

нійних ланок. При цьому значення сигналу $x_2[nT]$ на виході нелінійної ланки знаходяться безпосередньо за виразом $x_2 = f(x_1)$, якщо нелінійна характеристика “вхід-вихід” задана аналітично, або за допомогою розглянутого графічного методу і матриць перерахунку, якщо нелінійна характеристика ланки задана графічно. Знайдені значення сигналу $x_2[nT]$ на виході нелінійної ланки складають вхідний сигнал для другої інерційної лінійної ланки з функцією передачі $W_2(s)$.

Алгоритм дослідження процесів у замкнутій нелінійній САУ дозволяє здійснити дослідження нелінійної САУ при довільній вхідній дії $x[nT]$ і аналізувати динамічні і статичні характеристики в різних точках замкнутої як автономної так і керованої нелінійної САУ (сигнал на виході САУ – $y[nT]$, сигнал похибки – $\varepsilon[nT]$, сигнали на виході окремих ланок – $x_1[nT]$ і $x_2[nT]$). У загальному випадку кількість як лінійних інерційних, так і нелінійних безінерційних ланок у контурі управління може бути довільною. Цей висновок витікає з розглянутого алгоритму дослідження нелінійної САУ. Значно складніше досліджувати нелінійну САУ, що містить інерційні нелінійні ланки. Загальний підхід до дослідження такий, як і в розглянутому вище випадку, але при цьому значно ускладнюється визначення реакції на виході інерційної нелінійної ланки при довільному вхідному сигналі.

Таким чином, метод цифрового моделювання може бути використаний як на етапі про-

боті порушена проблема впливу травматизму на продуктивність технологічного обладнання.

Встановлення залежності техніко-економічного критерію оцінки виробничої системи нафтогазового комплексу від показників безектування сучасних САУ та САР, так і в методичних цілях при вивченні курсів “Теорія автоматичного управління” та “Локальні системи автоматики”. При подальших дослідженнях передбачається розробити програмне забезпечення для реалізації даного алгоритму моделювання вбудованою мовою та візуальними методами сучасного програмного середовища MatLab 6.0.

Література

1. Сав'юк Л.О. Побудова дискретних моделей лінійних неперервних систем // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи та засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ, 2001. – Вип. 38 (том 8). – С. 160-165.
2. Щелованов Л.Н., Рассказова Е.И. Моделирование систем передачи дискретных сообщений и документальной электросвязи (системы факсимильной связи): Учеб. пособие / ЛЭИС. – Л., 1989.
3. Деч Г. Руководство к практическому применению Z-преобразования. – М.: Наука, 1971.
4. Самойленко В.И., Пузырев В.А., Грубин И.В. Техническая кибернетика. – М: МАИ, 1994.

УДК 331.46+331.472

ВПЛИВ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ У НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ

Я.М.Семчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42196, 42203
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Разработано математическую модель влияния производственного травматизма на динамику производительности работы нефтегазового технологического оборудования. Принято, что характер потока случаев производственного травматизма соответствует марковскому процессу, а проставание оборудования подчиняется экспоненциальному закону. Определено загрузке одноканальной системы массового обслуживания с пуассоновским входным потоком. Приведен пример зависимости среднестатистического значения проставания технологического оборудования от уровня травматизма.

Mathematical model of the influence of industrial traumatism on dynamics of productivity of work of the oil – and – gas processing equipment is developed. It is accepted, that character of the stream of cases of industrial traumatism corresponds to the Markovsky's process, and equipment idle standing submits to the exponential law. Loading single-channel system of mass service with the Puasson's entrance mastream is determined. The example of dependence of average value of the process equipment idle standing on the level of traumatism is given.

У статтях [1, 2] розглянуті основні причини, що призводять до виробничого травматизму в нафтогазовій галузі, а також основні заходи, які запобігають його виникненню. У даній ро-

пеки праці може бути здійснено за допомогою апарату теорії масового обслуговування.

