

УДК 614.8+519.6

В. М. Комяк¹, д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-9840-2635)

О. М. Данілін¹, к.т.н., нач. каф. (ORCID 0000-0003-4940-1430)

В. В. Комяк¹, к.т.н., ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-6009-5908)

К. Т. Кязімов², к.т.н., нач. каф. (ORCID 0000-0003-0790-9770)

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

²Академія Міністерства з Надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки,
Баку, Азербайджан

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ ШЛЯХІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ЕВАКУАЦІЇ З ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Пожежі, вибухи та інші надзвичайні ситуації являють собою особливу небезпеку для висотних будівель в силу особливостей їх конструктивно-планувальних рішень, призначення, зведення та подальшої евакуації. При виникненні та розвитку надзвичайної ситуації в висотних будівлях для її локалізації та ліквідації ставиться задача оптимізації проведення аварійно-рятувальних робіт, переважуючою та найважливішою частиною якої є забезпечення безпеки людей. Для забезпечення безпеки людей формуються науково-обґрунтовані плани раціональної евакуації по шляхам, що включають сходи, коридори на поверххах, ліфти, засоби аварійної евакуації. Тому стаття, яка присвячена питанням керування евакуації з таких будівель є актуальною. В статті формалізовані обмеження задачі оптимізації вибору шляхів та засобів евакуації з висотних будівель, побудована математична модель задачі та досліджено її властивості. 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 та засоби аварійної евакуації. Запропонований підхід є основою для комп'ютерного моделювання процесу евакуації і може бути використаний для оперативного прийняття рішень по вибору раціональних шляхів евакуації з висотних будівель в залежності від зміни в часі шляхів евакуації в умовах надзвичайної ситуації. Моделювання ж гетерогенних потоків має широке застосування для людей з обмеженими мобільними можливостями змішаного складу в досить широкій номенклатурі громадських будівель як різних класів функціональної пожежної небезпеки, так і різного контингенту, який мешкає в них.

Ключові слова: надзвичайна подія, евакуація, гетерогенні потоки, евакуація, моделювання, оптимізація, висотні будівлі, аварійно-рятувальні роботи, безпека людей

1. Вступ

Пожежі, вибухи та інші надзвичайні ситуації (НС) являють собою особливу небезпеку для висотних будівель в силу особливостей їх конструктивно-планувальних рішень, призначення, зведення та подальшої евакуації [1]. Характер пожежної вибухопожежної небезпеки висотних будівель визначається:

- наявністю умов, що сприяють виникненню пожежі; можливістю масового перебування людей в будівлі;
- висотою будівлі, що перевищує можливості використання для порятунку людей механічних сходів, наявних в гарнізонах пожежної охорони;
- інтенсивністю поширення під час НС у висотній будівлі полум'я, диму, токсичних речовин по приміщеннях, коридорам, сходам, шахтам ліфтів і технічним комунікаціям;
- блокуванням ліфтів і виходом з ладу управління ліфтами;
- можливістю прогресуючого руйнування будівлі при НС;
- відсутністю або недостатністю засобів для порятунку людей всередині будівлі.

В роботі [1] обґрунтовано обмеження мінімальних меж вогнестійкості ос-

новних конструкцій висотних будівель: для будівель висотою до 100 м – 150 хв., більш ніж 100 м – 180 хв.

При виникненні та розвитку НС в висотних будівлях для її локалізації та ліквідації ставиться задача оптимізації проведення аварійно-рятувальних робіт, переважаючою та найважливішою частиною якої є забезпечення безпеки людей. Тому для забезпечення безпеки людей формуються науково-обґрунтовані плани евакуації: як повної з будівлі, так і часткової в спеціально спроектовані зони безпеки.

Згідно п.6.24 ДБН 21-01-97, в разі пожежі, для евакуації людей повинні бути використані сходові клітини, а не ліфти. Існуючі ж норми наказують однакове число сходових клітин, як для 2-, так і для 102-поверхових будівель. В цьому випадку при евакуації з висотного будинку потік людей досягає щільності 7–8 чол./м² і більше, що призводить до травматизму, серцевих нападів, аж до летальних випадків. Тому, як видно із зарубіжних статей, що присвячені надзвичайним подіям в багатоповерхових будинках, ліфти використовуються частиною людей для евакуації до того часу, поки вони функціонують. Наприклад, використовуючи ліфти при евакуації з висотних будівель Всесвітнього торгового центру в Нью-Йорку 11 вересня 2001 р., врятувалось більш 3000 людей.

