

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ АВАРІЙНОЇ ЕВАКУАЦІЇ НАСЕЛЕННЯ ІЗ ЗОНИ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

В.В. Комяк, В.М. Комяк, К.Т. Кязімов

Методи аварійної евакуації населення із зони надзвичайної ситуації (НС) умовно можна розбити на аварійну евакуацію з будівель по шляхах евакуації з різними характеристиками, якими володіють сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації будівлі і на аварійну евакуацію людей на горизонтальних шляхах з урахуванням категорії комфортності їх руху та їх мобільності.

Безпека життєдіяльності людей у висотних будівлях є нерозв'язаною проблемою, як на етапі проектування будівель та споруд, так і в процесі експлуатації об'єктів. В статті побудована змістовна постановка задачі комбінованої евакуації з висотних будівель, яка включає рух людей по коридорах, сходах, за допомогою ліфтів та засобів аварійної евакуації. Досліджено її властивості. Показано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель має дискретно-неперервну структуру, тому її розв'язок має два етапи: дискретний – оптимізацію на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв'язків та неперервний – для кожної гілки дерева – це моделювання руху гетерогенних потоків людей по мережі, складовими якої є коридори, сходи, шляхи руху ліфтів та засоби аварійної евакуації. Як метод дискретної оптимізації, пропонується варіантне моделювання на мережі, що описує дерево розв'язків з використанням методу Монте-Карло. Для неперервного етапу запропоновано організаційно-технічні методи аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з урахуванням категорії комфортності їх руху. Здійснено комп'ютерне моделювання тестових прикладів та порівняння отриманих результатів з результатами інших дослідників. Так порівняння результатів моделювання евакуації за допомогою сходів та ліфтів на тестовому прикладі показало, що абсолютна помилка не перевищує 20 с, а відносна – 0.06.

Розроблене в роботі програмне забезпечення може бути використане для швидкого прийняття рішення щодо вибору безпечних шляхів евакуації на випадок надзвичайної ситуації, що є однією з найважливіших проблем безпеки життєдіяльності людей у висотних будівлях та в інших місцях виникнення НС.

Ключові слова: аварійна евакуація, організаційно-технічні методи, оптимізація, дерево розв'язків, варіантне моделювання.

1. Вступ

Методи аварійної евакуації населення із зони надзвичайної ситуації умовно можна розбити на аварійну евакуацію з будівель по шляхам евакуації з різними характеристиками, наприклад по сходах, коридорах, ліфтах, засобах аварійної евакуації і на аварійну евакуацію людей на горизонтальних шляхах з урахуванням категорії комфортності їх руху та мобільності.

Безпека життєдіяльності людей у висотних будівлях є нерозв'язаною проблемою, як на етапі проектування будівель та споруд, так і в процесі експлуатації об'єктів.

Аналіз літературних джерел, що розглядають процес евакуації [1–3], дозволив сформулювати ряд причин, що перешкоджають ефективній евакуації з висотних будівель:

1. Зі зростанням поверховості збільшується кількість людей, які проживають в межах одного об'єкта, що прямо пропорційно позначається на щільності людського потоку при евакуації, та в свою чергу негативно впливає на показник індивідуального ризику.

2. В [4] наголошується, що сходи, як основні засоби евакуації, не забезпечують достатню пропускну здатність для безпечної евакуації людей із висотних будівель. Відмічається утворення скупчень людей на вході в сходову клітину через її обмежену пропускну здатність і неможливість забезпечувати неперервний рух людей на нижніх поверхах через високу щільність потоку.

3. Протяжність шляхів евакуації у висотних будинках та спорудах досить велика, перевищує сотні метрів. Це викликає втому, розсіювання уваги, необережність навіть у здорових людей, що призводить до травматизму, що є причиною їх низької пропускну здатності.

4. Складність транспортування людей із фізичними обмеженнями в місцях локальних скупчень, в силу того, що їх динамічні габарити, тобто область, яку займає людина при русі з урахуванням допоміжних засобів переміщення, практично в 2 рази перевищують габарити здорових людей.

Тому виникла проблема формування науково-обґрунтованих планів евакуації людей із зони НС, зокрема з висотних будівель з урахуванням її особливостей.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [5] обґрунтовано обмеження мінімальних меж вогнестійкості основних конструкцій висотних будівель: для будівель заввишки до 100м – 150 хв., більше 100м. – 180 хв. Приведений час може бути використаний для обґрунтування необхідного часу евакуації.

Як сказано в [4], сходи не забезпечують достатньої пропускну здібності для безпечної евакуації з висотних будівель. Заборона ж використання ліфтів викликана низкою причин [6]:

- задимлення шахти та кабін ліфтів;
- відключення електропостачання;
- зупинка ліфта на поверсі, охопленому вогнем;
- деформація та заклинювання дверей ліфтів на поверсі (надзвичайної ситуації) НС;
- потрапляння води під час гасіння пожежі в шахту ліфтів;
- можливе переповнення кабін ліфтів людьми, що евакуюються.

Більшість з перерахованих проблем вирішено. До пожежної безпеки ліфтів висувають вимоги настільки ж жорсткі, як і для сходових кліток [6].

В роботі [7] розглянуті можливі шляхи евакуації людей при НС, серед яких виділяються також шляхи руху за допомогою стаціонарних рятувальних засобів індивідуального та колективного використання. У ряді країн прийняті закони і стандарти, що регулюють необхідність і принципи застосування систем евакуації з висотних будівель [7]. Наприклад, в Канаді в даний час встановлено близько 120 000 таких систем, в Японії - понад 250 000.

Аналіз літературних джерел, що розглядають процес евакуації, дозволив сформулювати ряд причин, які перешкоджають використовувати тільки сходи при евакуації. Тому в роботі пропонується комбінована евакуація людей по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації, що є невирішеною частиною проблеми евакуації з висотних будівель.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка ефективних підходів до моделювання комплексної евакуації людей із висотних будівель.

Основні завдання дослідження:

- сформулювати задачу комбінованої евакуації з висотних будівель;
- здійснити комп'ютерне моделювання евакуації людей з висотної будівлі та порівняти час евакуації сходами з часом комбінованої евакуації людей по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації.

