

Г.С. Соколов, к.фіз.-мат.н, М.Ю. Заліський, д.т.н., Ю.В. Петрова, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

Аналіз ефективності складових елементів системи пожежної сигналізації

Стаття присвячена задачі оцінки надійності системи екстреного оповіщення та управління евакуацією при пожежі на прикладі чотириповерхової адміністративної будівлі. В якості показників надійності для обрано ймовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності. У результаті визначено ефективний термін гарантійного обслуговування системи.

Вступ

Завдання аналізу ефективності використання сучасних систем безпеки починають вирішувати на етапі проєктування [1]. Але зазначимо, що єдиного методичного підходу до кількісної оцінки ефективності цих систем досі не існує. Отже, метою даної роботи є демонстрація методу оцінки надійності системи безпеки на основі використання структурної схеми розміщення її елементів та наявних статистичних даних про надійність окремих елементів, щоб мати можливість порівнювати ефективність їх застосування.

Проектування системи оповіщення про надзвичайні ситуації та управління евакуацією передбачає оснащення кожного приміщення будівлі датчиками пожежної сигналізації та розробку безпечних шляхів виходу з будівлі [1-3]. Кількість датчиків сигналізації та їх характеристики визначаються параметрами зони охорони, вартістю та ризиком заподіяння шкоди здоров'ю людини в кожній конкретній зоні охорони.

У літературі наведено достатню кількість досліджень, присвячених розробці систем безпеки, в тому числі систем оповіщення про надзвичайні ситуації та управління евакуацією, з аналізом їх надійності та вартісних характеристик. Але вони пропонують не загальні підходи, а лише різноманітні приклади розрахунків різних параметрів чи характеристик конкретних систем безпеки об'єктів. У цьому дослідженні пропонується застосувати підходи, які використовуються широко в радіолокації й навігації для аналізу та розрахунку надійності для визначення ефективності функціонування системи оповіщення.

Оцінка надійності системи

Розглянемо методику розрахунку надійності на прикладі проєкту системи безпеки для конкретної будівлі. Обраний проєкт системи безпеки розраховано для будівлі з трьома поверхами та підвалом. Кожен поверх має площу 650 кв.м. Будівля має два виходи на вулицю з підвалу та першого поверху, а евакуація з другого і третього поверхів можлива лише через перший поверх, що підвищує вимоги до надійності системи сповіщення.

Будівлю поділили на чотири зони сповіщення: підвал, перший, другий і третій поверхи. Гучномовці розташовані в кімнатах та над сходами. Кількість гучномовців: підвал – 13, перший поверх – 19, другий і третій поверхи – по 17. Використано три типи гучномовців з різною потужністю, залежно від площі приміщення. Кожна зона має незалежну систему селекторного зв'язку.

При подальшому аналізі вважаємо, що технічні характеристики компонентів системи в межах даних технічного паспорту відомі.

Для оцінки надійності системи оповіщення і управління евакуацією потрібно визначити критерій непрацездатності. Система вважається несправною, якщо не передає сигнал хоча б в одну зону. Працездатною вона є, якщо хоча б один гучномовець у кожній зоні функціонує, що дозволяє персоналу організувати евакуацію. У разі виходу з ладу всіх гучномовців в одній зоні, система не працює, навіть якщо інші зони функціонують.

Крім того, якщо блок управління вийде з ладу, вся система стає непрацездатною. Прийнята модель передбачає, що останній працюючий гучномовець сприймається як сигнал тривоги, але ефективність цього підходу під питанням, якщо велика частина гучномовців виявиться несправною.

На основі цього визначено критерії і розроблено схему для розрахунку надійності системи (рис. 1).

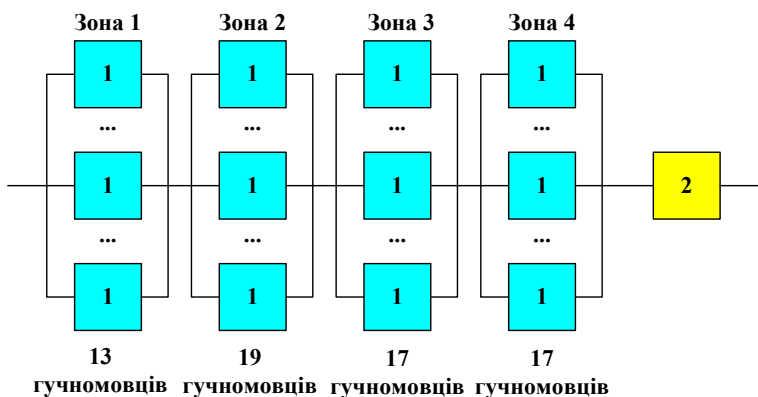


Рис. 1. Структурна схема системи оповіщення та управління евакуацією:
1 – гучномовці, 2 – блок керування та індикації.

Для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи системи потрібна функція безвідмовної роботи компонентів. При експоненціальному законі розподілу часу між відмовами ймовірність безвідмовної роботи гучномовця описується формулою:

$$R_1(t) = e^{-\frac{t}{T_1}}, \quad (1)$$

де T_1 – середній час між відмовами гучномовця.

Для блоку керування та індикації маємо

$$R_2(t) = e^{-\frac{t}{T_2}}, \quad (2)$$

де T_2 – середній час між відмовами блоку керування та індикації.

Розрахунок надійності при послідовному та паралельному з'єднанні елементів базується на відомих формулах [4]. Використовуючи їх, було отримано формули для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи кожної із зон системи оповіщення та управління евакуацією, а також і всієї системи.

Важливою характеристикою надійності системи є коефіцієнт готовності, який визначає ймовірність перебування системи в робочому стані у будь-який момент часу. Він розраховується як відношення середнього часу між відмовами до суми середнього часу між відмовами та середнього часу на відновлення.

Нехай середній час між відмовами та середня тривалість відновлення системи описуються випадковими величинами. Коефіцієнт готовності A також є випадковою величиною, яка визначається через функціональне перетворення цих величин.

Згідно з державним технічним стандартом України щодо технічного обслуговування систем протипожежного захисту в частині систем оповіщення про надзвичайні ситуації та управління евакуацією людей середній час відновлення системи становить чверть року, тобто приблизно 2200 годин.

Після деяких спрощень запишемо функцію щільності ймовірності коефіцієнту готовності наступною формулою

$$\omega(A) = \frac{2200}{(1-A)^2} \omega_1\left(\frac{2200A}{(1-A)}\right) \quad \text{для } 0 \leq A \leq 1. \quad (3)$$

Для проведення розрахунків надійності системи екстреного оповіщення необхідно знати час напрацювання пристроїв на відмову. Однак технічна документація гучномовців і блоку управління не містить цих даних, тому використання гарантійного терміну як замітника є одним із рішень.

Гарантійний термін відображає період, протягом якого виробник гарантує працездатність системи. Він є компромісом між привабливістю товару для покупця та витратами виробника на ремонт. У технічній літературі гарантійний термін і середній час напрацювання на відмову зазвичай пов'язані.

Для оптимізації співвідношення між середнім часом напрацювання на відмову та гарантійним терміном було розроблено математичну модель.

Нехай N – кількість систем, випущених виробником, $R(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи однієї системи, $Q(t)$ – ймовірність відмови однієї системи, T_{ws} – гарантійний термін, T_0 – середній напрацювання на відмову.

Тоді середня кількість систем, які вийшли з ладу протягом гарантійного терміну і потребують ремонту за рахунок виробника, є функцією співвідношення

$$M = \frac{T_{ws}}{T_0},$$

тобто,

$$N_0 = f\left(\frac{T_{ws}}{T_0}\right),$$

Середня кількість систем, що вийшли з ладу протягом гарантійного терміну, розраховується за формулою:

$$N_0 = \frac{N}{T_{ws}} \int_0^{T_{ws}} (1 - R(t)) dt.$$

Таким чином, виробник має зменшення прибутку за рахунок ремонту частини приладів:

$$m = \frac{N_0}{N}.$$

Нехай C – прибуток від продажу однієї системи, aC – зменшення прибутку за рахунок ремонту однієї системи, a – коефіцієнт зменшення прибутку, який показує відносну середню вартість одного ремонту системи (відносно прибутку від продажу одна система), CN – загальний прибуток від партії систем безпеки, aCN_0 – загальний прибуток зниження в партії систем безпеки.

