



Для полегшення пуску верстата-гойдалки та його експлуатації в тривалому режимі доцільним є використання частотного перетворювача напруги живлення асинхронного двигуна в комплекті з контролером керування [5]. Останній формує алгоритм пуску верстата-гойдалки та регулює швидкість обертання асинхронного двигуна для оптимального дебіту, коли обсяг видобування рідини дорівнює притоку у свердловину.

#### Літературні джерела

1 Xing M., Dong S. A new simulation model for a beam-pumping system applied energy saving and resource-consumption reduction. SPE Prod. Oper. 2015;30:130–140. doi: 10.2118/173190-PA. – Електрон. дан. - 2015 – Режим доступу: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-173190-PA> - Загол. з екрану.

2 І.М.Іванченко Резерви видобування нафти за рахунок низько дебітних свердловин у Західному регіоні України// Науковий вісник ФНТУНГ. – м. Івано-Франківськ. – 2011 – №4 – С.51 – 54.

3 Е.М.Огарков, П.Н.Цылев, А.Д. Коротаев, А.М. Бурмакин Повышение эффективности добычи нефти из низкодебитных скважин // Весник ПНИПУ. Геология, нефтегазовое и горное делло. – Пермь . – 2005. –Том4 – С.172-175.

4 Гладь І. В. Проблеми та принципи проектування універсального апаратно-програмного комплексу для енергетичних обстежень електромереж / І. В. Гладь, І. Д. Галушак, А. І. Поточний та інші // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — м. Івано-Франківськ. — 2008. — № 3 (28). — С. 83—87.

5 HongqiangLv, Jun Liu, Jiuqiang Han, An Jiang. An Energy Saving Systemfor a Beam Pumping Unit //PMC Journals, v16(5). – Електрон. дан. - 2016 – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883376/> - Загол. з екрану.

УДК 331.45:67.06

## ІМОВІРНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКУ

*Я. Б. Сторож, О. М. Румезжак*

*ДУ «ННДПБООП», вул. Вавілових, 13, м. Київ, 04060  
e-mail: yaroslav.storozh@gmail.com*

Міжнародний стандарт OHSAS 18001:2010 ризик визначає як комбінацію вірогідності виникнення небезпечної події, або існування загрози виникнення такої події серйозності травми, або погіршення здоров'я в результаті цієї події, або загрози виникнення такої події [1].



ДСТУ OHSAS визначає ризик як поєднання ймовірності виникнення небезпечної події чи впливу(ів) та істотності травми чи погіршення здоров'я, які може бути зумовлено такою подією чи впливом(ами). Ці визначення зводяться до того, що ризики  $R$  формуються двома величинами – ймовірністю  $P_n$  небезпечної події та розміром збитку  $Z$  від неї

$$R = P_n \cdot Z \quad (1)$$

За відсутності даних про збитки під час проектного оцінювання (прогнозування) ризику обмежуються обчисленням лише ймовірності несприятливих подій, інакше як імовірність перевищення випадковою величиною  $x$  небезпечної межі  $X_n$  [2].

$$R = P_n(x > X_n) \quad (1a)$$

Розглянемо основні положення теорії надійності, яка вивчає закономірності виникнення відмов технічних об'єктів і розробляє методи забезпечення стабільності їх роботи [3-6]. В теорії надійності несприятливу подію називають відмовою, що полягає в повній або частковій втраті об'єктом (машиною чи її елементом) працездатності, тобто спроможності нормально виконувати задані функції. Імовірність відмов  $Q(t)$  виражають через функцію щільності розподілу  $f(t)$  наробітку до відмови, яка в статистичному трактуванні ймовірності описується залежністю

$$Q(t) = \Delta Q(t) / \Delta t, \quad (2)$$

а в імовірнісному – залежністю

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (3)$$

де  $t$  – наробіток або інтервал часу до відмови;

$\Delta Q(t)$  – приріст числа об'єктів, які зазнали відмов за час  $\Delta t$ .

