

4. Milinkovic, S. A fuzzy Petri net model to estimate train delays [Text] / S. Milinkovic, M. Markovic, S. Veskovic, M. Ivic, N. Pavlovic // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2013. – Vol. 33. – P. 144–157. doi: 10.1016/j.simpat.2012.12.005
5. Szücs, G. Railway Simulation with the CASSANDRA Simulation System [Текст] / G. Szucs // Journal of Computing and Information Technology. – 2001. – Vol 9, Issue 2. – P. 133–142. doi: 10.2498/cit.2001.02.04
6. Бобровський, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровський, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2004. – Вып. 5. – С. 80–86.
7. Козаченко, Д. М. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану – графіку [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробіюва // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4 (70). – С. 18–20.
8. Bobrovskiy, V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automate [Text] / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, R. Vernigora // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9, Issue 3. – P. 57–65.
9. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций [Текст] / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. – Вып. 46. – С. 47–55.
10. Козаченко, Д. Н. Комплексный анализ железнодорожной инфраструктуры металлургического комбината на основе графоаналитического моделирования [Текст] / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Зб. наук. праць ДНУЗТ: «Транспортні системи та технології перевезень». – 2011. – Вып. 4. – С. 55–60.
11. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций [Текст] / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. – Вып. 45. – С. 22–28.

Забезпечення працюючих на коліях станції та пасажирів можливе лише за умови надійного своєчасного оповіщення, виконання якого покладено на чергового по станції. Для отримання кількісних значень ймовірності своєчасного виконання оповіщення побудовано функціонально-семантичну мережу та відповідну модель. Дослідженні залежності між ймовірністю своєчасного виконання операцій та психофізіологічним станом чергового по станції і кількістю працюючих бригад на коліях станції

Ключові слова: оповіщення, черговий по станції, працюючі на коліях станції, функціонально-семантична мережа, моделювання, математичне сподівання, вірогідність оповіщення

Обеспечение безопасности работающих на путях станции и пассажиров возможно только при условии надежного своевременного оповещения, выполнение которого возложено на дежурного по станции. Для получения количественных значений вероятности своевременного выполнения оповещения построена функционально-семантическая сеть и соответствующая модель. Исследованы зависимости между вероятностью своевременного выполнения операций, психофизиологическим состоянием дежурного по станции и количеством работающих бригад на путях станции

Ключевые слова: оповещение, дежурный по станции, работающие на путях, функционально-семантическая сеть, моделирование, математическое ожидание, вероятность оповещения

УДК 656.211.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31353

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙ ОПОВІЩЕННЯ ЧЕРГОВИМ ПО СТАНЦІЇ ПРАЦЮЮЧИХ НА КОЛІЯХ СТАНЦІЇ

С. О. Змій

Асистент*

E-mail: onilsergey@yandex.ru

В. П. Мороз

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: onilbd@yandex.ru

Р. В. Турчинов

Асистент*

E-mail: roman.kym@rambler.ru

*Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів
Українська державна академія залізничного транспорту
пл. Феєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

1. Вступ

Залізничний транспорт, як відомо, є зоною підвищеної небезпеки. Для забезпечення безперервності роботи транспорту технічний персонал виконує різ-

ного виду роботи безпосередньо на коліях станції. Ці роботи виконуються цілодобово при будь-яких погодних умовах, при достатньо великому рівні шуму та при низькій видимості. Такі умови призводять до випадків травмування із смертельними наслідками

[1]. Одним із способів, який сприятиме як зменшенню травматизму працюючих на коліях, так і зниженню невиробничого травматизму, є своєчасне оповіщення усіх тих, хто знаходиться у зоні підвищеної небезпеки про рух поїздів та маневрових складів на станції [2], на перегоні [3] та на переїзді [4].

