. І., Гавриш В.С., Хітров І. О., Кононов Ю. А., Голотюк М. В., Тхорук Є. І. Рівне : НУВГП, 2016. 290 с.
2. Дослідження експлуатаційних властивостей машин і обладнання. Практикум : навч. посібн. / О. О. Налобіна, М. В. Голотюк, О. З. Бундза, Д. Л. Серілко, В. С. Гавриш. (Електронне видання). Рівне : НУВГП, 2023. 414 с.
3. Ружицький М. А., Рябець В. І., Кіяшко В. М. Експлуатація машин і обладнання : навчальний посібник. К. : Аграрна освіта, 2010. 617 с.
4. Експлуатація та обслуговування машин / В. М. Кравченко, А. О. Іщенко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукін. Донецьк : Донбас, 2014. 543 с.
5. Водяник І. І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. К. : Урожай, 1994. 224 с.
6. Ільченко В. Ю., Карасьов П. І., Лімонт А. С. Довідник експлуатації машинно-тракторного парку. К. : Урожай, 1987. 388 с.
7. Гранкін С. Г., Малахів В. С., Черновол М. І., Черкну В. Ю. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник. Київ : «Урожай», 1998. 205 с.
8. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
9. Анілович В. Я., Грінченко О. С., Литвиненко В. Л. Надійність машин в завданнях та прикладах. Харків : Око, 2001. 320 с.
10. Клімов С. В. Теорія експлуатаційної надійності машин в задачах та прикладах : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008, 142 с.

Додаток 1

Річне розподілення днів з несприятливими метеорологічними факторами в різних температурних зонах країни (для навчальних цілей)

№ з/п	Розподіл областей за температурними зонами	Несприятливі фактори	Середнє число днів з несприятливими факторами				
			за кварталами року				Всього за рік
			I	II	III	IV	
1.	Одеська область	Вітер Дощ Промерзання ґрунту	12,3 0,9 59	6,8 2,8 -	3,9 2,9 -	8,4 2,5 -	31,4 9,1 59
2.	Львівська область	Вітер Дощ Промерзання ґрунту	13 0,5 59	5,1 6,0 -	3,1 7,1 -	11,3 1,9 41	32,5 15,5 100
3.	Миколаївська область	Вітер Дощ Промерзання ґрунту	15,9 0,5 59	10,7 3,3 -	6,3 3,4 -	11,3 2,3 -	44,2 9,5 59
4.	Харківська область	Вітер Дощ Промерзання ґрунту	18,7 1,2 75	13,2 4,3 -	6,9 4,7 -	15,9 2,8 51	54,7 13,0 126

Додаток 2

Норми періодичності і тривалості ТОіР машин (для навчальних цілей))

Вид машини	Вид ТО і ремонту	Періодичність виконання ТО і ремонтів, мото-год.	Число ТО і ремонтів в одному ремонтному циклі	Тривалість одного ТО і ремонту, робочі дні
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Одноковшові екскаватори з гідравлічним приводом				
На базі пневмоколісного трактора з місткістю ковша 0,25 м ³	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	7,0
	К	5760	1	11,0
<u>На пневмоколісному ході:</u> третьої розмірної групи, з місткістю ковша 0,4-0,65 м ³	ТО-1	60	96	0,2
	ТО-2	240	24	0,6
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	8	8,0
	К	7680	1	17,0
<u>На гусеничному ході:</u> четвертої розмірної групи, з місткістю ковша 0,65-1,25 м ³	ТО-1	60	108	0,2
	ТО-2	240	27	0,7
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	8	9,0
	К	8640	1	20,0

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
п'ятої розмірної групи, з місткістю ковша 1,25-2 м ³	ТО-1	100	80	0,5
	ТО-2	500	10	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т	1000	9	11
	К	10000	1	27
шостої розмірної групи, з місткістю ковша 1,6-3,2 м ³	ТО-1	100	80	0,6
	ТО-2	500	10	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т	1000	9	14
	К	10000	1	32
Багатоківшеві екскаватори				
Траншейні ланцюгові з глибиною копання: до 1,6 м	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	4,0
	К	5760	1	8,0
Траншейні ланцюгові з глибиною копання: 1,7-2,0 м	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	4,0
	К	5760	1	11,0