Оскільки відмова та її відсутність (інакше безвідмовна робота) – це дві протилежні події, то сума їхніх імовірностей дорівнює 1, тобто

$$Q(t) + P(t) = 1. \quad (4)$$

Працездатність конструкцій машин оцінюється за низкою критеріїв [3]: міцністю, зносостійкістю, жорсткістю, точністю, теплостійкістю. Розрахунок зводиться до порівняння за окремими критеріями розрахункових параметрів  $Y$  з їхніми небезпечними, або граничними, величинами  $Y_H$ : характеристиками міцності (границею



міцності, текучості, витривалості), граничним навантаженням, ресурсом, граничними переміщеннями (пружними, температурними, зношувальними), теплостійкістю мастила і матеріалів, граничними частотами і амплітудами коливань, динамічною стійкістю. Працездатність конструкції за заданим критерієм забезпечена, якщо розрахунковий параметр  $Y$  не більший за його небезпечне значення  $Y_H$

$$Y \leq Y_H. \quad (5)$$

Теорія надійності розкриває залежність імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  машини (характеристику її надійності) і ймовірності відмов  $Q(t)$ , від імовірнісних характеристик небезпечного і розрахункового параметрів. Так, якщо неперервні випадкові величини  $Y$  і  $Y_H$  розподілені за нормальним законом і мають середні значення  $\bar{Y}$  і  $\bar{Y}_H$  та середньоквадратичні відхилення (стандартні похибки)  $S_Y$  і  $S_H$  відповідно, то їхні функції щільності розподілу  $f(Y)$  і  $f(Y_H)$  описуються залежностями відповідно [3]:

$$f(Y) = \frac{1}{S_Y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y-\bar{Y})^2}{2S_Y^2}}, \quad f(Y_H) = \frac{1}{S_H \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y_H-\bar{Y}_H)^2}{2S_H^2}}. \quad (6)$$

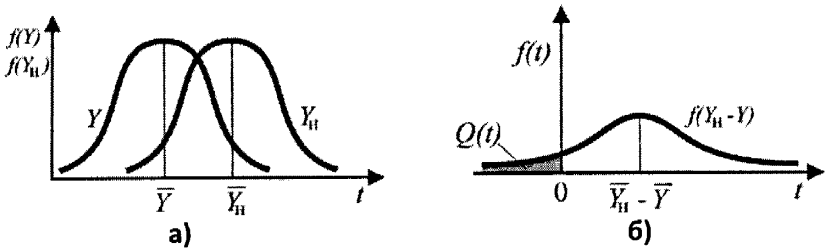
При цьому, згідно з теорією ймовірності [7], різниця цих величин  $Y_H - Y$  (її називають функцією не руйнування [3]) є теж випадковою величиною з середнім значенням  $\bar{Y}_H - \bar{Y}$ , нормальним розподілом з функцією щільності розподілу  $f(Y_H - Y)$

$$f(Y_H - Y) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{((Y_H - Y) - (\bar{Y}_H - \bar{Y}))^2}{2S^2}} \quad (7)$$

і середнім квадратичним відхиленням  $S$

$$S = \sqrt{S_H^2 + S_Y^2}. \quad (8)$$

Характеристики параметрів, які аналізуються, можна зобразити графічно (рис. 1). Як видно з рисунка, математично ймовірність відмов дорівнює нижньому квантилю функції розподілу різниці параметрів  $Y_H - Y$ .



**Рисунок 1 – Графіки функцій щільності розподілу: змінних  $Y_H$  і  $Y$  (а) і функції неруйнування (б); площа заштрибованої ділянки – це ймовірність відмов об'єкту**

Імовірність  $P(Y_H - Y < 0)$  відмов, з урахуванням формул (3) і (7) визначають через імовірність безвідмовної роботи (тут і на рис. 1  $t = Y_H - Y$ )

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{t=0}^{\infty} e^{-\frac{(t - (\bar{Y}_H - \bar{Y}))^2}{2S^2}} dt. \quad (9)$$

Інтеграл (9) не виражається через елементарні функції. Тому його обчислюють за допомогою функції Лапласа  $\Phi(x)$  [3].

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-x^2/2} dx, \quad (10)$$

де  $x$  – аргумент функції, який виражають через характеристики функції не руйнування

$$x = \frac{t - (\bar{Y}_H - \bar{Y})}{S}. \quad (11)$$

З використанням функції Лапласа вираз (9) отримус вигляд [3]

$$Q(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - (\bar{Y}_H - \bar{Y})}{S}\right). \quad (12)$$

Отже, для практичного обчислення ймовірності відмови за допомогою таблиць функції Лапласа потрібно здійснити заміну  $t$  на  $x$  за формулою (11) і перейти до нормованої функції розподілу. При цьому вираз для визначення параметрах, який зазвичай називають квантилем нормованого нормального розподілу і позначають  $u_p$ , набуде вигляду



$$x = u_p = -\frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}}{\sqrt{S_H^2 + S_Y^2}} \quad (13)$$

Для обґрунтування придатності застосування математичного апарату теорії надійності машин до застосування в понятійному середовищі охорони праці, зокрема для визначення впливу технічних чинників виробничого середовища (техніки, технології) на величину виробничого травматизму, розглянемо низку проблемних питань.