Тому, актуальною є проблема забезпечення за необхідний час повної (якомога більш повної) евакуації з висотних будівель шляхом залучення для моделювання руху людей як мережі, що складається з коридорів на кожному з поверхів будинку та сходів, так і шляхів руху ліфтів та засобів аварійної евакуації, а також перерозподілу потоку людей в реальному часі в залежності від розвитку надзвичайної ситуації після відключення ліфтів, перекриття сходових клітин або коридорів (іншими словами отримання набору можливих сценаріїв руху людей для кожного відрізка часу).

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для оцінки ефективності планів евакуації розробляються пакети програм, головною складовою яких є програми моделювання людських потоків, які адекватно відображають реальні процеси руху людей.

Емпірична база натурних спостережень людських потоків в будівлях різного призначення, історія якої налічує понад 30 років [2, 3], отримала широке визнання як в нашій країні, так за кордоном. Кількісне різноманіття результатів у цих роботах поставило проблему теоретичного обґрунтування залежностей, що спостерігаються між параметрами людських потоків. З'явився графо-аналітичний метод розрахунку людських потоків [3], хоча він виявився трудомістким для проектної практики. З'явилася робота [4], в якій для моделювання руху потоків людей залучено математичне і комп'ютерне моделювання. В даний час існують різні програмні продукти для моделювання руху людей, наприклад Флоутек, Еватек, Myriad, PedGo, Exodus, Grid-Flow, STEPs, Path-Finder, Floor-Field, Social-Force [5, 6]. Однак в цих роботах, в основному, розглядається рух однорідних потоків людей і не вирішена проблема евакуації людей з висотних будівель.

В роботі [7] поставлена і вирішена задача визначення кількості, метричних характеристик та параметрів розміщення шляхів евакуації (сходів і коридорів на поверххах), а також задача розбиття будівлі на протипожежні відсіки з визначенням кількості і місць розміщення засобів аварійної евакуації в них, що дозволяють здійснити повну евакуацію людей з висотних будівель за мінімальний час. Задача актуальна на етапі проектування будівель. Слід також зауважити, що при

визначенні часу евакуації в цій роботі розглядалися однорідні потоки людей, що не характерно для висотних будівель.

Тому невирішеною частиною проблеми є відсутність моделі моделювання неоднорідних потоків людей та залучення до евакуації ліфтів та засобів аварійної евакуації.

3. Мета та завдання дослідження

Метою статті є розробка математичної моделі оптимізації вибору шляхів і технічних засобів евакуації з висотних будівель, що забезпечує повну (якомога більш повну) евакуацію людей з висотних будівель за необхідний час.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання:

- формалізувати обмеження задачі оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації з висотних будівель;
- розробити математичну модель задачі та дослідити її властивості.

4. Формалізація обмежень задачі оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації

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 початковий момент часу 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 $j=1,2,\dots,N$ з 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 p сходів $L_i(u_i), i=1,2,\dots,p$ з їх місцем розташування $u_i(x_i^*, y_i^*, z_i), i=1,2,\dots,p$, $z_i \in [0, H]$, (H – висота будівлі) і з шириною w_i [8]; 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 $u_{jj}(x_{jj}^*, y_{jj}^*, z_{jj}), jj=1,2,\dots,v$, $z_{jj} \in [0, H]$ і швидкістю $\bar{V}_{jj}, jj=1,2,\dots,v$.

Ліфти можуть бути вимкнені в моменти часу $t = t_0 + k\Delta t \leq t_{\text{необ.}}, k=1,2,\dots$ ($t_{\text{необ.}}$ – необхідний час для евакуації, який визначається об'ємно-планувальними рішеннями будівлі), а сходи перекриті в моменти часу $t = t_0 + l_1\Delta t \leq t_{\text{необ.}}, l_1=1,2,\dots,i=1,2,\dots,p$. 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 , кількість протипожежних відсіків у будівлі дорівнює nn , тобто

$S_0 = \bigcup_{ii=1}^{nn} H_{ii}$, де $H_{ii} = \bigcup_{ji=1}^{m_{ii}} S_{ii,ji}$, $S_{ii,1}, S_{ii,2}, \dots, S_{ii,m_{ii}}$, відповідно, перший, другий, ..., m_{ii} -

тий поверхи ii -го відсіку, $\sum_{ii=1}^{nn} m_{ii} = N$, а також визначені місця розміщення ll -тих