4. Матеріали та методи досліджень

4.1. Задача комбінованої евакуації з висотних будівель. Нехай визначені: тривимірний об'єкт, що описує висотну N поверхову будівлю, кількість людей на кожному поверсі та місця їх розташування в момент виникнення НС t^0 . Нехай також задано структура коридорів $K_{ij,j}(u_{ij,j}^n, u_{ij,j}^k), ij = 1, 2, \dots, p_j$ на кожному з поверхів $j = 1, 2, \dots, N$ з координатами початку $u_{ij,j}^n(x_{ij,j}^n, y_{ij,j}^n, z_{ij,j}^n)$, кінця $u_{ij,j}^k(x_{ij,j}^k, y_{ij,j}^k, z_{ij,j}^k)$ і з їх шириною $w_{ij,j}$; кількість n сходів $L_i(u_i), i = 1, 2, \dots, n$ з їх місцем розташування $u_i(x_i^*, y_i^*, z_i), i = 1, 2, \dots, n, z_i \in [0, H]$, (H – висота будівлі) і з шириною w_i ; кількість v ліфтів $Li_{jj}(u_{jj}), jj = 1, 2, \dots, v$ місткістю $v_{jj}, jj = 1, 2, \dots, v$ людей з їх місцем розташування $u_{jj}(x_{jj}^*, y_{jj}^*, z_{jj}), jj = 1, 2, \dots, n, z_{jj} \in [0, H]$ і швидкістю $V_{jj}, jj = 1, 2, \dots, v$. У разі неможливості евакуації по сходах і за допомогою ліфтів передбачена аварійна евакуація за допомогою засобів аварійної евакуації $AV_{ll}(u_{ll}, u_{ll}^k)$ з їх місцем розташування u_{ll} , місткістю k_{ll} , і швидкістю $V_{ll}, ll = 1, \dots, l \in \{1, \dots, r\}$.

Структура сходів, ліфтів, коридорів та засобів аварійної евакуації може змінюватися в часі, позначимо її

$$\mathfrak{R}(U, t) = \left\{ \left\{ L_i(u_i, t) \right\}, \left\{ Li_{jj}(u_{jj}, t) \right\}, \left\{ K_{ij,j}(u_{ij,j}^n, u_{ij,j}^k, t) \right\}, \left\{ AV_{ll}(u_{ll}, u_{ll}^k), t \right\} \right\}$$

Виникає наступна задача.

Необхідно мінімізувати час $t = t_0 + q\Delta t \leq t_{необ.}, q = 1, 2, \dots$ евакуації людей по

мережі $\mathfrak{R}(U, t) = \{\{L_i(u_i, t)\}, \{Li_{ij}(u_{ij}, t)\}, \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^u, u_{ij,j}^k, t)\}, \{AV_{ll}(u_{ii,j,ii}, u_{ii}^k, t)\}\}$, що складається відповідно із множини ліфтів, шляхів руху по сходах, коридорів, шляхів руху засобів аварійної евакуації і при цьому максимізувати ймовірність їх порятунку при виконанні умов не перетинання людей при русі, умови їх переміщення на шляхах евакуації і ряду технологічних обмежень, серед яких умови не перевищення щільності потоку допустимої, маневреності та категорій комфортності людей при їх русі, тощо [8].

Задача, що розглядається в роботі, має дискретно-неперервну структуру великої вимірності. Дискретний етап – це оптимізація на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв’язків 1, яке надає всі остови, тобто траси від приміщень $S_1^j, \dots, S_{n_j}^j, j=1,2,\dots,N$ до вершин зовнішнього рубежу: $L_1^j; \dots; L_n^j; \{L_1^j; \dots; L_n^j\}; Li_1^j; \dots; Li_v^j; \{Li_1^j; \dots; Li_v^j\}; \{AV_1^j\}; \dots; \{AV_l^j\}; \dots; \{\{AV_1^j\}; \dots; \{AV_l^j\}\}$ [9].

Розглянемо дерево розв’язків 1.