Насамперед відзначимо, що не будь-яка відмова технічного об'єкту (виробничого устаткування, механізму, інструменту) може створити загрозу виробничій травмі. Такими є відмови, зумовлені, наприклад, втратою об'єктом продуктивності, точності чи економічності через надмірне зношування елементів конструкції. Питання аналізу видів, наслідків і критичності відмов не є предметом нашого дослідження. Тому лише зазначимо, що тут розглядатимуться лише відмови, котрі, згідно з ДСТУ OHSAS, можуть бути причиною серйозності травми або погіршення здоров'я в системі «людина – машина – виробничий процес». Зазвичай це відмови, пов'язані з раптовим руйнуванням виробничого устаткування, механізмів, інструменту чи предметів праці через недосконалість технологічних процесів. У таких випадках небезпечними параметрами  $Y_H$  можуть бути границя міцності, текучості, витривалості або несучої здатності залежно від особливостей навантаження конструкції (статичне, динамічне чи повторно-змінне) та стану матеріалу (крихкий або пластичний), а розрахунковими – відповідні їм значення напруженого стану виробничих технічних чи технологічних об'єктів. У цьому зв'язку в формулах (9, 12, 13) цілком обґрунтовано можна здійснити заміну позначень небезпечних і розрахункових параметрів  $Y$  на  $\sigma$  (якою звично позначають напруження) зі збереженням їхніх індексів і діакритичних знаків.

Аналіз формул (12) і (13) вказує на те, що обчислення ризику механічного об'єкту містить лише характеристики, які визначають його стан, і не містять жодних ознак, які би вказували на умови формування цього стану, зокрема на те чи він формується умовами експлуатації, чи, наприклад, умовами його виготовлення. Більше того, в процесі механічного оброблення предмет праці (заготовка деталей машин) стає елементом технологічної системи, включеним в усі її зв'язки – розмірні, енергетичні, силові – з технологічним обладнанням, пристроями та інструментами. Тому розрахунок ризику об'єкту за ймовірнісними характеристиками параметрів його міцності дає змогу цілком обґрунтовано розширити сферу застосування наведених вище науково-методологічних підходів на прогнозування



ризик предметів праці під час їх виготовлення, зокрема на процеси оброблення заготовок деталей машин на металорізальних верстатах.

З формули (9) випливає, що ймовірність відмов у теорії надійності визначають через обчислення вірогідності безвідмовної роботи (одну з характеристик надійності об'єкту). Це дещо ускладнило формулу (12). Покажемо, що її можна спростити завдяки раціональному вибору вигляду функції Лапласа, а саме:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2} dx. \quad (14)$$

Зміна інтервалу інтегрування – він тепер збігається з інтервалом, у якому очікуємо появу відмови, тобто від  $-\infty$  до 0, – зумовила зміну значень функції:  $\Phi(0)=0,5$ ,  $\Phi(-x)=-\Phi(x)$  і  $\Phi(-\infty)=0$  [7]. В результаті вираз для ризику травмування персоналу на виробництві, який з урахуванням поняття ризику (1а) і викладених вище застережень і доповнень можна прийняти рівним ймовірності відмови, набуде остаточного вигляду

$$R = Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2} dx = \Phi\left(-\frac{\bar{\sigma}_H - \bar{\sigma}}{S}\right). \quad (15)$$

Розсіяння випадкових величин зручно порівнювати за допомогою коефіцієнта варіації – відношення стандартної похибки до середнього значення. Коефіцієнти варіації для розрахункового параметра  $\sigma$ , його небезпечного значення  $\sigma_H$  і функції неруйнування  $\sigma_H - \sigma$ , а також квантиль нормованого нормального розподілу можна представити формулами відповідно:

$$v_\sigma = \frac{S_\sigma}{\bar{\sigma}}, v_H = \frac{S_H}{\bar{\sigma}_H}, v = \frac{\sqrt{S}}{\bar{\sigma}_H - \bar{\sigma}} = \frac{\sqrt{S_H^2 + S_\sigma^2}}{\bar{\sigma}_H - \bar{\sigma}} \quad \text{і} \quad u_p = -\frac{1}{v}. \quad (16)$$

Для спрощення обчислень у працях [3, 4] використовують коефіцієнт запасу міцності  $\bar{n} = \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}}$  – за середніми напруженнями. В такому разі квантиль нормованого нормального розподілу  $u_p$ , за яким визначають ймовірність руйнування, обчислюють за формулою

$$u_p = -\frac{\bar{\sigma}_H - \bar{\sigma}}{\sqrt{S_H^2 + S_\sigma^2}} = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_H^2 + v_\sigma^2}}, \quad (17)$$

Отож, ризик виробничого травмування персоналу з технічних причин – передовсім недосконалості технологічних процесів і конструктивних недоліків виробничого устаткування – можна



обчислювати уже на етапі проектування технології й виробничого устаткування за ймовірнісними характеристиками небезпечного і розрахункового параметрів стосовно відповідних критеріїв міцності. Це дає змогу розробляти заходи щодо запобігання виробничого травматизму як у період проектування безпечного виробничого устаткування і безпечного виробничого процесу, так і в передпроектний період, коли методологічні засади створення безпечних об'єктів закладають у методи і нормативну базу їх розроблення.