Для теоретичного дослідження цього процесу необхідно використовувати діаграму роз-

поділу часу для виробничої системи, що обслуговується великою кількістю робітників. Аналіз реальної діаграми простоювання технологічного обладнання внаслідок травмування і тимчасової непрацездатності робітників нафтових підприємств ВАТ “Укрнафта” засвідчив, що:

1) тривалість простоювання технологічного обладнання внаслідок травмування робітника суттєво менша від тривалості роботи обладнання (0.1-0.4%);

2) при незначній імовірності простоювання обладнання внаслідок виробничого травматизму робітника малоімовірна ситуація, при якій 2 або більше технологічно пов'язаних одиниць обладнання простоюють;

3) частота виробничого травмування залежить від рівня спеціалізації робочого місця, причому чим спеціалізація вужча (а, отже, номенклатура виконуваних робітником однотипних операцій менша), тим рівень травматизму менший;

4) час простоювання обладнання при багатомісному обслуговуванні іншими робітниками робочих місць внаслідок травмування одного з них не залежить від простоювання технологічного обладнання.

Оскільки на обладнанні нафтогазового підприємства здійснюється велика кількість технологічних операцій з недетермінованим часом виконання, а ймовірність травмування умовно вважати рівною у будь-який проміжок часу, то й простоювання обладнання можна вважати однаковим за досліджуваний період часу (властивість стаціонарності). Можливість заміни травмованого робітника шляхом розширення спеціалізації технологічно суміжного обладнання або багатомісного обслуговування простоюваного обладнання іншим робітником дає змогу зробити висновок про взаємозалежність надходження тієї чи іншої кількості вимог до обслуговування (властивість “відсутності після дії”). Мала ймовірність одночасного травмування робітників технологічно залежних позицій визначає властивість ординарності. Потік вимог, що задовольняє цим трьома вимогам, є марківським. Для визначення розрахункових показників системи слід використати положення теорії масового обслуговування.

Характер потоку випадків виробничого травматизму відповідає марківському процесу з параметром λ , а ймовірність відсутності працюючих на виробництві внаслідок даної причини розподілена за експоненціальним 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 таким чином:

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

де: $\lambda = 1 / \sum_{x=1}^x (T_{cx})$ – інтенсивність потоку;

T_{cx} – середньостатистична трудомісткість виконання технологічної операції на x -ій одиниці обладнання ($x=1, \bar{X}$);

$\mu = 1 / (\sum_{x=1}^x (T_{nx}))$ – інтенсивність простоювання обладнання внаслідок виробничого травматизму і професійних захворювань робітника, що його обслуговує;

T_{nx} – середньостатистичний час втрати працездатності працівником, що обслуговує x -у модель установки.

Середньостатистичне значення втрат часу T_n на виконання однієї операції по групах обладнання встановлюється за формулою

$$T_n = \frac{\sum_{i=1}^I (T_{ij} \cdot \alpha_{sj})}{F_j \cdot \sum_{m=1}^M (N_m \cdot \beta_{mj})}, \quad (2)$$

де: T_{ij} – час непрацездатності i -го робітника підприємства, викликаний травматизмом та професійними захворюваннями за річний термін;

I – загальна кількість працівників підприємства, 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;

F_j – фонд часу роботи одиниць обладнання j -ї групи на підприємстві;

N_m – кількість однотипних операцій m -го найменування ($m=1, M$);

$\beta_{mj}=1$, якщо m -та операція виконується на обладнанні j -ї групи, то $\beta_{mj}=1$ у протилежному випадку.

Загальний середньостатистичний час

$$T_n = \frac{\sum_{x=1}^X \sum_{j=1}^J T_{xj} \cdot K_j}{\sum_{x=1}^X \sum_{j=1}^J F_j \cdot \sum_{m=1}^M N_m}, \quad (3)$$

де $J(j=1, J)$ – загальна кількість груп обладнання на підприємстві.

