

УДК 614.84

*Шило С.Г., канд. техн. наук, доц., ХНЕУ,
Маляров М.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Борозенець І.О., канд. техн. наук, доц., ХНЕУ*

**АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА
ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ СЛУЖБИ МНС**
(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

Запропоновано аналітичну модель оцінки надійності оператора оперативно-диспетчерської служби, наведено розрахунки, що підтверджують адекватність та практичну значимість моделі

Ключові слова: диспетчер, ймовірність відмови, ресурс роботоспроможності, надійність людини-оператора

Постановка проблеми. Оперативно-диспетчерська служба (ОДС) МНС являє собою складну ергатичну систему, що включає обов'язкові технічну, програмну та особистісну (оператори ОДС)

компоненти. Ефективність роботи ОДС залежить від надійності (роботоспроможності) всіх трьох компонент. При цьому безпомилковість рішень та дій при виконанні функціональних обов'язків операторами ОДС являється головною визначальною умовою щодо забезпечення ефективної діяльності ОДС. Дослідження питань надійності функціонування людини-оператора ОДС є актуальною задачею, що потребує вивчення та розв'язання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням надійності функціонування комплексів технічних та програмних засобів присвячено достатню кількість наукових публікацій, як вітчизняних так і зарубіжних авторів [1-10]. Властивості надійності, роботоспроможності операторів в складних ергатичних системах вивчені в недостатньому обсязі, що зумовлено еволюційним розвитком таких систем та їх суттєвим ускладненням, особливо в останній час, коли стрімко впроваджуються новітні інформаційні технології. Крім того недостатнє вивчення властивостей людини-оператора в екстремальних ситуаціях зумовлено багатofакторністю та складністю процесів її діяльності, що потребує побудови більш адекватних аналітичних моделей.

Постановка завдання та його вирішення. Кожна з трьох зазначених компонент ОДС МНС, перед безпосереднім застосуванням за призначенням, обов'язково проходить початковий етап свого життєвого циклу: технічні засоби – етап доопрацювання та дослідної експлуатації; програмні засоби - етап від лагодження та тестування; людина-оператор - етап адаптації до майбутньої професійної діяльності. Для оператора даний етап зводиться до навчання визначеній діяльності, адекватній поведінці, або до відпочинку для відновлення розумової та фізичної робото спроможності, тренуванню і т. ін. Інакше – організм людини-оператора володіє більш широким спектром властивостей, загальною рисою яких є можливість навчання, адаптації його до визначеного виду діяльності. Тому і подання безпомилковості діяльності людини - оператора за допомогою аналітичних моделей може бути вельми різноманітним.

Розглядається випадок, побудови аналітичної моделі для ситуації коли відновлення ресурсу роботоспроможності передує його витраті. Така ситуація є характерною для більшості видів діяльності людини-оператора. Ситуація відновлення ресурсу іррегулярно, тобто в процесі діяльності людини – оператора або через невеликі проміжки часу, що характерно для нештатних ситуацій дія-

льності ОДС, потребують побудови багатofакторних моделей і в даній роботі не розглядаються.

Обґрунтовано, з точки зору практичних застосувань, приймемо припущення, що процес навчання людини-оператора (адаптації до майбутньої професійної діяльності) знижує можливість виникнення помилкових дій в майбутньому. В якості кількісної міри такої події приймемо ймовірність попередження відмови організму людини-оператора в процесі його функціональної діяльності за час t . Нехай оператор проходив навчання на протязі відрізка часу τ , за сукупності умов навчання ζ . З фізичних міркувань слідує що значення даної ймовірності має бути тим меншим, чим більший проміжок часу τ і чим жорсткіші вимоги комплексу умов навчання ζ .

