

УДК 514.18

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЦЕНТРІВ БЕЗПЕКИ ГРОМАДЯН ДЛЯ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ І ТЕРИТОРІЙ СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ

Соболь О.М., д.т.н.,

sobol@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7133-6519

Бордюженко С.Я., к.т.н.,

kravtsiv1992@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6426-3473

Ляшевська О.І., к.держ.упр.,

elenalyashevskaya959@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1469-4141

Національний університет цивільного захисту України (м.Харків, Україна)

Соболь В.М., к.т.н.,

sobol_vn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1611-5534

Харківський національний університет будівництва та архітектури (Україна)

В Україні однією з гострих проблем сьогодення є забезпечення прийняттого рівня пожежної безпеки у сільській місцевості. Одним із шляхів, який сприятиме розв'язанню даної проблеми, є створення центрів безпеки громадян у територіальних громадах. Дана задача є актуальною і може бути зведеною до класу задач оптимізаційного геометричного проектування, а саме, до задачі покриття заданих областей районами виїзду підрозділів центрів безпеки громадян з урахуванням рівня інтегрального пожежного ризику.

В даній роботі наведено загальну модель оптимального покриття заданої області багатокутниками зі змінними метричними характеристиками (районами виїзду оперативно-рятувальних підрозділів центрів безпеки громадян) з урахуванням обмежень спеціального виду, конкретизовано обмеження спеціального виду.

Розроблено спосіб раціонального покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками. Складовими даного способу є: розміщення існуючих об'єктів покриття (існуючих пожежно-рятувальних підрозділів) та визначення їх геометричної форми (районів виїзду); визначення припустимих місць розміщення інших об'єктів покриття; визначення мінімально необхідної кількості об'єктів покриття виходячи з умови мінімізації ризику для людини загинути внаслідок пожежі; направлений перебір варіантів розміщення об'єктів покриття на припустимих місцях та визначення геометричних форм об'єктів покриття; перевірка виконання обмежень задачі та вибір такого варіанту покриття, який мінімізує цільову функцію задачі та максимізує кількість населених пунктів, які знаходяться в районах виїзду оперативно-рятувальних підрозділів центрів безпеки

громадян.

На основі розроблених моделі та способу раціонального покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками було здійснено комп'ютерне моделювання визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян для захисту населення і територій сільської місцевості.

Так, для Валківського району Харківської області було зроблено рекомендації щодо створення на території даного району 4 центрів безпеки громадян. Це, у свою чергу, дозволить зменшити рівень інтегрального пожежного ризику на території району майже на 45%.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку моделей та методів геометричного моделювання визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян з урахуванням обмежених ресурсів.

Ключові слова: спосіб геометричного моделювання, геометричне проектування, покриття, центр безпеки громадян.

Постановка проблеми. В Україні однією з гострих проблем сьогодення є забезпечення прийнятного рівня пожежної безпеки у сільській місцевості. Так, значення ризику для людини загинути внаслідок пожежі в одиницю часу у сільській місцевості приблизно в 10 разів перевищує рівень гранично допустимого ризику ($1 \cdot 10^{-5}$), який встановлено Концепцією управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру [1]. Також слід відзначити, що час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів на пожежі, які виникли в сільській місцевості, має не перевищувати 20 хвилин (з урахуванням метеорологічних умов, сезонних особливостей та стану доріг нормативи прибуття можуть бути перевищені, але не більше ніж на 5 хвилин) [2]. Разом з тим, кількість та місця розташування пожежно-рятувальних підрозділів у сільській місцевості призводять до того, що зазначені підрозділи прибувають на пожежу протягом часу, який значно перевищує нормативний (у деяких випадках більше 1 години), що збільшує негативні наслідки пожеж. Таким чином, вищевказана проблема потребує першочергового вирішення.