Перш ніж перейти до виявлення небезпечних виробничих чинників та підходів до їх визначення, впливаючи на які можна управляти ризиком виробничого травматизму, підкреслимо наступне. Як розрахунковий параметр, так і його небезпечне значення за своєю природою є випадковими величинами. Розсіяння їхніх значень виникають під впливом великої кількості чинників. Для  $\bar{\sigma}_H$  – це передовсім низка керованих і некерованих технологічних чинників – коливань хімічного складу, часових, силових і температурних параметрів процесів виготовлення матеріалу і технології його перероблення у виріб, та особливостей конструкції, наприклад геометричних характеристик об'єкту. Розрахунковий параметр  $\sigma$  залежить насамперед від умов експлуатації або технології оброблення об'єкту, його силового і теплового навантаження, а також коливань його розмірів і якості поверхонь. Велика кількість причин за умови, що жодна з них не залежить від інших і не має домінуючого впливу, дає змогу описувати розподіл параметрів  $\sigma$  і  $\bar{\sigma}_H$  за допомогою нормального закону (закону Гаусса). Оскільки вони можуть набувати будь-яких значень у межах свого поля розсіяння, то їх можна класифікувати як неперервні. Це дало підстави застосувати для залежності прогнозованого ризику від параметрів об'єктів основні математичні положення теорії ймовірності (як і теорії надійності, на яку опирається дане дослідження) саме в імовірнісному формулюванні, тобто використовувати функцію щільності розподілу у вигляді неперервної функції (формула (3)), а не як відношення приростів характеристик, що властиво статистичному трактуванню імовірності (формула (2)). Статистичний аспект призначений для оцінювання виробничого травматизму під час реалізації виробництва.

#### Літературні джерела

1 ДСТУ OHSAS 18001:2010. Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги : (OHSAS 18001:2007, IDT. Occupation alhealth and safety management systems – Requirements (Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги)) [Чинний від 2011-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 20 с.



2 Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск : учебн. пособие для студентов специальности «Безопасность технологических процессов и производств». Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.

3 Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин : учебн. пособие / Под ред. Д.Н. Решетова. М.: Высш. шк., 1988. 238 с.

4 Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин : справочник / 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 670 с.

5 Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1987. 312 с.

6 Надежность и долговечность машин / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, И.Г. Бершадский, Л.И. Караулов; Подобщ. ред. Б.И. Костецкого. К.: Техніка, 1975. 408 с.

7 Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учебн. для вузов / 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.

---

УДК 622.245

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗНАЧЕННЯ ПОЛОВИННОГО КУТА ПРОФІЛЮ ЗАМКОВОЇ НАРІЗИ 3-65 ВІД ПРОФІЛЮ РІЗЦЯ.

*О. Р. Описько, І. З. Довбуш, М. М. Ткачук*

*ІФНТУНГ, вул. Карпатська 15, м.Івано-Франківськ, 76019*

У сучасних умовах похило–спрямованого та горизонтального буріння вагомі виклики, щодо механічних властивостей матеріалу, з яких виробляють ніпелі та муфти замків. За діючими нормативними документами межа міцності для труб нафтогазової галузі перебуває у межах від 400 до 1200 МПа, а тенденція зростання – 1800 МПа. Технологічний процес виготовлення конічних замкових нарізей, передбачає використання нарізевих різців з профілем, який ідентичний до профілю нарізи, що за стандартом [1] становить  $30^{\circ} \pm 30'$ . Дотримування вказаного профілю заставляє виробника працювати з різцями з усталеною конфігурацією різальної частини, а саме з незмінним нульовим значенням переднього інструментального кута у вершинній точці. За рекомендаціями фахівців [2] для точіння нарізей величини вказаних передніх кутів повинні мати значення відмінні від нуля.

Причиною відмови від ненульового значення переднього кута є труднощі із профілюванням різальної кромки різця за певним алгоритмом. Метою нашої роботи є складення такого алгоритму і