($ll=1,2,\dots,l \in \{1,2,\dots,r\}$) засобів евакуації $u_{ii,j_{ii},ll}(x_{ii,j_{ii},ll}, y_{ii,j_{ii},ll}, z_{ii,j_{ii},ll})$,

$i\bar{i} = 1, 2, \dots, n\bar{n}$; $j_{i\bar{i}} = 1, 2, \dots, m_{i\bar{i}}$; $\bar{l} = 1, 2, \dots, l \in \{1, 2, \dots, r\}$) ($j_{i\bar{i}}$ -тий поверх $i\bar{i}$ -го відсіку; $m_{i\bar{i}}$ – кількість поверхів $i\bar{i}$ -го відсіку) і нехай кількість кожного виду засобів дорівнює $C_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}$ (або $C_{\bar{l}, j}$ ($\bar{l} = 1, 2, \dots, l \in \{1, 2, \dots, r\}$) на j -тому поверсі). Шляхи аварійної 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 засобів евакуації $u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}(x_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, y_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, z_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}})$, $i\bar{i} = 1, 2, \dots, n\bar{n}$; $j_{i\bar{i}} = 1, 2, \dots, m_{i\bar{i}}$; $\bar{l} = 1, 2, \dots, l$ по мережі коридорів; або прямо з приміщень, якщо коридори перекриті, а потім від них – на крайні поверхи відсіків $u_{i\bar{i}}^k(x_{i\bar{i}}^*, y_{i\bar{i}}^*, z_{i\bar{i}}^*)$, $i\bar{i} = 1, 2, \dots, n\bar{n}$ (де знаходяться приміщення для тимчасового укриття людей) за допомогою засобів аварійної евакуації, позначимо їх $\{AV_{\bar{l}}(u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, u_{i\bar{i}}^k, t)\}$.

Структура сходів, ліфтів, коридорів та засобів аварійної евакуації може змінюватися в часі (тобто змінюватися їх метричні характеристики), позначимо її

$$\mathfrak{R}(U, t) = \{\{L_i(u_i, t)\}, \{Li_{jj}(u_{jj}, t)\}, \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^H, u_{ij,j}^K, t)\}, \{AV_{\bar{l}}(u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, u_{i\bar{i}}^k, t)\}\}, \quad (1)$$

$$U \in \{\{u_i\}, \{u_{jj}\}\}, \{u_{ij,j}\}, \{u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}\}, i = 1, 2, \dots, n, jj = 1, 2, \dots, v, j = 1, 2, \dots, N,$$

$$ij = 1, 2, \dots, p_j, i\bar{i} = 1, 2, \dots, n\bar{n}; \bar{l} = 1, 2, \dots, l \in \{1, 2, \dots, r\}.$$

Кожній людині приписані характеристики швидкості

$$\bar{V}_g = (V_{g,x}, V_{g,y}, V_{g,z})$$

$$\bar{V}_g = (V_{g,x}, V_{g,y}, V_{g,z}) = \begin{cases} \bar{V}_g = \bar{V}_{g_i}, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{L_i(u_i, t)\}; \\ \bar{V}_g = \bar{V}_{g_{jj}}, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{Li_{jj}(u_{jj}, t)\}; \\ \bar{V}_g = \bar{V}_{g_{ij,j}}, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^H, u_{ij,j}^K, t)\}; \\ \bar{V}_g = \bar{V}_{g_{\bar{l}}}, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{AV_{\bar{l}}(u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, u_{i\bar{i}}^k, t)\}. \end{cases} \quad (2)$$

відповідно на сходах, ліфтах, коридорах та $\bar{l}$ -тих засобах аварійної евакуації. Шлях руху (коридори та сходи) розділено на підобласті. Для кожної підобласті вибирається основний напрямок руху та для кожної людини – характеристики маневреності m_g , $m_g < 1$ (у метрах), тобто її відхиленням від основного напрямку руху

$$-m_g \leq \rho_g \leq m_g, g \in J_M. \quad (3)$$

Для інших засобів евакуації відхилення дорівнює нулю, тобто

$$\rho_g = \begin{cases} -m_g \leq \rho_g \leq m_g, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{\{L_i(u_i, t)\} \cup \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^H, u_{ij,j}^K, t)\}\}; \\ 0, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{\{Li_{jj}(u_{jj}, t)\} \cup \{AV_{\bar{l}}(u_{i\bar{i}, j_{i\bar{i}}, \bar{l}}, u_{i\bar{i}}^k, t)\}\}. \end{cases} \quad (4)$$