В загальному випадку враховуємо, що організм людини-оператора і в процесі навчання (як і в процесі основної функціональної діяльності) може втрачати свою роботоспроможність. Тому умовна ймовірність успішної діяльності оператора за час t , за умови що він на протязі проміжку часу τ навчався в умовах ζ складе

$$P_y = \frac{P(t + x(\tau)\varepsilon)}{P(x(\tau)\varepsilon)}, \quad (1)$$

де $P(t, \varepsilon)$ - безумовна ймовірність успішної діяльності оператора в умовах ε ; $x(\tau)$ - інтервал часу роботоспроможності оператора в умовах ε , який еквівалентний по витраті ресурсу роботоспроможності оператора за час τ в умовах ζ .

Міра еквівалентності може бути перерахована на основі обраної відомої моделі перерахунку величини ресурсу, наприклад [6]. Якщо $x(\tau) = 0$, то при $t = 0$ організм людини-оператора повністю роботоспроможний після закінчення процесу навчання (новий організм). Крива інтенсивності його відмов для цього випадку буде зсунута відносно початкового положення праворуч по вісі часу на величину τ . Фома кривої інтенсивності відмов залишиться незмінною. Якщо $x(\tau) = 0$ то при $t = 0$ організм людини-оператора залишається роботоспроможним, але інтенсивність його відмов в момент $t = 0$ дорівнює інтенсивності відмов в момент τ (старий організм). Зсуву кривої праворуч не відбувається. У випадку частко-

вої втрати роботоспроможності крива інтенсивності відмов зсувається праворуч на величину $x(\tau)$, $0 < x(\tau) \ll \tau$.

З виразу (1) інтенсивність відмови

$$\lambda_o(t, \tau) = \lambda(t + x(\tau), \varepsilon), \quad (2)$$

де $\lambda(t, \varepsilon)$ - інтенсивність відмови при відсутності навчання оператора.

Виходячи з припущень, інтенсивність відмови організму оператора, за умови його навчання, буде мати вид

$$\Lambda(t, \varepsilon) \approx P(\tau, \zeta) \lambda(t + x(\tau), \varepsilon). \quad (3)$$

Таким чином побудова моделі інтенсивності відмови (3) формально зводиться до зменшення безумовної інтенсивності відмови організму оператора $P(\tau, \zeta)$ та зсуву кривої інтенсивності відмов праворуч на величину $x(\tau)$, що відображує процеси навчання та оновлення ресурсу організму людини-оператора.

Якщо (3) розглядати як провідну функцію потоку відмов на вісі часу, то відповідний випадковий процес типу відновлення можна віднести до класу нестационарних процесів квазіпуасонівського типу процесів індексу τ .

В подальшому розгляду підлягає випадок, коли організм людини-оператора після процесу навчання є повністю відновленим. Окрім того, якщо $\lambda(t, \varepsilon) = \lambda(\varepsilon) = \text{const}$, то передісторія існування процесу до моменту часу $t=0$ не впливає на його подальшу поведінку, але інтенсивність відмови, як і раніше, буде зменшуватись в $P_K(\tau, \zeta)$ разів.

Визначимо $P_K(\tau, \zeta)$ як керуючу функцію інтенсивності відмови організму людини-оператора. Визначимо принципи її побудови. Покладемо, що оператор до початку виконання функціональних обов'язків навчався на протязі інтервалу часу τ в умовах ζ . Використавши ансамблеву модель випробувань припустимо що на випробування відібрано N_0 однотипних, за складом функціональних дій, операторів, помилки в роботі яких можуть бути усунені. За час τ можуть бути усунені похибки в діях у $n(\tau)$ операторів. Відповідно, $N_0 - n(\tau)$ - число операторів, похибки яких усунені бути не можуть, а $P_K(\tau) = (1 - n(\tau)) / N_0$ - ймовірність події, що за час

τ похибка оператора усунена не буде. Інтенсивність появи похибки в діях оператора за інтервал часу τ знаходиться як

$$\nu(\tau) = -\frac{P'_K(\tau)}{P_K(\tau)}. \quad (4)$$

Диференціальне рівняння (4) за початкової умови $P_K(\tau) = 1$ з врахуванням комплексу умов навчання ζ має вид

$$P_K(\tau, \zeta) = \exp \left\{ -\int_0^{\tau} \nu(z, \zeta) dz \right\}. \quad (5)$$

Даний вираз визначає ймовірність не усунення похибки оператора, яка в майбутньому може виникнути за умови відмови організму оператора, при навчанні його протягом інтервалу часу τ в умовах навчання ζ . При цьому інтенсивність похибки визначається як відносна швидкість її виявлення та усунення. Вона визначається як відношення числа виявлених на короткому інтервалі часу похибок за одиницю часу до середньої кількості операторів, які залишилися роботоспроможними до моменту часу τ .