продовження додатку 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Траншейні ланцюгові з глибиною копання: 2,5 м та більше	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	5,0
	К	5760	1	15,0
Траншейні роторні з глибиною копання: до 1,6 м	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	11,0
	К	5760	1	24,0
Траншейні роторні з глибиною копання: 1,7...2,0 м	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	13,0
	К	5760	1	26,0
Траншейні роторні з глибиною копання: більше 2 м	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	15,0
	К	5760	1	27,0

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Стрілові автомобільні крани				
Вантажопідйомність: 4 т	ТО-1	50	80	0,2
	ТО-2	250	15	1,0
	СТО	2 рази	на рік	0,5
	Т	1000	4	6,0
	К	5000	1	13,0
Вантажопідйомність: 6,3 т	ТО-1	50	80	0,2
	ТО-2	250	15	1,0
	СТО	2 рази	на рік	0,5
	Т	1000	4	7,0
	К	5000	1	19,0
Вантажопідйомність: 10 т	ТО-1	50	80	0,3
	ТО-2	250	15	1,0
	СТО	2 рази	на рік	0,5
	Т	1000	4	8,0
	К	5000	1	21,0
Вантажопідйомність: 16 т	ТО-1	50	80	0,3
	ТО-2	250	15	1,0
	СТО	2 рази	на рік	0,5
	Т	1000	4	9,0
	К	5000	1	23,0

продовження додатку 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Стрілові пневмоколісні крани				
Вантажопідйомність: 16 т	ТО-1	60	60	0,3
	ТО-2	240	15	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	4	9
	К	4800	1	29
Вантажопідйомність: 25 т	ТО-1	60	72	0,4
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	11
	К	5760	1	29
Вантажопідйомність: 40 т	ТО-1	60	72	0,4
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	14
	К	5760	1	31
Вантажопідйомність: 63 т	ТО-1	60	84	0,4
	ТО-2	240	21	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	6	16
	К	6720	1	34

продовження додатку 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Вантажопідйомність: 100 т	ТО-1	60	84	0,5
	ТО-2	240	21	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	6	18
	К	6720	1	37
Стрілові гусеничні крани				
Вантажопідйомність: 10 т	ТО-1	60	60	0,3
	ТО-2	240	15	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	4	9
	К	4800	1	23
Вантажопідйомність: 16 т	ТО-1	60	60	0,3
	ТО-2	240	15	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	4	10
	К	4800	1	29

продовження додатку 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Вантажопідйомність: 25 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	13
	К	5760	1	34
Вантажопідйомність: 40 т	ТО-1	60	72	0,4
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	15
	К	5760	1	32
Вантажопідйомність: 63 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	13
	К	5760	1	34

Бульдозери				
На базі пневмоколісного трактора класу 1,4 т	ТО-1	60	72	0,1
	ТО-2	240	18	0,5
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	4
	К	5760	1	9
На базі гусеничного трактора тягового класу 3т	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	6,0
	К	5760	1	12,0
На базі гусеничного трактора тягового класу 10	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	7,0
	К	5760	1	14,0
На базі гусеничного трактора тягового класу 4т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	8
	К	5760	1	14

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Скрепери				
Причіпні з ковшем місткістю: 3...5 м ³ , з трактором тягового класу 3 т, (ДТ-75)	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	0,6
	СО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	6,0
	К	5760	1	12,0
Причіпні з ковшем місткістю 8 м ³ , з трактором тягового класу 10 т, (Т-130)	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1,0
	СО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	7,0
	К	5760	1	13,0
Причіпні з ковшем місткістю 10 м ³ , з трактором тягового класу 15 т, (Т-180 і Т-180Г)	ТО-1	60	72	0,4
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	9
	К	5760	1	18
Причіпні з ковшем міст- кістю: 15 м ³ , з трактором тягового класу 25 т	ТО-1	100	48	0,5
	ТО-2	500	6	1
	СО	2 рази	на рік	3
	Т і ТО-3	1000	5	14
	К	6000	1	32

