

Під час обертання поверхні підігрівача наближаються до сопла розпилювача на відстань -1 або віддаляються на $+1$, при цьому центр обертання нерухомий і знаходиться на відстані L . Ідентичність умов нанесення забезпечується реверсуванням обертового руху виробу. На рис. 8 показано формування покриття здвоєним розпилювачем, де $h_{ш}$ – товщина одиничного шару покриття. Одержання необхідної ширини результуючого сліду здійснюється відповідним зсувом осей струменів розпилювачів на кут φ .

Кодра Ю.В. Установка для нанесения покрытий на подогреватели // Информационный листок. ЛвЦНТИ. 1986. № 95–86. 3с.

УДК 621:658.382.3

Ступницька Н., Гогіташвілі Г., Ступницький В.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Охорони праці”

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ
ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ЗМІНУ
ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
МАШИНОБУДІВНОГО ЦЕХУ**

© Ступницька Н., Гогіташвілі Г., Ступницький В., 2000

У статті описаний новий підхід до вирішення проблеми впливу показників виробничого травматизму на продуктивність роботи технологічного обладнання машинобудівного підприємства. Запропонована математична модель розрахунку простоювання верстатів, яка базується на теорії масового обслуговування. Доведено, що врахування виробничого травматизму впливає на ефективність планування виробничого процесу в машинобудуванні.

In a paper the new approach to solution of a problem about influence of indexes industrial traumatism on productivity of operation of the process equipment of machine-building firm is circumscribed. The mathematical model of account of idle standing of machine tools grounded on queueing theory is offered. Is proved, that the registration industrial traumatism influences efficiency of scheduling of production in a machine industry.

Встановлення техніко-економічного критерію оцінки виробничої системи від показників безпеки праці можна здійснити за допомогою апарата теорії масового обслуговування.

Для теоретичного дослідження цього процесу необхідно використати діаграму розподілу часу для виробничої системи, яка обслуговується значною кількістю робітників. Аналіз реальної діаграми простоювання технологічного обладнання внаслідок травмування і тимчасової непрацездатності робітників машинобудівного підприємства (на підставі аналогічних досліджень заводів ЛАНТ, ЛАЗ, ЛХСГМ) показав, що тривалість простоювання технологічного обладнання внаслідок травмування робітника є суттєво меншим від

тривалості роботи обладнання (0,1-0,4 %); при незначній імовірності простоювання обладнання внаслідок виробничого травматизму робітника, малоімовірна ситуація, за якої два або більше технологічно пов'язаних верстати простоюють; частота виробничого травмування залежить від рівня спеціалізації робочого місця, причому чим спеціалізація вужча (а, отже, номенклатура виконуваних робітником однотипних операцій і переходів менша), тим рівень травматизму менший; час простоювання обладнання під час багатOVERSTATного обслуговування іншими робітниками робочих місць внаслідок травмування одного з робітників не залежить від простоювання технологічно пов'язаних верстатів, внаслідок травмування іншого робітника (що є малоімовірно згідно з п.3).

Оскільки на обладнанні цеху здійснюється оброблення широкої номенклатури деталей з недетермінованим часом оброблення, а імовірність травмування умовно вважаємо однаковою в будь-який проміжок часу, то й простоювання обладнання можна вважати однаковим за досліджуваній період часу (властивість стаціонарності). Можливість заміни травмованого робітника за допомогою розширення спеціалізації технологічно суміжних верстатів або багатOVERSTATного обслуговування простоюваного верстата іншим робітником дає змогу зробити висновок про взаємозалежність надходження тієї чи іншої кількості вимог на обслуговування (властивість "відсутності післядії"). Мала імовірність одночасного травмування робітників технологічно залежних позицій визначає властивість ординарності. Потік вимог, що задовольняє ці три вимоги, є марківським [1]. Для визначення розрахункових показників системи треба використати положення теорії масового обслуговування.

Характер потоку випадків виробничого травматизму відповідає марківському процесу з параметром λ , а імовірність відсутності працюючих на виробництві внаслідок цієї причини розподілена за експотенційним законом з параметром μ . Це означає, що випадковий виклик замовлення на обслуговування у певний момент часу не залежить від попередніх замовлень, тобто від перебігу процесу в попередній період.

