

## УДК 621.03.9

*В. В. Комяк<sup>1</sup>, к.т.н., ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-6009-5908)*

*В. М. Комяк<sup>1</sup>, д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-9840-2635)*

*К. Т. Кязімов<sup>2</sup>, к.т.н., нач. каф. (ORCID 0000-0003-0790-9770)*

*<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

*<sup>2</sup>Академія Міністерства з надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан*

## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ АВАРІЙНОЇ ЕВАКУАЦІЇ НАСЕЛЕННЯ ІЗ ЗОНИ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Розроблено організаційно-технічні методи евакуації населення із зони надзвичайної ситуації по шляхам із різними характеристиками, якими володіють, наприклад, сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації з висотної будівлі та по горизонтальних шляхах з урахуванням категорії комфортності руху людей. Ефективній евакуації з висотних будівель перешкоджає ряд причин, основна з яких, сходи, як основні засоби евакуації, які не забезпечують достатню пропускну здатність для безпечної евакуації людей із таких будівель. Здійснена постановка задачі аварійної евакуації з висотних будівель, яка включає рух людей по коридорах, сходах, за допомогою ліфтів та додатково – за допомогою засобів аварійної евакуації. Досліджено властивості задачі. Обґрунтовано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель має два етапи розв'язку: дискретний – оптимізацію на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв'язків та неперервний – 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. Для неперервного етапу, зокрема для горизонтальних шляхів, запропоновано організаційно-технічні методи аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з урахуванням категорії комфортності їх руху. Показана ефективність на тестових прикладах розроблених організаційно-технічних методів евакуації населення із зони надзвичайної ситуації. Розроблене в роботі програмне забезпечення може бути використане для швидкого прийняття рішення щодо вибору безпечних шляхів евакуації, що є однією з найважливіших проблем безпеки життєдіяльності населення в умовах будь-якої надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** аварійна евакуація, організаційно-технічні методи, гетерогенні потоки людей, висотні будівлі, оптимізація

### 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. Існує, 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. 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 та призводить до травматизму, що є причиною їх низької пропускної 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 людей з обмеженими можливостями.

Тому, існує проблема відсутності науковообґрунтованих методів організації евакуації із зони надзвичайної ситуації по шляхам з різними характеристиками.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У роботі [1] показано, що при евакуації по сходовим клітинам внаслідок скупчення людей, що виходять з поверхів і спускаються сходами, утворюються частини потоку, які не встигають досягти малої щільності до того, як вони наближаються до місця виходу людей з поверху, що лежить нижче. В результаті на ділянках злиття утворюються потоки такої величини, що пропускна здатність перерізів загального шляху виявляється недостатньою для забезпечення безперешкодного руху. Виявлено високу ефективність організації поетапної комбінованої (пішохідної + пожежозахисні ліфти) евакуації людей, що дозволяє в разі скоротити її тривалість та забезпечити рух людських потоків у сходових клітинах при щільностях, що не перевищують 3 чол./м<sup>2</sup>. У роботі [2] відзначається, що у висотних будинках шляхи евакуації дуже протяжні, що робить процес евакуації для маломобільних груп не тільки важким і небезпечним, а й фізично неможливим. При цьому більшість перешкод для використання ліфтів як основних шляхів евакуації усунуто, якщо не повністю, то частково. Тому, мета статті [2] – моделювання евакуації людей з висотної будівлі із застосуванням ліфтів як одного з основних шляхів. У роботі [3] показано, що одночасна евакуація всього населення висотного будинку сходовими клітинами триває кілька годин і не може забезпечити безпеки людей, насамперед через утворення щільностей людських потоків 7–8 чол./м<sup>2</sup>. Таким чином, у роботах [1–3] детально досліджені причини, що перешкоджають ефективній евакуації з висотних будівель та визначено, що основна з них – існуючі засоби евакуації не забезпечують достатню пропускну здатність для безпечної евакуації людей.

Як сказано в [4], сходи не забезпечують достатньої пропускної здібності для безпечної евакуації з висотних будівель. Заборона ж використання ліфтів викликана низкою причин [5]:

- задимлення шахти та кабін ліфтів;
- відключення електропостачання;
- зупинка ліфта на поверсі, охопленому вогнем;
- деформація та заклинювання дверей ліфтів на поверсі 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 [5].

Варіантом подолання перелічених труднощів може бути додаткове застосування стаціонарних рятувальних засобів індивідуального та колективного використання. Саме такий підхід використаний в роботі [6], а у ряді країн прийняті за-

кони і стандарти, що регулюють необхідність і принципи застосування систем евакуації з висотних будівель [6]. Наприклад, в Канаді в даний час встановлено близько 120 000 таких систем, в Японії – понад 250000. В роботі [7] обґрунтовано обмеження мінімальних меж вогнестійкості основних конструкцій висотних будівель: для будівель заввишки до 100 м – 150 хв., більше 100 м – 180 хв. Приведений час може бути використаний для обґрунтування необхідного часу евакуації.