Комфортність задається завданням відстаней між людьми $r_{g,g+1}, g < g+1 \in J_{M-1}$ та між людьми і границею області руху $r_g, g \in J_M$. Формалізуються ці обмеження за допомогою завдання мінімально-допустимих відстаней між людьми за допомогою Φ -функції [8]:

$$\Phi(u_g, u_{g+1}) \geq r_{g,g+1} \quad (5)$$

та між кожною людиною і границею області руху

$$\Phi(U, u_g) \geq r_g. \quad (6)$$

Таким чином, формалізовані обмеження задачі оптимізації вибору шляхів та технічних засобів евакуації з висотних будівель, що є основою для побудови її області допустимих рішень.

5. Розробка математичної моделі задачі та дослідження її властивостей

В роботі розглядається наступна задача.

Необхідно мінімізувати час евакуації людей по мережі, що складається із коридорів, сходів, ліфтів, а також шляхів руху засобів аварійної евакуації у разі виникнення надзвичайної ситуації в момент часу і при цьому максимізувати ймовірність їх порятунку в кожний q -тий інтервал часу при виконанні умов неперетинання людей при русі, умови їх перебування на шляхах переміщення і ряду технологічних обмежень, серед яких можна виділити умови не перевищення щільності потоку допустимої, маневреності та комфортності людей при їх русі, тощо.

Іншими словами виникає наступна задача.

Необхідно знайти

$$t(Z^*) = \min_{\{Z_q\} \in W} t(\{Z_q\}); \quad (7)$$

$$Z(Z_0, Z_1, \dots, Z_q);$$

$$\begin{aligned} Z_q &= (q, \Delta t_1^q, \rho_1^q, u_1^q, \dots, \Delta t_g^q, \rho_g^q, u_g^q, \dots, \Delta t_{m^q}^q, \rho_{m^q}^q, u_{m^q}^q) = \\ &= (q, \Delta t_1^q, \rho_1^q x_1^q, y_1^q, z_1^q, \dots, \Delta t_{m^q}^q, \rho_{m^q}^q x_{m^q}^q, y_{m^q}^q, z_{m^q}^q) \end{aligned}$$

$$0 \leq \Delta t_g^q \leq 1;$$

$$t = t^0 + q\Delta t \leq t_{\text{іаіа}}, q = 0, 1, 2, \dots; \quad (8)$$

$$Z_q = \max_{u^q \in W^q \subset W} p(u^q); \quad (9)$$

$$u^q = (\Delta t_1^q, \rho_1^q, u_1^q, \dots, \Delta t_{m^q}^q, \rho_{m^q}^q, u_{m^q}^q) = (\Delta t_1^q, \rho_1^q, x_1^q, y_1^q, z_1^q, \dots, \Delta t_{m^q}^q, \rho_{m^q}^q, x_{m^q}^q, y_{m^q}^q, z_{m^q}^q);$$

де W^q :

$$W^q = \{u^q \in R^p : \gamma_{g,g+1} \geq 0; \gamma_g \geq 0; T_g \geq 0, g < g+1 \in J_{m^q-1}; m^q \leq M\}; \quad (10)$$

$$p = 5m^q + \frac{m^q(m^q - 1)}{2} + N_T;$$

$$m^q \leq M; \quad (11)$$

$$\gamma_{g,g+1} \geq 0 : \Phi(u_g^q, u_{g+1}^q) \geq r_{g,g+1}; \quad (12)$$

$$\gamma_g \geq 0 : \Phi(U, u_g^q) \geq r_g; \quad (13)$$

$$T_g \geq 0;$$

$$D_{\text{пот}} \leq D_{\text{доп}}; \quad (14)$$

$$\rho_g = \begin{cases} -m_g \leq \rho_g \leq m_g, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{\{L_i(u_i, t)\} \cup \{K_{ij,j}(u_{ij,j}^H, u_{ij,j}^K, t)\}\}; \\ 0, \text{ якщо } \mathfrak{R}(U, t) = \{\{L_{ij}(u_{ij}, t)\} \cup \{AV_{ll}(u_{ii,j_{ii},ll}, u_{ii}^K, t)\}\}. \end{cases} \quad (15)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad jj = 1, 2, \dots, v, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad ij = 1, 2, \dots, p_j, \\ ii = 1, 2, \dots, nn; \quad j_{ii} = 1, 2, \dots, m_{ii}; \quad ll = 1, 2, \dots, l \in \{1, 2, \dots, r\}.$$

