

Рогач Ю.П., канд. техн. наук, професор
(ТДАТУ)

ОЦІНКА СТУПЕНЮ БЕЗПОМИЛКОВОСТІ У РОБОТІ ОПЕРАТОРА МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Рогач Ю.П., канд. техн. наук, професор
(ТДАТУ)

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЕЗОШИБОЧНОСТИ В РАБОТЕ ОПЕРАТОРА МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Rogach Yu.P., Ph.D. (Tech), Professor
(TSACU)

ESTIMATION OF DEGREE OF ERROR-FREE WORK OF MOBILE- MACHINE OPERATOR

Анотація. Охарактеризовано види помилок, які може допустити оператор мобільної техніки під час виконання своїх професійних обов'язків, і причина таких помилок. Запропоновано метод комплексованого вирішення задачі профілактики, аналізу та ліквідації наслідків зроблених помилок. Час виконання робіт оператором розділено на ряд етапів, які відрізняються характером помилок, які він може зробити протягом кожного етапу. На основі розробленого методу математичного моделювання функціонування системи «оператор - машина» було проведено розрахунки ймовірності безпомилкової роботи оператора і вироблено рекомендації щодо вдосконалення системи навчання операторів і підвищення їх кваліфікації з метою виключення виникнення найбільш поширених помилок у їх роботі.

Ключові слова: оператор мобільної техніки, система «оператор - машина», безпомилкова робота, математичне моделювання, підвищення кваліфікації.

Важливим показником правильно організованої роботи мобільної техніки є її безпечна експлуатація як у плані безпеки оператора і спільно працюючих з ним людей, так і за взаємодією з навколишнім середовищем. Основним чинником, який впливає на її ефективність, є людина-оператор; від показників, що характеризують її діяльність, суттєво залежить безпека праці.

Такі фактори діяльності людини-оператора, як придатність її до виконання конкретних робіт та компетентність під час прийняття рішень щодо безпечного виконання своїх обов'язків, були нами докладно розглянуті у роботах [1,2]. Третім фактором безпеки роботи оператора є її безпомилковість. Вона теж може бути охарактеризована кількісно: якщо якісно стан помилковості оцінюється лише двома логічними змінними («є» помилка, чи її «немає»), то кількісно параметр може знаходитись і у проміжному стані.

Помилка, по аналогії з технічними відмовами у роботі системи «оператор – мобільна техніка», може розглядатися як відмова (повна або часткова втрата працездатності у медичному і психофізіологічному плані), внаслідок чого оператор перестає відповідати встановленим для даного виду діяльності вимогам; виникає тимчасове відхилення від норм, дій та зниження їх якості.

Аналіз помилок включає виявлення умов і причин їх виникнення, і здійснюється шляхом моделювання ситуації та під час розслідування інцидентів. Він може бути клінічним (вивчення зовнішніх і внутрішніх факторів причин виникнення), статистичним (побудова прогнозу), або шляхом математичного моделювання.

Помилки з вини людини [3] можуть виникнути можуть виникати у тих випадках, коли:

а) оператор хоче досягти помилкової мети. Причинами можуть бути і непридатність, і некомпетентність оператора, і взагалі нерозуміння власних посадових обов'язків;

б) поставлена мета не може бути досягнута через неправильні дії оператора. Це – гірший випадок: мета оператору зрозуміла, але кваліфікації, тим паче, навичок, не вистачає;

в) оператор бездіє у той час, коли чітка присутність необхідна. Виною тому можуть стати і медичні, і психофізіологічні чинники, і стресова ситуація, у якій опинився оператор.

Причини, які призводять до відхилень у роботі оператора, виникають поза його волею, їх ускладнення та міри щодо усунення, наведено у табл. 1, види помилок, які допускає людина на різних стадіях взаємодії у системі «оператор – машина» - у табл. 2.