Аналіз літературних джерел, що розглядають процеси аварійної евакуації, дозволив сформулювати ряд факторів, які сприяють використанню шляхів з різними характеристиками при аварійній евакуації, зокрема сходів, коридорів, ліфтів, засобів аварійної евакуації будівлі та горизонтальних шляхів з урахуванням категорії комфортності руху людей, що є невирішеною частиною проблеми евакуації їх із зон розвитку НС.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка організаційно-технічних методів евакуації населення із зони надзвичайних ситуацій по шляхам з різними характеристиками.

Основні завдання дослідження:

- розробити організаційно-технічний метод аварійної евакуації людей із будівель в зоні надзвичайних ситуацій;
- розробити організаційно-технічний метод аварійної евакуації по горизонтальним шляхам з гетерогенним потоком людей.

### 4. Розробка організаційно-технічного методу аварійної евакуації людей із 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  $K_{ij,j}(u_{ij,j}^h, u_{ij,j}^k), ij = 1, 2, \dots, p_j$  на кожному з поверхів  $j = 1, 2, \dots, N$  с координатами початку  $u_{ij,j}^h(x_{ij,j}^h, y_{ij,j}^h, z_{ij,j}^h)$ , 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:

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

Виникає наступна задача.

Необхідно мінімізувати час  $t = t_0 + q\Delta t \leq t_{необ.}, q = 1, 2, \dots$  евакуації людей по мережі  $\mathfrak{R}(U, t) = \left\{ \left\{ L_i(u_i, t) \right\}, \left\{ Li_{jj}(u_{jj}, t) \right\}, \left\{ K_{ij,j}(u_{ij,j}^h, u_{ij,j}^k, t) \right\}, \left\{ AV_{ll}(u_{ll}, u_{ll}^k), t \right\} \right\}$ , що складається відповідно із множини ліфтів, шляхів руху по сходам, коридорів, шляхів руху засо-

бів 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].

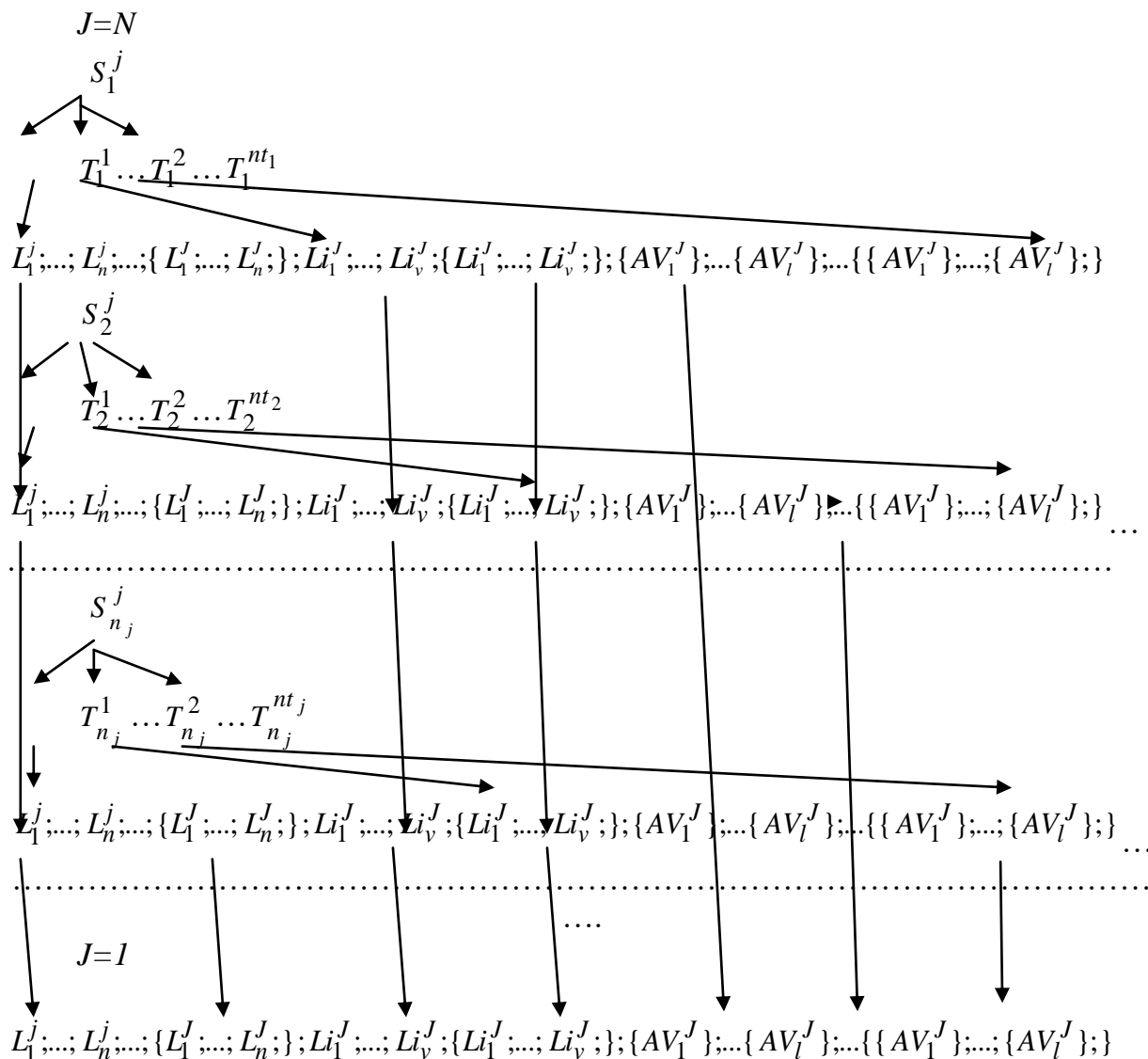


Рис. 1. Дерево розв'язків 1

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.

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:  $L_1^j, \dots, L_n^j, Li_1^j, \dots, Li_v^j, \{AV_1^j\}, \dots, \{AV_l^j\}$  [9].

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

Неперервний етап – це моделювання руху по шляхах евакуації, які включають сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації.

Слід відзначити, що систему  $j$ -тих рівнів 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  $L_1^j; \dots; L_n^j; \dots; L_1^j; \dots; L_v^j; \{AV_1^j\}; \dots \{AV_l^j\}$ .

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), 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 [10], або з застосуванням цього методу на кожному з рівнів 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 зовнішньої границі 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  $j:=N$ .

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

$$L_1^j; \dots; L_n^j; \dots; L_1^j; \dots; L_v^j; \{AV_1^j\}; \dots \{AV_l^j\}.$$

Крок 4. Визначити мінімальний час руху для отриманого  $VR$ -покриття:

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

Крок 5. Покласти  $j=j-1$ .

Крок 6. Якщо  $J < 1$ , 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 дерева розв'язку 1, починаючи на кожному  $j$ -му рівні рух з моменту часу  $T_{поч}$ .

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

Крок 10. Вихід.

При моделюванні використовуються методи 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.

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

Як приклад, було здійснено комп'ютерне моделювання для розрахунку евакуації людей із будівлі, яка змодельована в [14]. Розрахунковий час евакуації обчислювався для випадку евакуації як по сходах, так і за допомогою ліфтів. Розглядалися люди групи мобільності M1, M2, M3, M4. За одиницю часу (часовий крок), який відповідає точності моделювання, приймалась 0,50 с.

Змодельована висотна будівля мала наступні параметри:

– кількість поверхів – 60;

– кількість секцій – три по 20 поверхів;

– кількість поверхів в секції – 19 (20 поверх – технічний);

– висота поверху – 3 м;

– корисна площа поверху – 600 м<sup>2</sup>;

– щільність 100 чол. на поверх (із розрахунку 1 чол. на 6 м<sup>2</sup> 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).

Параметри ліфтів представлено в табл. 1.

Табл. 1. Параметри ліфтів для обчислень

Показник	Секційні ліфти	Ліфти-шатли	
		1–19-й пов.	1–40-й пов.
Параметри ліфта			
Вантажопідйомність, кг	1000	2000	2000
Номінальна місткість кабіни <sup>1</sup> , 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

<sup>1</sup> – визначається діленням номінальної вантажопідйомності ліфта на 75 (вага одного пасажера)

Як сказано вище, при евакуації з будівель розглядається 4 групи людей по їх мобільності M1, M2, M3, M4. Характеристики людей по групам мобільності наведені в табл. 2.

**Табл. 2. Характеристика груп мобільності**

Група мобільності	Характеристика людей в групі	Площа горизонтальної проекції людини, м <sup>2</sup>
M1	Люди, які не мають обмежень мобільності	0,1
M2	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
M3	Людина з інвалідністю, що використовує при русі додаткові опори (милиці, палиці)	0,3
M4	Людина з інвалідністю, що рухається на кріслі-колясці, що приводиться в рух вручну	0,96

Проведені дослідження [15] 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 якостям групам людей.

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

Групи мобільності	Значення параметрів	Величина параметру по виду трас (j)		
		горизонтальна	сходи вниз	Сходи вгору
M1	$V_{0j}$ (м/хв.)	100	100	60
	$D_{0j}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	0,051	0,089	0,067
M2	$V_{0j}$ (м/хв.)	30	30	20
	$D_{0j}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	0,135	0,139	0,126
M3	$V_{0j}$ (м/хв.)	70	20	25
	$D_{0j}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	0,102	0,208	0,120
M4	$V_{0j}$ (м/хв.)	60	-	-
	$D_{0j}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	0,135	-	-

Згідно перелічених вище даних розв'язані наступні задачі:

Задача 1. Необхідно знайти мінімальний час евакуації з першого відсіку (1–19 поверхи) 1900 людей, коли люди групи мобільності M4 евакуюються за допомогою двох ліфтів-шатлів, люди груп мобільності M2–M3 – за допомогою шести ліфтів, які переміщуються в межах секції, а частка людей мобільності M2–M3 та M1 евакуюються по двох сходових клітках.

Результати обчислень наведені в табл. 4.

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.

Табл. 4. Результат задачі 1

Об'єкт	Час евакуації, с			Порівняння результатів	
	Тільки по сходах [14]	З використанням ліфтів [14]	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 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 (людей мобільності М4 в першу чергу перемістимо на перший поверх третього відсіку, верхня оцінка переміщення за допомогою ліфтів третього відсіку складає 76 с). 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 2. Необхідно евакуювати людей з третього відсіку за допомогою засобу аварійної евакуації так, щоб загальний час евакуації з будівлі був мінімальний.

У якості засобу евакуації виберемо саморятувальник «Барс» [16].

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 дозволяють 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 (комплексом рятувального спорядження або сходами навісної рятувальної драбини з розрахунку один пристрій на кожні 30 осіб, що знаходяться на поверсі будівлі)».

Технічні параметри пристрою «Барс» наведено в табл. 5. Підрахуємо час спуску однієї людини з кожного поверху третьої секції з затримкою на 20 с для приведення пристрою в робочий стан (табл. 6).

Отже, якщо почати спуск з кожного поверху одночасно по одній людині, то час спуску буде дорівнювати не менше, ніж 156,15 с.



**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

**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

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 (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 вибирати 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. Оцінимо час спуску людей групи з 646 чоловік, мобільності М4, з першого поверху третього відсіку:

$$t = \max\{t_{\text{шамп.}}; t_{\text{ліфт.}}\} = \max\left\{\frac{120 \cdot 3}{4} + \frac{120 \cdot 2}{2,5}\right\} = \max\{90; 96\} = 96\text{с}.$$

Таким чином, якщо розглядати варіант аварійної евакуації, в якому з перших двох відсіків евакуація буде здійснюватися сходами та за допомогою ліфтів, а з третього відсіку – за допомогою засобів аварійної евакуації (в достатній кількості, що не збільшує часу евакуації з перших двох відсіків), то час повної евакуації складе 808с. Час же повної евакуації за допомогою тільки сходів та ліфтів складає 966 с. [14]. Таким чином, застосування засобів аварійної евакуації в третьому відсіку скорочує час евакуації на 158 с – це абсолютна помилка, якій відповідає відносна 0,16. Верхня оцінка часу аварійної евакуації з висотної будівлі коридорами та сходами складе 3100 с, що перевищить отриманий в роботі результат в 4,4 рази. Таким чином, показана ефективність використання ліфтів та технічних засобів аварійної евакуації в висотних будівлях у разі виникнення НС.

## **5. Розробка організаційно-технічного методу аварійної евакуації по горизонтальним шляхам**

Встановлено взаємозв'язок між основними параметрами руху, зокрема, між щільністю потоку і категорією комфортності руху [16].

В роботі [17] запропоновано організаційно-технічний метод аварійної евакуації гетерогенних потоків людей в залежності від категорії комфортності руху по

горизонтальних шляхах, складовими якого є:

– 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].

Розглянемо організаційно-технічний метод аварійної евакуації на прикладі активного руху людей з силовими діями.

У якості моделі горизонтальної проекції людського тіла розглядається трикомпонентна модель у вигляді нежорсткого з'єднання трьох еліпсів:  $E_c$  з розмірами піввісь  $A$  і  $B$  (тулуб),  $E_l$  і  $E_r$  з розмірами  $a$  і  $b$  (плечі) (рис. 2). Нехай, в області евакуації  $\Omega_m$  (на горизонтальному шляху) знаходиться  $N_k$  людей з параметрами розміщення  $v_i = (x_i, y_i, j_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_k$ , де  $(x_i, y_i)$  – координати розміщення початку локальної системи координат (поточної точка), а  $j_i$  – кут повороту (маневреність)  $i$ -о основного еліпса  $E_i$  трикомпонентної моделі  $i$ -ї людини.

Для кожної поточної точки з координатами  $g_i(x_i, y_i)$  визначається вектор швидкості  $\vec{v}_i = (x_i, y_i, j_i)$ . Таким чином, об'єкту  $E_i$  приписані характеристики швидкості (в метрах в секунду) і маневреності (в радіанах).

Тоді, математична модель підзадачі на кожній  $k$ -ій ітерації може бути сформульована у вигляді пошуку максимуму сукупного переміщення людей, що знаходяться в області евакуації, з урахуванням умов їх не перетинання, умов розміщення їх в області, переміщення з урахуванням їх маневреності та в рамках обмежень, які виникають при природних деформаціях тіла людини.

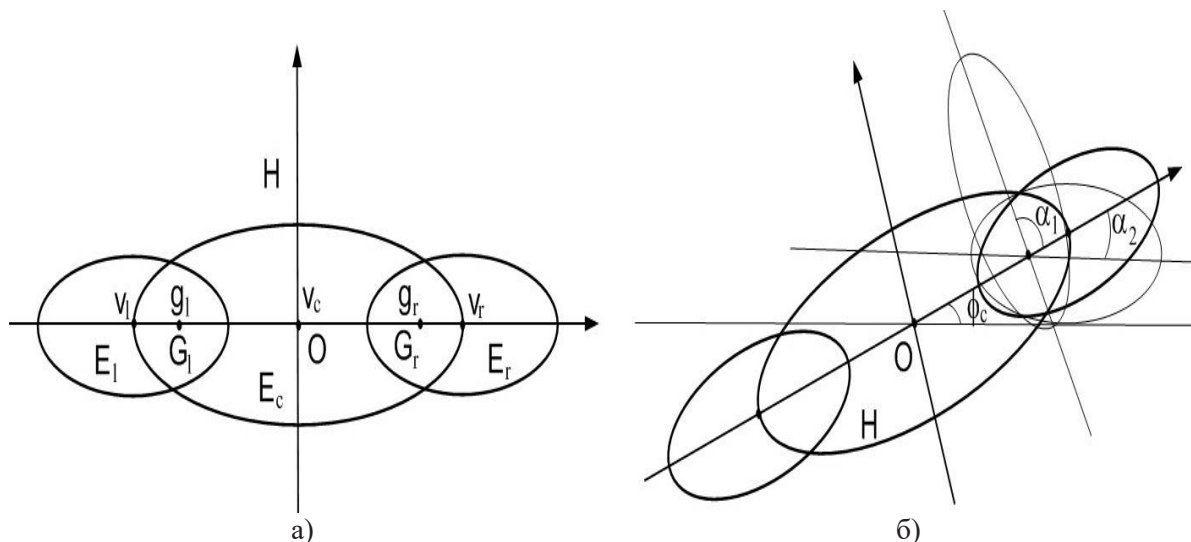


Рис 2. Трикомпонентна модель людського тіла з обмеженнями, що забезпечують: (а) умови склейки компонент моделі в єдиний об'єкт, (б) обмеження на рухливість еліпса, що моделює плече людини

В роботі [12] запропоновано алгоритм розв'язання задачі, який представлено у вигляді послідовності наступних кроків.

Алгоритм 2.

Крок 1. Вхід

Крок 2. Область евакуації задається у вигляді дерева (графа). Ребра – сегменти коридорів, вершини – перехрестя і точки "склеювання" сегментів. Сегмент може мати змінну ширину (яка змінюється лінійно).

Для кожної точки сегмента розраховується відстань до виходу і напрямок переважного руху.

Крок 3. На область евакуації накладається сітка з досить дрібним кроком для визначення щільності потоку.

Крок 4. Люди (трикомпонентні моделі людей) сортируються за зростанням відстані до виходу.

Крок 5. В порядку сортування, для кожної з моделей людини за координатами положення центру і куту повороту визначаються локальна щільність потоку і переважний напрямок руху.

Крок 6. Для обраного переважного напрямки руху в межах кута маневреності перебирається дискретно певне число напрямків. Для кожного з напрямків в рамках обмежень на рухливість допоміжних еліпсів трикомпонентної моделі людини перебирається певне число кутів обертання допоміжних еліпсів.

Крок 7. Серед кутів маневреності і відповідних до них кутів обертання, які моделюють рух плеча людини, відшукується раціональні параметри, які дозволяють за одиницю часу здійснити максимальне переміщення без порушень меж сегментів і без перетину з іншими еліпсами. (Швидкість переміщення коригується відповідно локальної щільності потоку).

Крок 8. Вихід.

У якості процесу реалізації метода представлено комп'ютерне моделювання руху людей. На рис. 3 показаний фрагмент моделювання руху людей, представлених трикомпонентними моделями, у випадковий момент часу.

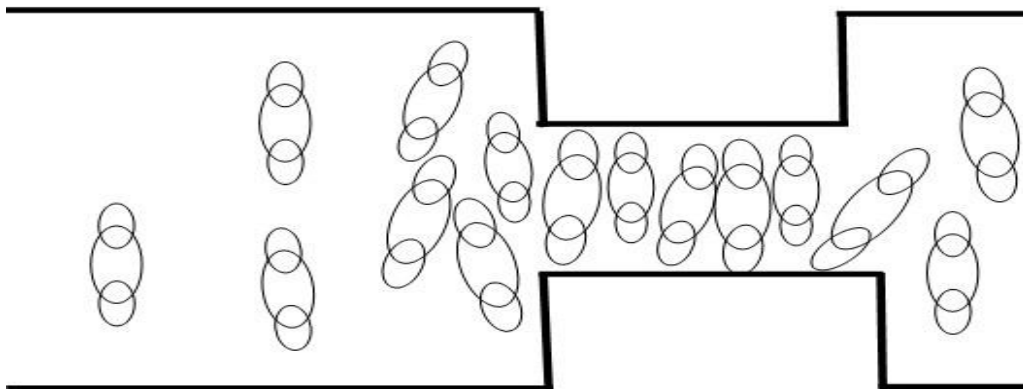


Рис. 3. Положення людей, що представлені трикомпонентними моделями, у випадковий момент часу

Отриманий на рис.3 результат – це конфігурація розміщення людей на  $k$ -тій ітерації організаційно-технічного методу аварійної евакуації людей із зони НС по горизонтальним шляхам, який демонструє його діє спроможність та є експериментальною перевіркою обмежень задачі, для яких отримано в [12] аналітичні вирази. Таким чином, роботі формалізація задач та представлення організаційно-технічних методів здійснювалися за допомогою методів математичного та комп'ютерного моделювання, геометричного проектування та оптимізації.

## **6. Обговорення результатів дослідження запропонованих організаційно-технічний метод аварійної евакуації**

Запропоновані методи аварійної евакуації населення із зони надзвичайної ситуації умовно можна розбити на організаційно-технічний метод аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з зони НС по шляхам евакуації з різними характеристиками та на організаційно-технічний метод евакуації людей на горизонтальних шляхах з урахуванням категорії комфортності їх руху.

Новий організаційно-технічний метод аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з зони НС по шляхам евакуації з різними характеристиками розглянуто на прикладі аварійної евакуації з висотних будівель. Побудована 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 в цілому можна розглядати як обґрунтування організаційно-технічного методу аварійної евакуації людей із зони НС по шляхам з різними характеристиками, які можуть бути використані для оперативного прийняття рішень щодо вибору шляхів евакуації в надзвичайних ситуаціях, а також для оцінки часу евакуації по вибраним шляхам, як показано при розв'язанні задач 1–2. В результаті реалізації методу 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.

Показана ефективність методу шляхом порівняння результатів моделювання евакуації за допомогою сходів та ліфтів на тестовому прикладі. Абсолютна помилка не перевищує 20с, а відносна – 0,06. Здійснено моделювання переміщення людей за допомогою засобів аварійної евакуації з частини будівлі, з якої мережа евакуації не доступна.

Показано, що застосування ліфтів та засобів аварійної евакуації підвищує ефективність евакуації сходами (більше, ніж в 4 рази, як демонструє приклад). Зроблено також 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. Обмеженням методу є велика вимірність задачі, тому його можна застосовувати на етапі проектування для розробки планів евакуації, а в період експлуатації – для пошуку раціональних розв'язків в реальному часі. Запропонований підхід до оптимізації вибору шляхів евакуації дозволить моделювати також потоки людей при їх виході з метро, кінотеатрів, місць з масовим перебуванням людей, тощо.

Новий організаційно-технічний метод евакуації людей на горизонтальних шляхах розглянуто на прикладі активного руху людей з силовими діями з урахуванням категорії комфортності їх руху. У якості моделі горизонтальної проекції людського тіла розглядається трикомпонентна модель у вигляді нежорсткого з'єднання трьох еліпсів: основного, що моделює тулуб людини, та двох допоміжних, що моделюють плечі. Побудована змістовна модель процесу активного руху

людей, запропоновано алгоритм моделювання руху.

Процес реалізації метода – це комп'ютерне моделювання активного руху людей на горизонтальному шляху. Показана адекватність моделі шляхом розв'язання допоміжної задачі максимального заповнення людьми (трикомпонентними моделями) обмеженої області згідно впорядкованої послідовності. Показана ефективність трикомпонентної моделі. Здійснюється збільшення щільності потоку в середньому на 21,4 % і досягається значення щільності 9–10 чол./м<sup>2</sup>, яка відповідає руху людей з природною деформацією їх тіл [12].

В роботі розглядаються трикомпонентні об'єкти. Обмеження на кількість компонент не є принциповим. Складні об'єкти, компоненти яких можуть змінюватися в допустимих межах, дозволяють утворювати в процесі розв'язання задачі оптимізації переміщення, нову просторову форму об'єктів. Ідея створення багатоконпонентних об'єктів, що допускають зміну просторових форм може бути використана, наприклад, в робототехніці.

Робот, що складається з рухомих компонент, зможе підвищити ефективність роботи завдяки зміні своєї просторової форми при проходженні складних маршрутів, що виникають в процесі розвитку НС. У якості подальших практичних застосувань, можна розглядати евакуацію людей з додатковими засобами переміщень з лікарень, будинків для пристарілих людей тощо.

## 7. Висновки

1. Розроблено новий організаційно-технічний метод аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з зони надзвичайних ситуацій по шляхам евакуації з різними характеристиками, який розглянуто на прикладі аварійної 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. Для неперервного етапу запропоновано організаційно-технічні методи аварійної евакуації гетерогенних потоків людей з урахуванням категорії комфортності їх руху. Показана ефективність методу. Для цього здійснено порівняння результатів моделювання часткової евакуації за допомогою сходів та ліфтів на тестовому прикладі. Абсолютна помилка не перевищує 20 с, а відносна – 0.06. 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 надзвичайної ситуації.

2. Запропоновано новий організаційно-технічний метод евакуації людей на горизонтальних шляхах, складовими якого є: метод аварійної евакуації вільного індивідуального та індивідуально-поточного руху гетерогенних потоків людей з контактними перешкодами та без перешкод; метод аварійної евакуації активного руху людей з силовими діями при природних деформаціях тіла людини; метод аварійної евакуації людей з вантажем та з урахуванням їх розбиття на групи. Здійснена процедура реалізації запропонованих методів. Для цього 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 її зоні.

## Література

1. Antony Wood. Rethinking Evacuation: Rethinking Cities. CTBUH 9th World Congress Shanghai. 2012. Issue 3. P. 43–49.
2. Pauls J. Elevator and Stairs for Evacuation: Comparison and Combination. ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. New York. 2003.
3. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K. Phased evacuation algorithm for high-rise buildings. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 245. Article № 11012. doi: 10.1051/mateconf/201824511012
4. Dmitriev I., Kuzenkov K., Kankhva V. The use of elevators in the evacuation of high-rise buildings. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. Article № 03030. doi: 10.1051/mateconf/201819303030
5. ISO/TR 25743:2010. Lifts (elevators). Study of the use of the lifts for evacuation an emergency. Standard by International Organization for Standardization (Technical Report). 04.01.2010.
6. Barney G. C. Elevator Traffic Handbook: Theory and practice. Spon Press. London and New York. 2003.
7. Pasma H. J., Kirillov I. A., Roytman V. M. NWO project 047.011.2001.035. Hazards and Risk Analysis for Aircraft Collision with High-Rise Building. TNO, Netherlands.
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. Вип. 30. С. 29–36.
9. Комяк В. М., Комяк В. В., Соболев А. Н. Разбиение и трассировка в задачах пожарной безопасности строительства. Харьков: Мадрид. 2016. 161с.
10. Gritsik V. V, Kiseleva O. M, Yakovlev S. V., Stetsyuk P. I. Mathematical optimization methods and intelligent computer technologies to model complex processes and systems with regard for spatial forms of objects, 2012. Inst. Problem Iskusstv. Intellekta, NAN Ukr., Nauka i Osvita, Donetsk.
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. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/13492>
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. Vol. 3/4(111). P. 43–50. doi: 10.15587/1729-4061.2021.23391
14. 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. Вып. 28. 2. С. 66–80.
15. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной

безпеки людей с обмеженими можливостями в зданиях с их массовым пребыванием. Пожаровзрывобезопасность. 2014. Вып. 23. С. 37–52.

16. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей на пожарах: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России. 2009. 210 с.

17. Кязімов. К. Т. Категорії комфортності руху людей в потоці і способи їх моделювання. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь: МДПУ. 2020. Вип. 20. С. 144–154.

*V. Komyak<sup>1</sup>, PhD, Senior Lecturer of the Department*

*V. Komyak<sup>1</sup>, DSc, Professor, Professor of the Department*

*К. Kyazimov<sup>2</sup>, PhD, Head of Department*

*<sup>1</sup>National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

*<sup>2</sup>Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan*

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

Organizational and technical methods of evacuating the population from the emergency zone along routes with different characteristics, such as stairs, corridors, elevators, means of emergency evacuation from high-rise buildings and along horizontal routes, taking into account the category of comfort of people's movement, have been developed. Effective evacuation from high-rise buildings is hindered by a number of reasons, the main of which is that stairs, as the main means of evacuation, do not provide sufficient throughput for the safe evacuation of people from such buildings. The problem of emergency evacuation from high-rise buildings has been set, which includes the movement of people along corridors, stairs, with the help of elevators, and additionally – with the help of emergency evacuation means. The properties of the problem were investigated. It is substantiated that the task of optimizing the selection of paths and means for evacuation from high-rise buildings has two stages of solution: discrete – optimization on a discrete set, which can be represented, for example, by a solution tree, and continuous – modeling the movement of heterogeneous flows of people through the network, the components of which are corridors, stairs, paths of movement of elevators and means of emergency evacuation. As a discrete optimization method, variant modeling on a network describing a solution tree is proposed. For the continuous stage, in particular for horizontal paths, organizational and technical methods of emergency evacuation of heterogeneous flows of people are proposed, taking into account the category of comfort of their movement. The effectiveness of the developed organizational and technical methods of evacuating the population from the emergency zone is shown on test examples. The software developed in the work can be used for quick decision-making regarding the choice of safe evacuation routes, which is one of the most important problems of the life safety of the population.

**Keywords:** emergency evacuation, organizational and technical methods, heterogeneous flows of people, high-rise buildings, optimization

### References

1. Antony Wood. (2012). Rethinking Evacuation: Rethinking Cities. CTBUH 9th World Congress Shanghai, 3, 43–49.
2. Gravit, M., Dmitriev, I., Kuzenkov, K. (2018). Phased evacuation algorithm for high-rise buildings. MATEC Web of Conferences, 245, 11012. doi: 10.1051/mateconf/201824511012
3. Pauls, J. (2003). Elevator and Stairs for Evacuation: Comparison and Combination. ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings.
4. Dmitriev, I., Kuzenkov, K., Kankhva, V. (2018). The use of elevators in the evacuation of high-rise buildings. MATEC Web of Conferences, 193, 03030. doi: 10.1051/mateconf/201819303030
5. ISO/TR 25743:2010. Lifts (elevators). Study of the use of the lifts for evacuation an emergency. Standard by International Organization for Standardization (Technical Report).

6. Barney, G. C. (2003). *Elevator Traffic Handbook: Theory and practice*. Spon Press. London and New York.

7. Paskan, N. J., Kirillov, I. A., Roytman, V. M. (2001). NWO project 047.011.2001.035. *Hazards and Risk Analysis for Aircraft Collision with High-Rise Building*. TNO, Netherlands.

8. Komyak, V. M., Danilin, O. M., Kyazimov, K. T., Komyak, V. V. (2019). Rozrobka matematichnoï modeli optimizacii viboru shlyahiv ta zasobiv dlya evakuacii z visotnih budivel' [Development of a mathematical model for optimizing the selection of routes and means for evacuation from high-rise buildings]. *Problemi nadzvichajnih situacij*, 30, 67–75.

9. Komyak, V. M., Komyak, V. V., Sobol', A. N. (2016). *Razbienie i trassirovka v zadachah pozharnoj bezopasnosti stroitel'stva* [Breakdown and tracing in tasks of fire safety construction]. Har'kov: Madrid, 161.

10. Gritsik, V. V., Kiseleva, O. M., Yakovlev, S. V., Stetsyuk, P. I. (2012). *Mathematical optimization methods and intelligent computer technologies to model complex processes and systems with regard for spatial forms of objects*, Inst. Problem Iskusstv. Intellekta, NAN Ukr., Nauka i Osvita, Donetsk.

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, 52, 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), 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. Gravi, 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 [Modeling of the evacuation process from high-rise buildings built and constructed using passenger elevators]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. Fire and Explosion, 28, 2, 66–80.

15. Holshchevnikov, V. V., Samoshin, D. A. (2014). *Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti lyudej s ogranicennymi vozmozhnostyami v zdaniyah s ih massovym prebyvaniem* [Problems of ensuring fire safety of people with disabilities in buildings with their mass stay]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 23, 37–52.

16. Holshchevnikov, V. V., Samoshin, D. A. (2009). *Evakuaciya i povedenie lyudej na pozharah* [Evacuation and behavior of people on fires]: uchebnoe posobie. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 210.

17. Kyazimov, K. T. (2020). *Kategorii komfortnosti ruhu lyudej v potoci i sposobi ih modelyuvannya* [Categories of the comfort of the movement of people in the flow and methods of their modeling]. *Suchasni problemi modelyuvannya*. Melitopol: MDPU, 20, 144–154.

Надійшла до редколегії: 20.04.2022

Прийнята до друку: 17.06.2022