Завантаження одноканальної системи масового обслуговування (СМО) з пуассонівським вхідним потоком визначається так:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (1)$$

де $\lambda = 1 / \sum_{x=1}^X (T_{\text{цх}})$ – інтенсивність вхідного потоку; $T_{\text{цх}}$ – середньостатистична

трудомісткість оброблення деталей на x -му верстаті ($x = \overline{1, X}$); $\mu = 1 / (\sum_{x=1}^X (T_{\text{нх}}))$ –

інтенсивність простоювання обладнання внаслідок виробничого травматизму і професійних захворювань робітника, який його обслуговує; $T_{\text{нх}}$ – середньостатистичний час втрати працездатності робітником, який обслуговує x -й верстат.

Середньостатистичне значення втрат часу $T_{\text{н}}$ на виготовлення однієї деталі за групами обладнання (токальні, фрезерні, шліфувальні верстати, цеховий транспорт тощо) встановлюється за формулою

$$\overline{T}_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^I (T_{ij} \cdot \alpha_{ij})}{K_j \cdot \sum_{m=1}^M (N_m \cdot \beta_{mj})}, \quad (2)$$

де T_{ij} – час непрацездатності i -го робітника цеху, зумовлений травматизмом та професійними захворюваннями за річний термін; I – загальна кількість працівників цеху, які беруть участь у виробничому процесі; $\alpha_{ij} = 1$, якщо i -й робітник працює на обладнанні j -ї групи; $\alpha_{ij} = 0$ – у протилежному випадку; K_j – кількість верстатів j -ї групи в цеху; N_m – програма випуску деталей m -ої назви ($m = \overline{1, M}$); $\beta_{mj} = 1$, якщо m -та деталь виготовляється на обладнанні j -ї групи; $\beta_{mj} = 0$, у протилежному випадку.

Для марківської системи масового обслуговування (СМО) з пуассонівським вхідним потоком характерно, що функція імовірності роботи основного і допоміжного технологічного обладнання цеху [2]

$$P_x = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}, \quad (3)$$

де $x = \overline{0, X}$ – загальна кількість технологічного обладнання цеху.

Імовірність P_0 при $x=0$ означає, що все обладнання цеху працює без втрат внаслідок травмування хоча б одного робітника (в теорії масового обслуговування це означає "відсутність замовлень на обслуговування"). Імовірність P_1 означає простоювання 1-ї одиниці технологічного обладнання внаслідок травматичної непрацездатності одного робітника цеху; P_2 – інтенсивність простоювання двох одиниць технологічного обладнання тощо.

Очевидно, що внаслідок травмування або професійного захворювання одного з робітників цеху, перерозподіл його роботи здійснюється так:

- робітники технологічно-суміжних позицій дільниці, цеху виконують як свою роботу, так і роботу відсутнього працівника ("багатоверстатне обслуговування");
- робітники спеціалізації відсутнього робітника перерозподіляють між собою його роботу (перерозподіл функцій);
- очікування відсутнього робітника у випадку, коли його відсутність суттєво не позначається на результатах виробництва ("простоювання верстата").

Розглянемо варіант багатоверстатного обслуговування технологічно-суміжної позиції у випадку простоювання хоча б одного верстата внаслідок виробничого травматизму або профзахворювання робітника. Припускаємо, що СМО – це замкнута система очікування М/М/1 з внутрішньою організацією FIFO (first in, first out) за такими причинами: кожне замовлення на обслуговування задовольняється (кожна технологічна операція виконується); у разі, коли всі робітники дільниці зайняті основною роботою, замовлення на обслуговування простоюваного верстата ставиться в чергу і очікується, коли звільниться хоча б один робітник; верстатна система розглядається як замкнута, оскільки кількість верстатів, що обслуговуються, і відповідно кількість замовлень здійснюється у визначеній технологічній послідовності; за наявності декількох невиконаних замовлень встановлюється черговість їх виконання; позначення М/М/1 показує, що характер замовлень і процес

виготовлення виробів здійснюється згідно з марківським процесом, а кількість робітників, що обслуговують один верстат дорівнює одиниці.

У цеховій системі кількість замовлень на обслуговування може дорівнювати $x = \overline{0, X}$, де X – загальна кількість верстатів та інших робочих позицій. Тому можливі такі стани системи:

E_0 ($x = 0$) – всі технологічні позиції цеху працюють, травмованих робітників немає;

E_1 ($x = 1$) – всі верстати, крім одного, працюють, робітники, які замінюють травмованого працівника, виконують свою основну роботу;

...