Таблиця 1 – Причини помилок у діях оператора

Причина помилки	Коментарі	Міра щодо усунення і недопущення у подальшому
1	2	3
Помилкогенні фактори	Фактори, що відвертають увагу оператора від виконання обов'язків (музика, звертання сторонніх осіб, бажання поїсти «на ходу» тощо)	Нейтралізація
Функціонування психіки за стохастичними законами	Недостатня здатність оператора зреагувати на виникнення непередбачених факторів	Зниження частки невизначеності, тобто більш обгрунтована організація праці
Умови праці на межі можливостей	Умови, що перевищують фізичні (температура на робочому місці, погане освітлення тощо) і психофізіологічні можливості оператора	Забезпечення оптимальних умов праці
Ускладнення ситуації	Ситуація вимагає від оператора дій, до яких він не пристосований	Недопущення характеру ускладнення ситуацій такого характеру
Індивідуальність помилок	Помилки викликаються особистістю індивідуума	Збільшення вимог до професійного відбору операторів за придатністю

1	2	3
Постійні помилки	Недостатня кваліфікація і увага оператора	Врахування можливостей людини і ліквідація чинника шляхом підвищення кваліфікації
Інстинкт порушення	Оператор боїться порушити правила чи інструкції	Психотерапія
Неочікувана відміна	Психофізіологічний фактор: помилка сталася несподівано для оператора	Підвищення самовпорядкованості і реагування дій у незвичній ситуації

Таблиця 2 – Види помилок, які припускає оператор

Вид помилки	Характер
Помилки проектування	Викликаються помилками проектування засобів мобільної техніки і організації роботи з нею (неправильне розташування сидіння оператора відносно засобів керування і приборів контролю, недостатнє забезпечення рухливості оператора тощо)
Операторські помилки	Неправильне виконання оператором своїх обов'язків, або дії його у ситуації, коли якісь дії взагалі не потрібні
Помилки виготовлення	Дії оператора, взагалі правильні, стають хибними внаслідок неякісного або з відхиленням від конструкторської документації виготовлення засобу праці
Помилки технічного обслуговування	Дії оператора стають хибними внаслідок непристосованості технічного засобу внаслідок помилок у його технічному обслуговування
Привнесені помилки	Помилки, для яких важко встановити причину виникнення (хибні дії оператора чи недоліки машини)
Помилки контролю	Помилкове залишення придатним обладнання, характеристики якого виходять за межі допусків, або відбраковуванням придатного пристрою
Помилки доставки продукції	Незадовільне зберігання продукції або її транспортування з відхиленнями від діючих вимог
Помилки організації робочого місця	Незадовільні параметри мікроклімату, шуму, вібрації тощо
Помилки управління колективом	Недостатнє стимулювання операторів, їх психологічна несумісність

В основі всіх наданих причин помилок оператора лежать психологічні мотивації поведінки людини у різних виробничих ситуаціях. Основною причиною помилок є те, що в екстремальних ситуаціях людина, як правило, продовжує відпрацьовану у нормальних умовах лінію поведінки, лише пристосовуючи її до зміни умов, хоча потрібно було б кардинально її змінити [4,5].

Загальна формула безпеки має вигляд: «критична ситуація – суворо регламентований підхід до зміни умов – комунікабельність – досягнення необхідного рівня безпеки». Після впровадження у стереотип поведінки оператора вона

спроможна забезпечити запобігання переходу нештатної ситуації у аварійну і зниження, якісно і кількісно, можливих небезпечних помилок.

Аналіз причин помилок оператора (табл. 1) і їх видів (табл. 2) показує, що, внаслідок різноманітності, великої кількості чинників, від яких вони залежать, і різного ступеню важкості наслідків не може бути знайдено єдиного підходу до їх профілактики, аналізу і ліквідації наслідків. В загальному вигляді структура комплексованого вирішення цих задач має для кожного виробничого процесу і задіяної у ньому системи «оператор - машина» [6] наступний вигляд:

а) складання переліку основних відмов у системі «оператор – машина» (окремо для кожної складової і комплексно, з урахуванням взаємовпливу);

б) оцінка частоти помилок оператора (окремо по кожному з видів і у кількісному (фактичному і процентному) відношенні);

в) визначення впливу частоти помилок на інтенсивність відмови системи «оператор - машина»;

г) впровадження рекомендацій, внесення необхідних змін у систему «оператор - машина» та розраховування нових значень інтенсивності відмов.