Реальне значення коефіцієнта становить $0.1 \dots 0.3$. Таким чином, загальний коефіцієнт зниження прибутку від партії приладів:

$$K(M) = \frac{aCN_0}{CN} = ma.$$

Реальна допустима величина зменшення прибутку становить приблизно $5\% \dots 10\%$, тобто

$$K_a = 0.05 \dots 0.1.$$

Для числового аналізу ми обчислимо значення для в діапазоні від 0.1 до 1.0 за допомогою наведених вище формул із параметром. Результати розрахунку наведені на рис. 2.

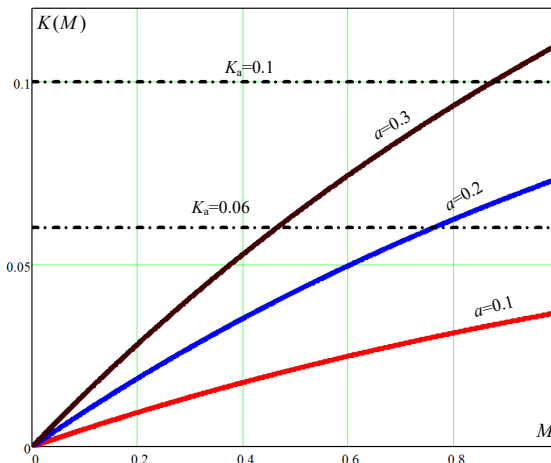


Рис. 2. Номограми для вибору оптимального співвідношення гарантійного терміну та середньої напрацювання на відмову.

Наведені на рис. 2 результати числового аналізу можуть бути використані як номограми для вибору оптимального співвідношення гарантійного терміну і середньої напрацювання на відмову при відомих параметрах гарантійного терміну і середньої вартості ремонту.

Далі було розраховано надійність системи за наведеними вище моделями.

Розрахунок проводився для таких числових значень середнього часу напрацювання на відмову гучномовців і блоку керування та індикації: $T_1=10000$ годин, $T_2=10000$ годин.

Висновки

Стаття присвячена оцінці надійності системи оповіщення та управління евакуацією в конкретній будівлі. Розрахунок показав, що ймовірність безвідмовної роботи гучномовців вища за ймовірність роботи блоку керування, що визначає надійність системи. Незважаючи на короткий гарантійний термін акустичного обладнання, система є надійною завдяки моделі роботи, де останній працюючий гучномовець виконує роль детектора тривоги.

У статті запропоновано метод визначення статистичних характеристик стійкої готовності, що базується на функціональних перетвореннях випадкових величин. Результати розрахунку показали середню готовність 0.787 і стандартне відхилення 0.05745, що свідчить про недосконалість нормативів, які повинні передбачати значення готовності в діапазоні 0.9–0.99.

Рекомендовано використовувати гарантійний термін для визначення середнього часу напрацювання обладнання. Подальші дослідження будуть зосереджені на зборі статистичних даних для вдосконалення моделі надійності систем безпеки.

Список літератури

1. T. L. Norman. Integrated Security Systems Design: Concepts, Specifications, and Implementation. — Butterworth, 2007. — 472 p.
2. T. L. Norman. Integrated Security Systems Design, A Complete Reference for Building Enterprise-Wide Digital Security Systems. — Butterworth, 2014. — 400 p.
3. E. Kuligowski. Guidance Document: Emergency Communication Strategies for Buildings. — The Fire Protection Research Foundation, USA, 2014. — 22 p.
4. J.E. Breneman, C. Sahay, E.E. Lewis Introduction to Reliability Engineering. — Wiley, New York, 2022. — 620 p.