Для марківської системи масового обслуговування (СМО) з пуассонівським вхідним потоком характерно, що функція ймовірності роботи основного і допоміжного технологічного обладнання підприємства

$$P_x = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}, \quad (4)$$

де $x=0, X$ – загальна кількість технологічного обладнання.

Ймовірність P_0 при $x=0$ означає, що все обладнання працює без втрат у разі травмування хоча б одного робітника (в теорії масового обслуговування це означає “відсутність замовлень

на обслуговування”). Імовірність P_1 означає простоювання i -ї одиниці технологічного обладнання у разі травматичної непрацездатності 1-го робітника; P_2 – інтенсивність простоювання 2-х одиниць технологічного обладнання, і т.д.

Для розрахунку ймовірності доцільно використати рекурентну формулу

$$P_{x+1} = \frac{\lambda}{x+1} \cdot P_x \quad (5)$$

Очевидно, що в результаті травмування або професійного захворювання одного з робітників, перерозподіл його роботи ведеться таким чином:

– робітники технологічно-суміжних позицій виконують як свою роботу, так і роботу відсутнього працівника (“багатомісне обслуговування”);

– робітники спеціалізації відсутнього робітника перерозподіляють між собою його роботу (перерозподіл функцій);

– очікування відсутнього робітника у випадку, коли його відсутність суттєво не позначиться на результатах виробництва (“простоювання верстата”).

Розглянемо варіант багатостанкового обслуговування технологічно-суміжної позиції у випадку простоювання хоча б однієї одиниці обладнання внаслідок виробничого травматизму або профзахворювання робітника. Припускаємо, що СМО являє собою замкнуту систему очікування М/М/1 з внутрішньою організацією FIFO (first in, first out) за наступними причинами: кожне замовлення на обслуговування задовольняється (кожна технологічна операція виконується); у випадку коли всі робітники дільниці зайняті основною роботою, замовлення на обслуговування простоюючого обладнання ставиться в чергу і очікується, коли звільниться хоча б один робітник; система розглядається як замкнута, оскільки кількість одиниць обладнання, 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 одиницю обладнання рівна 1.

Марківський процес означає, що випадкове простоювання обладнання внаслідок травмування робітника в певний момент часу t_0 не залежить від попередніх замовлень, тобто від перебігу процесу в попередній період. Тому тривалентність виконання замовлення (технологічної операції) може бути різною і є випадковою величиною з певними обмеженнями і не залежить від кількості попередніх замовлень. Увесь процес не залежить від того, що відбулося раніше моменту часу t_0 .

У цеховій системі число замовлень на обслуговування може дорівнювати $x=0, X$, де X –

загальна кількість обладнання та інших робочих позицій. Тому можливі такі стани системи:

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

$E_1(x=1)$ – усе обладнання, крім одного, працює, робітники, що замінюють травмованого працівника, виконують свою основну роботу;

$E_2(x=2)$ – працюють $(X-2)$ одиниці обладнання, 2 з яких очікують свого обслуговування згідно порядку заміни травмованих робітників.

$E_3(x=3)$ – працюють $(X-3)$ одиниці обладнання, 3 з яких очікують у черзі виконання замовлення;

$E_x(x=X)$ – усе обладнання простоє (ситуація ймовірна виключно теоретично).

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

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

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

3) який час потрібний для обслуговування технологічної позиції, що простоювала, на виконання замовлень, що поступили раніше;

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

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

Згідно з теорією масового обслуговування, імовірність переходу в стан E_x

$$P_x = \frac{X!}{(X-x)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^x \cdot P_0, \quad (6)$$

де P_0 – ймовірність того, що всі технологічні позиції працюють

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \sum_{x=2}^X \frac{X!}{(X-x)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^x}. \quad (7)$$