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Грейдери				
Причіпні з трактором тягового класу 3 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	0,8
	СТО	2 рази	на рік	2,0
	Т і ТО-3	960	5	6,0
	К	5760	1	14,0
Причіпні з тракторами класу 10 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	8
	К	5760	1	15
Автогрейдери				
Легкого типу	ТО-1	60	84	0,2
	ТО-2	240	21	0,7
	СТО	2 рази	на рік	2,0
	Т і ТО-3	960	6	4,0
	К	6720	1	7,0
Середнього типу	ТО-1	60	84	0,3
	ТО-2	240	21	0,7
	СТО	2 рази	на рік	2,0
	Т і ТО-3	960	6	5,0
	К	6720	1	7,0

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Планувальники				
3 трактором тягового класу: 3 т	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,7
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	6,0
	К	5760	1	13,0
3 трактором тягового класу: 10 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1,0
	СТО	2 рази	на рік	2,0
	Т і ТО-3	960	5	7,0
	К	5760	1	14,0
Корчувачі і кущорізи				
Навісні на базі трактора тягового класу: 3	ТО-1	60	60	0,2
	ТО-2	240	15	0,5
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	4	6,0
	К	4800	1	13
Навісні на базі трактора тягового класу: 10 т	ТО-1	60	60	0,2
	ТО-2	240	15	0,8
	СТО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	4	7,0
	К	4800	1	14,0

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Навісні на базі трактора тягового класу: 15 т	ТО-1	60	60	0,3
	ТО-2	240	15	1
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	4	8
	К	4800	1	18
Канавокопачі				
З тракторами класу 10 т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	0,9
	СО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	7
	К	5760	1	15
З тракторами класу 15 т	ТО-1	60	72	0,4
	ТО-2	240	18	0,9
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	8
	К	5760	1	18
З тракторами класу 25 т	ТО-1	100	48	0,4
	ТО-2	500	6	1
	СО	2 рази	на рік	3
	Т і ТО-3	1000	5	14
	К	6000	1	32

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
Гусеничні трактори				
ДТ-75М	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	1,0
	Т і ТО-3	960	5	6,0
	К	5760	1	12
Т-130	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,8
	СТО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	7,0
	К	5760	1	13
Т-4, Т-4М	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,8
	СТО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	7
	К	5760	1	14
Т-140, Т-180 і Т-180Г	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1
	СТО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	8
	К	5760	1	17

продовження додатку 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
ДЭТ-250, ДЭТ-250М	ТО-1	100	48	0,3
	ТО-2	500	6	1,0
	СТО	2 рази	на рік	3,0
	Т і ТО-3	1000	5	12,0
	К	6000	1	30
Трактори пневмоколісні				
Т-40 і Т-40А	ТО-1	60	72	0,1
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	0,5
	Т і ТО-3	960	5	3
	К	5760	1	7
“Беларусь” і ЮМЗ всіх модефікацій	ТО-1	60	72	0,1
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	0,7
	Т і ТО-3	960	5	4
	К	5760	1	8
Т-150 і Т-150К	ТО-1	60	72	0,1
	ТО-2	240	18	0,5
	СТО	2 рази	на рік	0,8
	Т і ТО-3	960	5	6
	К	5760	1	11

