

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ ПІДІЙМАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН МАНІПУЛЯТОРНОГО ТИПУ НА ЛІСОВИХ СКЛАДАХ

Одним з важливих завдань підвищення рівня механізації робіт та впровадження ресурсозбереження на лісових складах різних типів з малим вантажообігом є збільшення ефективності виконання відвантажувальних, штабелювальних, сортувальних і розвантажувальних робіт, а також подачі круглих лісоматеріалів на спеціалізовані потокові лінії для їх перероблення, які формують весь комплекс транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних робіт. Підвищення ефективності виконання транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних робіт на лісових складах з використанням підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу забезпечує вирішення низки народногосподарських завдань: підвищить рівень механізації лісоскладських робіт до 100 %, підвищить статичне навантаження на вагон до 15 %, скоротить час простоїв вагонів на навантажувальних і розвантажувальних складах, підвищить продуктивність робіт на навантаженні і штабелюванні у 1,5-2 рази, скоротить наднормативні запаси сортиментів на лісових складах у 1,5 рази, зменшить загальну площу лісових складів, зменшить до мінімуму випадки виробничого травматизму та ін. Незважаючи на очевидні переваги використання підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу, які обладнані грейферними захоплювачами, для виконання підіймально-транспортних операцій, ці машини на даний час практично не використовуються на лісових складах. Викликана проблема першочергово пов'язана з відсутністю науковообґрунтованої методики визначення продуктивності роботи підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу на лісових складах. Запропоновано, що підвищення ефективності виконання транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних робіт на лісових складах з вантажообігом до 100 тис. м³ можливе за рахунок широкомасштабного впровадження машин маніпуляторного типу, застосування прогресивних технологій і устаткування, адаптованих до нової виробничої ситуації на основі визначення продуктивності роботи підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу для формування режимів їх роботи на лісових складах.

Ключові слова: підіймально-транспортна машина, продуктивність, машина маніпуляторного типу, система масового обслуговування, лісові склади.

Вступ. На показники роботи підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу впливає велика кількість різноманітних факторів, природа більшості з яких носить випадковий характер [1]. Тому вибір теоретичного базису як основи для формування теорії продуктивності роботи підіймально-транспортних машин на лісових складах, що описує поведінку досліджуваного технологічного процесу, повинен виконуватись з врахуванням природи цих факторів [2]. Випадковий характер тимчасових інтервалів надходження лісоматеріалів на сортування, штабе-

¹ Бакай Борис Ярославович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057. Тел.: 032-258-42-62, +38-096-444-87-30. E-mail: bakay_b@yahoo.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8707-9895>

² Рудько Ігор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-42-62, +38-096-397-76-90. E-mail: profnltu@ukr.net

³ Магура Богдан Олексійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-42-62, +38-067-664-19-18. E-mail: magbogdan@yahoo.com

лювання, відвантаження і подачу сортиментів на спеціалізовані технологічні потоки та інтервалів їх оброблення – переміщення їх у штабелі або об'єкти за їхнім призначенням, дають підставу припустити, що досліджуваний виробничий процес може бути апроксимований системою масового обслуговування (СМО), яка включає вхідний потік вимог, що потребує обслуговування і механізм, який здійснює це обслуговування. Для опису поведінки такої системи можуть бути застосовані методи теорії масового обслуговування [3-6]. Відомо, що математичне очікування і коефіцієнт варіації деякої випадкової величини τ , визначеної в позитивній області дійсних чисел, відповідно рівні t і ν , причому $0 \leq \nu \leq 1$. Для апроксимації закону розподілу такої випадкової величини в теорії масового обслуговування використовують розподіл Ерланга K -го порядку E_K [7, 8]. При цьому апроксимація реального розподілу, у найпростішому випадку, може виконуватися двома варіантами розподілу – математичного очікування і коефіцієнта варіації.