Якщо хоча б одна одиниця обладнання простоє за станів системи від E_0 до E_x , то ймовірність цього

$$A_n = \sum_{x=1}^X P_x. \quad (8)$$

Середньостатистична кількість одиниць обладнання, що очікують обслуговування витікає зі станів E_1 до E_x і визначається за формулою

$$n_n = \sum_{x=1}^X x \cdot P_x. \quad (9)$$

Коефіцієнт простоювання обладнання внаслідок очікування за багатомісного обслуговування робітником, що замінює травмованого працівника

$$K_n = \frac{n_n}{X} = \frac{1}{X} \cdot \sum_{x=1}^X x \cdot P_x \quad (10)$$

Середньостатистичне завантаження одиниці обладнання

$$A_3 = \frac{1}{X} \cdot \sum_{x=0}^X (X-x) \cdot P_x \quad (11)$$

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

Розглянемо приклад розрахунку простоювання технологічного обладнання внаслідок виробничого травматизму на виробництві.

Нехай на підприємстві нафтогазового комплексу, в якому працюють 50 робітників, зареєстровано протягом минулого року 3 випадки виробничого травматизму, що викликало загальну непрацездатність робітників цеху на 60 робочих днів (4800 годин при однозмінній роботі). Середньостатистична трудомісткість однієї технологічної операції становить 5 хв. ($T_{ii} = 5\text{хв.}$).

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

Приймаючи до уваги технологічну єдність обладнання ($I=1$) та незмінність номенклатури виконуваних технологічних операцій ($M=1$), розраховуємо за формулою (11) середньостатистичне значення втрат часу T_n на виконання 1 операції:

$$\lambda = \frac{\sum_i T_{ni}}{X \cdot N} = \frac{4800}{50 \cdot 2010} = 0.05 \text{ хв.}$$

Визначаємо за формулою [1] завантаження СМО

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,05}{50} = 0,001.$$

Імовірність P_0 того, що все обладнання працює без простоювання внаслідок відсутності травмованого робітника визначаємо за формулою

$$P_0 = \left\{ 1 + 50 \cdot 0.001 + \frac{50!}{(50-2)!} \cdot 0.001^2 + \frac{50!}{(50-3)!} \cdot 0.001^3 + \frac{50!}{(50-4)!} \cdot 0.001^4 + \frac{50!}{(50-49)!} \cdot 0.001^{49} + 0.001^{50} \right\}^{-1} = 0,95.$$

Тобто імовірність наявності всіх працівників на робочих місцях складає 95%.

Імовірності P_x можуть бути визначені згідно з рекурентною формулою (9)

$$P_1 = (50 - 0) \cdot 0.001 \cdot 0.95 = 0.0475;$$

$$P_2 = (50 - 1) \cdot 0.001 \cdot 0.0475 = 0.0025.$$

Подані розрахунки дають можливість для даної системи визначити середньостатистичний коефіцієнт завантаження одиниці обладнання

$$A_3 = \frac{47.6}{50} = 0.952 \text{ (або } 95,2\% \text{),}$$

а, отже, середньостатистичне значення простоювання обладнання внаслідок виробничого травматизму обслуговуючих їх робітників складає

$$A_n = 1 - A_3 = 0.0475 \text{ (або } 4,8\% \text{).}$$

Розглянутий приклад показав, що розрахунок характеристик продуктивності обладнання виробничої системи нескладний, однак досить трудомісткий. А тому, щоб зробити загальні висновки із вищевикладених рівнянь доцільно провести дослідження впливу тих чи інших факторів на показники продуктивності роботи технологічного обладнання.

Література

1. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Актуальні проблеми охорони праці у нафтогазовій галузі // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: Державний міжнародний науково-технічний збірник. – Івано-Франківськ, 1958. – Вип.35. – Т.10

2. Семчук Я.М., Рошак Й.І., Костельна Л.І. Планування заходів запобігання виробничого травматизму та профзахворювань у нафтогазовій галузі // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ, 2003. – №3(8). – С.117-120.