продовження додатку 2

1	2	3	4	5
К-700, К-701 і К-702	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,5
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	6
	К	5760	1	14
Котки				
Причіпні, легкі, кулачкові, статичні з тракторами класу 3 т	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	0,5
	СО	2 рази	на рік	1
	Т і ТО-3	960	5	6
	К	5760	1	12
Причіпні, легкі, кулачкові, статичні з тракторами класу 10 т	ТО-1	60	72	0,2
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	1,5
	Т і ТО-3	960	5	7
	К	5760	1	13
Причіпні, легкі, кулачко- ві, статичні з тракторами класу 15т	ТО-1	60	72	0,3
	ТО-2	240	18	1
	СО	2 рази	на рік	2
	Т і ТО-3	960	5	8
	К	5760	1	17

Додаток 3

Квантиль порядку β нормального розподілу випадкової величини

U_β

β	U_β	β	U_β	β	U_β
0,50	0	0,68	0,486	0,86	1,080
0,51	0,025	0,69	0,496	0,87	1,126
0,52	0,050	0,70	0,524	0,88	1,175
0,53	0,075	0,71	0,553	0,89	1,226
0,54	0,100	0,72	0,583	0,90	1,282
0,55	0,126	0,73	0,613	0,91	1,341
0,56	0,151	0,74	0,643	0,92	1,405
0,57	0,176	0,75	0,674	0,93	1,476
0,58	0,202	0,76	0,706	0,94	1,555
0,59	0,228	0,77	0,739	0,95	1,645
0,60	0,253	0,78	0,772	0,96	1,751
0,61	0,279	0,79	0,806	0,97	1,888
0,62	0,306	0,80	0,842	0,975	1,960
0,63	0,332	0,81	0,878	0,98	2,054
0,64	0,358	0,82	0,915	0,99	2,326
0,65	0,385	0,83	0,954	0,995	2,572
0,66	0,412	0,84	0,994	0,999	3,100
0,67	0,440	0,85	1,036		

Додаток 4

Значення гамма-функції $\Gamma(x)$

X	$\Gamma(x)$	X	$\Gamma(x)$	X	$\Gamma(x)$	X	$\Gamma(x)$
1,00	1,00	1,23	0,91	1,46	0,89	1,69	0,91
1,01	0,99	1,24	0,91	1,47	0,89	1,70	0,91
1,02	0,99	1,25	0,91	1,48	0,89	1,71	0,91
1,03	0,98	1,26	0,90	1,49	0,89	1,72	0,91
1,04	0,98	1,27	0,90	1,50	0,89	1,73	0,92
1,05	0,97	1,28	0,90	1,51	0,89	1,74	0,92
1,06	0,97	1,29	0,90	1,52	0,89	1,75	0,92
1,07	0,96	1,30	0,90	1,53	0,89	1,76	0,92
1,08	0,96	1,31	0,90	1,54	0,89	1,77	0,92
1,09	0,96	1,32	0,90	1,55	0,89	1,78	0,93
1,10	0,95	1,33	0,89	1,56	0,89	1,79	0,93
1,11	0,95	1,34	0,89	1,57	0,89	1,80	0,93
1,12	0,94	1,35	0,89	1,58	0,89	1,81	0,93
1,13	0,94	1,36	0,89	1,59	0,89	1,82	0,94
1,14	0,94	1,37	0,89	1,60	0,89	1,83	0,94
1,15	0,93	1,38	0,89	1,61	0,90	1,84	0,94
1,16	0,93	1,39	0,89	1,62	0,90	1,85	0,95
1,17	0,93	1,40	0,69	1,63	0,90	1,86	0,95
1,18	0,92	1,41	0,89	1,64	0,90	1,87	0,95
1,19	0,92	1,42	0,89	1,65	0,90	1,88	0,96
1,20	0,92	1,43	0,89	1,66	0,90	1,89	0,96
1,21	0,92	1,44	0,89	1,67	0,90	1,90	0,96
1,22	0,91	1,45	0,89	1,68	0,91	1,91	0,97
1,92	0,97	1,96	0,98	2,00	1,00	4,00	6,00
1,93	0,97	1,97	0,99	2,50	1,33		
1,94	0,98	1,98	0,99	3,00	2,00		
1,95	0,98	1,99	0,99	3,50	3,32		