Одним із шляхів, який сприятиме розв'язанню проблеми забезпечення прийнятного рівня пожежної безпеки у сільській місцевості, є створення центрів безпеки громадян у територіальних громадах. Але при створенні зазначених центрів безпеки громадян виникає задача визначення їх необхідної кількості та місць розміщення, причому дана задача має бути розв'язаною з урахуванням рівня пожежного ризику у відповідному регіоні. Таким чином, дана задача є актуальною і може бути зведеною до класу задач оптимізаційного геометричного проектування, а саме, до задачі покриття заданих областей районами виїзду підрозділів центрів безпеки громадян з урахуванням рівня інтегрального пожежного ризику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [3]

сформульовано загальну постановку задачі оптимального покриття заданих областей з урахуванням обмежень спеціального виду, а також наведено загальну модель оптимального покриття та досліджено її особливості. В роботах [4, 5] розроблено моделі повного та максимального покриття заданої області з урахуванням обмежень спеціального вигляду. Разом з тим, залишається актуальною розробка ефективних способів розв'язання задач оптимального покриття заданих областей з урахуванням обмежень спеціального виду.

Формулювання цілей статті. В даній роботі необхідно розробити спосіб геометричного моделювання раціонального покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками на прикладі задачі визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян для захисту населення і територій сільської місцевості з урахуванням рівня інтегрального пожежного ризику.

Основна частина. Загальна модель оптимального покриття об'єктів з урахуванням обмежень спеціального виду має наступний вигляд [3]:

$$\min_W N(m_{c,1}, u_{c,1}, \dots, m_{c,N}, u_{c,N}); \quad (1)$$

де W :

$$\omega_{\Omega}(m_{c,i}, m_{c,h}, u_{c,i}, u_{c,h}) \rightarrow 0; \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N-1; h = i+1, \dots, N;$$

$$\omega_{\Omega}(m_{c,i}, m_{cS_0}, u_{c,i}, u_{cS_0}) \rightarrow 0; \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

$$u_{c,i} \in g_l(m_l, u_0); i = 1, \dots, N; l = 1, \dots, N_l; \quad (4)$$

$$\omega_{\Omega} \left(\begin{matrix} m_{N_k} \\ \bigcup_{k=1}^{N_k} v_k \end{matrix}, \begin{matrix} m_N \\ \bigcup_{i=1}^N S_{c,i} \end{matrix}, \begin{matrix} u_0, u_N \\ \bigcup_{i=1}^N S_{c,i} \end{matrix} \right) \rightarrow S \left(\bigcup_{k=1}^{N_k} v_k(m_k, u_0) \right); \quad (5)$$

$$m_{c,i} = f(t); i = 1, \dots, N; \quad (6)$$

де (1) – цільова функція (мінімум кількості об'єктів покриття); (2) – умова мінімуму площі взаємного перетину об'єктів покриття; (3) – умова мінімуму площі перетину об'єктів покриття та доповнення заданої області до двовимірного простору; (4) – параметри розміщення об'єктів покриття

мають належати пріоритетним підобластям; (5) – умова максимального покриття підобластей покриття об'єктами покриття; (6) – обмеження спеціального виду, що впливають на метричні характеристики об'єктів покриття. Слід відзначити, що формалізацію обмежень (2) та (3) здійснено за допомогою ω -функції покриття.

Конкретизуємо обмеження спеціального виду (6). Перш за все, до даних обмежень відноситься умова щодо часу реагування оперативних підрозділів центрів безпеки громадян на пожежі (у т.ч. інші небезпечні події), тобто час реагування має не перевищувати нормативний [2]:

$$T(S_i) \leq T^* ; i = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Дане обмеження визначає геометричні форми районів виїзду оперативних підрозділів (як правило багатокутники, оскільки час реагування вимірюється на дорогах загального користування).

Також до обмежень спеціального виду слід віднести умови стосовно ризику для людини загинути внаслідок пожежі (небезпечної події) в одиницю часу (інтегральний пожежний ризик). У результаті проведення факторного та кореляційно-регресійного аналізу, було одержано наступну модель, яка описує зв'язок інтегрального пожежного ризику та основних факторів, що характеризують процес реагування оперативно-рятувальних підрозділів. Загальний вид отриманої моделі для, наприклад, Харківської області має наступний вигляд [6]:

$$R^2 = \left(0,646 \bar{\tau}_{\text{прям}} - 0,74 \cdot 10^{-4} N_{\text{пож}} + \varepsilon \right) \cdot 10^{-5}, \quad (8)$$

де $\bar{\tau}_{\text{прям}}$ – середній час прямування оперативно-рятувального підрозділу до місця виникнення пожежі; $N_{\text{пож}}$ – кількість пожеж, що зафіксовані у відповідному регіоні або в Україні в цілому.