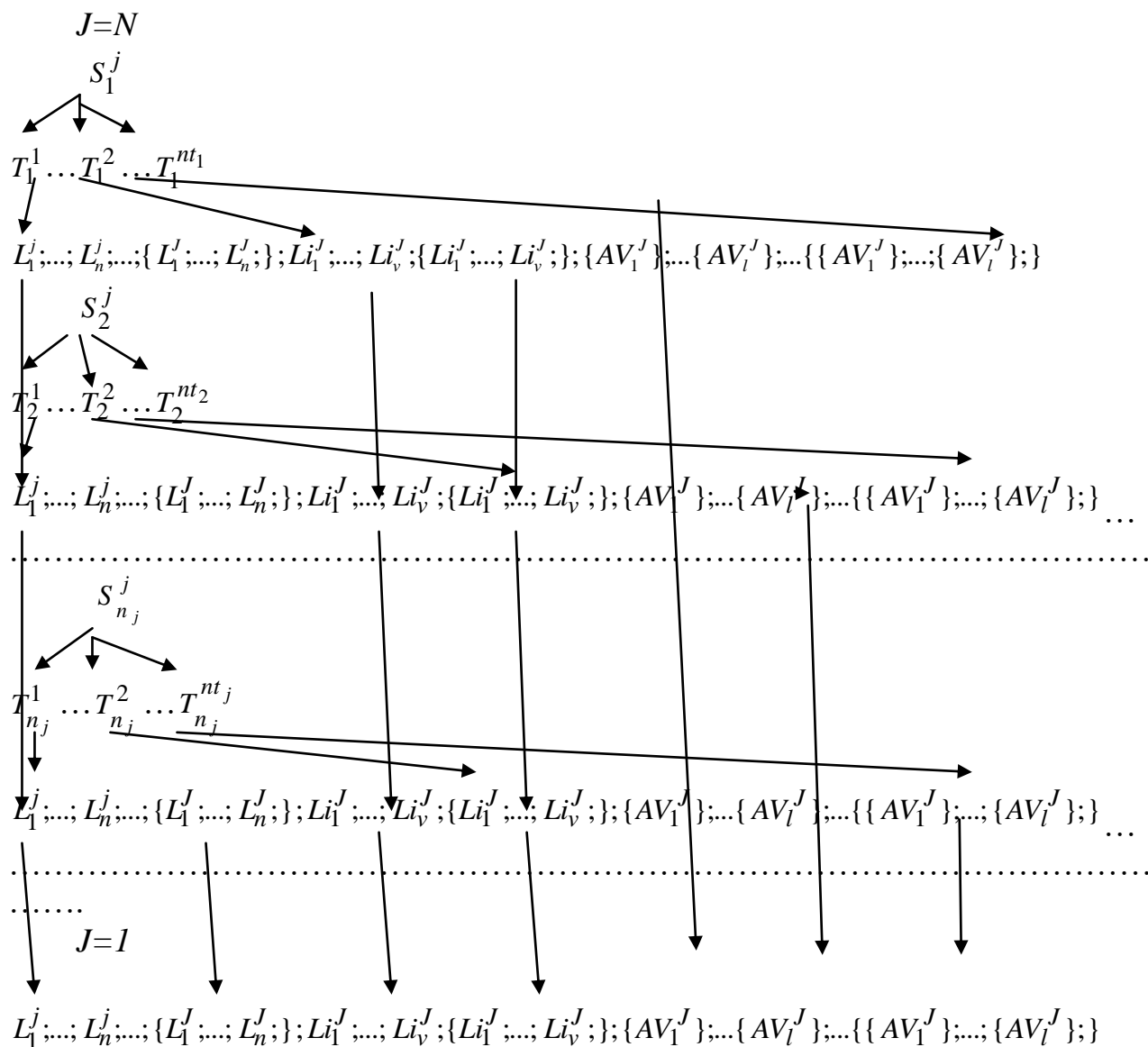


Рис. 1. Дерево розв’язків 1

де $T_1^{g_1^j}$, $g_1^j = 1, \dots, n_{t_1^j}$ – множина остовів, що виходять з S_1^j ; $T_2^{g_2^j}$, $g_2^j = 1, \dots, n_{t_2^j}$ – множина остовів, що виходять з S_2^j ; $T_{n_j}^{g_{n_j}^j}$, $g_{n_j}^j = 1, 2, \dots, n_{t_{n_j}^j}$ – множина остовів, що виходять з $S_{n_j}^j$; $n_{t_1^j} + n_{t_2^j} + \dots + n_{t_{n_j}^j} = n_{T^j}$ – усього трас на j -му поверсі.

Дерево розв'язків 1 (рис. 1) є основою варіантного моделювання аварійної евакуації людей з висотних будівель.

Неперервний етап – це моделювання руху по шляхах евакуації, зокрема по горизонтальним – коридорам. Встановлено взаємозв'язок між основними параметрами руху, зокрема, між щільністю потоку і категорією комфортності руху. В роботі [10] запропоновано організаційно-технічний метод аварійної евакуації гетерогенних потоків людей в залежності від категорії комфортності руху по горизонтальних шляхах:

- метод аварійної евакуації вільного індивідуального та індивідуально-поточного руху гетерогенних потоків людей з контактними перешкодами та без перешкод [11];

- метод аварійної евакуації активного руху людей з силовими діями при природних деформаціях тіла людини [12];

- метод аварійної евакуації людей з вантажем та з урахуванням їх розбиття на групи [13].

В даній роботі основна увага приділяється дискретному етапу.

Слід відзначити, що систему j -тих рівней дерева розв'язків 1 слід розглядати як систему VR -покриттів [9] відповідного поверху, яка визначає систему остовів з початком в приміщеннях поверху і кінцем на засобах евакуації з нього $L_1^j; \dots; L_n^j; \dots; L_{i_1}^j; \dots; L_{i_v}^j; \{AV_1^j\}; \dots \{AV_v^j\}$.

Більш того, кожне VR -покриття поверху із системи визначає відповідний засіб (засоби) евакуації з поверху.

Розв'язок задачі полягає в переборі остовів побудованого дерева розв'язків 1 з метою визначення остова дерева (траси (трас)), моделювання руху людей по якому буде забезпечене найкраще значення функції мети, наприклад, часу евакуації.

В силу великої вимірності задачі, перебір остовів (гілок дерева) може бути здійснений за методом Монте-Карло [14], або з застосуванням цього методу на кожному з рівней дерева розв'язків.

Для розв'язання задачі, тобто перебору остовів дерева розв'язку 1 можуть бути застосовані паралельні обчислення.

Для цього для кожного j -го поверху визначається VR -покриття з найменшим часом досягнення хоча б однієї вершини зовнішнього рубежу поверху, тобто

$$t_{T^j} = \min_{ii \in \{1, \dots, n_T\}} \sum_{gq} t_{ii^{gq}} \quad (1)$$

Потім визначається початковий час руху по загальному дереву розв'язків 1 при $j=1, 2, \dots, N$, тобто

$$T_{\text{поч.}}(u_T^*) = t_{T_j} \rightarrow \min, \quad T_* = \arg \min_{T_j \in \tau} t_{T_j}. \quad (2)$$

Для побудови програмного забезпечення слід створити алгоритм моделювання евакуації людей з будівель.

Алгоритм 1.

Крок 1. Вхід.

Крок 2. Нехай $j:=1$.

Крок 3. Побудувати VR-покриття для j -го поверху, зовнішніми вершинами якого є хоча б одна з вершин відповідних засобів

$$L_1^j; \dots; L_n^j; \dots; L_{i_1}^j; \dots; L_{i_v}^j; \{AV_1^j\}; \dots \{AV_l^j\}.$$

Крок 4. Визначити мінімальний час руху для отриманого VR-покриття, тобто

$$t_{T_j} = \min_{ii \in \{1, \dots, n_T\}} \sum_{gq} t_{i_{gq}}$$

Крок 5. Покласти $j=j+1$.

Крок 6. Якщо $J \leq N$, то перейти до кроку 3, інакше до кроку 7.

Крок 7. Визначити мінімальний час руху серед $VR_j, j=1, 2, \dots, N$ покриттів

$$T_{\text{поч.}}(u_T^*) = t_{T_j} \rightarrow \min, \quad T_* = \arg \min_{T_j \in \tau} t_{T_j}.$$

І прийняти визначений час за початковий час руху по загальному дереву розв'язків 1.