На даний час забезпечення оповіщення працюючих на коліях покладено на чергового по станції (ДСП) [5]. Проведене опитування працівників, що працюють на коліях, зйомка трудового процесу та фотохронометраж роботи ДСП [4] показали, що випадки відсутності оповіщення трапляються постійно, але не фіксуються у статистиці, окрім пригод з травмуванням людей. Для отримання кількісних значень ймовірностей своєчасного виконання операцій необхідно формалізувати дії ДСП.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Проблемам аналізу дій операторів присвячена значна кількість досліджень. У роботі [6] визначено інтегральне завантаження оперативно-диспетчерського персоналу та виявлена закономірність підвищення коефіцієнта завантаження при збільшенні потоку оперативної інформації, що призводить до появи відкладених дій ДСП. Загальна оцінка надійності діяльності людини-оператора у системах керування надана у [7]. Вихідними даними, щодо надання оцінки, використовуються результати лабораторних досліджень, що унеможливує їх використання для подальших досліджень у галузі залізничного транспорту. У роботі [8] надано декілька методів щодо проведення експертизи випадків травмування та без врахування особливостей операторів залізничного транспорту. Достатня кількість вихідних даних щодо моделювання операцій людиною-оператором у людино-машинних системах надано у [9], окрім також галузі залізничного транспорту. Дослідженнями [10, 11] виявлено, що на даний час у оперативно-диспетчерському персоналі існують такі проміжки часу, коли людині-оператору доводиться за короткий час визначитись з першочерговістю дій, що ще раз вказує на необхідність зниження інформаційного навантаження людини-оператора. Наданий аналіз вказує на необхідність проведення моделювання операцій оповіщення ДСП працюючих на коліях станції.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є отримання кількісних значень ймовірності своєчасного виконання операції по оповіщенню працюючих на коліях та пасажирів. Визначення цих даних ґрунтується на використанні функціонально-семантичних мереж.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- побудови моделі операцій оповіщення черговим по станції працюючих на коліях та пасажирів;
- дослідження залежностей між ймовірністю своєчасного виконання операцій та психофізіологічним станом чергового по станції і кількістю працюючих бригад на коліях станції.

4. Синтез моделі виконання операцій оповіщення ДСП працюючих на коліях станції та пасажирів

З урахуванням рекомендацій [7–9], результатів обробки даних фотохронометражу та оцінки стану чергових по станції [6] побудована функціонально-семантична мережа (рис. 1) виконання операцій оповіщення ДСП бригад працюючих на коліях станції та пасажирів. На основі функціонально-семантичної мережі побудовано модель:

$$\beta_{pe}(n) = k \cdot \beta_{p1} \cdot \beta_{m1} \cdot (\beta_{p2} \cdot \beta_{p3} \cdot \beta_{p8} \cdot \beta_{p4} \cdot \beta_{p5} \cdot \beta_{A1})^n \cdot \beta_{p6} \cdot \beta_{p7}, \quad (1)$$

$$M_{pe}(n) = j \cdot (M_{p1} + M_{m1} + n \cdot (M_{p2} + M_{p3} + M_{p8} + M_{p4} + M_{p5} + M_{A1}) + M_{p6} + M_{p7}), \quad (2)$$

де β – ймовірність правильного виконання відповідної операції; M – математичне сподівання виконання відповідної операції; k та j – відповідно коефіцієнт ймовірності та коефіцієнт математичного сподівання виконання операції, що враховує психофізіологічні стани ДСП.

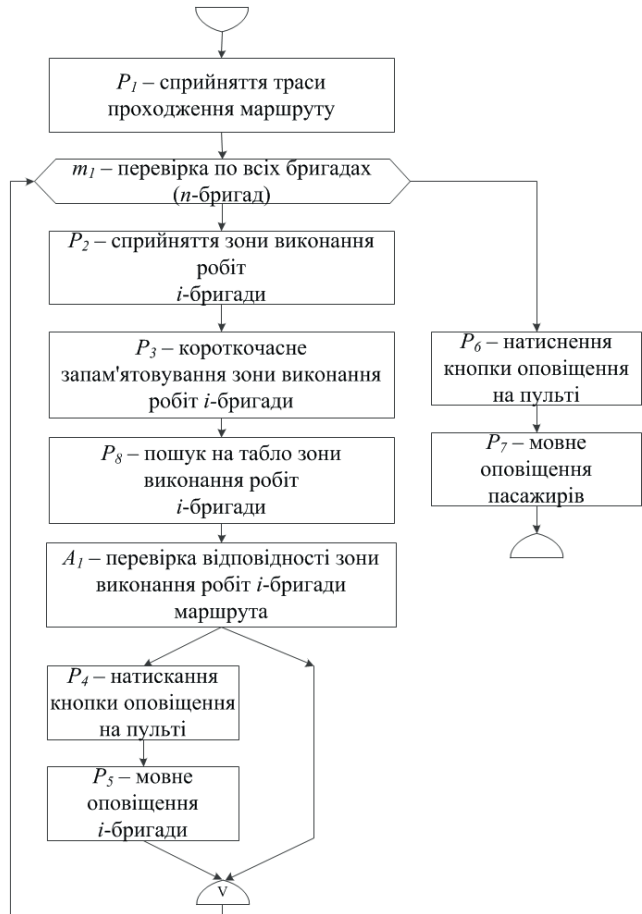


Рис. 1. Функціонально-семантична мережа виконання операції по оповіщенню: P₁-P₈, m₁ та a₁ – атомарні типові функціональні елементи

Вихідними даними (табл. 1) для моделювання є результати проведеної обробки даних фотохронометражу роботи [6] чергових по станції та рекомендацій [7–9].

Таблица 1

Вихідні дані моделювання

Показник	Атомарні типові функціональні елементи									
	P ₁	m ₁	P ₂	P ₃	A ₁	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
β	0,996	0,999	0,995	0,9	0,996	0,998	0,99	0,998	0,99	0,95
M, сек.	0,28	2-17,5	0,28	0,5	0,21	0,18	3-5	0,18	3-5	3,19-3,34

5. Аналіз результатів моделювання операцій оповіщення ДСП працюючих на коліях станції та пасажирів

У результаті моделювання функціонально-семантичної мережі встановлено, що з ймовірністю не нижче β_{min}=0.856 (прийнята для систем електричної централізації [12]) черговий по станції здатен оповіщати не більше двох одночасно працюючих бригад та пасажирів при оптимальному психофізіологічному стані. Проте, при погіршенні психофізіологічного стану [5] черговий по станції не в змозі виконати поставлене завдання з заданою ймовірністю (рис. 2).

Математичне сподівання M_{pe} виконання операції оповіщення також залежить від психофізіологічного стану чергового по станції (рис. 3). Так, при погіршенні психофізіологічного стану час, що необхідний для оповіщення, збільшується у два рази, що значно впливає як на безпеку руху поїздів, так і на безпеку працюючих бригад на коліях станції та пасажирів.

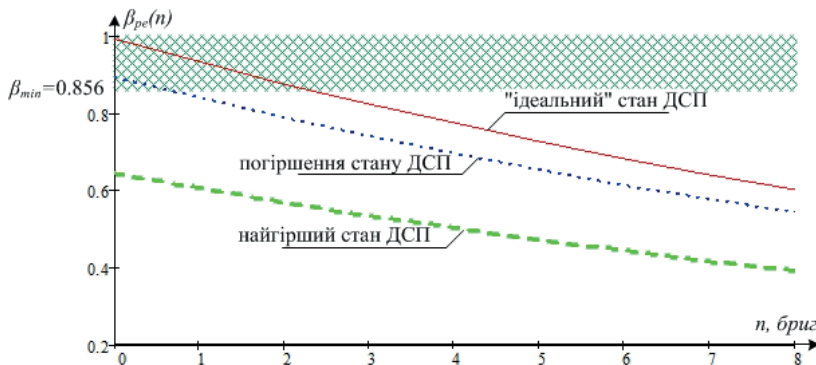


Рис. 2. Ймовірність виконання операції оповіщення β_{pe} від кількості бригад n при різних психофізіологічних станах чергового по станції

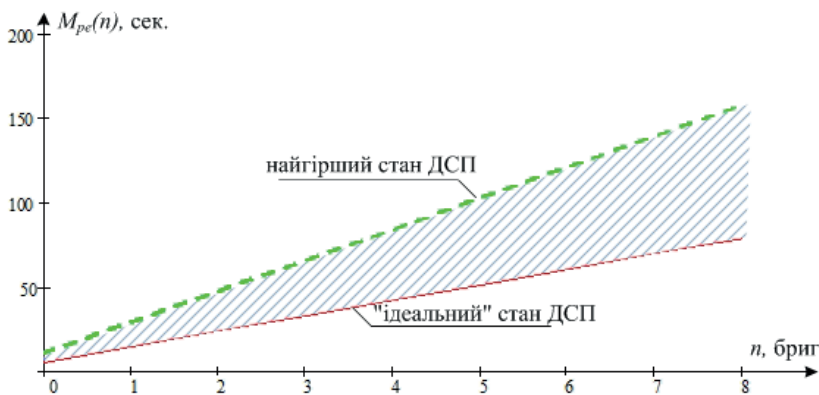


Рис. 3. Математичне сподівання виконання операції по оповіщенню M_{pe} від кількості бригад n при різних психофізіологічних станах чергового по станції

Для визначення залежності ймовірності виконання операції по оповіщенню від часу виконання при зміні психофізіологічного стану чергового по станції, визначені параметри гама-розподілення, щільність розподілення якого має вигляд:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ \frac{\Psi^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\Psi t}, & t > 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha(n) = \frac{M_{pe}(n)^2}{D_{pe}(n)}, \quad \alpha(1) = 85.147; \quad (5)$$

$$\Psi(n) = \frac{M_{pe}(n)}{D_{pe}(n)}, \quad \Psi(1) = 5.836, \quad (6)$$

де α – параметр розподілення, що визначає форму кривої розподілення; Ψ – масштабний параметр, с⁻¹; D – дисперсія часу виконання операції, с²; Γ(α) – гама-функція Ейлера.

Оскільки параметр α гама-розподілення приймає великі значення (α>10), то в якості закону розподілення часу виконання операції по оповіщенню необхідно використовувати нормальний закон:

$$f(t,n) = \frac{1}{D_{pe}(n) \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\left[\frac{(t-M_{pe}(n))^2}{2D_{pe}(n)^2}\right]}; \quad (7)$$

$$P(t,n) = \int_0^t f(t,n) dt. \quad (8)$$

Подальший аналіз розрахунків показав, що мінімально необхідний час t_{min}, за який черговий по станції здатен виконати операцію по оповіщенню з мінімально допустимою ймовірністю P_{доп} (0.856), складає приблизно 18 секунд (рис. 4).

Не складно встановити, що за цей час поїзд пройде більше 295 м при швидкості руху 60 км/год. Проте, при погіршенні психофізіологічного стану чергового по станції ймовірність виконання операцій по оповіщенню знизиться до рівня P_{min}, тобто ДСП не в змозі виконати поставлене завдання.

Максимальне значення ймовірності своєчасного оповіщення P_{max} черговим по станції однієї бригади та пасажирів складає 0.922. При цьому мінімальний час t_{min} для виконання операції складає близько 18 секунд за «ідеальних» умов. У випадку з черговим по станції з недостатнім досвідом роботи або ж з низькою кваліфікацією, ймовірність своєчасного оповіщення навіть однієї бригади та пасажирів знижується до 0.865.

При знаходженні на коліях трьох бригад ймовірність оповіщення, навіть за «ідеальних» умов, складає 0.816, що значно нижче встановленого значення.