Для кожного технологічного процесу, у якому приймає участь система «оператор - машина» рішенням задачі керування помилками під час її функціонування передуватимуть:

а) виявлення переліку параметрів, які має контролювати оператор;

б) виявлення операцій, які виконуватиме оператор під час роботи.

Друга складова, у свою чергу, поділяються на ряд розмежованих у часі процесів, які оператор виконує:

а) до початку роботи. Це – різні види контролю придатності машини для виконання робіт;

б) до початку роботи системи «оператор - машина». Це – контроль допоміжних систем (освітлення, сигналізації тощо), системи керування, гідравлічної та гальмової систем;

в) під час роботи (безпосередньо на робочому місці оператора). Це – контроль роботи всіх технологічних елементів машини під час виконання робіт без їх аварійного припинення;

г) по закінченні робіт (безпосередньо на робочому місці оператора). Це – контроль правильного припинення роботи технологічних елементів машини);

д) по закінченні робіт. Це – контроль придатності машини для продовження робіт і необхідності профілактики і ремонту її технологічних елементів.

Неважко бачити, що ступінь безпомилковості робіт оператора протягом етапів а), б), г), д) неважко оцінити і своєчасно скоригувати: адже вони не обмежені у часі і дають можливість знайти рішення без прийняття нештатних мір. Ступінь ані придатності, ані компетентності оператора не має суттєвого значення: адже є час і на міркування, і на звертання по допомогу до співпрацівників. Уваги заслуговує лише етап в), найбільш важкий і тривалий, де від оператора потрібні всі притаманні йому якості.

Розмірність множин як параметрів, які повинен контролювати оператор під час роботи, так і операцій, які він виконуватиме, досить велика. Скажімо, для

виконання робіт з керування сільськогосподарською технікою перша множина має розмірність 19, друга – 32 (за окремими процесами: а) – 9; б) – 9; в) – 6; г) – 6; д) – 2); докладний перелік наводити не варто, бо він може суттєво різнитися, але для загального уявлення цього досить). І хоча у кількісному обсязі процеси п. в) займають у процентному відношенні невелике місце, на контролі їх безпомилкового виконання зосереджується найбільша увага.

У зв'язку з необхідністю також комплексного врахування всіх вимог таблиць 1 і 2, розмірність функціональної мережі (графу її стану) рішення задачі оцінки ступеню безпомилковості роботи оператора багаторазово збільшується, і для її рішення повинно побудувати функціонально-структурну схему діяльності оператора. Вона – оригінальна для кожного виду операторської діяльності, і врахування всіх необхідних чинників і параметрів входить до компетентності осіб, відповідальних за вирішення задачі.

В основі кількісної оцінки функціональної мережі у відповідності із загальноприйнятим структурним методом лежить процес редукції (еквівалентування) типових функціональних структур типовими функціональними одиницями (ТФО); формалізована структура спрощується до тих пір, доки не буде приведена до єдиної ТФО з первинними характеристиками. Тим самим на кожному кроці спрощення розмірність задачі зменшується, а саме вирішення полегшується.

Математична модель функціонування системи «оператор - машина» може бути представлена наступним чином.

Нехай E – множина всіх станів системи; E_+ - множина правильних станів; E_- - множина станів відмов; $p_i(t)$ – ймовірність перебування системи в момент часу t в стані i , $i \in E$; λ_{ij} – інтенсивність переходу зі стану i до стану j . Якщо стан I в стані j відсутній, то $\lambda_{i,j} = 0$.