Крок 8. Здійснити моделювання руху людей по трасах, які відповідають гілкам побудованого дереву розв'язку 1, починаючи на кожному j -му рівні рух з моменту часу $T_{\text{поч.}}$

При моделюванні використовуються способи та алгоритми моделювання руху гетерогенних потоків людей по горизонтальним шляхам, що розроблені в роботах [11-13] та технічні засоби евакуації, тобто ліфти та засоби індивідуального та колективного користування при евакуації.

Крок.9. Вибрати набір трас, який забезпечує мінімальний час евакуації.

Крок.10. Кінець.

По алгоритму створено програмне забезпечення, що написано мовою C++ у середовищі Visual C.

4.2. *Комп'ютерне моделювання евакуації людей з висотної будівлі та порівняльний аналіз часу евакуації з результатами інших авторів.*

Як приклад, було здійснено комп'ютерне моделювання для розрахунку

евакуації людей із будівлі, яка змодельована в [15]. Розрахунковий час евакуації обчислювався для випадку евакуації як по сходах, так і за допомогою ліфтів. Розглядалися люди групи мобільності М1, М2, М3, М4. За одиницю часу (часовий крок), який відповідає точності моделювання, приймалась 0,50 с.

Змодельована висотна будівля (рис. 2, 3) мала наступні параметри:

- кількість поверхів – 60;
- кількість секцій – три по 20 поверхів;
- кількість поверхів в секції – 19 (20 поверхів – технічний);
- висота поверху – 3м;
- корисна площа поверху – 600м²;
- щільність 100 чол. на поверх (із розрахунку 1 чол. на 6м² корисної площі);
- кількість людей в кожній секції – по 1900 чол., всього людей в будівлі – 5700 чол.;
- двоє П-образних сходів типу НЗ, марш 1350 мм;
- 6 ліфтів по 13 чол., які переміщуються в границях секцій (максимальна швидкість руху $v_{max}=2,5$ м|с);
- 4 ліфти –шатла на 26 чол. По 2 на секцію ($v_{max}=4$ м|с), які є вертикальними зв'язками між 1-м поверхом будівлі та 1-м поверхом 2-ої і 3-ої секцій (20-м та 40-м поверхами відповідно).

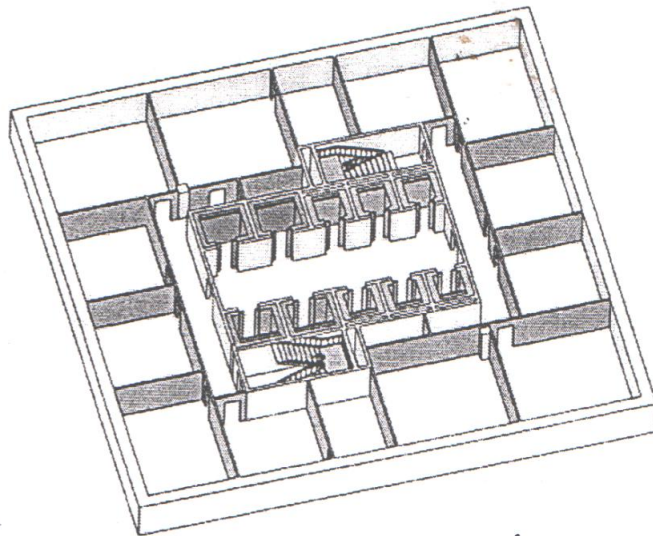


Рис. 2. План типового поверху офісного центру

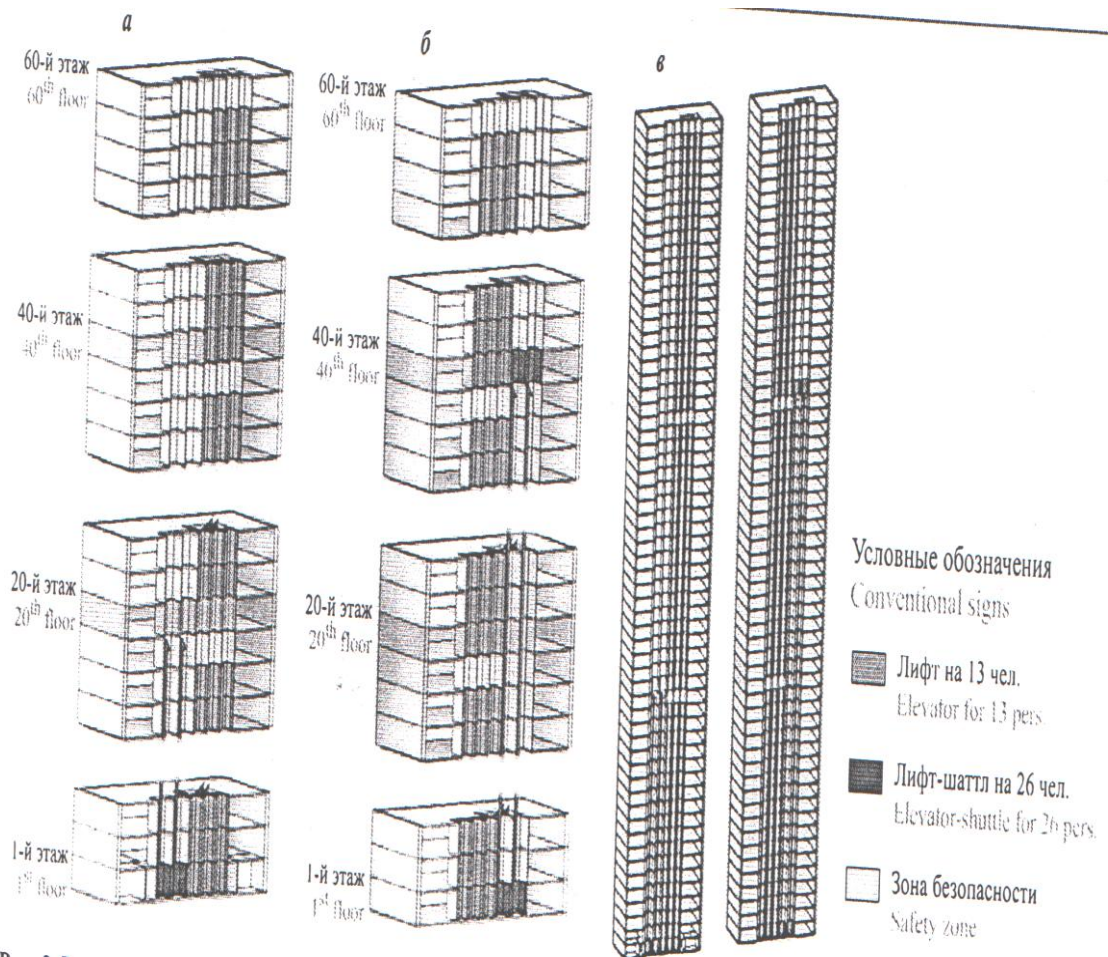


Рис. 3. Розріз будівлі офісного центру: а) рух ліфта-шаттла з 1 по 20-й поверхи; б) рух ліфта-шаттла з 20 по 40-й поверхи; в) загальний розріз будівля для обох випадків

Параметри ліфтів представлено в табл. 1.

Табл. 1. Параметри ліфтів для обчислень

Показник	Секційні ліфти	Лифти-шаттли	
		1–19-й пов.	1– 40-й пов.
Параметри ліфта			
Вантажопідйомність, кг	1000	2000	2000
Номінальна місткість кабіни ¹ , чол.	13,0	26,0	26,0
Швидкість руху ліфта, м/с	2,5	4,0	4,0
Шлях, що проходить ліфт при розгоні до номінальної швидкості і до гальмування від номінальної швидкості до повної зупинки, м	7,0	16,0	16,0

1– визначається діленням номінальної вантажопідйомності ліфта на 75 (вага одного пасажера).

Як сказано вище, при евакуації з будівель розглядається 4 групи людей по їх мобільності М1, М2, М3, М4. Характеристики людей по групам мобільності наведені в табл. 2.

Табл. 2. Характеристика груп мобільності

Група мобільності	Характеристика людей в групі	Площа горизонтал. проекції людини, м ²
М1	Люди, які не мають обмежень мобільності	0,1
М2	Немічні люди, мобільність яких знижена через старіння організму (інваліди по старості; інваліди на протезах; людина з інвалідністю з вадами зору, що користуються білою тростиною; люди з психічними відхиленнями	0,2
М3	Людина з інвалідністю, що використовує при русі додаткові опори (милиці, палиці)	0,3
М4	Людина з інвалідністю, що рухається на кріслі-колясці, що приводиться в рух вручну	0,96

Проведені дослідження [16] показали, що зміна швидкості маломобільних людей в залежності від щільності потоку має ті ж закономірності, що описані і для здорових людей. Дані, що наведені в табл. 3 дозволяють зробити висновок, що швидкість потоків маломобільних людей значно нижче, ніж швидкості здорових людей. Слід враховувати, що наведені в табл. 3 параметри відносяться до однорідних по мобільності яким групам людей.

Табл. 3. Значення параметрів швидкості для маломобільних груп людей по видам трас

Групи мобільності	Значення параметрів	Величина параметру по виду трас (<i>j</i>)		
		горизонтальна	сходи вниз	Сходи вверх
М1	V_{oj} (м/хв.)	100	100	60
	D_{oj} (м ² /м ²)	0,051	0,089	0,067
М2	V_{oj} (м/хв.)	30	30	20
	D_{oj} (м ² /м ²)	0,135	0,139	0,126
М3	V_{oj} (м/хв.)	70	20	25
	D_{oj} (м ² /м ²)	0,102	0,208	0,120
М4	V_{oj} (м/хв.)	60	-	-
	D_{oj} (м ² /м ²)	0,135		

Згідно перелічених вище даних розв'язані наступні задачі:

Задача 6.1. Необхідно знайти мінімальний час евакуації з першого відсіку (1–19 поверхи) 1900 людей, коли люди групи мобільності М4 евакуюються за допомогою двох ліфтів-шатлів, люди груп мобільності М2-М3 – за допомогою шести ліфтів, які переміщуються в межах секції, а частка людей мобільності М2-М3 та М1 евакуюються по двох сходових клітках.

Результати обчислень наведені в табл. 4.

Табл. 4. Результат задачі 1.

Об'єкт	Час евакуації,с			Порівняння результатів	
	Тільки по сходах [15]	З використанням ліфтів [15]	По сходах і з використанням ліфтів (отриманий результат)	Абсолютна помилка, с	Відносна помилка
Секція (1–19 поверхи)	1043	356	376, Розбиття по групах мобільності: М1–36% М2-М3–30% М4–34%	20	0,06

Розглянемо випадок, коли на поверхах 41-59 внаслідок розвитку НС сходи перекриті, а ліфти працюють до 39 поверху. В цьому випадку можливі дві ситуації: люди можуть підніматися вгору по сходах на дах з метою покинути будівлю за допомогою вертольота або спускатися вниз за допомогою засобів аварійного порятунку.

Розглянемо другий випадок. На кожному з поверхів 41-59 по 100 людей. Серед них, згідно (табл. 4): 30% – люди мобільності М2-М3 та 36% – мобільності М1 (люди мобільності М4 знаходяться в перших двох відсіках і спускаються на перший поверх за допомогою ліфтів). Це означає, що людей мобільності М1 – 36 чол.; М2-М3 – 30 чол. на кожному з поверхів. Нехай вони рівномірно розміщуються по поверхах по 66 людей на кожному поверсі.

Виникає наступна задача.

Задача 6.2. Необхідно евакуювати людей з третього відсіку за допомогою засобу аварійної евакуації таким чином, щоб загальний час евакуації з будівлі був мінімальний.

У якості засобу евакуації виберемо саморятувальник «Барс» [17].

Пристрій канатно-спусковий пожежний автоматичний «Барс» або саморятувальник «Барс» для порятунку людей з будівель при НС дозволяє проводити евакуацію людей з офісів, готелів, гуртожитків, шкіл. Для використання саморятувальника не потрібне навчання та спеціальні навички.