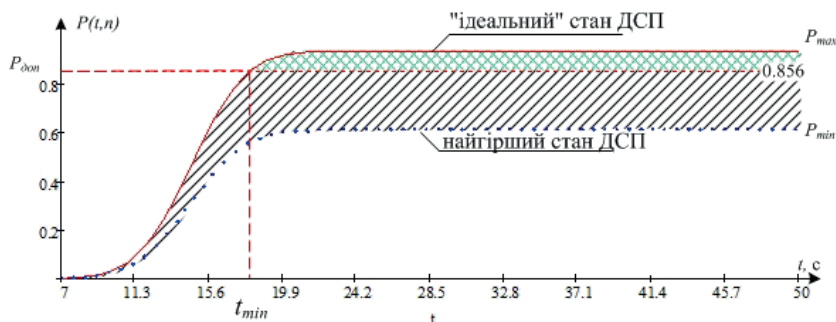


Рис. 4. Ймовірність виконання операції по оповіщенню від часу виконання t при зміні психофізіологічного стану

6. Висновки

Запропонована функціонально-семантична мережа надала можливість створити модель виконання операцій оповіщення черговим по станції, яка в подальшому може бути розширена та доповнена до створення моделі функціонування людино-машинних систем.

Встановлена залежність між ймовірністю своєчасного виконання операцій та психофізіологічним станом чергового по станції і кількістю працюючих бригад на коліях станції.

Показано, що при збільшенні кількості бригад працюючих на коліях станції ймовірність виконання операцій оповіщення черговим по станції різко знижується. Так, при трьох одночасно працюючих бригад і за «ідеального» стану чергового ймовірність знижується нижче встановленого рівня. А при погіршенні психофізіологічного стану черговий по станції на здатен виконати операцію оповіщення навіть 1 бригади працюючих.

За ідеальних умов для прийняття рішення та оповіщення черговому потрібно не менше 18 секунд зі встановленою ймовірністю. Але при погіршенні психофізіологічного стану може статися таке, що черговий по станції не зможе правильно оцінити ситуацію щодо оповіщення, в результаті чого працюючі на коліях не отримають попередження про переміщення рухомого складу через зону виконання робіт. Для рішення проблеми, пов'язаної з не своєчасністю та низької ймовірністю виконання операції оповіщення черговим по станції, необхідно впроваджувати системи автоматичного оповіщення працюючих на коліях станції та пасажирів.

Література

1. Тесленко, И. М. Повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / И. М. Тесленко; ГОУ ВПО ДВГУПС. В., 2005. – 20 с.
2. Кузнецов, К. Б. Безопасность технологических процессов и производств [Текст]: уч. пос. / К. Б. Кузнецов. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 204 с.
3. Бойник, А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, С. В. Панченко, В. А. Сотник. – Х.: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
4. Бойник, А. Б. Безопасность железнодорожных поездов [Текст]: монография / А. Б. Бойник. – Х.: Транспорт Украины, 2003. – 184 с.
5. Бузанов, С. П. Охрана труда на железнодорожных станциях [Текст] / С. П. Бузанов, В. Ф. Харламов. – М.: Транспорт, 1986. – 284 с.
6. Мороз, В. П. Психодіагностика інтегрального завантаження оперативно-диспетчерського персоналу на залізничному транспорті. Т.1. Актуальні проблеми психології. Організаційна психологія. Економічна психологія. Соціальна психологія [Текст] / В. П. Мороз, І. О. Філенко. – 2010. – Ч. 25. – 209 с.
7. Губинский, А. И. Оценка надежности деятельности человека-оператора в системах управления [Текст] / А. И. Губинский, В. В. Кобзев. – М.: Машиностроение, 1975. – 52 с.
8. Ашероф, А. Т. Судебно-эргономическая экспертиза несчастных случаев в системе «человек-техника-среда» [Текст] / А. Т. Ашероф, В. В. Сабадаш. – Х.: УИПА, 2008. – 145 с.
9. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания [Текст]: справочник / под ред. А. И. Губинского, В. Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
10. Мороз, В. П. Про співвідношення наявного та потрібного видів часу в людино-машинних системах керування рухом поїздів [Текст] / В. П. Мороз. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 2–3.
11. Мороз, В. П. Врахування умов праці при проектуванні АРМ оперативно-диспетчерського персоналу [Текст] / В. П. Мороз, С. В. Сколота. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 2.
12. Сапожников, Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст] / В. В. Сапожников, В. В. Елкин, Б. Н., Кокурин и др.; под ред. Вл. В. Сапожников. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.