3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ

Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU
http://nv.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/40290118
Article received 28.01.2019 p.
Article accepted 28.02.2019 p.
УДК 621.891

ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@ Correspondence author
V. V. Shostak
vladimir.shostak@gmail.com

В. В. Шостак, Л. Д. Загвойська, Р. В. Павлюк
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕХОВОЇ СЛУЖБИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ

Представлено подальший розвиток методики оптимізації характеристик цехової служби технічного обслуговування деревообробного обладнання. Теоретичною основою слугує теорія масового обслуговування. Потік відмов деревообробного обладнання розглянуто як однорідний, стаціонарний, без післядії. Такий потік називають найпростішим або пуасонівським. Цехову службу технічного обслуговування обладнання розглянуто як систему масового обслуговування, прийнявши, що інтенсивність відмов та інтенсивність обслуговування є постійними величинами. За відомими з теорії масового обслуговування залежностями визначено: середню довжину черги на обслуговування M_o; середню кількість замовлень $N_з$; середня кількість вільних робітників N_o; коефіцієнт простою робітників K_o; коефіцієнт простою замовлень $K_{oз}$; коефіцієнт зайнятості робітників $K_з$. За мету оптимізації прийнято мінімум простоїв обладнання. За функцію мети оптимізації прийнято суму протилежних за характером зміни складових $F = M_o + N_з + N_o \rightarrow \min$. Встановлено залежності характеристик функціонування цехової служби технічного обслуговування від кількості робітників бригади ремонтників. Дослідження функції мети на екстремум дає змогу визначити оптимальну чисельність робітників. Приклад розрахунку наведено для меблевого цеху на 25 одиниць обладнання.

Ключові слова: теорія масового обслуговування; деревообробка; верстат; ремонт; оптимізація; функція мети; приклад розрахунку.

Вступ. Від чисельності ремонтників деревообробного цеху залежить тривалість простоїв обладнання, зайнятість робітників і витрати на технічне обслуговування. Керівники навіть не здогадуються, що оптимальне управління ремонтною службою дає змогу отримати додаткові прибутки (Borisov, 1978). Теоретичною основою для оптимізації характеристик функціонування ремонтної служби є теорія масового обслуговування (ТМО) (Lozhkovskyi, 2010). Наявна методика розрахунку чисельності робітників ремонтників виробничих цехів не дає змоги вибирати оптимальний варіант (Kliagin & Sabirov, 1988). Перші спроби розглянути цю задачу на засадах теорії масового обслуговування зроблено у роботах (Dudiuk & Zahvoiska, 2003; Shostak, 2000). На жаль, питання оптимізації там не було навіть порушено.

Викладення основного матеріалу. Цехову службу технічного обслуговування обладнання розглядають як замкнену систему масового обслуговування. Для розрахунку використовують відомі з теорії масового обслуговування залежності, прийнявши, що інтенсивність відмов та інтенсивність обслуговування є постійними величинами.

Імовірність того, що в системі немає жодного замовлення на обслуговування і всі робітники вільні, визначають за відомою з ТМО формулою

$$P_o = \left[\sum_{k=0}^{n-1} \frac{m! \alpha^k}{k!(m-k)!} + \sum_{k=n+1}^{m} \frac{m! \alpha^n}{n!(m-k) n^{k-n}} \right]^{-1}, \qquad (1)$$

де: n – кількість робітників бригади технічного обслуговування; m – кількість верстатів, що обслуговуються бригадою; k – кількість замовлень у системі обслуговування, для цієї формули $k = 0$; α – середня кількість замовлень, що надходять у систему за час обслуговування одного замовлення, визначають за формулою

$$\alpha = \lambda / \mu ,$$

де: λ – інтенсивність відмов (кількість відмов за одну годину); μ – інтенсивність обслуговування (величина обернена до середньої тривалості обслуговування).

Імовірність того, що в системі знаходиться k замовлень на обслуговування для $1 \le k \le n$

Інформація про авторів:
Шостак Володимир Васильович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри деревообробного обладнання та інструментів. **Email:** vladimir.shostak@gmail.com
Загвойська Людмила Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра екологічної економіки. **Email:** zahvojska@ukr.net
Павлюк Роман Володимирович, канд. техн. наук, ст. викладач, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. **Email:** pavlyuk_roman@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Шостак В. В., Загвойська Л. Д., Павлюк Р. В. Оптимізація характеристик функціонування цехової служби технічного обслуговування деревообробного обладнання. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 1. С. 83–86.
Citation APA: Shostak, V. V., Zahvoyska, L. D., & Pavlyuk, R. V. (2019). Optimization of the Performance Characteristics of Workshop Service of Woodworking Equipment Maintenance. *Scientific Bulletin of UNFU, 29*(1), 83–86. https://doi.org/10.15421/40290118

$$P_k = \frac{m!\alpha^k}{k!(m-k)!} \cdot P_o \qquad (2)$$

для $n < k \le m$ $\quad P_k = \frac{m!\alpha^k}{n!(m-k)!\ n^{k-n}} \cdot P_o$. (3)

Відношення P_k / P_o для $1 \le k \le n$

$$\frac{P_k}{P_o} = \frac{m!\alpha^k}{k!(m-k)!}, \qquad (4)$$

а для $n \le k \le m$ $\quad \frac{P_k}{P_o} = \frac{m!\alpha^k}{n!(m-k)!\ n^{k-n}}$. (5)

Середня довжина черги (кількість замовлень, що очікують на початок обслуговування)

$$M_o = \sum_{k=n+1}^{\infty} (k-n) \cdot P_k. \qquad (6)$$

Середня кількість замовлень, що знаходяться в обслуговуючій системі (обслуговуються і чекають на обслуговування)

$$N_3 = \sum_{k=1}^{m} k \cdot P_k. \qquad (7)$$

Середня кількість вільних робітників

$$N_o = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) \cdot P_k. \qquad (8)$$

Коефіцієнт зайнятості

$$K_3 = \frac{N_o}{n}. \qquad (9)$$

Коефіцієнт простою

$$K_o = \frac{N_o}{n} = 1 - K_з. \qquad (10)$$

Коефіцієнт зайнятості

$$K_з = 1 - K_o\ . \qquad (11)$$

Коефіцієнт простою замовлень

$$K_{оз} = \frac{M_o}{m}. \qquad (12)$$

Приклад розрахунку. На дільниці меблевого цеху встановлено $m = 25$ одиниць обладнання (верстати й автоматична лінія). Загальна ремонтна складність обладнання цеху дорівнює: $R_м = 448{,}5$ і $R_е = 490{,}6$ ремонтних одиниць. Цех працює в одну зміну із завантаженням на 85 %. Напрацювання на відмову однієї одиниці обладнання – в середньому 85 год. Тривалість усунення однієї відмови – в середньому 30 хв. Визначити необхідну кількість робітників ремонтників для виконання технічного обслуговування обладнання і розрахувати ефективність функціонування цехової служби технічного обслуговування.

1. Необхідну кількість робітників n_p для виконання міжремонтного технічного обслуговування визначають за формулою

$$n_p = V_{мо} / F_p\ ,$$

де: F_p – річний фонд робочого часу робітника; $V_{мо}$ – сума трудовитрат на міжремонтне технічне обслуговування, визначаэмо за формулою

$$V_{мо} = \frac{R_м \cdot F_o}{1000} \cdot (\nu_с + \nu_м + \nu_в) + \frac{R_е F_o}{1000} \cdot \nu_е\ ,$$

де: $R_м$ – ремонтна складність механічної частини обладнання; F_o – річний фонд оперативного робочого часу обладнання; $\nu_с, \nu_м, \nu_в, \nu_е$ – норматив трудовитрат для слюсарів, мастильників, верстатників, електрослюсарів, людино-годин на одиницю ремонтної складності за 1000 відпрацьованих год; $R_е$ – ремонтна складність електричної частини обладнання.

$$F_p = 1750 \text{ год},\ F_o = 250 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 0{,}85 = 1700 \text{ год},$$

$$V_{мо} = \frac{448{,}5 \cdot 1700}{1000}(2{,}73 + 1{,}31 + 0{,}73) + \frac{490{,}6 \cdot 1700}{1000} \cdot 1{,}33 = 4746$$

люд. год, $n_p = \frac{4746}{1750} = 2{,}712 \approx 3$.

Приймаємо три робітники.

2. Якщо оперативний фонд роботи обладнання за рік F_o = 1700 год, а напрацювання на відмову T = 85 год, то за рік сподівана кількість відмов Ω буде становити:

$$\Omega = \frac{F_o}{T} \cdot m = \frac{1700}{85} \cdot 25 = 500 \text{ відмов.}$$

Якщо в році 250 змін, то в середньому на одну годину припадає $\lambda = \frac{500}{250 \cdot 8} = 0{,}25$, 1/год.

Інтенсивність обслуговування обладнання визначають за формулою $\mu = \frac{1}{t_{oǂ}} = \frac{1}{0{,}5} = 2{,}0$, 1/год.

3. Середня кількість замовлень, що надходить у систему обслуговування за час виконання одного замовлення $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0{,}25}{2} = 0{,}125$.

4. Розрахунок якості функціонування системи технічного обслуговування обладнання зводимо у таблицю.

У другому стовпці таблиці значення P_k / P_o визначено:

для $k = 0$ $\quad P_o / P_o = 1$;

для $k = 1, 2, 3$ визначено за формулою (3);

для $k = 1$;

$$\frac{P_k}{P_o} = \frac{m!\ \alpha^k}{k!\ (m-k)!} = \frac{24! \cdot 0{,}125}{1 \cdot 24!} = 3{,}125\ ;$$

для $k = 4 \ldots 25$, $\quad P_k / P_o$ визначено за формулою (4).

$$\frac{P_k}{P_o} = \frac{m!\ \alpha^k}{n!(m-k)!\ n^{(k-n)}}\ ,$$

для $k = 4$ $\frac{P_4}{P_o} = \frac{21!\ 22 \cdot 23 \cdot 24 \cdot 25 \cdot 0{,}125^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (25-4)!\ 3^{4-3}} = 4{,}11783$.

Результати розрахунку характеристик функціонування цехової служби технічного обслуговування обладнання наведено у таблиці.

Для розрахунків складено ужиткову програму під назвою "FCSTO". Зазначимо, що для великої кількості обладнання факторіал $m!$ досягає великих значень і в ПЕОМ виникає переповнення. Тому в програмі факторіал обчислюється за допомогою логарифмування.

5. Сума елементів другого стовпчика – це знаменник формули (1)

$$P_o = 1 / 314379 = 0{,}031809\ .$$

Отже, імовірність того, що всі верстати справні і нормально працюють – 0,032. Водночас, це означає імовірність того, що всі три робітники ремонтники 3,2 % свого часу чекають на вихід з ладу верстатів. Проте, це ще не означає, що черги на їх обслуговування ніколи не буде.

Таблиця. Розрахунок характеристик функціонування цехової служби технічного обслуговування обладнання

K	P_k / P_o	P_k	$(k-n)P_k$	$k \cdot P_k$	$(n-k) \cdot P_k$
0	1,000000	0,03180875	-	0,00000000	0,09542624
1	3,125002	0,09940239	-	0,09940239	0,19880480
2	4,687498	0,14910340	-	0,29820690	0,14910340
3	4,492198	0,14289120	0,0000000	0,42867360	0,0000000
4	4,117831	0,13098310	0,13098310	0,52393230	-
5	3,603114	0,11461050	0,22922110	0,57305270	-
6	3,002582	0,09550838	0,28652510	0,57305030	-
7	2,377045	0,07561083	0,30244330	0,52927580	-
8	1,782787	0,05670823	0,28354120	0,45366580	-
9	1,262809	0,04016836	0,24101020	0,36151530	-
10	0,841873	0,02677892	0,18745250	0,26778920	-
11	0,526169	0,01673676	0,13389410	0,18410440	-
12	0,306933	0,00976316	0,08786841	0,11715790	-
13	0,166255	0,00528836	0,05288365	0,06874874	-
14	0,083127	0,00264418	0,02908597	0,03701850	-
15	0,038100	0,00121192	0,01454300	0,01817876	-
16	0,015875	0,00050497	0,00656455	0,00807945	-
17	0,005953	0,00018936	0,00265107	0,00321916	-
18	0,001984	0,00006312	0,00094681	0,00113617	-
19	0,00579	0,00001841	0,00029456	0,00034979	-
20	0,000145	0,00000460	0,00007824	0,00009205	-
21	0,0000301	0,00000096	0,00001726	0,00002014	-
22	0,000005	0,00000016	0,00000304	0,00000352	-
23	0,0000006	0,00000002	0,00000040	0,00000046	-
24	0,0000001	0,00000000	0,00000003	0,00000004	-
25	0,0000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	-
Сума	31,43789	1,000000	1,990007	4,546674	0,4433345

Значення елементів третього стовпчика таблиці одержимо множенням елементів другого стовпчика на величину $P_o = 0,031809$. Сума елементів третього стовпчика, за визначенням імовірності, завжди дорівнює одиниці. Це служить для перевірення правильності розрахунків.

Сума елементів четвертого стовпчика – це формула (6), представляє собою середню кількість верстатів, що очікують на початок обслуговування $M_o = 1,99$.

Тобто в середньому дві одиниці обладнання очікують на технічне обслуговування поки не звільниться хоча би один робітник. Коефіцієнт простою обладнання становить:

$$K_{оз} = \frac{M_o}{m} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 100}{25} = 8.0,\%.$$

Тобто кожен верстат чи автоматична лінія 8 % свого робочого часу буде простоювати, чекаючи на підналагодження й усунення несправностей.

Середня кількість верстатів, що ремонтуються і очікують на ремонти – це сума елементів п'ятого стовпчика $N_з = 4,5467$. Це означає, що в середньому впродовж зміни 4,55 одиниці обладнання зміни не працюють з організаційних причин.

Сума елементів шостого стовпчика $N_o = 0,4433$ показує, що в середньому 0,4433 робітника впродовж зміни не працюють, чекаючи коли вийде з ладу обладнання.

Коефіцієнт простою робітників

$$K_o = \frac{0,4433}{3} \cdot 100 = 14,78,\% .$$

Коефіцієнт зайнятості робітників

$$K_з = 100 - 14,78 = 85,22,\%.$$

Це означає, що тільки 85,22 % робочого часу робітник зайнятий технічним обслуговуванням верстатів.

Аналіз залежностей коефіцієнта простою обладнання в черзі замовлень $K_{оз}$, коефіцієнта простою робітників K_o і коефіцієнта зайнятості робітників $K_з$ від чисельності чергових ремонтників показує, що кількість верстатів у черзі замовлень зі збільшенням чисельності ремонтників різко спадає, але одночасно зростає і відсоток робітників, які простоюють очікуючи на відмову (рис. 1). Зі збільшенням чисельності робітників їх зайнятість різко спадає.

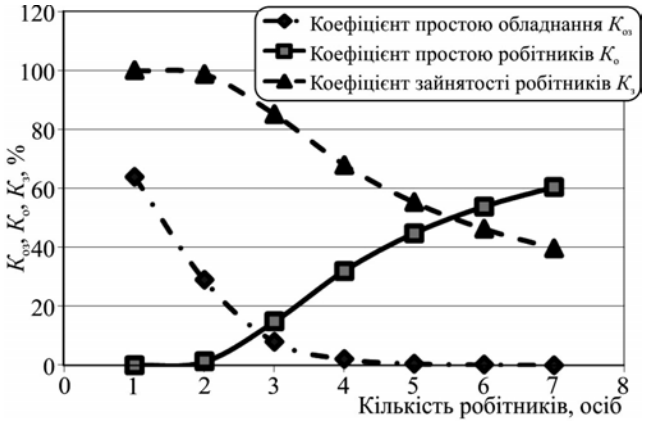

Рис. 1. Залежність коефіцієнта простою обладнання $K_{оз}$, коефіцієнта простою робітників K_o і коефіцієнта зайнятості робітників $K_з$ від чисельності бригади ремонтників

Середня довжина черги верстатів на обслуговування M_o зі збільшенням кількості робітників також різко спадає і зменшується до нуля для чисельності бригади в чотири особи. Середня кількість замовлень спадає від 16 до трьох для чисельності ремонтників чотири особи. Одночасно середня кількість вільних робітників повільно зростає (рис. 2).

Якщо за мету функції оптимізації прийняти мінімум суми цих величин у вигляді

$$F = (M_o + N_3 + N_o) \Rightarrow \min. \qquad (13)$$

Мінімум функція мети досягає для чисельності ремонтників чотири особи (див. рис. 2).

Рис. 2. Залежність параметрів якості функціонування цехової служби технічного обслуговування від чисельності бригади ремонтників

Висновки. Розрахунки показують, що в ремонтній службі меблевого цеху завжди будуть моменти, коли обладнання простоює, чекаючи на технічне обслуговування і завжди будуть випадки, коли робітники будуть вільні не зайняті роботою.

За функцію мети пропонуємо суму величин протилежних за характером зміни складових: середня довжина черги верстатів на технічне обслуговування, середня кількість замовлень, середня кількість вільних робітників.

Нелінійний характер залежності функції мети від характеристик функціонування цехової служби технічного обслуговування дає змогу оптимізувати ці характеристики.

Перелік використаних джерел

Borisov, Iu. S. (1978). Organizatciia remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniia oborudovaniia. Moscow: Mashinostroenie, 360 p. [In Russian].

Dudiuk, D. L., & Zahvoiska, L. D. (2003). Otsinka y eliminuvannia vtrat robochoho chasu v avtomatyzovanykh systemakh derevoobrobnoho vyrobnytstva. Lviv: Panorama, 138 p. [In Ukrainian].

Kliagin, V. I., & Sabirov, F. S. (1988). Tipovaia sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta metallo- i derevoobrabatyvaiushhego oborudovaniia. Minstankoprom SSSR, ENIMS. Moscow: Mashinostroenie, 672 p. [In Russian].

Lozhkovskyi, A. H. (2010). Teoriia masovoho obsluhovuvannia v telekomunikatsiiakh. Odesa: ONAZ im. O. S. Popova, 112 p. [In Ukrainian].

Shostak, V. V. (2000). Montazh, tekhnichne obsluhovuvannia i remont derevoobrobnoho obladnannia. Lviv: UkrDLTU, 298 p. [In Ukrainian].

Takha, Kh. A. (2005). Vvedenie v issledovanie operatcii. (7th ed.). Moscow: Viliams, 912 p. [In Russian].

V. V. Shostak, L. D. Zahvoyska, R. V. Pavlyuk
Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF WORKSHOP SERVICE OF WOODWORKING EQUIPMENT MAINTENANCE

The paper presents the further development of the optimization technique for the workshop service for the maintenance of woodworking equipment. The theoretical basis is the queuing theory. The flow of failures of woodworking equipment is considered as homogeneous, stationary, without aftereffect. Such a flow is called simple or Poisson. The shop service of equipment maintenance is considered as a closed queuing system, assuming that the failure rate and service intensity are constant values. According to the dependencies known from queuing theory, the following variables were determined: the probability that there is not any service order P_o in the system; the average length of the service queue Mo; average number of orders $N_з$; average number of free workers N_o; idle workers ratio; idle order rate of goats; employment rate of workers $K_з$. A computer program was developed for the calculation. Analysis of the performance characteristics of shop service equipment maintenance showed their dependence on the number of a repair team number. The goal of optimization was taken to minimize an equipment downtime. The optimization goal function was assumed as a sum of values contradictive by the nature of their change $F = M_o + N_з + N_o \rightarrow \min$. The dependencies of the performance characteristics of a shop maintenance service on the number of workers in the repair team were identified. Investigation of the goal function on the extremum allowed us to identify the optimal number of workers in the repair team. An example of the calculation is given for a furniture shop for 25 units of woodworking equipment with average repair complexity. The calculations showed that in the repair service of the furniture shop there will always be moments when the equipment is idle while waiting for maintenance and there will always be cases when the workers are free workers, not engaged in operations. The nonlinear nature of the optimized goal function allows us to optimize a number of a repair team.

Keywords: queueing theory; woodworking; machine tool; repair; optimization; goal function; calculation example.