Запропонований підхід, порівняно з відомими, є більш об'єктивним, оскільки він безпосередньо не пов'язаний з числом похибок, що отримані в виразах. Якість навчання оператора визначається лиш ймовірністю, яка залежить від тривалості навчання τ та комплексу умов навчання ζ , і, на відміну від методу статистичних випробувань, величина N_0 потрібна тільки для обґрунтування знаходження ймовірності $P_K(\tau, \zeta)$. Сутність запропонованої моделі полягає в тому, що відносне потенційне число похибок оператора в майбутньому, після навчання, зменшується в $P_K(\tau, \zeta)$ разів.

У відповідності до припущення, що ресурс роботоспроможності оператора відновлюється повністю, після його навчання ймовірність успішного виконання функціональних завдань за час t складе

$$P_0(t, \tau) = \exp \left\{ -\int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz \exp \left\{ -\int_0^{\tau} \nu(u, \zeta) du \right\} \right\}. \quad (6)$$

Показник першої експоненти являє собою ресурс роботоспроможності (надійності) оператора

$$R(t, \varepsilon, \tau, \zeta) = \int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz \exp \left\{ - \int_0^{\tau} \nu(u, \zeta) du \right\}, \quad (7)$$

де $\int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz = r(t, \varepsilon)$ - відпрацьований ресурс роботоспроможності оператора за час t , в умовах ε .

Величина $\theta(t, \zeta) = \int_0^{\tau} \nu(u, \zeta) du$ являє собою відновлений ресурс роботоспроможності, отриманий оператором в процесі навчання за період τ в умовах ζ . Для складових отриманих виразів (6) та (7) доцільні наступні подання

$$P_0(t, \tau) = \exp \{ -r \exp \{ -\theta \} \} = P_0(r, \theta), \quad (8)$$

$$R(t, \theta) = r \exp \{ -\theta \}. \quad (9)$$

Аналіз отриманих моделей дозволяє стверджувати, що надійність оператора залежить від ресурсу роботоспроможності. Вона буде тим меншою, чим більше вироблений ресурс r , і тим більшою, чим більше відновлений ресурс θ .

З чого слідує принцип роботоспроможності оператора: роботоспроможність оператора в майбутньому залежить від величини ресурсу роботоспроможності $R(r, \theta)$ та не залежить від того яким шляхом він отриманий.

Математично даний принцип може бути поданий у наступним чином

$$P_0(t, \varepsilon; \theta / t_1, \varepsilon_1; \theta_1) = P_0(t, \varepsilon; \theta / t_2, \varepsilon_2; \theta_2), \quad (10)$$

за умови

$$P_0(t, \varepsilon; \theta_1) = P_0(t_2, \varepsilon_2; \theta_2). \quad (11)$$

Або, в залежності від ресурсу

$$P_0(R/R_1) = P_0(R/R_2), \quad (12)$$

за умови

$$P_0(R_1) = P_0(R_2). \quad (13)$$

Доведемо практичну значимість запропонованої аналітичної моделі надійності людини-оператора.

Розглянемо випадок коли $\lambda(t, \varepsilon) = \lambda(\varepsilon)$; $\nu(\tau, \zeta) = \nu(\zeta)$. Тоді ймовірність (6) прийме вид

$$P_0(t, \tau) = \exp\{-\lambda t \exp\{-\nu \tau\}\}. \quad (13)$$

При цьому умова (10) виконується, якщо $\lambda_1 t_1 = \lambda_2 t_2$ та $\nu_1 \tau_1 = \nu_2 \tau_2$, де $\lambda_1 = \lambda(\varepsilon_1)$, $\lambda_2 = \lambda(\varepsilon_2)$, $\nu_1 = \nu(\zeta_1)$, $\nu_2 = \nu(\zeta_2)$.

