

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.4.141300

УДК 614.8

С.Я. Кравців*

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОКРИТТЯ ПОЖЕЖНИХ ДЕПО

Проблематика. Розглядається метод мінімізації інтегрального пожежного ризику за рахунок збільшення коефіцієнта покриття території, що обслуговується. З урахуванням того що значення розрахункового інтегрального пожежного ризику в усіх областях України перевищують допустимий рівень, виникає науково-прикладна проблема, яка полягає у зменшенні зазначеного рівня ризику до прийнятних значень.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення методу мінімізації інтегрального пожежного ризику до прийнятних значень за допомогою оптимального покриття заданої області пожежними депо. Необхідно знайти математичну залежність значення коефіцієнта покриття й інтегрального ризику та мінімізувати ризик до прийнятних значень.

Методика реалізації. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу встановлено залежність між часом прямування підрозділу до місця виклику і пожежним ризиком відповідної території. За допомогою статистичних даних знайдено залежність часу реагування на небезпечну подію від коефіцієнта покриття. З урахуванням нормативних значень часу прямування та рівня пожежного ризику визначено метод покриття території пожежними депо.

Результати дослідження. Застосування визначеного методу дало можливість знизити рівень інтегрального пожежного ризику до прийнятних значень.

Висновки. Визначено математичну залежність між коефіцієнтом покриття області обслуговування і часом прямування до місця виклику. Запропоновано метод мінімізації інтегрального ризику за допомогою зменшення часу прямування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виклику. Час слідування буде зменшено за рахунок збільшення коефіцієнта покриття відповідної території районами обслуговування оперативно-рятувальних підрозділів. На прикладі Близнюківського району Харківської обл. показано роботу цього методу.

Ключові слова: інтегральний пожежний ризик; коефіцієнт покриття; час прямування; область покриття; управління ризиками; метод мінімізації.

Вступ

Відповідно до Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру в Україні значення відповідного ризику не має перевищувати величину 10^{-5} . Ця величина була взята на основі прийнятних значень ризику в розвинутих країнах світу. Разом із тим значення розрахункового інтегрального пожежного ризику в усіх областях України перевищують допустимий рівень. У зв'язку з цим виникає науково-прикладна проблема, яка полягає у зменшенні зазначеного рівня ризику до прийнятних значень.

Дослідженням ризику займалися і продовжують займатися А.М. Баратов, М.В. Бесчастнов, М.М. Брушлінський, В.Г. Горський, А.Ф. Єгоров, А.С. Едігаров, А.М. Єлохін, В.І. Ізмалков, В.В. Кафаров, В.А. Легасов, М.А. Махутов, В.П. Мешалкін, Ю.Л. Муромцев, А.С. Можаяв, Б.В. Палюх, І.А. Рябініна, Н.П. Тарасова, Дж.Дж. Крамер, Г.Р. Грінберг, В.В. Бегун,

В.М. Стрілець та інші вчені. Разом із тим до теперішнього часу не визначено важелі управління пожежним ризиком. У [2] наведена загальна функція для визначення та управління ризиком техногенної небезпеки, але ця модель розрахована для ризику на підприємстві і не враховує інтегрального ризику в цілому. В США оцінкою та управлінням пожежного ризику займається агенція FEMA, результати діяльності якої наведені в [3, 4]. Разом із тим ці праці не містять інформації щодо залежності величини ризику від часу прямування пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) до місця надзвичайної ситуації. Аналогічний висновок можна зробити під час аналізу методів оцінки ризику в різних країнах світу, що наведені в Глобальній концепції побудови протипожежної безпеки [5–7].

У зв'язку з реформуванням Державної служби України з надзвичайних ситуацій та відповідно до Стратегії її реформування одним зі шляхів вирішення виявлених проблемних питань функціонування служби є визначення необхідної кількості пожежно-рятувальних під-

* corresponding author: kravtsiv1992@gmail.com

розділів (пожежних частин) місцевої та добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах і надання методичної допомоги органам місцевого самоврядування щодо утворення нових і реформування існуючих ПРП (пожежних частин) місцевої та добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах. Разом із цим Стратегія передбачає запровадження системи управління техногенною та пожежною безпекою на основі ризик-орієнтованого підходу. Тому актуальною задачею є виявлення параметрів, що впливають на величину інтегрального ризику, побудова моделей та методів управління цим ризиком, прогнозування рівня ризику для подальшої розробки обґрунтованих рекомендацій стосовно створення центрів безпеки в найбільш проблемних регіонах нашої держави.

Постановка задачі

Метою роботи є визначення методу мінімізації інтегрального пожежного ризику до прийнятних значень за допомогою оптимального покриття заданої області пожежними депо.

Виклад основного матеріалу

У результаті проведеного кореляційно-регресійного аналізу було встановлено [9], що значення ризик залежить від таких факторів, як N – кількість небезпечних подій, що зафіксовані у відповідному регіоні; $N_{\text{жертв}}$ – кількість загиблих унаслідок небезпечних подій у відповідному регіоні; $\tau_{\text{прям}}$ – час прямування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виникнення надзвичайної ситуації (небезпечної події); $\tau_{\text{лок}}$ – час локалізації небезпечної події; $\tau_{\text{лікв}}$ – час ліквідації небезпечної події. Основний параметр, на який повинні орієнтуватися оперативні підрозділи – це нормативний час прибуття підрозділів до місця виникнення надзвичайної ситуації. Нормативний час прибуття державних пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику не повинен перевищувати: на території міст – 10 хв; у населених пунктах за межами міста – 20 хв.

Було зроблено припущення, що час слідування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виникнення небезпечної події та, як наслідок, час локалізації та ліквідації небезпечної події залежать від коефіцієнта покриття відповідної території (задана область з дискретними

елементами) районами обслуговування оперативно-рятувальних підрозділів (центрів безпеки). Цей коефіцієнт обчислюється за допомогою такого виразу:

$$k_{\text{cover}} = \frac{S\left(\bigcup_{q=1}^{N_q} P_q\right)}{S(S_o)},$$

де N_q – кількість існуючих оперативно-рятувальних підрозділів; P_q – район обслуговування q -го підрозділу; S_o – область покриття; $S(\cdot)$ – функція обчислення площі відповідного геометричного об'єкта.

На рис. 1 наведено залежність часу реагування на небезпечну подію від коефіцієнта покриття для Харківської обл., а також обчислено коефіцієнт кореляції та побудовано лінію тренда за допомогою методу найменших квадратів. Для проведення дослідження було розроблено програмне забезпечення у середовищі IntelliJ IDEA з використанням бібліотеки JavaFX.

З рис. 1 можна зробити висновок, що між часом прямування і коефіцієнтом покриття існує кореляційна залежність, яка має такий вигляд:

$$\tau_{\text{прям}} = -20,799 k_{\text{cover}} + 35,46.$$

Якщо райони обслуговування оперативно-рятувальних підрозділів повністю покривають задану область і коефіцієнт покриття дорівнює одиниці, то середній час прямування до місця виникнення небезпечної події не буде перевищувати 15 хв. Це значення є задовільним, оскільки за межами міста значення часу слідування підрозділів має не перевищувати 20 хв.

Як приклад було визначено коефіцієнт покриття для Близнюківського району Харківської обл. Площа покриття району обслуговування дорівнює площі району 1380 км². Площа обслуговування підрозділу дорівнює сумі площ обслуговування всіх частин з урахуванням їх перетину. Область обслуговування одним підрозділом буде становити площу круга з відповідним радіусом обслуговування. З урахуванням покриття доріг у сільській місцевості покладалося, що швидкість руху оперативного підрозділу буде становити близько 30 км/год ($v_{\text{прям}}$), а час слідування не повинен перевищувати 20 хв, тому радіус обслуговування одним підрозділом становитиме

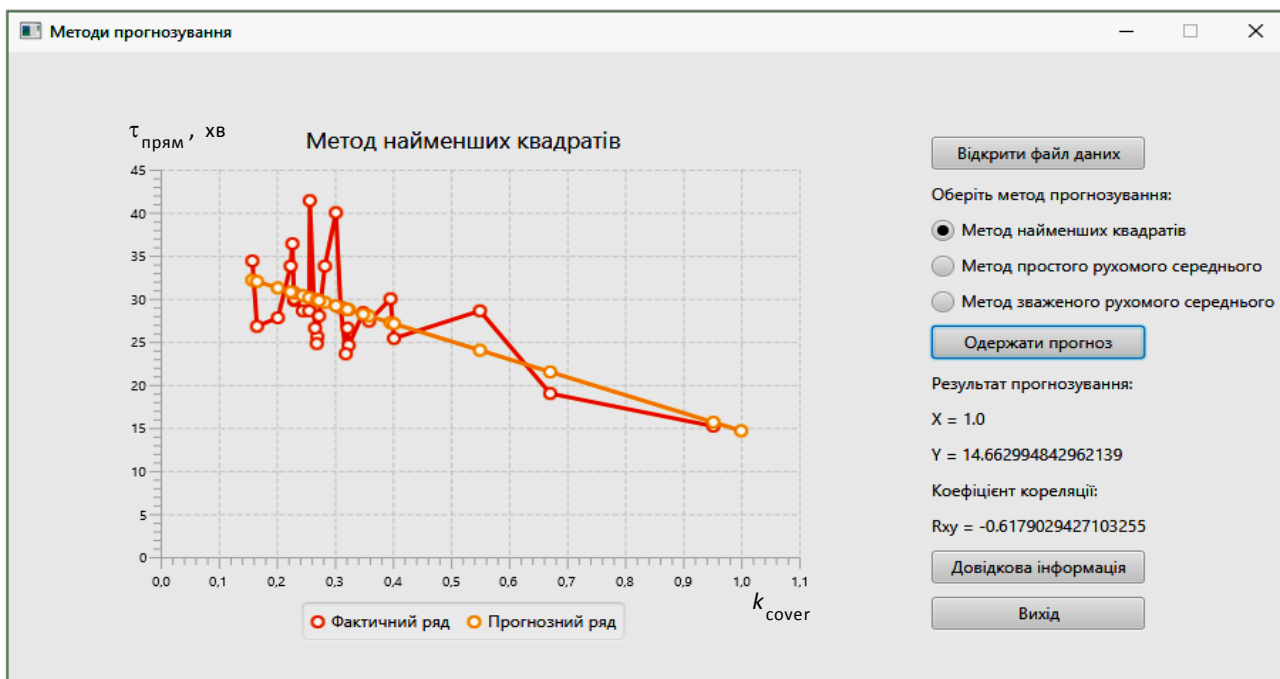


Рис. 1. Залежність часу реагування на небезпечну подію від коефіцієнта покриття для Харківської обл. (сільська місцевість)

$$R_{\text{обсл}} = v_{\text{прям}} \cdot \tau_{\text{прям}} = 30 \cdot \frac{1}{3} = 10 \text{ км.}$$

Розрахуємо площу обслуговування одним підрозділом:

$$S_{\text{обсл}} = \pi \cdot R_{\text{обсл}}^2 = 3,14 \cdot 10^2 = 314 \text{ км}^2.$$

Маючи значення необхідних площ, можна визначити коефіцієнт покриття одним пожежно-рятувальним підрозділом території Близнюківського району:

$$k_{\text{cover}} = \frac{314}{1380} = 0,2275.$$

З цього розрахунку слідує, що один ПРП покриває менше 23% району, а середній час прибуття підрозділу на місце виклику буде становити

$$\bar{\tau}_{\text{прям}} = -20,799 \cdot 0,2275 + 35,46 = 30,73 \text{ хв.}$$

Розрахуємо коефіцієнт покриття двома пожежно-рятувальними підрозділами Близнюківського району (рис. 2):

$$k_{\text{cover}} = \frac{2 \cdot 314}{1380} = 0,4551.$$

З рис. 2 бачимо, що підрозділ перекриває ще й сусідній район, тому коефіцієнт покриття повинен був би бути менше ніж 0,4551. Визна-

чимо середній час прибуття оперативного підрозділу до місця виникнення надзвичайної ситуації:

$$\bar{\tau}_{\text{прям}} = -20,799 \cdot 0,4551 + 35,46 = 25,99 \text{ хв.}$$

Очевидно, що середній час реагування на місце виклику має зменшитися більш ніж на 15%. Перше депо було розміщено в смт. Близнюки, оскільки там знаходиться максимальна кількість потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) та об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), друге – в с. Самійлівка, оскільки там теж є ПНО. Третє пожежне депо розміщуємо в с. Добровілля, оскільки в ньому проживає максимальна кількість людей об'єднаної територіальної громади, що залишилася не покритою районом виїзду пожежного підрозділу (рис. 3).

Розрахуємо коефіцієнт покриття та час прямування підрозділу при розміщенні трьох пожежних депо в Близнюківському районі:

$$k_{\text{cover}} = \frac{3 \cdot 314}{1380} = 0,6826;$$

$$\bar{\tau}_{\text{прям}} = -20,799 \cdot 0,6826 + 35,46 = 21,26 \text{ хв.}$$

За наявності трьох пожежних депо час прямування зменшиться на 30,8%, якщо врахувати, що фактично в цьому районі знаходиться одне пожежне депо у смт. Близнюки.

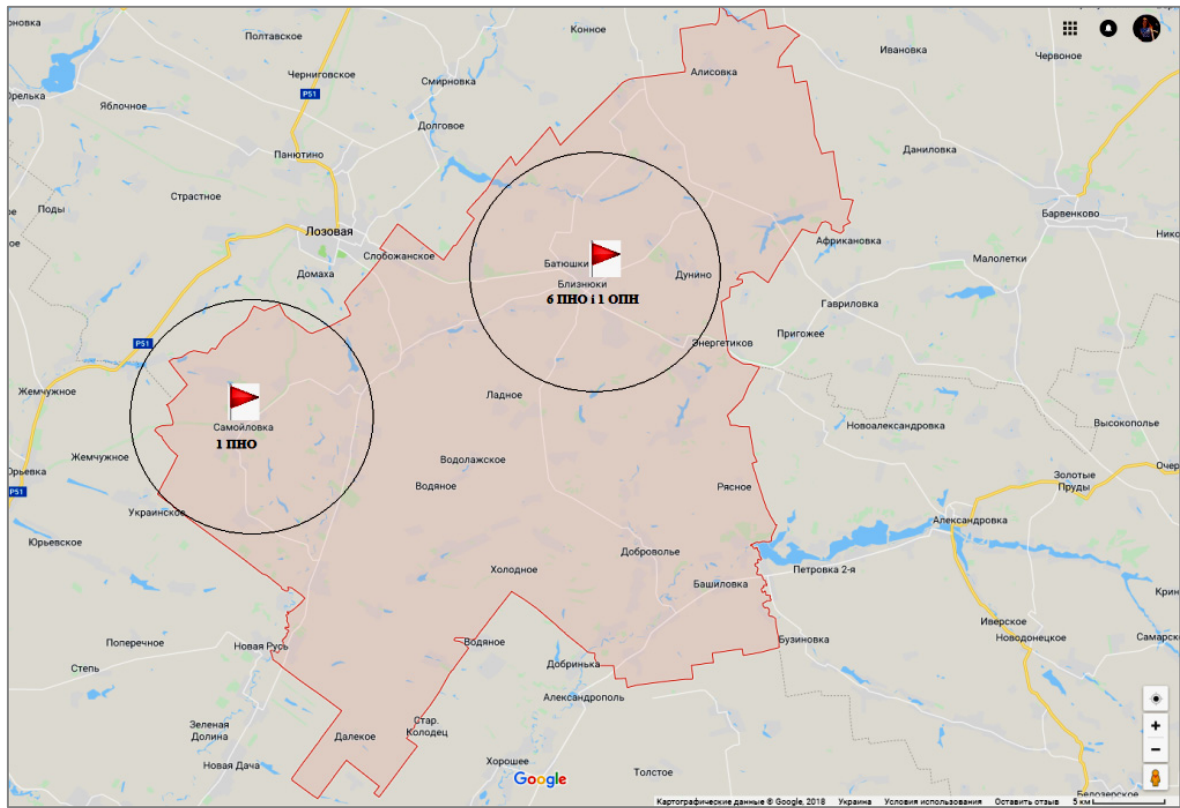


Рис. 2. Розміщення двох пожежних депо у Близнюківському районі Харківської обл.

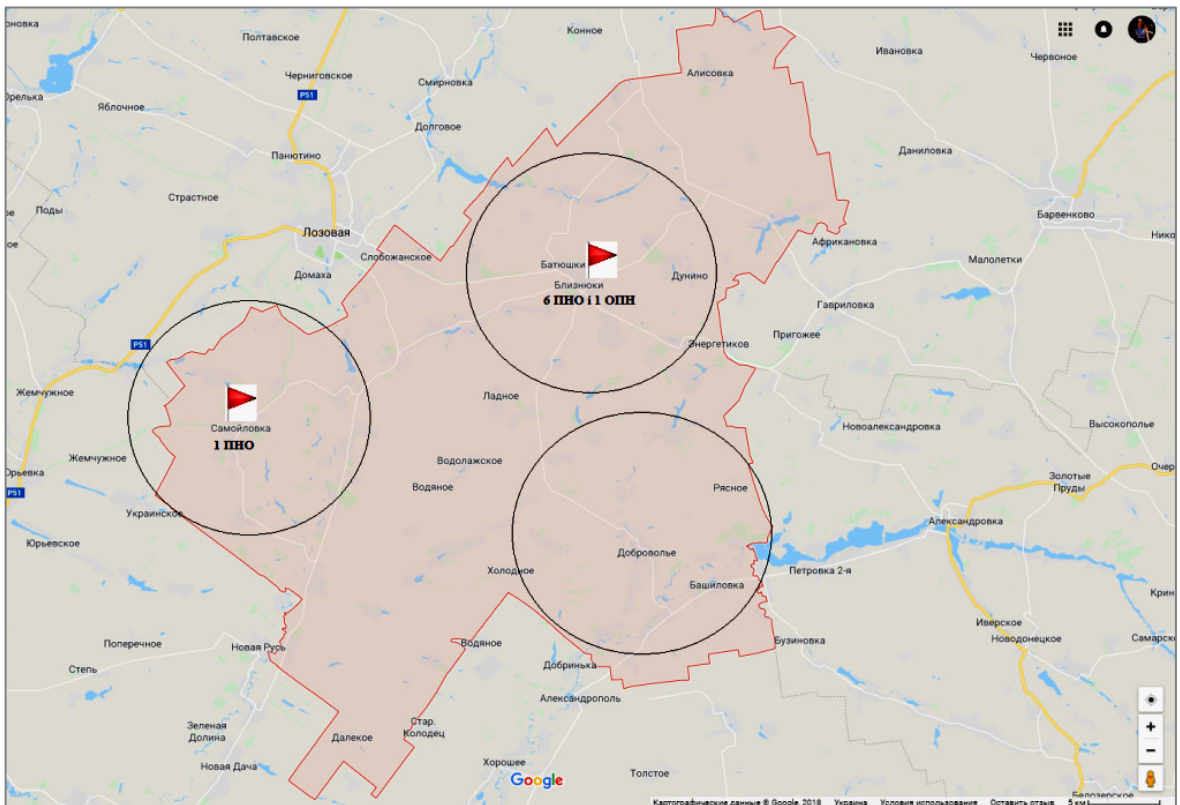


Рис. 3. Розміщення трьох пожежних депо у Близнюківському районі Харківської обл.

Оскільки середнє значення часу прямування підрозділу до місця виклику все ще перевищує нормативне значення, то доцільно було б створити ще четверте депо. Найдоцільніше його розмістити у с. Лукашівка, що територіально знаходиться між с. Ладне і с. Водолазьке (рис. 4). Розрахуємо коефіцієнт покриття та час прямування підрозділу при розміщенні чотирьох пожежних депо в Близнюківському районі:

$$k_{\text{cover}} = \frac{4 \cdot 314}{1380} = 0,9812;$$

$$\bar{\tau}_{\text{прям}} = -20,799 \cdot 0,9812 + 35,46 = 15,05 \text{ хв.}$$

З рис. 4 можна побачити, що пожежні депо перекривають деяку територію району двічі, тому фактичний коефіцієнт покриття буде меншим розрахункового. Також необхідно врахувати такі обмеження [11] при розміщенні цих підрозділів:

- 1) мінімум площі перетину районів функціонування ПРП у заданій області;
- 2) належність районів функціонування ПРП;
- 3) мінімум площі перетину районів функціонування ПРП з областями заборони;
- 4) належність ОПН та ПНО області перетину районів функціонування ПРП, що забез-

печують реагування на аварію (пожежу) та ОПН або ПНО відповідно до номера виклику;

5) час прибуття ПРП до найвіддаленішої точки району виїзду, має не перевищувати заданого;

6) розміщення ПРП здійснюється з урахуванням обмеження ресурсів.

З урахуванням цих обмежень, а також існуючої сітки доріг район виїзду ПРП являтиме собою в'язку ламаних ліній (рис. 5).

Для визначення району обслуговування необхідно побудувати опуклу оболонку для в'язки ламаних, що дає змогу одержати многокутник (рис. 6), який являє собою фактичний район виїзду з урахуванням усіх наведених вище обмежень.

Виходячи з рис. 6, можна зробити висновок, що область покриття, як і коефіцієнт покриття, зменшиться порівняно з покриттям кругами відповідного радіуса. Саме тому середній час прямування ПРП до місця виникнення небезпечної події буде перевищувати 15 хв.

Оскільки Близнюківський район являє собою регіон Харківської обл., яка входить до другого кластера [12], то побудуємо графік залежності інтегрального ризику від часу прямування підрозділу до місця виклику (рис. 7).

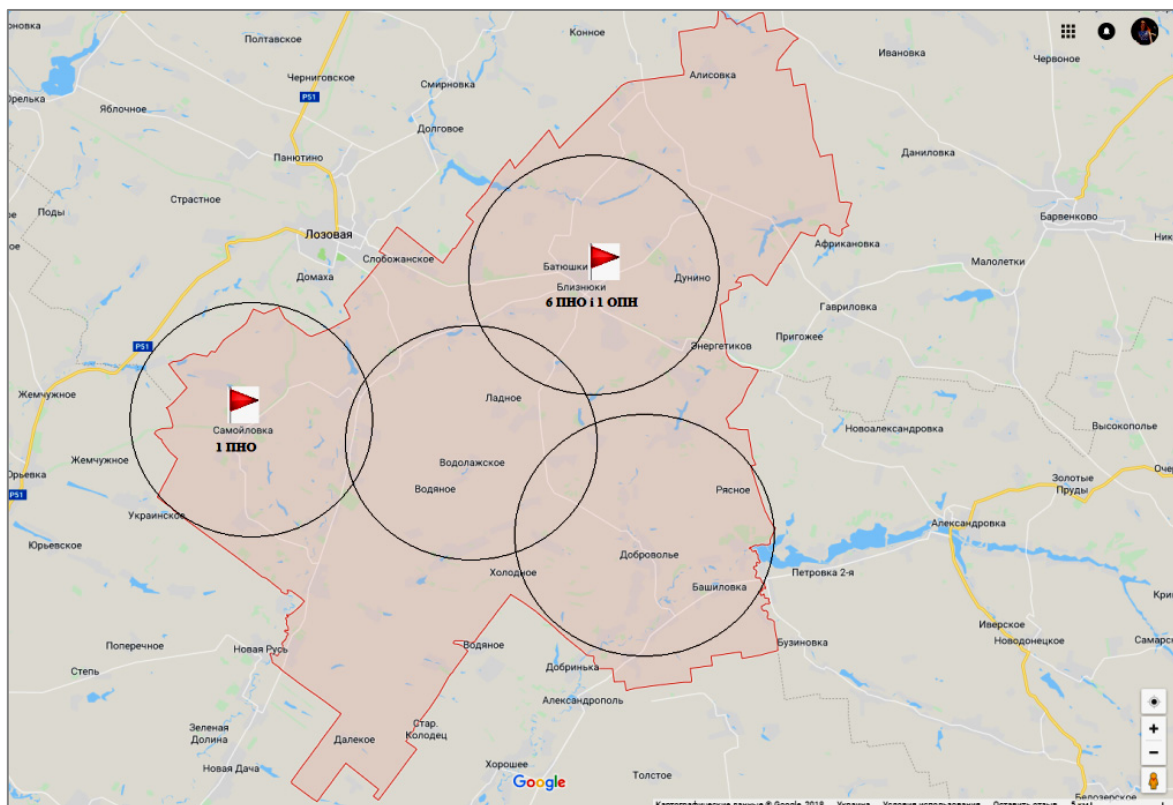


Рис. 4. Розміщення чотирьох пожежних депо у Близнюківському районі Харківської обл.

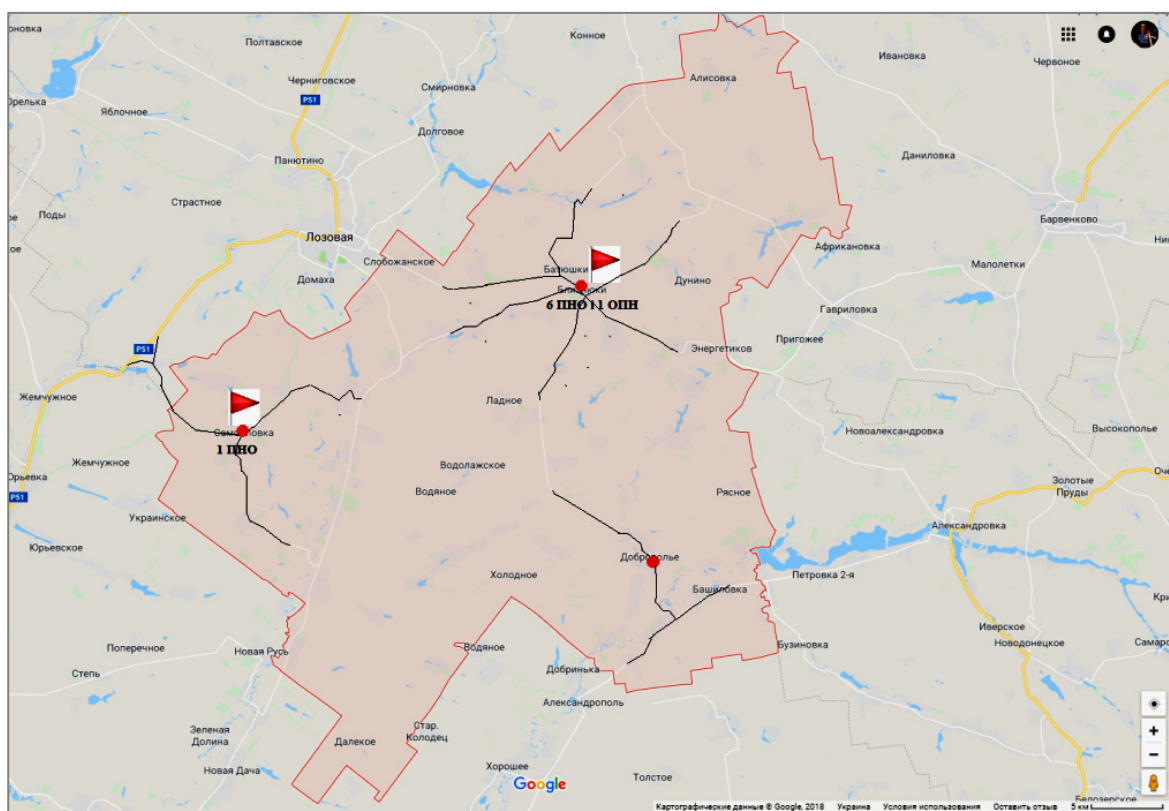


Рис. 5. Райони виїзду трьох пожежних депо у Близнюківському районі Харківської обл.

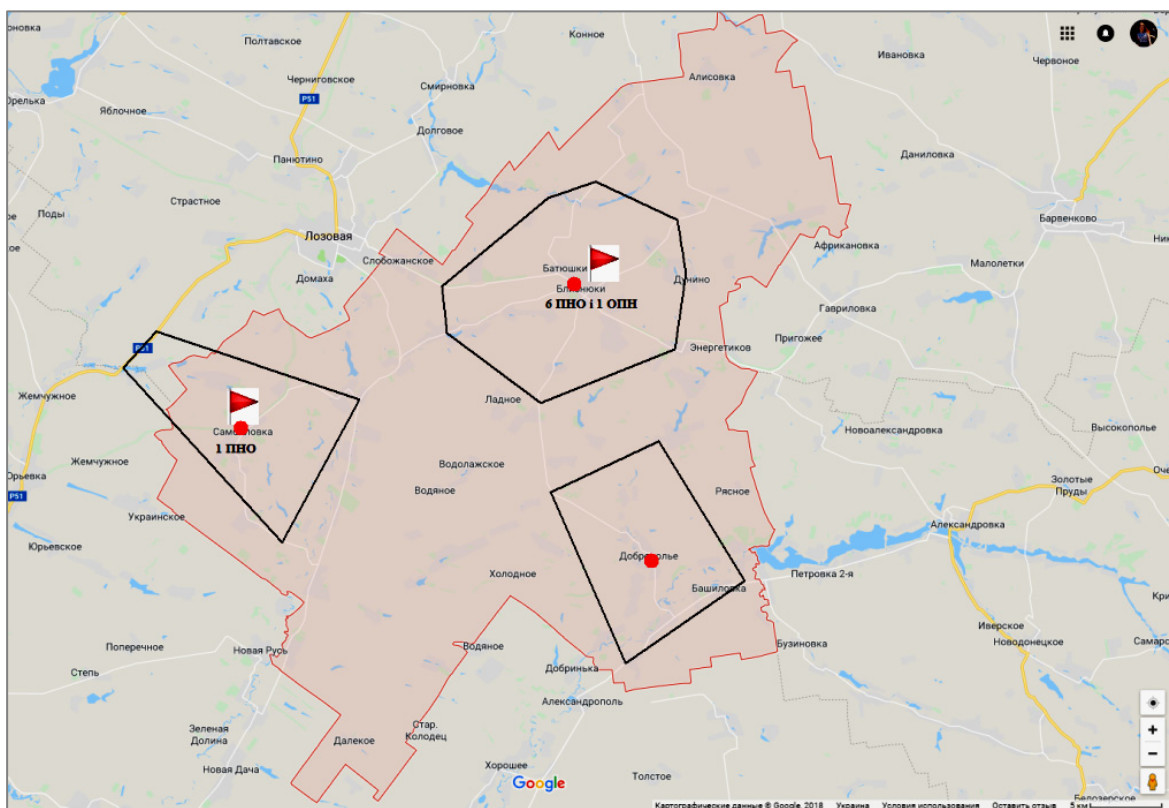


Рис. 6. Райони виїзду трьох пожежних депо у Близнюківському районі Харківської обл., обмежених опуклими багатокутниками

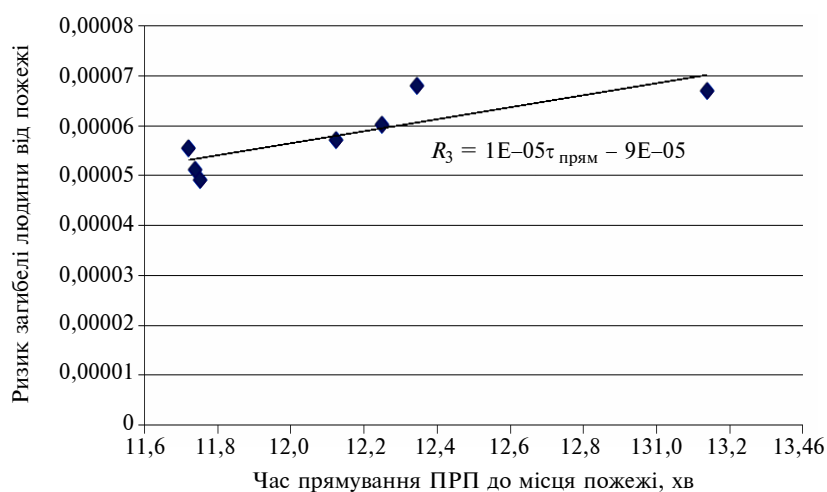


Рис. 7. Залежність інтегрального пожежного ризику R_3 від часу прямування пожежно-рятувального підрозділу $\tau_{\text{прям}}$

Розрахуємо значення ризику в Близнюківському районі при розміщенні 1-го, 2, 3 і 4-х пожежних депо:

$$R_3 = 10^{-5} \cdot 30,73 - 9 \cdot 10^{-5} = 2,173 \cdot 10^{-4},$$

$$R_3 = 10^{-5} \cdot 25,99 - 9 \cdot 10^{-5} = 1,699 \cdot 10^{-4},$$

$$R_3 = 10^{-5} \cdot 21,26 - 9 \cdot 10^{-5} = 1,226 \cdot 10^{-4},$$

$$R_3 = 10^{-5} \cdot 15,05 - 9 \cdot 10^{-5} = 6,05 \cdot 10^{-5}.$$

References

- [1] V.V. Byehun *et al.*, “On modern methods of safety regulation”, *Matematychni Mashyny i Systemy*, vol. 4, pp. 135–146, 2013.
- [2] *Risk Management Practices in the Fire Service* [Online]. Available: <https://apps.usfa.fema.gov/publications/display?id=1071>
- [3] *State Fire Death Rates and Relative Risk* [Online]. Available: https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/fire_death_rates.html
- [4] *Global Concepts in Residential Fire Safety*, Best Practices from England, Scotland, Sweden, and Norway, CDC, prepared by TriData Corporation, Part 1, 2007.
- [5] *Global Concepts in Residential Fire Safety*, Best Practices from Australia, New Zealand, and Japan, CDC, prepared by TriData Corporation, Part 2, 2008.
- [6] *Global Concepts in Residential Fire Safety*, Best Practices from Canada, Puerto Rico, Mexico, and Dominican Republic, CDC, prepared by TriData Corporation, Part 3, 2009.
- [7] S. Kravtsiv *et al.*, “Estimation of parameters of influence on integral fire risk by factor analysis”, *Pozhezhna Bezpeka*, vol. 30, pp. 99–104, 2017. Available: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/4899/1/30-13.pdf>
- [8] O. Sobol' and S. Kravtsiv, “Mathematical model of integral fire risk management and its features”, *Bulletin KhNTU*, vol. 2, no. 3, pp. 317–321, 2017. Available: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/6630/1/Соболь_Кравців.pdf
- [9] S. Kravtsiv and O. Sobol', “Cluster analysis of administrative-territorial areas of Ukraine on the level of integral fire risk”, *Problemy Nadzvychainykh Sytuatsii*, vol. 26, pp. 79–86, 2017. Available: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/6410/1/kravtsiv.pdf>