Таким чином, умова стосовно рівня ризику у відповідному регіоні України має наступний вигляд:

$$R \leq R^* ; \quad (9)$$

де R^* – заданий (гранично допустимий) рівень ризику.

Для розв'язання задачі (1)÷(9) було розроблено спосіб раціонального покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками. Складові даного способу:

1. Розміщення існуючих об'єктів покриття $S_{c,j}(m_{c,j}, u_{c,j})$, $j = 1, \dots, N_f$, $N_f < N$ (визначення районів виїзду існуючих оперативно-рятувальних підрозділів) виходячи з умови (7), рис. 1.

2. Визначення припустимих місць розміщення $g_l(m_l, u_0)$, $l = 1, \dots, N_l$

інших об'єктів покриття, рис. 1.

3. Визначення мінімально необхідної кількості $N = N^*$ об'єктів покриття виходячи з умови (9).

4. Здійснюється розміщення об'єктів покриття на припустимих місцях, причому кількість варіантів покриття дорівнює $C_{N_l}^{N^* - N_f}$.

5. Перевірка обмежень задачі (2)÷(5). Як розв'язок необхідно обрати такий варіант покриття, який мінімізує цільову функцію (1) та максимізує обмеження (5), рис. 2.

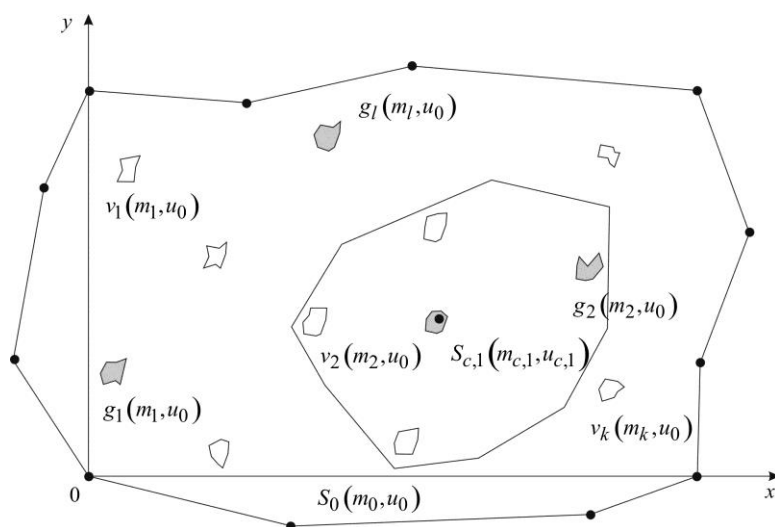


Рис. 1. Розміщення існуючих об'єктів покриття та визначення місць розміщення $g_l(m_l, u_0)$, $l = 1, \dots, N_l$ інших об'єктів покриття

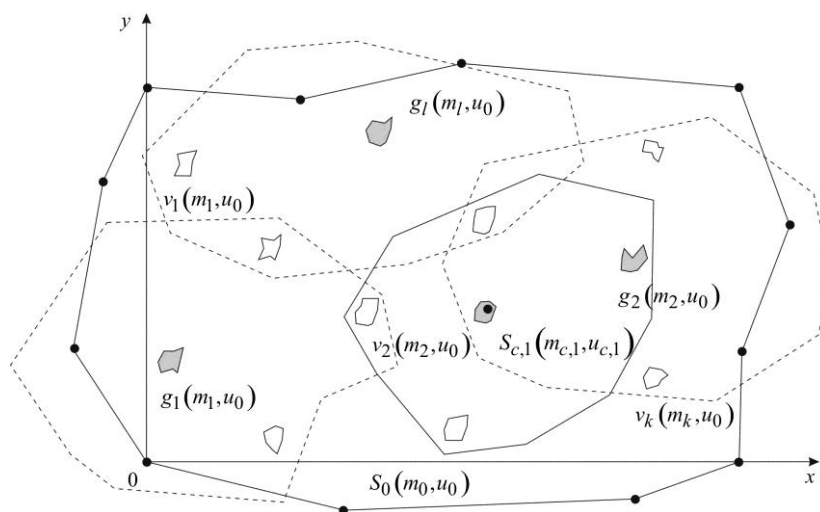


Рис. 2. Аналіз можливих варіантів покриття

На основі розроблених моделі та способу раціонального покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками було здійснено комп'ютерне моделювання визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян для захисту населення і територій сільської місцевості.