Необхідно визначити ймовірність відмови оператора в умовах ε_0 , якщо відома ймовірність відмови в умовах ε^* , $\varepsilon^* > \varepsilon_0$, $\theta_1 \neq \theta_2$. Згідно лінійної моделі форсованих випробувань складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \int_0^t \lambda(z, \varepsilon_0) dz \exp\left\{-\int_0^{\tau_1} \nu(u, \zeta_1) du\right\} = \int_0^{x(t)} \lambda(z, \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon) dz \exp\left\{-\int_0^{\tau_2} \nu(u, \zeta_2) du\right\} \\ \varepsilon_0 t = (\Delta\varepsilon_0 + \Delta\varepsilon)x(t) \end{cases} \quad (14)$$

де ε_0 , $\varepsilon_0 + \Delta\varepsilon$ - постійні швидкості зміни визначаючого параметру роботоспроможності оператора; $t, x(t)$ - час досягнення параметром межі роботоспроможності для даної швидкості зміни.

Система (14) зводиться до диференціального рівняння в часткових похідних, рішення якого за початкової кривої

$$\lambda(t, \varepsilon^*) \exp\left\{-\int_0^{\tau_2} \nu_2(z, \zeta_2) dz\right\} \text{ має вид}$$

$$\lambda(t, \varepsilon_0) = \frac{\exp\{-\theta_2\} \varepsilon_0}{\exp\{-\theta_1\} \varepsilon^*} \lambda\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon^*} t, \varepsilon^*\right). \quad (15)$$

З аналізу виразу (15) слідує, що прогнозоване значення інтенсивності відмови в нормальному режимі випробувань ε_0 порівня-

но з форсованим режимом ε^* додатково змінюється в $\exp\{-\theta_2\}/\exp\{-\theta_1\}$ разів. При цьому чим більше відновлений ресурс θ_2 порівняно з θ_1 , тим нижче інтенсивність відмов в нормальному режимі. Коефіцієнт $\exp\{-\theta_1\}\varepsilon^*/(\exp\{-\theta_2\}\varepsilon_0)$ являє собою коефіцієнт прискорення випробувань. Для даного випадку він буде тим більшим, чим жорсткіше режим форсування ε^* і більше відновлений ресурс θ_2 .

Далі на інтервалі часу $(0, t + \tau)$ необхідно забезпечити ймовірність успішного функціонування оператора не нижче заданої P_3 , тобто

$$\exp\{-r \exp\{-\theta\}\} \geq P_3. \quad (16)$$

Розв'язання задачі полягає в тому, що слід визначити тривалість терміну навчання τ оператора в умовах ζ , щоб забезпечити виконання нерівності (16). Розкривши (16) відносно змінної τ отримаємо

$$\tau \geq \frac{1}{\nu} \ln \frac{r}{-\ln P_3}, \quad (17)$$

при цьому має виконуватися умова $P_3 > \exp\{-r\}$. Наприклад якщо $r = \lambda t = 0,01 \cdot 10 = 0,1$; $\nu = 0,2 \frac{1}{\text{год}}$, то для $P_3 \geq 0,95$ $\tau \geq 5 \cdot \ln 2 = 3,364$.

Наступне практичне застосування моделі. Нехай інтенсивність відмови оператора для деяких умов функціонування постійна та складає $0,1 \frac{1}{\text{год}}$, тобто в середньому він здійснює одну помилку за 10 год роботи. Необхідно зменшити інтенсивність відмови оператора в 10 разів, тобто вона має складати $0,01 \frac{1}{\text{год}}$. Треба визначити, яким чином слід організувати його навчання.

З виразу (13) слідує, що $\exp\{-\nu\tau\} = 0,1$, тоді $\tau = \frac{1}{\nu} \ln 10 \approx \frac{1}{\nu} 2,3$.

