

може одною людиною переборюватися без стресу, а в іншій викликати його. Стрес, зокрема, викликає загальний синдром хвороби, зменшення опору організму та його продуктивності [4]. Він може призвести до виразку шлунку або дванадцятипалої кишки, коронарних захворювань серця, підвищеного кров'яного тиску, астми, імпотенції.

Ще не з'ясовано, в якому ступені часті стресові ситуації можуть бути причиною або викликати інфаркт міокарда – але його причинний зв'язок з іншими факторами ризику, наприклад, надлишковою вагою, нікотинном і підвищеним кров'яним тиском, не викликає сумніву. Стрес можна зменшити або уникнути за допомогою ергономічної організації праці, покладання обов'язків на осіб, які здатні їх виконати, навчання вмінню діяти у критичних ситуаціях, активної організації дозвілля, стимулювання позитивних міжособистісних контактів і т.д.

З практики відомо, що людина в стресових ситуаціях гірше дотримує вимоги безпеки, чим при їх відсутності. Таким чином стрес, у загальному випадку, підвищує небезпеку травматизму, тому умови праці повинні бути організовані так, щоб, по можливості, не виникали стресові ситуації.

Список літератури: 1. *Русак О.Н.* Справочная книга по охране труда в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1989. – 541 с. 2. *Вудсон У., Коновер Д. М.* Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. – М.: Мир, 1968. – 518 с. 3. *Selye, H.:* Stress in health and disease. Boston, Butterworths, London. 1976. 4. *Gubser, A.:* Monotonie im Industriebetrieb: Die Auswirkungen einförmiger Arbeitsvorgänge, ihre Prophylaxe und Bekämpfung. Bern: Huber, 1968.

Поступила до редколегії 31.12.2009

УДК 614.8

Ю.В.КУЛЯВЕЦЬ, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ, м. Харків
О.І.БОГАТОВ, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ, м. Харків
О.А.ЕРМАКОВА, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ, м. Харків
Н.Б.ВОЛНЕНКО, докт. мед. наук, доцент, ХНАДУ, м. Харків

ЙМОВІРНІСНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ОПЕРАТОРОМ СИГНАЛІВ ПРО СТАН ОБ'ЄКТА

Розглядаються ймовірнісні методи виявлення оператором сигналів - провісників аварій на тлі перешкод за різноманітними критеріями. Надано рекомендації щодо зменшення кількості помилок оператора при розпізнаванні інформаційних сигналів.

Research probabilistic methods of detection of crash precursors by the operator of signals on a background noise on a various criteria. Given recommendations about reduction of number of errors of the operator at identification of information signals.

Людський чинник (ЛЧ), як причина ризику, що пов'язана з помилками людини, охоплює всі аспекти людської діяльності. Людина являє собою найбільш гнучкий, здатний до адаптації і важливий елемент ергатичної системи, однак і найбільш уразливий з точки зору можливості негативного впливу на її діяльність. Помилки оператора у системі "людина-техніка-середовище" можуть виникати

внаслідок невірною професійного відбору, невідповідного до складності технологічних процедур та недостатньої професійної підготовки оператора, його психофізіологічного стану тощо. Недосконалість технологій, машин, механізмів, інструкцій, настанов – це опосередковані чинники, які можуть призвести до тяжкої аварії. Як свідчить практика, до 80-90 % аварій та катастроф пов'язані з людським чинником.

Людський чинник – це комплекс знань про людей в тому середовищі, в якому вони живуть і працюють. Дослідження ЛЧ передбачає прогнозування вірогідності людських помилок і їх меж для практичного застосування можливостей людини при конструкторських розробках машин та механізмів, оптимізації діяльності людини, метою якої є безпека та ефективність при управлінні технічними системами.

Помилки людини зумовлені небажаною дією або бездіяльністю, що виникає з низки причин: не той порядок дій, невчасні дії, незнання того, що треба зробити, або внаслідок поганого обладнання чи недосконалих процедур.

Існують внутрішні і зовнішні чинники, що сприяють або заважають процесу прийняття. До внутрішніх чинників, що визначають процес прийняття рішення і, отже, дії оператора відносяться: розумові здібності, здатності втримувати у пам'яті інформацію, знання і навички, особливості реакції. Ці чинники індивідуальні. Вплив стресу частіше за все також відносять до внутрішніх чинників. До зовнішніх чинників відносять характер і тип обладнання, умови навколишнього середовища, складність задачі.

Помилки не завжди залежать від людини, а часто відбуваються від неправильних вимірювань, індикації, неефективного управління. Ефективність управління і кількість помилок операторів залежить від системи надання інформації людині і можливостей управління.

Для управління системою оператору необхідна інформація, яка б дозволяла:

- швидко оцінити загальний стан об'єкту, у якому він знаходиться, тобто в стані нормальної експлуатації, в умовах очікуваної експлуатаційної події чи в аварійному стані і переконатися, що виконуються запроектовані автоматичні дії по забезпеченню безпеки;

- визначити відповідні дії, які необхідно розпочати оператору.

Для виконання ролі оператора обладнання людині потрібна інформація з параметрів окремих систем об'єкту й устаткування.

Сигнали про аварійний стан об'єкта можуть бути отримані від, так званих, провісників аварії. Це можуть бути процеси і явища, пов'язані із причинами аварії або ті що виникають по ходу розвитку аварійного стану. Наприклад, зростання внутрішньої механічної напруги в конструкції, збільшення тиску, температури, тертя в системі, поява іскріння в електроустаткуванні, збільшення витоку газу або електроструму - ці й подібні їм явища можуть бути провісниками аварій. Сигнали про їх, правильно й вчасно прийняті, забезпечують можливість запобігання аварії.

Виявлення й реєстрація сигналів завжди відбувається на тлі перешкод (шумів). Перешкоди можуть генеруватися як сторонніми джерелами так і самим досліджуваним об'єктом. Так як сигнали формуються в результаті яких-небудь

матеріальних процесів, та й самі сигнали являють собою процеси, що супроводжуються переносом матеріальних потоків речовини або енергії, то й завжди будуть присутні перешкоди. Навіть якщо об'єкт максимально ізольований від зовнішнього миру, все одно, якщо від об'єкта йдуть сигнали, то будуть і перешкоди. Тому що раз є потоки, то існують і флуктуації цих потоків, які не можна повністю усунути. Ці флуктуації й стають основними джерелами перешкод, коли всі інші перешкоди по можливості усунуті або подавлені. Чим раніше на стадіях розвитку аварійного процесу необхідно одержати сигнал від провісника, тим слабкіше буде цей сигнал і тем сильніше вплив перешкод. Тому вірніше говорити про великий або малий рівень потоку перешкод.

Нехай є якийсь об'єкт, для якого має сенс говорити про ризик аварії. Спостережуваний сигнал $y(t)$ є реалізацією випадкового процесу, що має розподіл w_y , що належить одному з M непересічних класів w_i ($w_i \cap w_k = \emptyset$, $i \neq k$, $i, k = 0, 1, \dots, M-1$). На основі спостереження реалізації $y(t)$ необхідно вирішити, якому із класів належить w_y .

При цьому реалізація $y(t)$, що аналізується, є результатом взаємодії присутнього в ньому сигналу $s_i(t)$ з випадковим процесом, що заважає (перешкодою $x(t)$): $y(t) = F[s_i(t), x(t)]$. Від того, який з M можливих сигналів присутній в $y(t)$, залежить щільність імовірності ансамблю, якому належить $y(t)$, так що кожному $s_i(t)$ відповідає деякий клас w_i розподілів ансамблю, що представляє $y(t)$. Таким чином, гіпотези H_i трактуються як припущення про наявність i -го (і тільки i -го) сигналу в $y(t)$ $H_i: y(t) = F[s_i(t), x(t)]$.

При цьому рішення \hat{H}_i , одне з яких служить підсумком процедури, є твердження про те, що в прийнятій реалізації утримується саме i -й сигнал.