Зазначене комп'ютерне моделювання було проведено на прикладі Валківського району Харківської області. Слід відзначити, що в сучасних умовах, навіть здійснивши повне покриття даної території районами виїзду підрозділів центрів безпеки громадян, можливо зменшити рівень інтегрального пожежного ризику до значення $1 \cdot 10^{-4}$ (1/рік). Звідси можна зробити висновок, що мінімально необхідна кількість центрів безпеки громадян $N^* = 4$.

В результаті направленої перебору припустимих місць розміщення центрів безпеки громадян було одержано раціональне покриття території Валківського району, яке зображене на рис. 3.

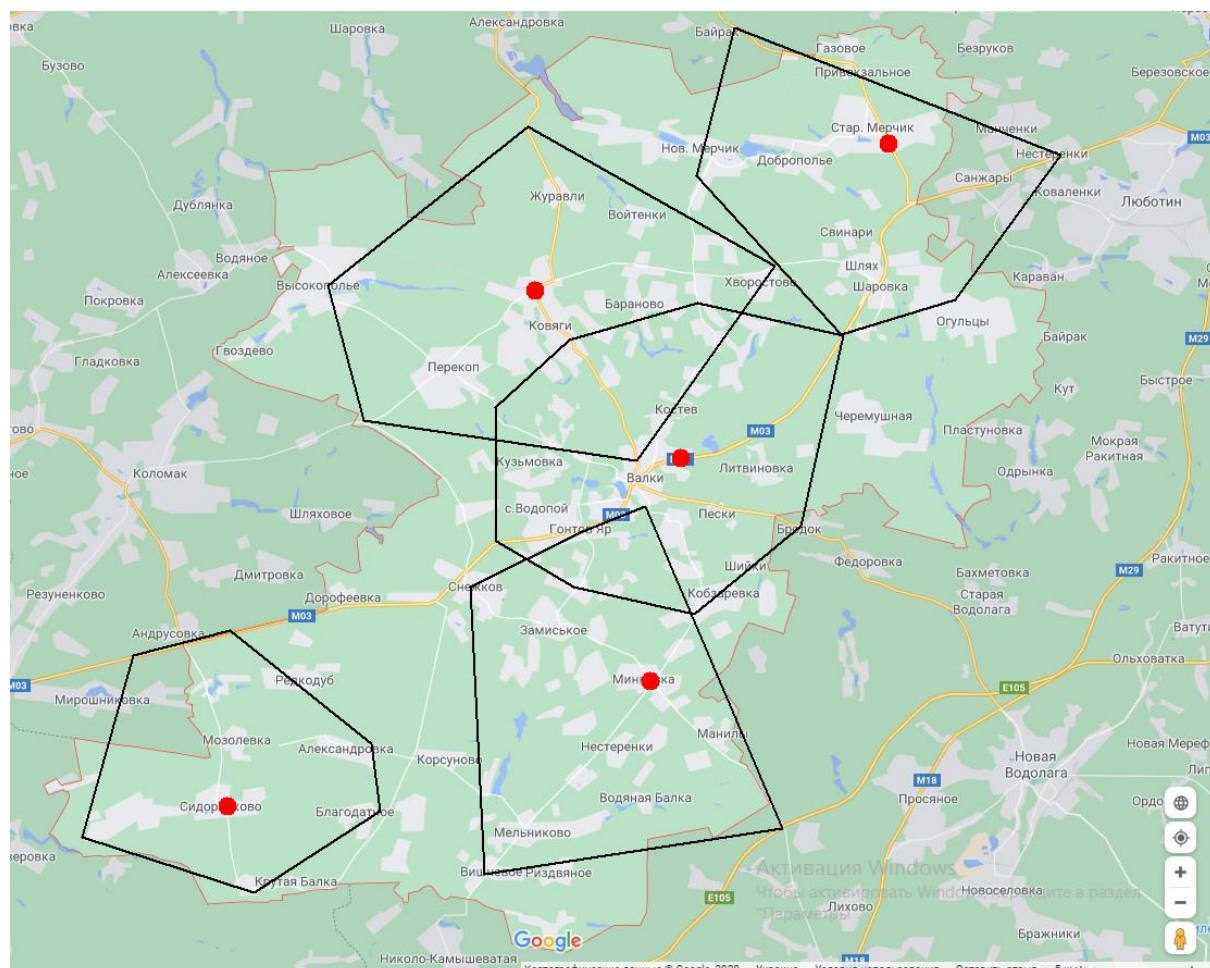


Рис. 3. Покриття території Валківського району районами виїзду оперативно-рятувальних підрозділів центрів безпеки громадян

Висновки. В даній роботі було розроблено спосіб раціонального

покриття заданих областей багатокутниками зі змінними метричними характеристиками. Здійснено комп'ютерне моделювання раціонального покриття заданих областей на прикладі визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян для захисту населення і територій сільської місцевості з урахуванням рівня інтегрального пожежного ризику. Так, для Валківського району Харківської області було зроблено рекомендації щодо створення на території даного району 4 центрів безпеки громадян. Це, у свою чергу, дозволить зменшити рівень інтегрального пожежного ризику на території району майже на 45%.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку моделей та методів геометричного моделювання визначення раціональної кількості центрів безпеки громадян з урахуванням обмежених ресурсів.

Література

1. Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. №37-р. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-p>.
2. Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини): постанова Кабінету Міністрів України від 27.11.2013 р. №874. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-p>.
3. Соболев О.М., Кравців С.Я. Модель покриття заданих областей з урахуванням обмежень спеціального виду. *Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 14. С. 171–178.
4. Соболев О.М., Кравців С.Я., Стельмах О.А. та ін. Модель максимального покриття заданої області з урахуванням обмежень спеціального виду. *Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020. Вип. 17. С. 115–122.