Постановка завдання. У виробничому відношенні підйимально-транспортні машини маніпуляторного типу на головній потоковій лінії лісового складу є одноканальною СМО з послідовно розташованим обслуговуючим устаткуванням, що за певних умов перетворює потік поодиноких вимог у потік групових. Відомо, що практично всі операції на лісових складах через вплив на їх виконання різних факторів випадкового характеру функціонують в умовах стохастичної невизначеності [3, 9]. Дослідженнями встановлено, що потоки заявок моделюються узагальненими моделями Ерланга з параметром Ерланга K , який знаходиться в границях $1 \leq K \leq 6$. Вони займають проміжкові положення між експоненціальним розподілом $K = 1$ і виродженим розподілом постійної величини інтервалу поступлень заявок [7, 8]. У нашому випадку пропонується вхідний потік заявок з пріоритетною дисципліною обслуговування і обслуговуванням у випадковому порядку. Середній час очікування заявок буде таким же, як і при обслуговуванні в порядку надходження, але дисперсії часу очікування будуть більшими. Це обумовлено, зокрема для обслуговування з пріоритетною дисципліною тим, що частина заявок, що надійшли останніми, буде очікувати незначний час, у той час як заявки, що потрапили в початок черги, можуть очікувати обслуговування досить довго, тобто збільшується діапазон значень часу очікування відносно середнього значення. Отже, виконання операцій на лісових складах може бути апроксимоване однофазною СМО та на основі чого пропонується підхід для визначення продуктивності підйимально-транспортних машин маніпуляторного типу.

Методи дослідження. Визначення продуктивності роботи підйимально-транспортних машин маніпуляторного типу на лісових складах як СМО залежать від величини співвідношення інтенсивності заявок λ і інтенсивності обслуговування μ . Нехай V_b – середній об'єм однієї вимоги, тоді годинна продуктивність підйимально-транспортної машини складе:
$$\Pi = 3600 \lambda V_b \quad (1)$$

Виразимо значення V_b через об'єм усіх сортиментів, що надійшли на виконання транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних робіт, Q і кількість вимог n_b , що надійшли у СМО або через загальну кількість окремих сортиментів або пачок, сформованих із сортиментів, що надійшли:
$$V_b = Q / n_b \quad (2)$$

Введемо наступні позначення: a_i – частка сортиментів і сорторозмірних груп від об'єму всіх лісоматеріалів, що надійшли; b_i – середній об'єм пачки i -го

сортименту, м³. Тоді загальна кількість пачок, сформованих у буфері кряжувальної естакади за допомогою сортувального лісоконвеєра із всього об'єму круглих лісоматеріалів, що надійшли на сортування, може бути визначена з наступного виразу :

$$n_{\text{в}} = Q \sum_{i=1}^h \left(\frac{a_i}{b_i} \right) \quad (3)$$

де h – кількість сорторозмірних груп лісоматеріалів, причому $\sum a_i = 1$

Згідно [5, 10] для одноканальної СМО, на яку надходить довільний потік заявок з інтенсивністю λ і коефіцієнтом варіації ν_λ , де $0 < \nu_\lambda < 1$, а також з довільним розподілом часу обслуговування із середнім значенням $\bar{t}_{\text{об}} = 1/\mu$ і коефіцієнтом варіації ν_μ , де $0 < \nu_\mu < 1$, точних аналітичних формул одержати не вдається. При цьому годинна продуктивність підйимально-транспортної машини може бути визначена за формулою

$$\Pi = \frac{3600}{\left(1 + \frac{\bar{t} \cdot (\nu_t^2 + \nu_i^2)}{2 \cdot (\bar{\tau} - \bar{t})} \right) \cdot \bar{t}} \cdot \frac{1}{\sum \left(\frac{a_i}{b_i} \right)} \quad (4)$$

Перейдемо від звичайних фізичних величин до величин комплексного типу.

Введемо змінні P, q, Ψ :

$$P = \frac{3600 \cdot q}{t \Pi}, \quad q = 1 / \sum \left(\frac{a_i}{b_i} \right), \quad \Psi = \frac{(\nu_t^2 + \nu_i^2)}{2} \quad (5)$$

Використовуючи співвідношення (5) перетворюємо рівняння (4)

$$P_\eta = 1 + \Psi \left[\frac{\bar{t}}{\bar{\tau} - \bar{t}} \right]. \quad (6)$$

Вираз (6) в узагальненому вигляді описує процес виконання комплексу транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних робіт за допомогою підйимально-транспортної машини. Величина P_η рівняння (6) представляє собою безрозмірну змінну комплексного типу. Безрозмірна продуктивність отримана за допомогою відношення поточної продуктивності до сукупності величин $3600q/t$, еквівалентних її параметричному значенню.

Перший доданок, який введений у першу частину рівняння (6), визначає величину впливу ймовірного характеру технологічного процесу на величину продуктивності модуля. Так наприклад, у випадку детермінованого процесу коефіцієнти варіації ν_t^2 і ν_i^2 рівні нулеві і вираз (6) приймає вид $P_\eta = 1$. Безрозмірна величина P_η може бути інтерпретована як наближена величина відношення технічної продуктивності підйимально-транспортної машини до технічної продуктивності маніпулятора і надалі може використовуватись як міра цих величин.

Результати дослідження. Виконаємо побудову номограми для розрахунку продуктивності підйимально-транспортних машин маніпуляторного типу з одним бінарним (тернарним) полем для рівняння (6).

Задане рівняння можна представити у вигляді канонічної форми Коші

$$f_1(u_1) f_{3,4}(u_3, u_4) + f_2(u_2) \varphi_{3,4}(u_3, u_4) + \psi_{3,4}(u_3, u_4) = 0,$$

$$P_\eta + \Psi \left(- \frac{\bar{t}}{\bar{\tau} - \bar{t}} \right) + (-1) = 0. \quad (7)$$

Тоді $f_{3,4}(u_3, u_4) = 1, \quad \psi_{3,4}(u_3, u_4) = -1$

$$\text{Або} \quad \Pi(\bar{t} - \bar{t}) + \Psi(-\bar{t}) + (-1)(\bar{t} - \bar{t}) = 0. \quad (8)$$

$$\text{Тоді} \quad f_{3,4}(u_3, u_4) = \bar{t} - \bar{t}, \quad \psi_{3,4}(u_3, u_4) = (-1)(\bar{t} - \bar{t})$$

В обох випадках $f_{3,4}(u_3, u_4)$ та $\psi_{3,4}(u_3, u_4)$ лінійно залежні, а тому замість бінарного поля отримаємо лише пряму, кожна точка якої буде відповідати багатьом комбінаціям змінних $\bar{t}$ і $\bar{t}$. З аналізу рівняння (7) і (8) видно, що вираз $\frac{\bar{t}}{\bar{t} - \bar{t}}$ приймає одне значення для багатьох різних пар змінних $\bar{t}$ і $\bar{t}$. Тому виконується побудова складеної номограми: в одній її частині (правій) для змінних $\bar{t}$ і $\bar{t}$ буде визначатись допоміжне значення z , а в іншій (лівій) – це допоміжне значення буде використовуватись разом з Ψ для отримання шуканого значення P_η .

$$\text{Рівняння (7) і (8) можна представити у вигляді} \quad f_3(u_3) = \frac{f_1(u_1)}{f_2(u_2)},$$

$$\text{а саме} \quad P_\eta - 1 = \frac{\Psi}{\frac{\bar{t} - \bar{t}}{\bar{t}}} = \frac{\Psi}{\frac{\bar{t}}{\bar{t}} - 1} \quad (9)$$

$$\text{або, позначивши для зручності допоміжну змінну, } z = \frac{\bar{t} - \bar{t}}{\bar{t}} = \frac{\bar{t}}{\bar{t}} - 1, \quad (10)$$

$$P_\eta - 1 = \frac{\Psi}{z}. \quad (11)$$

Величини значень $\bar{t}$ і $\bar{t}$ зв'язані між собою співвідношенням $\bar{t} \leq \bar{t} \leq 2\bar{t}$ за умовою, тому $\frac{\bar{t}}{\bar{t}} - 1 \leq z \leq \frac{2\bar{t}}{\bar{t}} - 1, \quad 0 \leq z \leq 1.$

$$\text{У рівнянні (11)} \quad f_1(u_1) = \Psi, \quad f_2(u_2) = z, \quad f_3(u_3) = P_\eta - 1.$$

Значення f_1 та f_2 змінюються від нуля при зміні своїх аргументів в заданих границях, крім того, ця номограма входить в якості однієї з елементарних в склад складеної номограми, тому для рівняння (11) будемо “Z-номограму нульового сценарію”. Задамося розмірами: висота $H = 140$ мм, ширина $B = 70$ мм. Тоді масштаб шкали для μ_1 і μ_2 рівний

$$\mu_1 = \frac{H}{u_{1\max} - u_{1\min}} = \frac{140}{1 - 0} = 140, \quad \mu_2 = \frac{H}{u_{2\max} - u_{2\min}} = \frac{140}{1 - 0} = 140.$$

$$\text{Рівняння шкали } u_1 \quad x = 0, \quad y = \mu_1 f_1(u_1), \quad x = 0, \quad y = 140\Psi. \quad (12)$$

Виконаємо побудову шкали u_1 (рис. 1) і нанесемо на неї мітки згідно обраного масштабу з ціною 0,01, а числові позначки проставимо лише на мітках, кратних 0,1. Рівняння шкали $u_2 \quad x = B, \quad y = H - \mu_2 f_2(u_2), \quad x = 70, \quad y = 140 - 140z. (12)$

Будується допоміжна шкала u_2 (див. рис. 1) і наносяться на неї мітки згідно обраного масштабу з ціною 0,1.

$$\text{Рівняння шкали } u_3 \text{ рівне } x = B - \frac{B}{1 + \frac{1}{m} f_3(u_3)}, \quad y = H - \frac{H}{1 + \frac{1}{m} f_3(u_3)},$$

де $m = \frac{\mu_1}{\mu_2}$ – величина співвідношення масштабу.

Так як $m = \frac{1}{1} = 1$, тоді визначимо значення x і y та побудуємо шкалу u_3 (рис.

$$1). \quad x = 70 - \frac{70}{1 + \frac{1}{1} \cdot (P_\eta - 1)} = 70 - \frac{70}{P_\eta}, \quad (13); \quad y = 140 - \frac{140}{1 + \frac{1}{1} \cdot (P_\eta - 1)} = 140 - \frac{140}{P_\eta}. \quad (14)$$

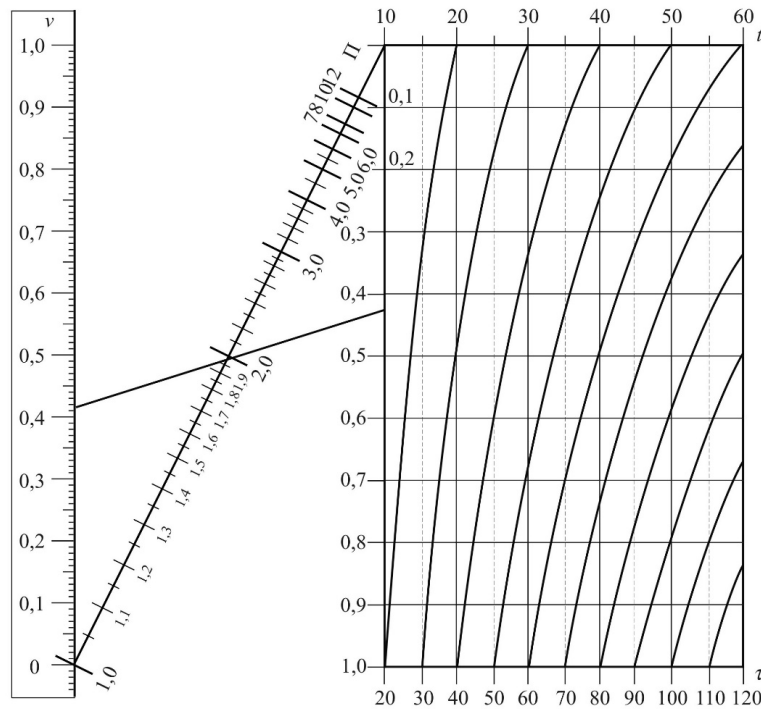


Рис. 1. Номограма визначення продуктивності підйально-транспортної машини

З рівнянь (13) та (14) визначаємо координати x і y для певних значень P_η (табл. 1). Для побудови приймаються значення $1 \leq P_\eta \leq 12$. Оскільки ця шкала нерівномірна, позначки на шкалі проставляються з різною ціною ділень на різних частинах шкали. Виконаний ескіз цієї частини складеної номограми виявився задовільним. Будується сітчаста номограма для змінних $\bar{t}$ і $\bar{\tau}$. За суттю це тернарне поле, оскільки кожній її точці відповідають певні значення трьох змінних z , $\bar{t}$ і $\bar{\tau}$.

Розміри тернарного поля: висота $H = 140$ мм, ширина $L = M - B = 150 - 70 = 80$ мм.

Таблиця 1. Дані для побудови ліній P_η , при $1 \leq P_\eta \leq 12$

P	x	y	P	x	y	P	x	y
1,0	0	0	2,0	35,00	70,00	4,0	52,5	105,0
1,1	6,36	12,73	2,2	38,18	76,36	4,5	54,44	108,89
1,2	11,67	23,33	2,4	40,83	81,67	5,0	56,0	112,00
1,3	16,15	32,31	2,6	43,08	86,15	5,5	57,27	114,55
1,4	20,00	40,00	2,8	45,00	90,00	6,0	58,33	116,67
1,5	23,33	46,67	3,0	46,67	93,33	7,0	60,00	120,00
1,6	26,25	52,50	3,2	48,13	96,25	8,0	61,25	122,50
1,7	28,82	57,65	3,4	49,41	98,82	9,0	62,22	124,44
1,8	31,11	62,22	3,6	50,56	101,11	10,0	63,00	126,00
1,9	33,16	66,32	3,8	51,58	103,16	11,0	63,64	127,27
-	-	-	-	-	-	12,0	64,17	128,33

Масштаб шкали z та її зображення отримано на попередньому кроці.

Масштаб шкали $\bar{t}$:
$$\mu_t = \frac{L}{t_{\max} - t_{\min}} = \frac{80}{60 - 10} = 1,6.$$

Рівняння шкали $\bar{t}$ (в тих координатах, що і в першій частині)

$$x = 70 + 1,6(\bar{t} - 10) = 54 - 1,6\bar{t}, \quad (15)$$

$$y = 140. \quad (16)$$

Будуємо цю шкалу (див. рис. 1) і проставляємо на ній мітки та числові позначки. Для побудови ліній $\bar{t} = \text{const}$ за формулою (10) знаходимо рівняння $z = (\bar{t})$ для кожного значення $\bar{t}$ в інтервалі від 10 до 120. В даному випадку (у прямокутній системі координат) це будуть гіперболи

$$x = 54 + 1,6\bar{t}, \quad (17)$$

$$y = 140 - 140\left(\frac{\bar{t}}{t} - 1\right) = 280 - 140\frac{\bar{t}}{t}. \quad (18)$$

Результати допоміжних розрахунків зведено в табл. 2. Будуються гіперболи за точкам з табл. 2. Шкала $\bar{t}$ розташована у верхній частині номограми, тому значення $\bar{t}$ відповідних гіпербол записано в нижній частині номограми. Від гіперболи $\bar{t} = 10$ с. в допустимій області знаходиться лише одна точка.

Таблиця 2. Дані для побудови ліній τ

$\bar{t}$	t	x	y	$\bar{t}$	t	x	y	$\bar{t}$	t	x	y
10	10	70	140,00	50	30	102	46,67	80	40	118	0
20	10	70	0	50	40	118	105	80	50	134	56
20	15	78	93,33	50	50	134	140,00	80	60	150	93,33
20	20	86	140	60	30	102	0	90	45	126	0
30	15	78	0	60	40	118	70,00	90	50	134	28
30	20	86	70,00	60	50	134	112,00	90	60	150	70
30	30	102	140	60	60	150	140,00	100	50	134	0
40	20	86	0	70	35	110	0	100	60	150	46,67
40	30	102	93,33	70	40	118	35	110	55	142	0
40	40	118	140,00	70	50	134	84	110	60	150	23,33
50	25	94	0	70	60	150	116,67	120	60	150	0

Ескіз цієї частини складеної номограми виявився задовільним. Її недоліком є гострі кути між вертикальними лініями $\bar{t}$ та гіперболами $\bar{t}$ в області малих значень y , але викликана цим похибка допоміжної змінної нівелюється при користуванні номограмою в цілому. Збільшення області для побудови сітчастої номограми призвела б до зменшення області Z -номограми нульового жанру з переносом гострих кутів на неї, тому обране співвідношення частин номограми є оптимальним. Порядок і особливості використання номограми:

1. Знаходимо перетин вертикалі для заданого значення $\bar{t}$ і гіперболи для заданого значення $\bar{t}$.

2. З точки їх перетину проводимо горизонтальну лінію до перетину з допоміжною шкалою.

3. Проводимо пряму від точки до заданого значення v .

4. Перетин цієї прямої зі шкалою P_η дає шукане значення ефективності.

Наведено приклад використання номограми для даних $\bar{t} = 35$ с, $\bar{t} = 50$ с, $v = 0,415$ отримуємо результат $P_\eta = 1,97$.

Аналітична перевірка за формулою (1) : $P_{\eta} = 1 + \left(\frac{35}{50 - 35} \right) \cdot 0,415 = 1,97$.

Отже, правильність отриманого значення за номограмою, підтверджується виконаними розрахунками.

Представлена номограма залежності $P_{\eta} = f(\Psi, \tau, t)$ для випадку $\bar{t} < \bar{\tau} < 2\bar{t}$, що дає наочну геометричну інтерпретацію отриманих результатів. З номограми випливає, що зі збільшенням або зменшенням величини μ , яке викликане в результаті зміни значення $\bar{t}$, відбувається ріст значення величини P_{η} , а відповідно і зниження технічної продуктивності маніпулятора. Це відбувається за рахунок посилення взаємного впливу флуктуацій T і t при зближенні їх середніх значень. Швидкість зменшення P_{η} при цьому збільшується з ростом Ψ .

Негативний вплив стохастичного характеру ТСРН операцій на величину продуктивності модуля може бути знижений за рахунок зменшення значення величин t і Ψ . З (4) і (6) випливає, що це може бути досягнуто за рахунок скорочення тривалості циклу маніпулятора при дотриманні умови $\lambda < \mu < 2\lambda$, зниження величини флуктуацій часу циклу маніпулятора ν_i і проміжків часу між момен- тами формування замовлень ν_T . Зниження ν_T може досягатися раціональним роз- поділом сортиментів в буфері естакади і в системі лісонагромаджувачів. Номо- грама (див. рис. 1) та рівняння (4) дають можливість встановити значення продук- тивності підіймально-транспортної машини у виробничих умовах лісових складів при відомих значеннях факторів, що впливають на технологічний процес.

Висновки. Виконання транспортно-складських та розвантажувально- навантажувальних операцій може бути апроксимоване однофазною СМО, у якій, в залежності від прийнятої схеми технологічного потоку, поодинокі круглі лісо- матеріали, декілька сортиментів, сформованих у пачку у відповідності до сорти- ментної групи, необхідна кількість круглих лісоматеріалів, що відповідають об'єму грейферного захоплювача маніпулятора є вимогами, а підіймально- транспортна машина маніпуляторного типу – машиною для їх обслуговування.

В результаті теоретичного аналізу отримана аналітична модель виконання транспортно-складських та розвантажувально-навантажувальних операцій для марківських потоків, яка дозволяє чисельними методами наближено визначити продуктивність підіймально-транспортної машини на лісових складах у залежност- ті від факторів, що впливають на неї, і встановити раціональні параметри устатко- вання. Виведено аналітичну залежність безрозмірної величини P_{η} , яка може бути інтерпретована як наближена величина відношення технічної продуктивності під- діймально-транспортних машин до технічної продуктивності маніпулятора і на- далі використовуватись як міра цих величин. Отримано графічне представлення величини P_{η} , що систематизує фактори впливу і забезпечує практичне застосуван- ня при прийнятті рішень вибору структурно-параметричного варіанту викорис- тання підіймально-транспортних машин маніпуляторного типу.

Література

1. **Вакay, В. Ya.** (2005). *Gidromanipulyator kak nezamenimyy element proizvodstvennogo proces- sa* [Hydraulic manipulator as an indispensable element of the production process]. *Oborudovanie i in- strument dlya professionalov*. – Har'kov : CHF CentrInform, 2005. – Vyp. 12 (71). – S. 46–52. (in

Ukrainian).

2. **Dramm, J. R., Jackson, G. L., Wong, J.** (2002). Review of log sort yards : Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-132.– Madison, WI, USA : Forest Products Laboratory, – 39 p. – Mode access: www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr132.pdf. – Title from the screen.

3. **Baranovskij, V. A., Nekrasov, R. M.** (1977). Sistemy mashin dlya lesozagotovok [Forest machine systems]. – M. : Lesnaya promyshlennost'. – 248 s. (in Russian).

4. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1995): *Modelyuvannya i optymizatsiya tekhnolohichnykh potokiv lisopererobky* [Modeling and optimization of technological flows of forest processing]. Textbook. – Kyiv. – 416 p., (in Ukrainian).

5. **Aliev, T. I.** (2009). *Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem* [Fundamentals of Modeling Discrete Systems]. – SPb: SPbGU ITMO. – 363 s. (in Russian).

6. **Red'kin A. K.** *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya na lesozagotovkah* [Application of queuing theory in logging]. – M. : Lesnaya promyshlennost', 1973. – 152 s. (in Russian).

7. **Dudyuk, D. L.** *Modelirovanie raboty lesnykh mashin s pomoshch'yu obobshchennykh potokov Erlanga* [Modeling Forestry Machines Using Generalized Erlang Streams]. *Lesnoj zhurnal*. – 1985. – № 5. – S. 44–48. (in Russian).

8. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1992): *Elementy teorii avtomatichnykh liniy* [Elements of the theory of automatic lines]. Textbook. – Kyiv. – 192 p., (in Ukrainian).

9. **Maksimiv, V.M.** *Modelyuvannya procesiv funkcionuvannya avtomatizovanih liniy derevoobrobki* [Modeling of processes of functioning of automated woodworking lines]. – Lviv : UkrDLTU, 1997. – 184 s. (in Ukrainian).

10. **Zhernovij, Yu.V.** *Markovs'ki modeli masovogo obslugoivuannya* [Markov models of queuing].– L'viv: Vidavnychij centr LNU imeni Ivana Franka, 2004. – 154 s. (in Ukrainian).

UDC 621.86.06

*Assoc. prof. B.Ya. Bakay; senior lecturer I.M. Rudko,
assoc. prof. B.O. Mahura – UNFU*

Determination of productivity of loading machines of manipulator type in log sort yards

One of the important tasks of increasing the level of mechanization and implementation of resource conservation in log sort yards of various types with low turnover is to increase the efficiency of loading, stacking, sorting and unloading, as well as supply of round timber to specialized production lines for processing, which form the whole complex of transport-warehousing and unloading-loading works. Improving the efficiency of transport-warehousing and unloading-loading works in log sort yards with the use of loading machines of manipulator type provides a solution to a number of economic problems: increase mechanization of forestry works to 100%, increase static load on the car at loading and unloading warehouses, increase the productivity of loading and stacking works by 1.5-2 times, reduce excess stocks of assortments in log sort yards by 1.5 times, reduce the total area of log sort yards, minimize cases of occupational injuries, etc. Despite the obvious advantages of using manipulator-type loading machines, which are equipped with grab grippers, to perform lifting and transport operations, these machines are currently practically not used in log sort yards. The problem is primarily due to the lack of scientifically sound methods for determining the productivity of hoisting and transport machines of the manipulator type in log sort yards. It is proposed that increasing the efficiency of transport and warehousing and loading and unloading operations in log sort yards with a turnover of up to 100 thousand m³ is possible due to large-scale introduction of manipulator-type machines, the use of advanced technologies and equipment adapted to the new production situation on the basis of determining the productivity of loading machines of the manipulator type for the formation of their modes of operation in log sort yards.

Keywords: loading machine, productivity, manipulator type machine, queueing system, log sort yard.