Система лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами, яка описує процес функціонування системи, має вигляд

$$p'_i(t) = - \sum_{j \in E_+} \lambda_{i,j} p_j(t) + \sum_{j \in E_-} \lambda_{j,i} p_j(t), i \in E. \quad (1)$$

Якщо вважати, що в момент часу $t=0$ система є повністю працюючою, початкові умови функціонування мають вигляд

$$p_o(0)=1, \quad p_i(0)=0, \quad i \in E/\{0\}.$$

Рішення системи (1) із заданими начальними умовами дозволяє знайти ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t за умови, що всі стани відмови є поглинальними, тобто

$$p(t) = \sum_{j \in E_+} p_j(t).$$

Для визначення середнього часу безвідмовної роботи по графу стану складається система лінійних алгебраїчних рівнянь відносно часу перебування системи у невивірених станах τ_i

$$-\sum_{j \in E_+} \lambda_{i,j} p_i(t) + \sum_{j \in E_-} \lambda_{i,j} p_i(t) = -p_i(0), \quad i \in E.$$

Сумарний ризик системи за час t може бути знайдено за формулою

$$R'(t) = -\sum_{i \in E} R_{k(i)} p_i(t),$$

де $r_{k(i)}$ – ризик системи внаслідок відмови i – го елемента.

При $t=0$ початкові умови мають вигляд

$$p_o(0)=1, \quad p_i(0)=0, \quad i=1,2,\dots,n$$

Враховуючи, що при цьому всі елементи системи справні, $i=1,2,\dots,k$.

Нами проведено оцінювання рівня безпомилковості роботи оператора мобільної техніки на прикладі системи «оператор – трактор ХТЗ-17221». Опускаючи досить складні викладки та розрахунки (як було відмічено вище, аналізу підлягало п'ять складових роботи оператора, які у ході еквівалентування були спрощені до 32 функціональних одиниць), було отримано результати, з аналізу яких можна зробити наступні висновки:

а) оператори, робота яких оцінювалася на рівень безпомилковості, виявились придатними і компетентними, про що свідчить те, що з шести складових п. в) процесу безпосередньої роботи оператора лише одна виявила низьку імовірність безпомилкової роботи, та і те допоміжна: контроль системи охолодження; мабуть, у ньому просто не було потреби;

б) найбільша кількість помилок спостерігалася під час виконання робіт п. а). тобто взагалі ще до початку роботи. З дев'яти складових лише дві (контроль забруднення машини і рівень мастила у системі змащування) були реалізовані майже безпомилково (ймовірність 0,9572 і 0,9381), інші були практично знехтувані (ймовірність 0,0009÷0,019). Це, мабуть, свідчить про те, що оператор надто поклався на роботу допоміжних працівників, що виконували контроль і профілактичні роботи на машині до виходу її на роботу;

в) всі шість складових п. г) мають дуже низький ступінь безпомилковості (ймовірність 0,01÷0,19). Це, скоріш за все, свідчить просто про втому оператора [7]. А єдина складова п. д) з низькою (0,259) імовірністю безпомилкового виконання не має суттєвого значення, бо не відноситься до характеристик надійності машини.

Роблячи загальний висновок, можна констатувати, що правильний вибір операторів за чинниками придатності і компетентності є запорукою їх, з великим ступенем імовірності, безпомилкової роботи; помилки, на усунення яких, безумовно, треба звертати увагу, відносяться лише до фізіологічних і індивідуальних психологічних якостей оператора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рогач, Ю.П. Критерій і метод оцінки професійної придатності операторів мобільної техніки до виконання робіт на промислових підприємствах / Рогач Ю.П. // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпро, 2017. – Вип. 134. – С.
2. Рогач, Ю.П. Професійна компетентність оператора мобільної техніки з питань охорони праці як критерій оцінки рівня ризику його діяльності / Ю.П. Рогач // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпро, 2017. – Вип. 136. – С.
3. Роик, В. Профессиональный риск: проблемы анализа и управления / В. Роик // Человек и труд. – 2003. - № 3. – С. 12-18.
4. Новикова, Т.А. Роль эргономических факторов в формировании профессионального риска для здоровья механизатора сельского хозяйства / Т.А. Новикова // Бюллетень научного совета медико-экологических проблем работающих. – Москва, 2006. - № 2. – С. 59-60.
5. Адамович, Н.В. Управляемость машин (эргономические основы оптимизации рабочего места человека-оператора) / Н.В. Адамович. – М.: Машиностроение, 1977. – 280с.
6. Обоснование критерия оценки потенциальной технологической безопасности подсистемы «машина» / Б.Г. Горшков, Ю.И. Аверьянов, О.Ф. Скорняков [и др.] // Тракторы и другие сельскохозяйственные машины. – 2003. - № 12. – С. 40-41.
7. Зинченко, В.П. Психометрика утомлений / В.П. Зинченко, Ю.К. Леонова, Ю.К. Стрелков. – М.: Издательство МКУ, 1987. – 109с.