5. Соболев О.М., Кравців С.Я., Стельмах О.А. Модель повного покриття заданої області з урахуванням обмежень спеціального виду. *Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020. Вип. 18. С. 146–153.
6. Кравців С.Я. Метод управління інтегральним пожежним ризиком. *Пожежна безпека. Технічні науки: наукове фахове видання*. Львів. 2018. №.32. С. 39-44.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЦЕНТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ГРАЖДАН ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Соболь А.Н., Бордюженко С.Я., Ляшевская Е.И., Соболь В.Н.

В Украине одной из острых проблем современности является обеспечение приемлемого уровня пожарной безопасности в сельской местности. Одним из путей, который будет способствовать решению данной проблемы, является создание центров безопасности граждан в территориальных общинах. Данная задача является актуальной и может быть сведенной к классу задач оптимизационного геометрического проектирования, а именно, к задаче покрытия заданных областей районами выезда подразделений центров безопасности граждан с учетом уровня интегрального пожарного риска.

В данной работе приведена общая модель оптимального покрытия заданной области многоугольниками с переменными метрическими характеристиками (районами выезда оперативно-спасательных подразделений центров безопасности граждан) с учетом ограничений специального вида, конкретизированы ограничения специального вида.

Разработан способ рационального покрытия заданных областей многоугольниками с переменными метрическими характеристиками. Составляющими данного способа являются: размещение существующих объектов покрытия (существующих пожарно-спасательных подразделений) и определения их геометрической формы (районов выезда) определение допустимых мест размещения других объектов покрытия; определения минимально необходимого количества объектов покрытия исходя из условия минимизации риска для человека погибнуть в результате пожара; направленный перебор вариантов размещения объектов покрытия на допустимых местах и определение геометрических форм объектов покрытия; проверка выполнения ограничений задачи и выбор такого варианта покрытия, который минимизирует целевую функцию задачи и максимизирует количество населенных пунктов, которые находятся в районах выезда оперативно-спасательных подразделений центров безопасности граждан.