Жорсткість режиму навчання оператора необхідно обрати відповідно до розрахункових даних наведених в таблиці 1.

Таблиця 1 – Часові параметри режиму навчання оператора

$t, \text{год}$	1	2	4	6	8	10	100
$\nu, \frac{1}{\text{год}}$	2,3	1.15	0,58	0,38	0,29	0,23	0,04
$\frac{1}{\nu}, \text{год}$	0,43	0,87	1,72	2,63	3,44	4,34	23,2

Так наприклад, якщо середній час між проявом помилкових дій оператора дорівнює 4, 34 год, то час тренувань складає 10 год.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, щодо практичної спрямованості та роботоздатності запропонованої аналітичної моделі.

Висновки. Запропонована аналітична модель оцінювання надійності людини-оператора, що є ймовірно близькою до моделі надійності технічних та програмних засобів. Відмінність запропонованої моделі від існуючих є формулювання та опис імовірного ресурсу роботоспроможності людини-оператора у вигляді двох взаємопротилежних за напрямом дії складових. Перша – подається у вигляді ресурсу, що витрачається, а друга – як відновлюваний ресурс роботоспроможності людини оператора.

Процес відновлення ресурсу роботоспроможності оператора подано квазіпуасоновським потоком, який зручно використовувати для ряду практичних застосувань, нарівні з управляємими напівмарківськими процесами. До недоліків даного подання можна віднести, що деякі характеристики, наприклад щільність імовірності та функцію відновлення для практичних застосувань аналітично визначити не вдається. Але це не заважає отримувати практичні результати для штатного режиму роботи операторів оперативно-диспетчерської служби МНС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абраменко Б.С., Эксплуатация автоматизированных систем управления / Абраменко Б.С., Маслов А.Я., Немудрук Л.Н.. – СПб., 1984. – 484 с.
2. Флейшман Б.С, Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. – М.: Сов. радио, 1991. – 226 с.
3. Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления. – М.: Сов. радио, 1987 – 643 с.

4. Каштанов В.А. Полумарковские модели процесса технического обслуживания. – М.: Знание, 1987. – 91 с.
5. Musa J. A theory of software reliability and its application // IEEE Trans. on software Eng., vol.SE-1, Sept. 1985. – P.312-327.
6. Смагин В.А. Физико-вероятностные модели прогнозирования надёжности изделий на основе формирования испытаний // Надёжность и контроль качества. – 1998. - № 4. – С.15-23.
7. Інформаційна модель процесу навчання /Войтович С.А., Шило С.Г., Руденко В.М., Павленко М.А. // Збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2006. - № 4 (102). – С. 25-29.
8. Основи технічної експлуатації АСУ. [Навчальний посібник] / ІвановС.Г., Іванов Л.С., Руденко В.М., Шило С.Г. - Х.: ХУ ПС, 2007. – 308 с.
9. Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС. / Шило С.Г., Борозенець І.О., Феценко А.Б. //Збірник наукових праць. УЦЗ України. Вип. 9. – Х.: УЦЗУ, 2009. С.170-176.
10. Визначення закону розподілу часу оцінки обстановки оперативно-диспетчерською службою МНС. / Шило С.Г., Маляров М.В., Борозенець І.О., // Збірник наукових праць. НУЦЗ України. Вип. 11. – Х.: УЦЗУ, 2010. С.216-221.

Шило С.Г., Маляров М.В., Борозенець І.А.

Аналитическая модель надежности оператора оперативно-диспетчерской службы МЧС

Предложена аналитическая модель оценки надежности оператора оперативно-диспетчерской службы, приведены расчеты, подтверждающие адекватность и практическую значимость модели

Ключевые слова: диспетчер, вероятность отказа, ресурс работоспособности, надежности человека-оператора

Shilo S.G., Malyarov M.V., Borozenec I.O.

Analytical model of reliability of the operator operational dispatching service of the MOE

An analytical model for evaluating the reliability of operator's operational and dispatching service, shows calculations, confirming the relevance and practical significance of the model

Key words: dispatcher, the probability of failure, resource efficiency, reliability of a human operator