Технічні характеристики саморятувальника «Барс»:

– саморятувальник «Барс» має дві рятувальні косинки, що прикріплені на

різні кінці троса. Під час спуску першої людини з землі піднімається друга рятувальна косинка для спуску наступного;

- евакуаційний пристрій «Барс» є повністю автоматичним, тобто параметри спуску не залежать від суб'єкта спуску і дозволяти благополучно досягати землі навіть у несвідомому стані;

- рятувальний пристрій «Барс» тросового типу забезпечує роботу з тросами довжиною до 300 м;

- максимальна швидкість спуску при максимально допустимій для пристрою «Барс» вазі, не перевищує 1,3 м/сек.

Згідно ППБ 01-03 пункт 129: «Будинки (готелі, кемпінги, мотелі, гуртожитки, школи-інтернати, будинки для людей похилого віку та інвалідів, дитячі будинки та інші будівлі за винятком житлових будинків) заввишки 5 і більше поверхів повинні бути забезпечені індивідуальними рятувальними пристроями (комплектom рятувального спорядження або сходами навісної рятувальної з розрахунку один пристрій на кожні 30 осіб, що знаходяться на поверсі будівлі».

Технічні параметри пристрою «Барс» наведено в табл. 5.

Табл. 5. Технічні параметри пристрою «Барс»

Пристрій	Висота використання, м	Вантажопідйомність, кг	Швидкість спуску, м/с	Час приведення в робочий стан, с	Багатократність використання
Тросове «Барс»	300	200	≤ 1,3	≤ 60	Багаторазове

Підрахуємо час спуску однієї людини з кожного поверху третьої секції з затримкою на 20с для приведення пристрою в робочий стан (табл. 6).

Табл. 6. Час спуску однієї людини з відповідного поверху

Поверх	41	42	43	44	45	...	55	56	57	58	59
Час,с	114,6	116,9	119,2	121,5	123,8	...	146,9	149,2	151,5	153,8	156,15

Отже, якщо почати спуск з кожного поверху одночасно по одній людині, то час спуску буде дорівнювати не менше, ніж 156,15с. Час повної евакуації людей з двох нижніх відсіків складає 712с (табл. 4). Таким чином, за час 712 с (оцінка часу евакуації людей з першого та другого відсіку) може спуститися з кожного поверху третього відсіку по 4 чол. з трьох сторін будівлі і 5 чол. з четвертої сторони, тобто необхідно, щоб люди одноразово евакуювалися з сімнадцяти місць кожного поверху (по одному через 156,15 с). Спусків з кожного поверху треба зробити чотири. А на кожному з поверхів третього відсіку знаходиться 66 чоловік. Місця їх закріплення можна вибрати по периметру поверху приблизно через 5 м одне від одного для кожного з

чотирьох етапів спуску. Питання найкращого розташування місць закріплення засобів аварійної евакуації розглянуто в роботі [9]. Слід відзначити, що за отриманими параметрами, евакуація людей з третього відсіку займе 624,6 с.

Якщо дотримуватись вимоги з розрахунку один пристрій на кожні 30 осіб, то час евакуації з третього відсіку (і відповідно з усієї будівлі) необхідно збільшити, як мінімум в 6 разів.

Таким чином, формалізація та подача задачі здійснювалася за допомогою методів математичного та комп'ютерного моделювання, геометричного проектування та оптимізації.

5. Обговорення результатів дослідження розробки ефективних підходів до моделювання комплексної евакуації людей із висотних будівель

В роботі запропоновано організаційно-технічні методи аварійної евакуації гетерогенних потоків людей, які розглянуто на прикладі евакуації з висотних будівель. Побудована змістовна постановка задачі евакуації з висотних будівель. Показано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель має дискретно-неперервну структуру, тому її розв'язок має два етапи: дискретний – оптимізацію на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв'язків та неперервний – для кожної гілки дерева – це моделювання руху гетерогенних потоків людей по мережі, складовими якої є коридори, сходи, шляхи руху ліфтів та засобів аварійної евакуації. Як метод дискретної оптимізації пропонується варіантне моделювання на мережі, що описує дерево розв'язків, а в силу великої вимірності задачі застосовується метод Монте-Карло при переборі гілок дерева розв'язків. Отримані результати можна розглядати як обґрунтування вибору та модифікації методів математичного та комп'ютерного моделювання процесу евакуації з багатоповерхових будівель, які можуть бути використані для оперативного прийняття рішень щодо вибору шляхів евакуації в надзвичайних ситуаціях, а також оцінки часу евакуації по вибраним шляхам, як показано при розв'язанні задач 6.1.-6.2. В результаті розв'язання може бути запропоновано декілька найкращих варіантів шляхів евакуації в діапазоні допустимих значень параметрів задачі. В цьому випадку – у якості розв'язку вибирається варіант особою, яка приймає рішення.

В роботі запропонована змістовна модель комбінованої евакуації людей з висотних будівель по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації. Показана ефективність моделі шляхом порівняння результатів моделювання евакуації за допомогою сходів та ліфтів на тестовому прикладі. Абсолютна помилка не перевищує 20 с, а відносна – 0.06. Здійснено моделювання переміщення людей за допомогою засобів аварійної евакуації з частини будівлі, з якої мережа евакуації не доступна. Зроблено висновок, що продуктивність існуючих засобів аварійної евакуації значно нижче, чим ліфтів. Тому їх можна застосовувати на нижчих поверхах, або, коли інших засобів евакуації не існує

6. Висновки

1. Показано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель має дискретно-неперервну структуру, тому її розв'язок має два етапи: дискретний – оптимізацію на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв'язків та неперервний – для кожної гілки дерева – це моделювання руху гетерогенних потоків людей по мережі, складовими якої є коридори, сходи, шляхи руху ліфтів та засобів аварійної евакуації. Для неперервного етапу запропоновано організаційно-технічні методи аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з урахуванням категорії комфортності їх руху. В силу великої вимірності задачі повна варіантна оптимізація по дереву розв'язків може проводитись на етапі проектування будівлі для створення планів евакуації, а часткова варіантна оптимізація – в процесі експлуатації будівлі в залежності від етапу розвитку НС.

2. По розробленим в роботі методам створено програмне забезпечення, що написано мовою C ++ у середовищі Visual C, яке може бути використане для швидкого прийняття рішення щодо вибору безпечних шляхів евакуації на випадок надзвичайної ситуації, що може виникнути в будівлі. Здійснено порівняння результатів моделювання часткової евакуації за допомогою сходів та ліфтів на тестовому прикладі. Абсолютна помилка не перевищує 20 с, а відносна – 0.06.

Література

1. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий. *Жилищное строительство*. 2008. Выпуск 8. С. 24–26.
2. Серков Б. Б., Самошин Д. А. Безопасная эвакуация людей при строительстве и эксплуатации высотных зданий. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2008. Выпуск 2. С. 32–36.
3. Холщевников В. В. Терминология или идеология – препятствие безопасной эвакуации людей из высотных зданий при пожаре. *Пожаровзрывобезопасность. Fire and Explosion*. 2006. Выпуск 27. 1. С. 5–26. doi: 10.18322/PVB.2018.27.01.5–26
4. Patton, R. V. Fire-safety for the high-rise building. ASHRAE. 1973. V. 15. P. 34–41.
5. Ройтман В. М. Нормирование защиты высотных зданий от прогрессирующего разрушения при комбинированных особых воздействиях. *Пожаровзрывобезопасность*. 2007. Выпуск 10. 2. С. 6–11.
6. Холщевников В. В., Самошин Д. А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий. *Пожаровзрывобезопасность. Fire and Explosion*. 2006. 1 Выпуск 5. 5. С. 45–47.
7. Barney G.C. Elevator Traffic Handbook: Theory and practice. Spon Press. London and New York, 2003.
8. Комяк В.М., Данілін О.М., Кязімов К.Т., Комяк В.В. Розробка математичної моделі оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 2019. Выпуск 30. С. 67–75.

9. Комяк В. М., Комяк В. В., Соболев А. Н. Разбиение и трассировка в задачах пожарной безопасности строительства. Харьков: Мадрид, 2016. 161с.
10. Кязимов. К.Т. Категорії комфортності руху людей в потоці і способи їх моделювання. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ, 2020. Випуск 20. С. 144–154.
11. Komyak Va., Sobol A., Danilin A., Komyak Vl., Kyazimov K. Optimization of Partitioning the Domain into Subdomains According to Given Limitation of Space. *Journal of Automation and Information Sciences*. New York: Begell, 2020. Vol.52. Issue 2. P. 13–26. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v52.i2.20.
12. Komyak Va, Komyak Vl. Pankratov A. Mathematical and Computer Modeling of Active Movement of People during Evacuation from Buildings. *Part of the IFIP Advances in Information Technology in Disaster Risk Reduction book* (series IFIPAICT), 2021. Vol. 622. P. 245–258.
13. Pankratov A., Komyak Va., Kyazimov K., Komyak Vl., Tarasenko O., Antoshkin O., Mishcheriakov Iu., Dolhodush M. Building a model and an algorithm for modeling the movement of people carrying goods when they are evacuated from premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kharkiv*, 2021. 3/4. (111), P. 43–50, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.23391.
14. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования (изд.2., доп.). К.: Наукова Думка, 2020. 272 с.
15. Гравит М. В., Карькин И. Н., Дмитриев И. И., Кузенков К. А. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов. *Пожаровзрывобезопасность. Fire and Explosion*. 2019. Выпуск 28. 2. С. 66–80.
16. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием. *Пожаровзрывобезопасность. Fire and Explosion*. 2014. Выпуск 23. С. 37–52.
17. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей на пожарах: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 210 с.

VI. Komyak Va. Komyak, K. Kyazimov

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHODS OF EMERGENCY EVACUATION OF THE POPULATION FROM THE ZONE OF EMERGENCY SITUATION

Methods of emergency evacuation of the population from the emergency zone (ES) can be divided into emergency evacuation from buildings on evacuation routes with different characteristics, which have stairs, corridors, elevators, means of emergency evacuation and emergency evacuation of people on horizontal roads, taking into of their of level of comfort and of level of their mobility.

The safety of human life in high-rise buildings is an unresolved issue, both at the design stage of buildings and structures, and in the process of operation of facilities. The article presents a meaningful statement of the problem of combined evacuation from high-rise buildings, which includes the movement of people along corridors, stairs, elevators and emergency evacuation. Its properties have been studied. It is shown that the problem of optimizing the choice of ways and means for evacuation from high-rise buildings has a discrete-continuous structure, so its solution has two stages: discrete – optimization on a discrete set that can be represented, for example, by a tree of solutions and continuous - for each branch of a tree it is modeling of movement of heterogeneous streams of people on a network which components are corridors, ladders, ways of movement of elevators and means of emergency evacuation. As a method of discrete optimization, a variant network model is proposed that describes the solution tree using the Monte Carlo method. Organizational and technical methods of emergency evacuation of heterogeneous flows of people taking into account the category of comfort of their movement are offered for a continuous stage. Computer modeling of test examples and comparison of the obtained results with the results of other researchers were performed. Thus, a comparison of the results of evacuation modeling with the help of stairs and elevators on a test example showed that the absolute error does not exceed 20 s, and the relative – 0.06.

The developed software can be used to quickly decide on the choice of safe escape routes in case of emergency, which is one of the most important safety issues for people in high-rise buildings and zone of emergency situation.

Keywords: emergency evacuation, organizational and technical methods, optimization, decision tree, variant modeling.