На основе разработанных модели и способа рационального покрытия заданных областей многоугольниками с переменными метрическими характеристиками было осуществлено компьютерное моделирование определения рационального количества центров безопасности граждан для защиты населения и территорий сельской местности.

Так, для Валковского района Харьковской области были разработаны рекомендации по созданию на территории данного района 4 центров безопасности граждан. Это, в свою очередь, позволит

уменьшить уровень интегрального пожарного риска на территории района почти на 45%.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку моделей и методов геометрического моделирования определения рационального количества центров безопасности граждан с учетом ограниченных ресурсов.

Ключевые слова: способ геометрического моделирования, геометрическое проектирование, покрытия, центр безопасности граждан.

METHOD FOR DETERMINING RATIONAL NUMBER OF CITIZEN SECURITY CENTERS FOR PROTECTING POPULATION AND RURAL AREAS

Oleksandr Sobol, Svitlana Bordiuzhenko, Olena Liashevskya,
Volodymyr Sobol

In Ukraine, one of the acute problems of our time is to ensure an acceptable level of fire safety in rural areas. One of the ways that will contribute to solving this problem is the creation of citizen security centers in territorial communities. This problem is relevant and can be reduced to the class of optimization geometric design problems, namely, to the problem of covering the given areas by the areas of departure of the units of citizen security centers, taking into account the level of integral fire risk.

In this paper, a general model of the optimal coverage of a given area by polygons with variable metric characteristics (areas of departure of operational and rescue units of citizen security centers) is given, taking into account special constraints, and specific constraints are specified.

A method has been developed for the rational coverage of given areas by polygons with variable metric characteristics. The components of this method are: placement of existing coverage objects (existing fire and rescue units) and determination of their geometric shape (departure areas) determination of permissible locations for other coverage objects; determining the minimum required number of coverage objects based on the condition of minimizing the risk for a person to die as a result of a fire; directed enumeration of options for placing coverage objects in permissible places and determining the geometric shapes of coverage objects; verification of the fulfillment of the task restrictions and the choice of such a coverage option that minimizes the target function of the task and maximizes the number of settlements that are located in the areas of departure of operational and rescue units of citizen security centers.

On the basis of the developed model and method for the rational coverage of given areas with polygons with variable metric characteristics, computer modeling was carried out to determine the rational number of citizen security

centers to protect the population and rural areas.

So, for the Valky district of the Kharkov region, recommendations were developed for the creation of 4 of citizen security centers on the territory of this district. This, in turn, will reduce the level of integral fire risk in the district by almost 45%.

Further research will be aimed at developing models and methods for geometric modeling for determining a rational number of citizen security centers, taking into account limited resources.

Key words: geometric modeling method, geometric design, coverage, citizen security center.

References

1. About approval of the Concept of management of risks of emergencies of technogenic and natural character: the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 22.01.2014 No.37-p. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-p> [in Ukrainian].
2. About the statement of criteria of formation of the state fire and rescue divisions (parts) of Operational and rescue service of civil protection in administrative-territorial units and the list of business entities where such divisions (parts) are formed: the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 27.11.2013. No.874. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-п> [in Ukrainian].
3. Sobol O.M., Kravtsiv S.Ya. (2019). The model of coverage of the given areas taking into account restrictions of a special type. *Modern problems of modeling: scientific professional publication*. Melitopol: MSPU B. Khmelnytsky, 14, 171-178 [in Ukrainian].
4. Sobol O.M, Kravtsiv S.Ya., Stelmakh O.A. et al. (2020). Model of the maximum coverage of a given area, taking into account restrictions of a special type. *Modern problems of modeling: scientific professional publication*. Melitopol: MSPU B. Khmelnytsky, 17, 115-122 [in Ukrainian].
5. Sobol O.M, Kravtsiv S.Ya., Stelmakh O.A. (2020). Model of full coverage of a given area, taking into account restrictions of a special type. *Modern problems of modeling: scientific professional publication*. Melitopol: MSPU B. Khmelnytsky, 18, 146-153 [in Ukrainian].
6. Kravtsiv S.Ya. (2018). Integrated fire risk management method. *Fire Security. Technical sciences: scientific professional publication*. Lviv, 32, 39-44 [in Ukrainian].