С.Я. Кравців

МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА С ПОМОЩЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПОКРЫТИЯ ПОЖАРНЫХ ДЕПО

Проблематика. Рассматривается метод минимизации интегрального пожарного риска за счет увеличения коэффициента покрытия обслуживаемой территории. С учетом того что значения расчетного интегрального пожарного риска во всех областях

Порівнявши отримані дані, можна зробити висновок, що зі збільшенням кількості пожежних депо зменшується інтегральний ризик. Так, за наявності 4-х пожежних депо час прямування до місця виклику зменшується на 30,58 %, а відповідний ризик – на 27 %.

Висновки

1. Визначено математичну залежність між коефіцієнтом покриття ПРП області обслуговування і часом прямування до місця виклику.

2. Запропоновано метод мінімізації інтегрального ризику за допомогою зменшення часу прямування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виклику. Час слідування буде зменшено за рахунок збільшення коефіцієнта покриття відповідної території районами обслуговування оперативно-рятувальних підрозділів.

3. На прикладі Близнюківського району Харківської обл. показано роботу цього методу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методу мінімізації надзвичайних ситуацій на основі запропонованого методу.

Украины превышают допустимый уровень, возникает научно-прикладная проблема, которая заключается в уменьшении указанного уровня риска до приемлемых значений.

Цель исследования. Целью работы является определение метода минимизации интегрального пожарного риска до приемлемых значений с помощью оптимального покрытия заданной области пожарными депо. Необходимо найти математическую зависимость значения коэффициента покрытия и интегрального риска и минимизировать риск до приемлемых значений.

Методика реализации. С помощью корреляционно-регрессионного анализа установлена зависимость между временем следования подразделения к месту вызова и пожарным риском соответствующей территории. С помощью статистических данных найдена зависимость времени реагирования на опасное событие от коэффициента покрытия. С учетом нормативных значений времени следования и уровня пожарного риска определен метод покрытия территории пожарными депо.

Результаты исследования. Применение определенного метода позволило снизить уровень интегрального пожарного риска до приемлемых значений.

Выводы. По результатам работы была определена математическая зависимость между коэффициентом покрытия области обслуживания и временем следования к месту вызова. Предложен метод минимизации интегрального риска посредством уменьшения времени следования оперативно-спасательных подразделений к месту вызова. Время следования будет уменьшено за счет увеличения коэффициента покрытия соответствующей территории районами обслуживания оперативно-спасательных подразделений. На примере Близняковского района Харьковской обл. показана работа данного метода.

Ключевые слова: интегральный пожарный риск; коэффициент покрытия; время следования; область покрытия; управление рисками; метод минимизации.

S.Ya. Kravtsiv

THE METHOD OF MINIMIZING THE INTEGRAL FIRE RISK BY OPTIMALLY COVERING THE FIRE DEPARTMENTS

Background. The method of minimizing the integral fire risk by increasing the coverage ratio of the serviced territory is considered. Taking into account that the value of the calculated integral fire risk in all regions of Ukraine exceeds the permissible level, then there is a scientific and applied problem, which lies in reducing the specified risk level to acceptable values.

Objective. The aim of the paper is to determine the method of minimizing the integral fire risk to acceptable values by optimally covering the territory serviced by the fire units. Find the mathematical dependence of the coefficient of coverage and integral risk and minimize the risk to acceptable values.

Methods. The relationship between the travel time to the place of call and the fire risk of the respective territory was established through the correlation-regression analysis. Using statistical data, the dependence of the response time on the hazard event on the coverage coefficient was found. Taking into account the normative values of the driving time and the level of fire risk, the method of covering the territory by the fire departments was determined.

Results. The application of certain methods made it possible to reduce the level of integral fire risk to acceptable values.

Conclusions. According to the results of the work, the mathematical dependence between the coverage ratio and the travel time to the place of call was determined. The method of minimization of integral risk is proposed by reducing the time of flight of operational-rescue units to the place of call. The travel time will be reduced by increasing the coefficient of coverage of the respective territory by the areas of service of rescue units. The example of the Bliznyukovskiy district of the Kharkiv region shows how this method works.

Key words: integral fire risk; coefficient of coverage; travel time; coverage area; risk management; method of minimization.

Рекомендована Радою
факультету прикладної математики
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
28 травня 2018 року

Прийнята до публікації
6 вересня 2018 року