References

1. Kholshchevnykov, V. V., Samoshyn, D. A. (2008). Analiz protsessa evakuatsyy liudei yz vysotnykh zdanyi. Zhylyshchnoe stroitelstvo. 8. 24–26.
2. Serkov, B. B., Samoshyn, D. A. (2008). Bezopasnaia evakuatsyia liudei pry stroitelstve y ekspluatatsyy vysotnykh zdanyi. Pozhary y chrezvychainye situatsyy: predotvrashchenye, lykvydatsyia. 32–36.
3. Kholshchevnykov, V. V. (2006). Termynolohyia yly ideolohiia – prepriatstvye bezopasnoi evakuatsyy liudei yz vysotnykh zdanyi pry pozhare. Pozharovzryvobezopasnost. Fire and Explosion. 27. 1. 5–26. doi: 10.18322/PVB.2018.27.01.5–26
4. Patton, R. V. Fire-safety for the high-rise building. ASHRAE, 1973. 15. 34–41.
5. Roitman V. M. (2007). Normyrovanye zashchyty vysotnykh zdanyi ot prohressyruishcheho razrusheniya pry kombynyrovannykh osobyykh vozdeistviyakh. Pozharovzryvobezopasnost. Fire and Explosion. 2. 6–11.
6. Kholshchevnykov V. V., Samoshyn D. A. (2006). K voprosu bezopasnosti yspolzovaniya lyftov pry evakuatsyy yz vysotnykh zdanyi. Pozharovzryvobezopasnost. Fire and Explosion. 15. 5. 45–47.
7. Barney G.C. (2003). Elevator Traffic Handbook: Theory and practice. Spon

Press. London and New York.

8. Komyak V.M., Danilin O.M., Kyazimov K.T., Komyak V.V. (2019). Rozrobka matematichnoi modeli optimizacii viboru shlyahiv ta zasobiv dlya evakuacii z visotnih budivel'. Problemi nadzvichajnih situacij. Vipusk 30. 67–75.
9. Komyak V. M., Komyak V. V., Sobol' A. N. (2016). Razbienie i trassirovka v zadachah pozharnoj bezopasnosti stroitel'stva. Har'kov: Madrid. 161.
10. Kyazimov. K.T. (2020). Kategorii komfortnosti ruhu lyudej v potoci i sposobi ih modelyuvannya. Suchasni problemi modelyuvannya. Melitopol': MDPU. Vipusk 20. 144–154.
11. Komyak Va., Sobol A., Danilin A., Komyak Vl., Kyazimov K. (2020). Optimization of Partitioning the Domain into Subdomains According to Given Limitation of Space. Journal of Automation and Information Sciences. New York: Begell. Vol.52. Issue 2. 13–26.
doi: 10.1615/JAutomatInfScien.v52.i2.20.
12. Komyak Va, Komyak Vl. Pankratov A. (2021). Mathematical and Computer Modeling of Active Movement of People during Evacuation from Buildings. Part of the IFIP Advances in Information Technology in Disaster Risk Reduction book (series IFIPAICT). Vol. 622. 245–258.
13. Pankratov A., Komyak Va., Kyazimov K., Komyak Vl., Tarasenko O., Antoshkin O., Mishcheriakov Iu., Dolhodush M. (2021). Building a model and an algorithm for modeling the movement of people carrying goods when they are evacuated from premises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kharkiv. 3/4. (111), 43–50. doi: 10.15587/1729-4061.2021.23391.
14. Stoyan Yu.G., Yakovlev S.V. (2020). Matematicheskie modeli i optimizacionnye metody geometricheskogo proektirovaniya (izd.2., dop.). K.: Naukova Dumka. 272.
15. Gravit M. V., Kar'kin I. N., Dmitriev I. I., Kuzenkov K. A.(2019). Modelirovanie processa evakuacii iz vysotnyh zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem passazhirskih liftov. Pozharovzryvobezopasnost'. Fire and Explosion. Vypusk 28. 2. 66–80.
16. Holshchevnikov V. V., Samoshin D. A. (2014). Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti lyudej s ogranichennymi vozmozhnostyami v zdaniyah s ih massovym prebyvaniem. Pozharovzryvobezopasnost'. Fire and Explosion. Vypusk 23. 37–52.
17. Holshchevnikov V.V., Samoshin D.A. (2009). Evakuaciya i povedenie lyudej na pozharah: uchebnoe posobie. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii. 210.

Комяк Валентина Михайлівна

Доктор технічних наук, професор

Кафедра фізико-математичних дисциплін

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

E-mail: vkomyak@ukr.net

Контактний телефон: 067-578-98-80

Кількість статей в загальнодержавних базах даних - 200

Кількість статей в міжнародних базах даних - 12
Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9840-2635>

Комяк Володимир Володимирович

Кандидат технічних наук

Кафедра управління та організації діяльності в сфері цивільного захисту
Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61046

E-mail: vykomyak@ukr.net, post@nuczu.edu.ua

Контактний тел.: 067-570-65-85

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 36

Кількість статей у міжнародних базах даних – 11

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6009-5908>

Кязімов Кязім Тахір огли

Кандидат технічних наук

Начальник кафедри

Академія Міністерства по Надзвичайним подіям Азербайджанської
Республіки

Баку, Академія Міністерства по Надзвичайним подіям Азербайджанської
Республіки

E-mail: kazim.kazimov@fhn.gov.az.

Контактний телефон: 0-11-994-55-828-41-91

Кількість статей в загальнодержавних базах даних - 7

Кількість статей в міжнародних базах даних - 3

Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0790-9770>

Komyak Valentina

Doctor of Technical Sciences, Professor

Department of physical and mathematical sciences

National university of civil protection of Ukraine

Chernichevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023

E-mail: vkomyak@ukr.net

Phone: 067-578-98-80

The number of articles in national database - 200

The number of articles in international database – 11

Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9840-2635>

Vladimir Komyak

PhD

Department of Management and Organization of Activities in the Field of Civil
Protection

National University of Civil Defence of Ukraine

Chernyshevskaya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61046

E-mail: vykomyak@ukr.net, post@nuczu.edu.ua

Contact tel.: 067-570-65-85

The number of articles in national databases – 36

The number of articles in international databases – 12

ORCID: <http://orcid.org/orcid.org/0000-0002-6009-5908>

Kyazimov Kyazim

PhD

Head of the department

Academy of the Ministry of Emergencies of the Republic of Azerbaijan

Baku, Academy of the Ministry of Emergencies of the Republic of Azerbaijan

E-mail: kazim.kazimov@fhn.gov.az.

Phone: 0-11-994-55-828-41-91

The number of articles in national database - 7

The number of articles in international database – 3

Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0790-9770>