E_x ($x = X$) – всі верстати в цеху простоюють. (Ситуація очевидно імовірна винятково теоретично).

Імовірність того, що один з цих станів системи до моменту часу t_0 зміниться, залежить від таких чинників:

1) чи займається робітник, що замінює травмованого працівника, своєю основною роботою в проміжку часу t_0 ;

2) чи надходить замовлення на виконання нової технологічної операції в проміжку часу t_0 ;

3) який час потрібен для обслуговування технологічної позиції, яка простоювала, на виконання замовлень, що надійшли раніше;

4) чи не закінчується в проміжку часу t_0 термін непрацездатності травмованого працівника.

Імовірність переходу в стан E_x з одного з можливих станів $E_1 \dots E_x$, залежить від випадкового надходження замовлень на обслуговування, пов'язаних з часом циклу роботи обладнання (рівняння 3.13) і інтенсивністю простоювання обладнання внаслідок травмування одного з робітників.

Згідно з теорією масового обслуговування, імовірність переходу в стан E_x

$$P_x = \frac{X!}{(X-x)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^x \cdot P_0, \quad (4)$$

де P_0 є імовірністю того, що всі технологічні позиції цеху працюють [2]

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \sum_{x=2}^X \frac{X!}{(X-x)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^x}. \quad (5)$$

Середньостатистичне завантаження одного верстата

$$\overline{A_3} = \frac{1}{X} \cdot \sum_{x=0}^X (X-x) \cdot P_x. \quad (6)$$

Суттєвий вплив на середньостатистичні значення завантаження обладнання має відношення інтенсивності циклу виконання технологічних операцій λ до інтенсивності простоювання технологічних позицій μ . [1].

Розглянемо приклад розрахунку простоювання технологічного обладнання внаслідок виробничого травматизму в цеху.

Нехай в цеху, в якому працюють 25 робітників на 25 верстатах, зареєстровано протягом минулого року три випадки виробничого травматизму, що спричинило загальну

непрацездатність робітників цеху на 22 робочі дні (176 год при однозмінній роботі). Середньостатистична трудомісткість однієї технологічної операції становить 2,3 хв. ($T_{ц} = 2,3$ хв). Програма випуску деталей 25 тис. шт. у рік.

Екстраполюючи дані минулого року, необхідно встановити втрату продуктивності роботи цеху внаслідок виробничого травматизму, що зумовило простоювання основного технологічного обладнання.

Беручи до уваги технологічну єдність обладнання цеху ($I=1$) та незмінність номенклатури оброблюваних деталей ($M=1$), розраховуємо за формулою (2) середньостатистичне значення втрат часу T_H на виготовлення однієї деталі

$$T_H = \frac{\sum_i T_{ni}}{X \cdot N} = \frac{176 \cdot 60}{25 \cdot 25000} = 0,016(\text{хв}).$$

Визначаємо за формулою (1) завантаження СМО

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,016}{25} = 0,0073.$$

Імовірність P_0 того, що всі верстати працюють без простоювання внаслідок відсутності травмованого робітника визначаємо за формулою (5)

$$P_0 = (1 + 25 \cdot 0,0073 + \frac{25!}{(25-2)!} \cdot 0,0073^2 + \frac{25!}{(25-3)!} \cdot 0,0073^3 + \frac{25!}{(25-4)!} \cdot 0,0073^4 + \dots + \frac{25!}{(25-24)!} \cdot 0,0073^{24} + 0,0073^{25})^{-1} = 0,82$$

Тобто імовірність наявності всіх працівників цеху на робочих місцях становить 82 %.

Імовірності P_X можуть бути визначені згідно з рекурентною формулою (4)

$$P_1 = (25 - 0) \cdot 0,0073 \cdot 0,82 = 0,15;$$

$$P_2 = (25 - 1) \cdot 0,0073 \cdot 0,15 = 0,025;$$

Такі розрахунки дають можливість для цієї системи визначити, що середньостатистичний коефіцієнт завантаження одного верстата:

$$A_3 = \frac{24,47}{25} = 0,978 \text{ (або 97,8 \%)}.$$

Тобто, тільки внаслідок травмування основних робітників недовиконання річної програми становитиме 550 деталей у рік.

1. Козлов В.И. *Методология охраны труда в человеко-машинных системах*. Рига, 1989. 2. Четыркин Е.М. *Теория массового обслуживания и ее применение в экономике*. М., 1971.