У випадку M детермінованих сигналів $s_0(t), s_1(t), \dots, s_{M-1}(t)$ на тлі перешкод з повністю заданим статистичним описом щільність імовірності спостережуваної реалізації $y(t)$ за умови, що у $y(t)$ входить сигнал з номером i , - деяка цілком певна функція, вид якої залежить лише від номера i .

Якщо, ще не маючи в розпорядженні реалізації $y(t)$, є відомості про те наскільки часто можна чекати появи $s_i(t)$ в $y(t)$, тобто відома апіорна ймовірність p_i присутності в $y(t)$ сигналу $s_i(t)$, то ймовірність p_i можна назвати апіорною ймовірністю істинності H_i , записавши $p_i = P(H_i)$. Ясно також, що p_i підлягає умові нормовки $\sum_{i=0}^{M-1} p_i = 1$, тому що події H_0, H_1, \dots, H_{M-1} становлять повну групу подій.

Припустимо, що $p_{ik} = P(\hat{H}_k / H_i)$ - умовна ймовірність переплутування i -го сигналу з k -м, тобто ухвалення рішення \hat{H}_k (про присутність $s_k(t)$ в $y(t)$) за умови, що істинна гіпотеза H_i (в $y(t)$ утримується $s_i(t)$). Отже, безліч імовірностей p_{ik} при $i \neq k$ становить набір умовних імовірностей всіх помилкових рішень. Ці ймовірності для будь-якого фіксованого способу прийняття рішень можуть бути обчислені за умови повного статистичного завдання перешкод.

Введемо M^2 ненегативних величин R_{ik} , кожна з яких характеризує ризик (втрати, збиток) від переплутування i -го сигналу з k -м. При цьому вважається що правильні рішення не наносять збитку, так що $R_{ii} = 0$. У кожній окремій спробі

рішення (підсумок) виявляється випадковою подією, а тому випадковим буде й значення ризику. Очевидно, безумовну ймовірність того, що ризик виявиться рівним R_{ik} , по теоремі множення ймовірностей можна знайти як $P(H_i)P(\hat{H}_k/H_i) = p_i p_{ik}$, тому математичне очікування ризику або середній ризик

$$\bar{R} = \sum_{i,k} R_{ik} p_i p_{ik}. \quad (1)$$

Природно при прийнятті рішень домагатися мінімуму середнього ризику, оскільки в цьому випадку сума штрафів за помилки виявиться найменшою (критерій Байеса або мінімуму середнього ризику).

Однак у більшості випадків не має об'єктивних даних для призначення всіх ризиків. Тоді природне бажання приймати помилкові рішення як можна рідше, тобто щоб повна ймовірність помилки

$$P_{\text{пом}} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^{M-1} p_i p_{ik} \quad (2)$$

була мінімальною. Цей критерій, що називається критерій ідеального спостерігача або критерій Котельникова, можна розглядати як окремий випадок байесовського, прийнявши в (1) $R_{ik} = R$, $i \neq k$, де R - довільна ненегативна константа. При цьому $\bar{R} = R P_{\text{пом}}$ й мінімізація середнього ризику дорівнює мінімізації (2).

Іноді ускладнення викликає завдання не тільки ризиків, але й апіорних ймовірностей. Тоді визначити повну ймовірність помилки не можна, але можна припустити цілком задовільний критерій якості - критерій мінімуму суми умовних ймовірностей помилок

$$P_{\text{пом ум}} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^{M-1} p_{ik}. \quad (3)$$

Легко переконатися, що це окремий випадок байесовського критерію, у якому $R_{ik} = R$, $i \neq k$, $p_i = 1/M$, $i = 0, 1, \dots, M-1$. Після цих підстановок (1) приймає вигляд $\bar{R} = R P_{\text{пом ум}}/M$, що вказує на ідентичність завдань мінімізації \bar{R} й $P_{\text{пом ум}}$.

Визначимо стратегію, якої необхідно дотримуватися при прийнятті рішень за критерієм Байеса. При цьому, з урахуванням раніше викладеного, відразу будуть встановлені й стратегії прийняття рішень за іншими критеріями.

Припустимо, що зі спостережуваної реалізації доступні лише n дискретних відліків $y_i = y(t_i)$, $i = 0, 1, \dots, n$, що становлять вектор спостереження $\mathbf{Y} = [y_0, y_1, \dots, y_n]^T$. Нехай $w(\mathbf{Y}/H_i)$ - умовна щільність ймовірності вектора \mathbf{Y} за умови, що вірною є гіпотеза H_i , тобто що в $y(t)$ утримується $s_i(t)$. Тому що перешкоди повністю статистично задані, то $w(\mathbf{Y}/H_i)$ - деяка конкретна функція, що задовольняє умовам $w(\mathbf{Y}/H_i) \geq 0$ і $\int w(\mathbf{Y}/H_i) d\mathbf{Y} = 1$.

Припустимо, що n -мірний простір векторів E^n розбитий на M (відповідно числу сигналів) непересічних областей рішення G_0, G_1, \dots, G_{M-1} :

$$G_i \cap G_k = \emptyset, \quad i \neq k, \quad i, k = 0, 1, \dots, M-1 \quad \bigcup_{i=0}^{M-1} G_i = E^n.$$

Тоді ухвалення рішення зводиться до визначення номера області, у яку потрапив вектор спостереження \mathbf{Y} . Якщо $\mathbf{Y} \in G_k$, то приймається рішення \hat{H}_k про

присутність в $y(t)$ сигналу $s_k(t)$. Можливість такої «геометризації» зводить пошуки оптимальної стратегії до відшукування найкращої розбивки E^n на області рішень.

Для того щоб знайти оптимальне правило розбивки підставимо в (1) вираз для умовних імовірностей помилок $p_{ik} = \int_{G_k} W(\mathbf{Y}/H_i) d\mathbf{Y}$, що випливає з визначення

областей G_0, G_1, \dots, G_{M-1} . Тоді

$$\bar{R} = \sum_{i,k=0}^{M-1} p_i R_{ik} \int_{G_k} W(\mathbf{Y}/H_i) d\mathbf{Y} = \sum_{k=0}^{M-1} \int_{G_k} \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(\mathbf{Y}/H_i) d\mathbf{Y}. \quad (4)$$

Очевидно, «призначення» конкретної конфігурації областей рішення зводиться до того, щоб перебравши всі вектори \mathbf{Y} , розписати їх по M областях, включивши кожний в одну й тільки одну область G_k . При цьому, як витікає з (4), кожний вектор увійде в один й тільки в один доданок суми по k , що відповідає тієї області, за якою він закріплений. Тому мінімуму можна домогтися, якщо охопити область G_k саме ті вектори \mathbf{Y} , для яких підінтегральний вираз в k -м інтегралі мінімальний. Отже, розбивка E^n на області G_0, G_1, \dots, G_{M-1} мінімізуючим \bar{R} , буде такою, при якій в G_k включаються вектори \mathbf{Y} , що задовольняють системі M нерівностей

$$\sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(\mathbf{Y}/H_i) \leq \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{il} W(\mathbf{Y}/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1. \quad (5)$$

Таким чином, на основі спостереження реалізації $y(t)$ необхідно встановити номер k , для якого спільно виконані нерівності (5), і ухвалити рішення \hat{H}_k щодо наявності в $y(t)$ сигналу з номером k . Це правило може бути записане у вигляді

$$\sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(\mathbf{Y}/H_i) \leq \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{il} W(\mathbf{Y}/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1, \quad (6)$$

де символ \hat{H}_k вказує на рішення, прийняте при одночасному виконанні всіх нерівностей в (6). Величина $\bar{R}\{y(t), k\} = \sum_{i=0}^{M-1} p_i R_{ik} W(y(t)/H_i)$ визначає умовний або апостеріорний (обчислений для даної конкретної спостережуваної реалізації $y(t)$) середній ризик. Тому вираз (6) має на увазі обчислення для аналізованої реалізації $y(t)$ M значень умовного середнього ризику $\bar{R}\{y(t), i\}$, $i = 0, 1, \dots, M-1$, і ухвалення рішення про наявність в $y(t)$ сигналу з тим номером k , для якого значення $\bar{R}\{y(t), i\}$ мінімальне.

Для ідеального спостерігача, мінімізуючого (2), варто покласти $R_{ik} = R$, $i \neq k$. Тоді вираз (6) приймає вигляд

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i) \leq \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq l}}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i), \quad l = 0, 1, \dots, M-1, \quad (7)$$

На підставі формули повної ймовірності $\sum_{i=0}^{M-1} p_i W(y(t)/H_i) = W(y(t))$, згідно (7), одержимо

$$p_k W(y(t)/H_k) \geq p_i W(y(t)/H_i), \quad i = 0, 1, \dots, M-1. \quad (8)$$

Так як, по теоремі множення ймовірностей $p_i W(y(t)/H_i) = W(y(t)) P(H_i/y(t))$, то співвідношення (8) може бути переписане у вигляді

$$P(H_k/y(t)) \geq P(H_i/y(t)), \quad i = 0, 1, \dots, M-1. \quad (9)$$

Величина $P(H_i/y(t))$ визначає апостеріорну (післдслідну) імовірність гіпотези H_i , тобто ймовірність наявності i -го сигналу в $y(t)$ з урахуванням всіх відомостей, які можна здобути зі спостережуваної реалізації $y(t)$. Отже ідеальний спостерігач приймає рішення на користь сигналу, що має найбільшу апостеріорну ймовірність, тобто діє за правилом максимуму апостеріорної ймовірності.

Якщо дані про апріорні ймовірності ненадійні і кращим є критерій мінімуму суми умовних імовірностей помилок (3), то відповідне оптимальне правило можна одержати з (8) при $p_i = 1/M$, $i = 0, 1, \dots, M - 1$:

$$w(y(t)/H_k) \stackrel{\hat{H}_k}{\geq} w(y(t)/H_i), \quad i = 0, 1, \dots, M - 1. \quad (10)$$

Умовна щільність імовірності $w(y(t)/H_i)$, визначена за умови істинності гіпотези H_i (присутності $s_i(t)$ в $y(t)$), - розглянута як функція номера гіпотези i при фіксованій реалізації $y(t)$, є функцією правдоподібності. Стратегія мінімізації виразу (3), зводиться до використання правила максимуму правдоподібності, тобто до підстановки прийнятої реалізації $y(t)$ у вираз для функції правдоподібності, відоме в силу детермінованості сигналів і статистичної визначеності перешкод, і підбору i , такого що максимізує функцію правдоподібності.

Таким чином, зменшити кількість помилок оператора можливо наступними шляхами. По-перше за рахунок підбору таких сигналів про стан об'єкта, які відрізняються один від одного настільки, що при впливі перешкод не відбувається їх переплутування при зіставленні об'єктивних зовнішніх сигналів з їх суб'єктивною смисловою оцінкою з боку індивідуальної свідомості. По-друге, так як сам по собі процес свідомого пошуку рішення оператором дуже повільний, у ситуаціях, які швидко розвиваються, імовірність того, що людина знайде потрібне рішення, у процесі мислення, зовсім мала. Основний шлях підготовки оператора до дій у конкретних виробничих ситуаціях полягає в постійному навчанні і тренуванні з метою переведення дій на рівень стереотипів.

Список літератури: 1. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки): Навч. посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко - К., 2004 - 328 с. 2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989 – 656 с.

Поступила в редколлегию 08.02.2010

УДК 538.69:331.45

А.Ф. ЛАЗУТСЬКИЙ, канд. військ. наук, НЮАУ, м. Харків

А.В. ПИСАРЄВ, канд. військ. Наук, НЮАУ, м. Харків

В.О. ТАБУНЕНКО, канд. техн. наук, Академія Внутрішніх Військ МВС України, м. Харків

ЩОДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

У статті розглянуто деякі аспекти визначення фізико-хімічних процесів поверхневого радіоактивного забруднення. В результаті проведеного аналізу встановлено, що по мірі