REFERENCES

1. Rogach, Yu.P. (2017) «Criterion and method estimation of professional fitness operators of mobile technique to implementation of works on industrial enterprises», *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp.
2. Rogach, Yu.P. (2017) «Professional competence of operator of mobile technique on the questions of labour protection as a criterion of estimation level of risk of his work», *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp.
3. Roik, V. (2003), «Professional risk: problems of analysis and control», *Man and labour*, no. 3, pp. 12-18.
4. Novikova, N.A. (2006), «Role of ergonomics factors in forming of occupational take for the health of mechanization expert of agriculture», *Bulletin of scientific advice of medicoecological problems of working*, no. 2, pp. 59-60.
5. Adamovich, N.V. (1977), *Upravlyayemost mashin (ergonomicheskiye osnovy optimizatsii rabocheho mesta cheloveka-operatora)* [Dirigibility of machines (ergonomics bases of optimization of working place of man-operator)], Mashynostroeniye, Moscow, SU.
6. Gorshkov, B.G., Averyanov, Yu.I., Skornyakov, O.F. [and others] (2003), «The ground of criterion estimation of potential technological safety of subsystem «machine»», *Traktory i drugiye selskokhozyaystvennyye mashiny*, no. 12, pp 40-41.
7. Zinchenko, V.P., Leonova, Yu.K. and Strelkov, Yu.K. (1987), *Psikhometrska utomleniy* [Psychometric of fatigues], Publishing House MKU, Moscow, SU.

Про автора

Рогач Юрій Петрович, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри цивільної безпеки Таврійського державного агротехнологічного університету Міністерства освіти і науки України (ТДАТУ МОН України), Мелітополь Запорізької області, Україна, office@tsatu.edu.ua.

About the author

Rogach Yury Petrovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Professor, Head of the Department of Civil Safety of Tavrichesky State Agrotechnological University under the Ministry of Education and Science of Ukraine (TSATU MES of Ukraine), Melitopol Zaporizkoy region, Ukraine, office@tsatu.edu.ua.

Аннотация. Охарактеризованы виды ошибок, которые может допустить оператор мобильной техники при выполнении своих профессиональных обязанностей, и причины таких ошибок. Предложен метод комплексированного решения задачи профилактики, анализа и ликвидации последствий сделанных ошибок. Время выполнения работ оператором разделено на ряд этапов, отличающихся характером ошибок, которые он может допустить на протяжении каждого этапа. На основе разработанного метода математического моделирования функ-

ционирования системы «оператор - машина» были проведены расчеты вероятности безошибочной работы оператора и выработаны рекомендации по совершенствованию системы обучения операторов и повышения их квалификации с целью исключения возникновения наиболее распространенных ошибок в их работе.

Ключевые слова: оператор мобильной техники, система «оператор - машина», безошибочная работа, математическое моделирование, повышение квалификации.

Annotation. Types of errors, which operators of mobile machines can make while executing their professional duties, and reasons of such error occurrence are described in the article. Method is proposed for complex prevention, analysis and liquidation of consequences of the errors made. The operator's working hours are divided into several stages, which differ by character of errors, which operator can make at each stage. On the basis of the developed method for mathematical modeling of the «operator - machine» system functioning, probability of the operator's error-free work was calculated, and recommendations were made for improving system of training of operators and their advanced professional development with the purpose to exclude the most widespread errors in their work.

Keywords: operator of mobile machines, «operator - machine» system, error-free work, mathematical modeling, professional development.

Статья поступила в редакцию 25.08. 2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько