

УДК 515.2:519.85

## ЗАДАЧА ЕВАКУАЦІЇ З ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ, ЯК ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗБИТТЯ ЛЮДЕЙ ПО ШЛЯХАМ ТА МОБІЛЬНИМ ЗАСОБАМ ЕВАКУАЦІЇ

Кязімов К.Т., к.т.н.\*,

[kazim.kazimov@fhn.gov.az](mailto:kazim.kazimov@fhn.gov.az), ORSID: 0000-0003-0790-9770

Академія Міністерства по Надзвичайним подіям Азербайджанської Республіки (Баку, Азербайджан)

*Розвиток людства на сучасному етапі визначається рівнем розвитку науки і технологій, можливостями ефективно вирішувати нові складні задачі. Сучасні наукові підходи до вирішення проблем практично у всіх областях опираються на досягнення в області моделювання і комп'ютерних технологій.*

*Однією з проблем на сьогоднішній день є безпека життєдіяльності людей у висотних будівлях, в яких комплексно розміщуються бізнес-центри, супермаркети зі складами різноманітної продукції, стоянки автомобілів, офіси, житлові приміщення, тощо. Для забезпечення безпеки людей формуються науково-обґрунтовані плани евакуації людей по шляхам евакуації, що включають сходи, ліфти, коридори на поверххах, стаціонарні рятувальні засоби індивідуального або колективного використання. Тому актуальною є завдання розподілу потоків людей по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації, а також перерозподілу їх в реальному часі при надзвичайній ситуації після відключення ліфтів, перекриття сходових клітин або коридорів (іншими словами отримання набору можливих сценарієв руху для кожного відрізка часу).*

*Сформульована змістовна постановка задачі розбиття множини людей та призначення їх на елементи мережі, що складається із множини коридорів, сходів, ліфтів, засобів аварійної евакуації з точки зору мінімізації часу евакуації з будівлі. Показано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації людей з висотних будівель має дискретно-неперервну структуру великої вимірності. Розв'язок задачі представлено у вигляді двох етапів: дискретного – оптимізацією на дискретній множині, яка представлена деревом розв'язків та неперервного – моделюванням руху гетерогенних потоків людей по мережі, складовими якої є коридори, сходи, шляхи руху ліфтів та засобів аварійної евакуації. Як приклад здійснена оптимізація часу повної евакуації людей з секції будівлі за допомогою коридорів, ліфтів, сходів. Отримані результати порівняно з результатами інших дослідників. Відносна помилка не перевищує 0,07.*

*Ключові слова: висотні будівлі, евакуація, моделювання руху,*

---

\* Науковий консультант – д.т.н., проф. Комяк В.М.

*гетерогенні потоки людей, дерево розв'язків, оптимізація, розбиття.*

**Постановка проблеми.** Висотне будівництво починає завойовувати все більшу частину в будівельній індустрії. Кількість щорічно споруджуваних висотних будівель обчислюється вже тисячами. В даний час кількість побудованих хмарочосів перевищує 110000. У зв'язку з цим надзвичайні ситуації (НС) у висотних будівлях стали однією з основних проблем безпеки людини. Наприклад, за даними статистики в будівлях понад 25 поверхів гине під час пожежі в 3-4 рази більше людей, ніж в 9-16 поверхових будівлях.

Однією з проблем на сьогоднішній день є безпека життєдіяльності людей у висотних будівлях, в яких комплексно розміщуються бізнес-центри, супермаркети зі складами різноманітної продукції, стоянки автомобілів, офіси, житлові приміщення, тощо. Для забезпечення безпеки людей формуються науково-обґрунтовані плани евакуації людей по шляхам евакуації, що включають сходи, ліфти, коридори на поверхах, стаціонарні рятувальні засоби індивідуального або колективного використання. Тому актуальною є завдання розподілу потоків людей по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації, а також перерозподілу їх в реальному часі при надзвичайній ситуації після відключення ліфтів, перекриття сходових клітин або коридорів (іншими словами отримання набору можливих сценаріїв руху в кожний відрізок часу).

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** В роботі [1] обґрунтовано обмеження мінімальних меж вогнестійкості основних конструкцій висотних будівель: для будівель заввишки до 100м – 150 хв., а більше 100м – 180 хв. Приведений час може бути використаний для обґрунтування необхідного часу евакуації.

В роботі [2] розв'язана задача визначення структури і розмірів шляхів евакуації при проектуванні висотних будівель (кількості сходів, коридорів на поверхах, їх розмірів і місць розташування), що дозволяють здійснити повну евакуацію за необхідний час.

В роботах [3–5] розглянуті проблема безпечної евакуації людей при пожежі, а також шляхи її вирішення.

Згідно п.6.24 ДБН 21-01-97, у разі пожежі, для евакуації людей повинні бути використані сходи, а не ліфти. Існуючі ж норми приводять однакове число сходів, як для 2-х, так і для 102-поверхових будівель. В цьому випадку при евакуації з висотного будинку потік людей досягає щільності 7-8 чол./м<sup>2</sup> і більше, що призводить як до травматизму, так і до летальних випадків. Як видно зі статей, що присвячені пожежам в багатоповерхових будинках, ліфти використовуються частиною людей для евакуації до тих пір, поки вони функціонують. Наприклад, використовуючи ліфти при евакуації з висотних будівель Всесвітнього торгового центру в Нью-Йорку 11 вересня 2001 р., зуміли врятуватися більш 3000 чоловік.

Тому виникла необхідність в розробці ефективних підходів до моделювання евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації з використанням сходів, коридорів, ліфтів, засобів аварійної евакуації,

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є розробка підходів до ефективного розподілу, з точки зору мінімізації часу евакуації, людей по мережі, що включає сходи, коридори, ліфти, засоби аварійної евакуації, та стратегій моделювання руху людей по означеній мережі.

**Основна частина.** Нехай визначені: тривимірний об'єкт  $S_0$  будь-якої просторової форми (в окремому випадку, паралелепіпед), що описує висотну будівлю, кількість поверхів  $N$  в ньому з кількістю людей на них  $N_j, j=1,2,\dots,N, (\sum_{j=1}^N N_j = M)$  відповідно. Нехай відомо їх розташування  $u = u_g^0(x_g^0, y_g^0, z_g^0), g=1,2,\dots,M$  в момент виникнення НС  $t^0$ , а 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  $L_i, i=1,2,\dots,n$  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  $Li_{jj}, jj=1,2,\dots,v$  місткістю  $v_{jj}, jj=1,2,\dots,v$  людей з їх місцем розташування  $u_{jj}(x_{jj}^*, y_{jj}^*, z_{jj}^*), jj=1,2,\dots,v, z_{jj} \in [0, H]$  і швидкістю руху  $V_{jj}, jj=1,2,\dots,v$ .

Ліфти можуть бути вимкнені в моменти часу  $t = t_0 + k\Delta t \leq t_{необ.}, k=1,2,\dots$  ( $t_{необ.}$  - необхідний час для евакуації, який визначається об'ємно-планувальними рішеннями будівлі), а сходи перекриті в моменти часу  $t = t_0 + l_i\Delta t \leq t_{необ.}, l_i=1,2,\dots, i=1,2,\dots,n$ . У разі неможливості евакуації по сходах і за допомогою ліфтів передбачена аварійна евакуація за допомогою засобів аварійної евакуації. Нехай кількість видів засобів евакуації, що використовуються, становить  $r, ll=1, \dots, r$ . Будемо вважати, що кількість протипожежних відсіків у будівлі

дорівнює  $nn$ , тобто  $S_0 = \bigcup_{ii=1}^{nn} H_{ii}$ , де  $H_{ii} = \bigcup_{jj=1}^{m_{ii}} S_{ii,j_{ii}}$ ,  $S_{ii,1}, S_{ii,2}, \dots, S_{ii,m_{ii}}$ ,

відповідно, перший, другий, ...,  $m_{ii}$ -ий поверхи  $ii$ -го відсіку, ( $\sum_{ii=1}^{nn} m_{ii} = N$ ), а

також визначені місця розміщення  $ll$ -тих ( $ll=1,2,\dots, l \in \{1, \dots, r\}$ ) засобів евакуації

$$u_{ii,j_{ii},ll} = (x_{ii,j_{ii},ll}, y_{ii,j_{ii},ll}, z_{ii,j_{ii},ll}),$$

( $ii=1,2,\dots, nn; j_{ii}=1,2,\dots, m_{ii}, ll=1,2,\dots, l \in \{1, \dots, r\}$ ) ( $j_{ii}$  -  $j$ -ий поверх  $ii$ -го відсіку;  $m_{ii}$  - кількість поверхів  $ii$ -го відсіку) і нехай кількість кожного

виду засобів дорівнює  $C_{ii,j_{ii},ll}$  (або  $C_{ll,j}$ , ( $ll=1,2,\dots, l \in \{1,\dots,r\}$ )) на  $j$ -тому поверсі  $j = \sum_{k_z=1}^{ii-1} m_{k_z} + j_{ii}$ ). Шляхи евакуації людей складаються з шляху від місця їх розташування  $u_{j_l_j}(x_{j_l_j}, y_{j_l_j}, z_{j_l_j})$ ,  $j=1,2,\dots,N, l_j=1,2,\dots,N_j$ , до місць розташування ліфтів, сходів та засобів  $\{AV_{ll}(u_{ii,j_{ii},ll}, u_{ii}^k, t)\}$  евакуації  $u_{ii,j_{ii},ll} = (x_{ii,j_{ii},ll}, y_{ii,j_{ii},ll}, z_{ii,j_{ii},ll})$  ( $ii=1,2,\dots, n$ ;  $j_{ii}=1,2,\dots, m_{ii}$ ,  $ll=1,2,\dots, l \in \{1,\dots,r\}$ ) по мережі коридорів; або прямо з приміщень, якщо коридори перекриті, - на крайні поверхи відсіків  $u_{ii}^k = (x_{ii}^*, y_{ii}^*, z_{ii}^*)$ ,  $ii=1,2,\dots, nn$  (де знаходяться приміщення для тимчасового укриття людей). Нехай кількість кожного виду засобу місткістю  $k_{ll}$  дорівнює  $C_{ii,j_{ii},ll}$  (або  $C_{ll,j}$   $ll=1,2,\dots, l \in \{1,\dots,r\}$ ).

Тоді кількість засобів аварійної евакуації складе  $\nu\nu = \sum_{j=1}^N \sum_{ll=1}^r C_{ll,j}$  і нехай  $\nu\nu > M$ .

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

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

$$U \in \left\{ \{u_i\}, \{u_{jj}\}, \{u_{ij,j}\}, \{u_{ii,j_{ii},ll}\} \right\}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad jj=1,2,\dots,\nu, \quad j=1,2,\dots,N,$$

$$ij=1,2,\dots, p_j, \quad ii=1,2,\dots, nn \quad ll=1,2,\dots, l \in \{1,\dots,r\}.$$

Нехай мережа, що складається із сходів, коридорів, шляхів руху ліфтів та засобів аварійної евакуації утворює граф. Виділяються місця розташування сходів, ліфтів, засобів аварійної евакуації на першому поверсі. Позначимо ці місця, як вершини графа  $V_{ii}, ii=1,2,\dots, n_T$ ;  $n_T = \nu + n + \nu\nu$ , що належать границі мережі і назвемо їх зовнішнім рубежем. Від будь-якої якої точки зовнішнього рубежу продовжуються траси в область  $S_0$  до усіх місць знаходження людей (до груп людей в коридорах, до приміщень  $S_1^j, S_2^j, \dots, S_{n_j}^j, j=1,2,\dots,N$ ).

Позначимо місця їх знаходження у вигляді вершин графа і назвемо внутрішнім рубежем. Зв'язну множину ребер, що має загальну вершину на внутрішньому рубежі і яка продовжується до вершин зовнішнього рубежу, назвемо остовом. Систему остовів з початком на множині точок внутрішнього рубежу, які не мають спільних вершин і з яких хоча б одна вершина зовнішнього рубежу була досяжна, назвемо повною або VR-покриттям. Позначимо дану систему через  $\{T_j\}$ , а час моделювання руху людей по трасах (ребрах)  $l_{ii_{gq}}$  остова  $T_j$  -  $\sum_{gq} t_{ii_{gq}}$ . Для VR-покриття

визначимо остів з максимальним часом руху по його ребрах:

Систему остовів, які не мають спільних вершин на внутрішньому

рубежі і з яких всі перелічені вище вершини зовнішнього рубежу досяжні, назвемо повною або *VR*-покриттям. Позначимо дану систему через  $\{T_j\}$ , а час моделювання руху людей по трасах (ребрах)  $l_{ii_{gq}}$  остова  $T_j$  -  $\sum_{gq} t_{ii_{gq}}$ .

Для *VR*-покриття визначимо остів з максимальним часом руху по його ребрах:

$$t_T = \max_{ii \in \{1, \dots, n_T\}} \sum_{gq} t_{ii_{gq}}. \quad (1)$$

Нехай  $\tau$  - множина *VR*-покриттів для  $S_0$  і вершин  $V_{ii}$ ,  $ii = 1, 2, \dots, n_T$ . Тоді задача вибору трас, що забезпечують доступ до кожного з виходів, може бути подана за допомогою виразу (2), тобто здійснюється вибір *VR*-покриття з мінімальним часом руху до зовнішньої вершини рубежу (1):

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

Визначимо, що час в фрамугах (1),(2) визначається моделюванням руху людей по мережі коридорів, сходів, за допомогою ліфтів та засобів аварійної евакуації при відповідному розбитті людей по елементах мережі. Моделювання руху людей здійснюється згідно категорії комфортності руху [6–8].

Іншими словами, виникає наступна задача.

Необхідно розбити множину  $M$  людей на підгрупи та назначити їх по засобам евакуації, що складаються із множини коридорів, сходів, ліфтів, а також засобів аварійної евакуації  $\mathcal{R}(U, t) = \left\{ \{L_i(u_i, t)\}, \{Li_{jj}(u_{jj}, t)\}, \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^h, u_{ij,j}^k, t)\}, \{AV_{ll}(u_{ii,j_{ii},ll}, u_{ii}^k, t)\} \right\}$  таким чином, щоб мінімізувати час  $t = t_0 + q\Delta t \leq t_{необ.}$ ,  $q = 1, 2, \dots$  евакуації людей при виконанні умов неперетинання людей при русі, умови їх переміщення на шляхах евакуації і ряду технологічних обмежень, серед яких умови не перевищення щільності потоку допустимої, виконання умов маневреності відповідно категорій комфортності людей при їх русі.

Задача, що розглядається в роботі, відноситься до *NP*-складних.

Слід зазначити, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації має дискретно-неперервну структуру великої вимірності. Дискретний етап – це оптимізація на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв'язків 1 [7], і яке надає всі остови, тобто траси від приміщень до вершин зовнішнього рубежу:

Перебір гілок дерева розв'язків здійснюється за методом гілок та меж. Як правила відтинання використовуються як властивості комбінаторних множин [7], так і метод Монте-Карло на рівнях дерева. В якості верхньої оцінки використовується оптимальне значення функції мети, яке отримується на попередніх етапах розв'язку і яке уточнюється в процесі розв'язання. Це дискретний етап у вирішенні задачі, що розглядається. Неперервний етап – це моделювання руху потоків людей по мережі коридорів, сходів, ліфтів та за допомогою засобів аварійної

евакуації. Моделювання однорідних потоків по мережі коридорів і сходів розглянуто в роботі [2], а моделювання руху по мережі коридорів неоднорідних потоків людей для ряду категорій руху розглядається в [6–9].

Як приклад було здійснено комп'ютерне моделювання для розрахунку евакуації людей із будівлі, яка змодельована в [10]. 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. 1, 2) мала наступні параметри:

- кількість поверхів – 60;
- кількість секцій – три по 20 поверхів;
- кількість поверхів в секції – 19 (20 поверх – технічний);
- висота поверху – 3м;
- корисна площа поверху – 600м<sup>2</sup>;
- щільність 100 чол. на поверх (із розрахунку 1 чол. на 6м<sup>2</sup> корисної площі);
- кількість людей в кожній секції – по 1900 чол., всього людей в будівлі –5700 чол.;
- 2 П-образних сходів типу НЗ, марш 1350 мм;
- 6 ліфтів по 13 чол., які переміщуються в границях секцій (прискорення  $a=1,2\text{ м/с}^2$ , швидкість руху  $v_{max}=2,5\text{ м/с}$ );
- 4 ліфти –шатла на 26 чол. По 2 на секцію ( $a=1,2\text{ м/с}^2$ ,  $v_{max}=4\text{ м/с}$ ), 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).

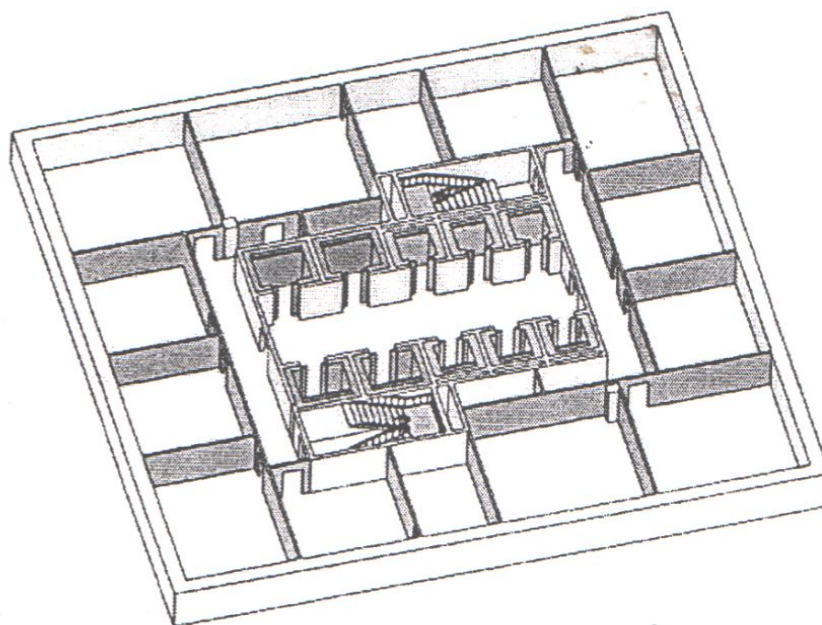


Рис. 1. План типового поверху офісного центру

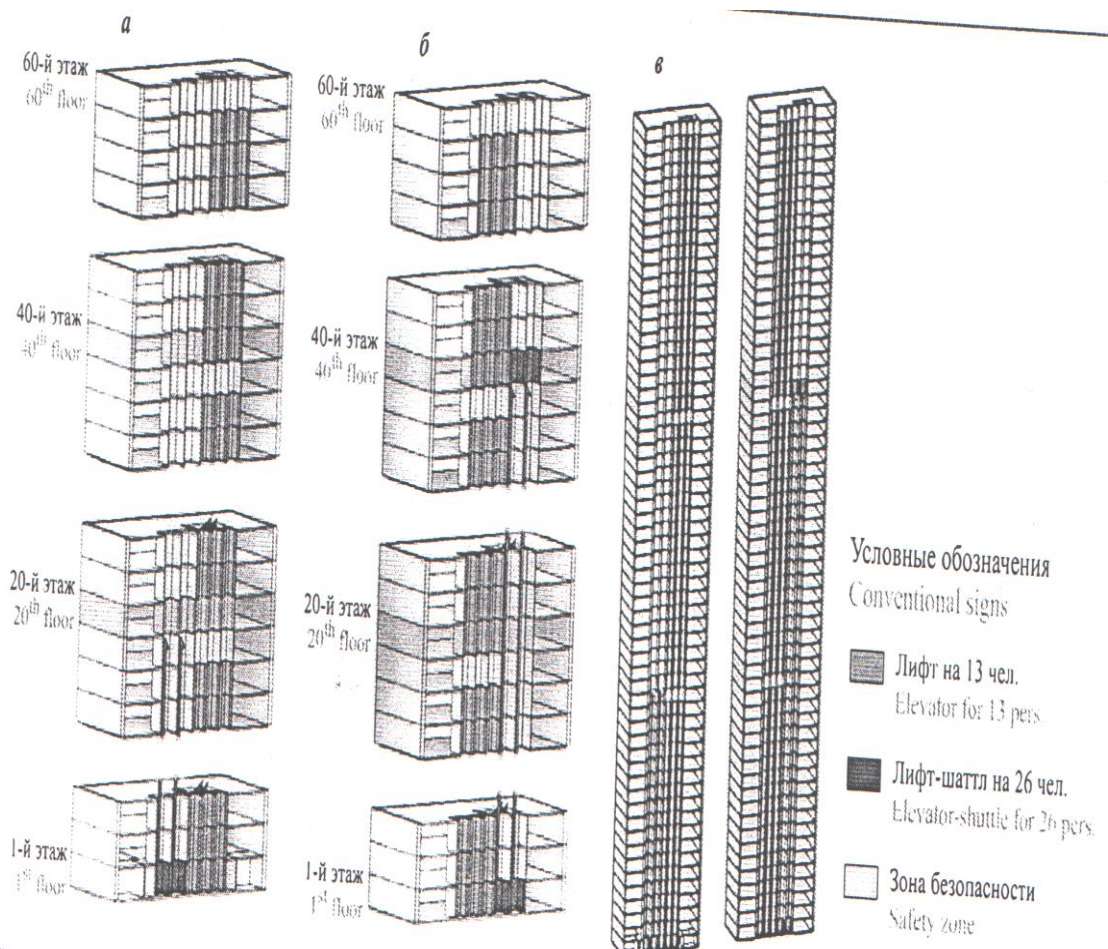


Рис. 2. Розріз будівлі офісного центру: а) рух ліфта-шаттла з 1 по 20-й поверхи; б) рух ліфта-шаттла з 20 по 40-й поверхи; в) загальний розріз будівля для обох випадків

Параметри ліфтів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри ліфтів для обчислень

№ п/п	Показники	Секційні ліфти	Лифти-шаттли	
			1-19-й пов.	1-40-й пов.
<b>I</b>	<b>Параметри ліфта</b>			
1	Вантажопідйомність, кг	1000	2000	2000
2	Номінальна місткість кабіни <sup>1</sup> , чол.	13,0	26,0	26,0
3	Швидкість руху ліфта, м/с	2,5	4,0	4,0
4	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 виділяються 4 групи людей по їх мобільності М1, М2, М3, М4 (таблиця 2).

Таблиця 2.

## Характеристика груп мобільності

Група мобільності	Характеристика людей в групі	Площа горизонтальної проекції людини, м <sup>2</sup>
М1	Люди, які не мають обмежень мобільності	0,1
М2	Немічні люди, мобільність яких знижена через старіння організму (інваліди по старості; інваліди на протезах; інваліди з недостатками зору, люди з психічними відхиленнями)	0,2
М3	Інваліди, які використовують при русі додаткові опори (милиці, палиці)	0,3
М4	Інваліди, які рухаються на кріслах-колясках, що приводяться в рух вручну	0,96

Проведені дослідження [11–12] показали, що зміна швидкості маломобільних людей в залежності від щільності потоку має ті ж закономірності, що описані вище. Дані, наведені в таблиці 3. дозволяють зробити висновок, що швидкість потоків маломобільних людей значно нижче, ніж швидкості здорових людей. Слід враховувати, що наведені в таблиці параметри відносяться до однорідних по мобільності яким груп.

Таблиця 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..) $D_{oj}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	100 0,051	100 0,089	60 0,067
М2	$V_{oj}$ (м/хв..) $D_{oj}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	30 0,135	30 0,139	20 0,126
М3	$V_{oj}$ (м/хв..) $D_{oj}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	70 0,102	20 0,208	25 0,120
М4	$V_{oj}$ (м/хв..) $D_{oj}$ (м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	60 0,135	-	-

Згідно перелічених вище даних розв'язана наступна задача.



*Задача 1.* 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, та по двох сходах.

Результати обчислень наведені в таблиці .4, в якій приведено результат одного із варіантів моделювання руху людей по мережі, яка складається із коридорів, сходів, ліфтів.

Таблиця 4.

Результат задачі 1.

Об'єкт	Час евакуації,с			Порівняння результатів	
	Тільки по сходах [10]	З використанням ліфтів [10]	З використанням ліфтів (отриманий результат)	Абсолютна помилка, с	Відносна помилка
Секція (1-9) (поверхи)	1043	356	376, Розбиття по групам: М1-36%; М4-34%; М2-М3-32%;	20	0,07

Проведено порівняння результатів з результатами інших дослідників.

**Висновки.** Показано, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель має дискретно-неперервну структуру великої вимірності, 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. Подальші дослідження будуть направлені на розробку ефективних алгоритмів руху гетерогенних потоків людей для різних категорій комфортності їх руху та з використанням засобів аварійної евакуації.

### **Література**

1. Ройтман В.М. Нормирование защиты высотных зданий от прогрессирующего разрушения при комбинированных особых воздействиях. М.: *Пожаровзрывобезопасность*, 2007. Т.10, 2. С.6–11.
2. Комяк В.В. Моделі та методи розбиття і трасування для оцінки шляхів евакуації у висотних будівлях при проектуванні: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02. Харків, 2014. 25 с.
3. Холщевников В.В., Самошин Д.А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий. М.: *Пожаровзрывобезопасность*, 2006. Т.15. 5. С.45–47.

4. Яковенко Ю.Ф., Яковенко К.Ю. Зарубежные пожарно-спасательные автомобили: новые технические решения. – М.: *Пожаровзрывобезопасность*, 2003. 5. С.58–64.
5. Кашевник Б.Л. Проблемы спасения людей при чрезвычайных ситуациях в многоэтажных зданиях. М.: *Пожаровзрывобезопасность*, 2003. 2. С.34–38.
6. Komyak Vf, Komyak Vl., Pankratov A. Mathematical and Computer Modeling of Active Movement of People during Evacuation. Part of the IFIP Advances in Information Technology in Disaster Risk Reduction book series (IFIPAICT. 622, 2021. P.245–258.
7. 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*, 2021. 3/4. (111). P. 4350,
8. Комяк В.М., Данилин А.Н., Комяк В.В., Кязимов К.Т. Математические модели оптимизации выбора технических средств и их местоположений для эвакуации из высотных зданий. *Вестник Херсонского Национального Технического Университета*, Херсон: ХНТУ, 2015. 3(54). С.565–569
9. Komyak Va., Komyak Vl. Danilin A. A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017. 1/4(85). P. 17–23.
10. Гравит М.В., Карькин И.Н., Дмитриева И.И., Кузенков К.А. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов. *Пожаровзрывобезопасность*, 2019. 28, 2. С. 66–79.
11. Кирюханцев Е.Е., Холщевников В.В., Шурин Е.Т. Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке. *Безопасность людей при пожарах*. М.: ВИПТШ МВД РФ, 1999.
12. Шурин Е. Т., Апаков А. В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения «смешанных» людских потоков при эвакуации. *Проблемы пожарной безопасности в строительстве*. М.: Академия ГПС МВД РФ, 2001. С. 36–42.

## **ЗАДАЧА ЭВАКУАЦИИ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ, КАК ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗБИЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПО ПУТЯМ И МОБИЛЬНЫМ СРЕДСТВАМ ЭВАКУАЦИИ**

Кязимов К.Т.

*Развитие человечества на современном этапе определяется уровнем развития науки и технологий, возможностями эффективно решать новые задачи. Современные научные подходы к решению проблем практически во*

*всех областях опираются на достижения в области моделирования и компьютерных технологий.*

*Одной из проблем на сегодняшний день является безопасность жизнедеятельности людей в высотных зданиях, в которых комплексно размещаются бизнес-центры, супермаркеты со складами разнообразной продукции, стоянки автомобилей, офисы, жилые помещения и т.д. Для обеспечения безопасности людей формируются научно-обоснованные планы эвакуации людей по сети, включающей лестницы, лифты, коридоры на этажах, стационарные спасательные средства индивидуального или коллективного использования. Поэтому актуальна задача распределения потоков людей по сети, включающей лестницы, коридоры, лифты, средства аварийной эвакуации, а также перераспределения их в реальном времени при чрезвычайной ситуации после отключения лифтов, перекрытия лестничных клеток или коридоров (другими словами получения набора возможных сценариев движения для каждого отрезка времени).*

*Сформулирована содержательная постановка задачи разбиения множества людей и назначения их на элементы сети, состоящей из множества коридоров, лестниц, лифтов, средств аварийной эвакуации с точки зрения минимизации времени эвакуации из здания. Показано, что задача оптимизации выбора путей и средств эвакуации из высотных зданий имеет дискретно-непрерывную структуру большой размерности. Решение задачи представлено в виде двух этапов: дискретного – оптимизации на дискретном множестве, которое представлено деревом решений и моделирования движения гетерогенных потоков людей по сети, состоящей из коридоров, лестниц, путей движения лифтов и средств аварийной эвакуации. В качестве примера оптимизировано время полной эвакуации людей из секции здания с помощью коридоров, лифтов, лестниц. Осуществлено сравнение полученных результатов с результатами других исследователей, относительная ошибка не превышает 0,07.*

*Ключевые слова: высотные здания, эвакуация, моделирование движения, гетерогенные потоки людей, дерево решений, оптимизация, разбиение.*

**THE PROBLEM OF EVACUATION FROM HIGH-RISE BUILDINGS  
AS A PROBLEM OF OPTIMIZING THE PARTITIONING OF PEOPLE  
ON ELEMENTS OF network AND ON MOBILE MEANS OF  
EVACUATION**

Kazim Kyazimov

*The development of mankind at the present stage is determined by the level of development of science and technology, the ability to effectively solve new problems. Modern scientific approaches to solving problems in almost all areas are based on advances in modeling and computer technology.*

*One of the problems today is the safety of life of people in high-rise buildings, in which business centers, supermarkets with warehouses of various products, parking lots, offices, living quarters, etc. are located. To ensure the safety of people, scientifically based plans for the evacuation of people by evacuation are formed, including stairs, elevators, corridors on floors, stationary life-saving appliances for individual or collective use. Therefore, the urgent task of distributing the flows of people over the network, including stairs, corridors, elevators, emergency evacuation means, as well as their redistribution in real time in an emergency after disabling elevators, blocking staircases or corridors (in other words, obtaining a set of possible scenarios of movement for each segment time).*

*A meaningful formulation of the problem of dividing a set of people and their assignment to elements of a network consisting of a set of corridors, stairs, elevators, emergency evacuation means from the point of view of minimizing the time of evacuation from a building is formulated. It is shown that the problem of optimizing the choice of routes and means for evacuation for evacuating people from high-rise buildings has a discrete-continuous structure of a large dimension. The solution of the problem is presented in the form of two stages: discrete - by optimization on a discrete set, which is represented by a decision tree and by modeling the movement of heterogeneous flows of people through the network that make up corridors, stairs, elevator paths and emergency evacuation means. As an example, the time for the complete evacuation of people from a section of a building using corridors, elevators, and stairs has been optimized. Comparison of the obtained results with the results of other researchers is carried out, the relative error does not exceed 0.07.*

*Key words: high-rise buildings, evacuation, simulation, heterogeneous flows of people, decision tree, optimization, partitioning.*

### **Referenses**

1. Roitman, V.M. (2007) Rationing for the protection of high-rise buildings from progressive destruction in combined special impacts. M.:Pozharovzryvobezopasnost, 10, 6–11. [in Russian]
2. Komiak, V.V. (2014) Models and methods of breaking and tracing to assess evacuation pathways in high-rise buildings in designing: candidate's thesis, 01.05.02. Kharkiv, [in Ukrainian]
3. Kholshchevnykov, V.V., Samoshyn, D.A. (2006) On the issue of safety of elevators when evacuating from high-altitude buildings, 15, 5, 45–47. [in Russian]
4. Iakovenko, Yu.F., Yakovenko, K.Iu. (2003) Foreign fire and rescue cars: new technical solutions. M.: Pozharovzryvobezopasnost, 5, 58–64. [in Russian]

5. Kashevnyk, B.L. (2003) Problems of rescue people in emergency situations in high-rise buildings. M.: Pozharovzryvobezopasnost, 2, 34–38. [in Russian]
6. Komyak, Vf, Komyak, Vl., Pankratov, A. (2021) Mathematical and Computer Modeling of Active Movement of People during Evacuation. Part of the IFIP Advances in Information Technology in Disaster Risk Reduction book series (IFIPAICT. 622, 245–258. [in English].
7. 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, 3/4. (111). 43–50, [in English].
8. Komiak, V.M., Danylyn, A.N., Komiak, V.V., Kiazymov, K.T. (2015) Mathematical models for optimizing the choice of technical means and their locations for evacuation from high-rise buildings. Vestnyk Khersonskoho Natsyonalnoho Tekhnycheskoho Unyversyteta, Kherson: KhNTU, 3(54), 565–569. [in Russian]
9. Komyak, Va., Komyak, Vl. Danilin, A. (2017) A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/4(85). 17–23. [in English].
10. Hravyt, M.V., Karkyn, Y.N., Dmytryeva, Y.Y., Kuzenkov, K.A. (2019) Modeling the evacuation process from high-rise buildings and structures using passenger elevators. Pozharovzryvobezopasnost, 28, 2, 66–79. [in Russian]
11. Kyriukhantsev, E.E., Kholshchevnykov, V.V., Shurn, E.T. (1999) The first experimental studies of the movement of persons with disabilities in the overall stream. Bezopasnost liudei pry pozharakh. M.: VYPTSh MVD RF, [in Russian].
12. Shurn, E.T., Apakov, A.V. (2001) Allocation of population groups on mobile qualities and individual movement in human stream as a basis for modeling the motion of "mixed" human streams during evacuation. Problemi pozharnoi bezopasnosti v stroitelstve. M.: Akademyia HPS MVD RF, 36–42. [in Russian]