$$\text{де } u_g^q = (x_g^q, y_g^q, z_g^q), \quad x_g^q = x_g^{q-1} V_{g,x} \Delta t_g^q \Delta t; \quad y_g^q = y_g^{q-1} V_{g,y} \Delta t_g^q \Delta t; \quad z_g^q = z_g^{q-1} V_{g,z} \Delta t_g^q \Delta t;$$

$$u_g^q \in \{u_{g_i}\} \times \{u_{g_{ij,j}}\} \times \{u_{g_{jj}}\} \times \{u_{g_{vv}}\};$$

$$\text{Card}\{u_{g_i}^q\} + \text{Card}\{u_{g_{ij,j}}^q\} + \text{Card}\{u_{g_{jj}}^q\} + \text{Card}\{u_{g_{vv}}^q\} = m^q;$$

$\text{Card}\{\cdot\}$ – кількість елементів множини; Δt_g^q – відносний крок руху в часі g -ої людини; Δt – вибраний інтервал часу для відновлення інформації про розвиток НС; m^q – кількість людей в будинку в q -тий інтервал часу; умова (8) описує не перевищення часу евакуації необхідного часу, що визначається для кожного будинку з його об'ємно-планувальних рішень; умова (11) описує не перевищення кількість людей в q -тий інтервал часу над кількістю людей, що знаходилися в будинку в початковий момент часу; умови (12)–(13) – умови взаємного неперетину людей та їх знаходження на шляхах евакуації з урахуванням мінімально-допустимих відстаней, які записані за допомогою математичного апарату Φ -функцій; умова (14) описує дотримання допустимої щільності потоку людей; умова (15) задає маневреність руху людини; N_T – кількість змінних, що описують технологічні обмеження.

Слід зазначити, що задача оптимізації вибору шляхів та засобів для евакуації

з висотних будівель (7)–(15) має дискретно-неперервну структуру великої вимірності. Дискретний етап – це оптимізація на дискретній множині, яка може бути представлена, наприклад, деревом розв’язків, неперервний – це моделювання руху гетерогенних потоків людей по мережі, складовими якої є коридори, сходи, шляхи руху ліфтів та засобів аварійної евакуації.

7. Обговорення результатів

В роботі поставлена і формалізована задача оптимізації вибору шляхів та засобів аварійної евакуації в умовах розвитку надзвичайної ситуації. Задача актуальна при вирішенні питань евакуації з висотних будівель. Запропонована модель розглядає моделювання руху гетерогенних потоків людей по мережі, що складається як з коридорів на кожному з поверхів будинку та сходів, так і по шляхам руху ліфтів та засобів аварійної евакуації. В роботі [9] розглянуто підхід до моделювання руху гетерогенних потоків людей, що апроксимуються еліпсами, по мережі коридорів. Запропонована в даній роботі модель дає можливість розширити множину шляхів евакуації та здійснити подання більш високої точності апроксимації просторових форм людей, що евакуюються.

Слід визначити, що запропонований підхід до моделювання руху гетерогенних потоків людей збільшує коло задач евакуації, що вирішується на теперішній час, і дозволяє моделювати рух людей з обмеженими мобільними можливостями в потоці змішаного складу в досить широкій номенклатурі громадських будівель різних класів функціональної пожежної безпеки.

Отримані результати можна також розглядати, як обґрунтування вибору або модифікації існуючих методів математичного та комп’ютерного моделювання процесу евакуації з висотних будівель, що може бути використано для оперативного прийняття рішень по вибору шляхів евакуації в умовах розвитку надзвичайної ситуації.

8. Висновки

В статті формалізовані обмеження задачі оптимізації вибору шляхів та засобів евакуації з висотних будівель, що є основою для аналітичного опису області допустимих розв’язків задачі.

Розроблена математична модель оптимізації вибору шляхів та засобів евакуації з висотних будівель розширяє коло існуючих моделей за рахунок як моделювання неоднорідних потоків людей, так за рахунок залучення до евакуації ліфтів та засобів аварійної евакуації. Запропонована модель дозволяє обґрунтовано вибирати або модифікувати методи оптимізації вибору шляхів евакуації в умовах розвитку надзвичайної ситуації.

Запропонований підхід до оптимізації вибору шляхів евакуації з висотних будівель в подальшому дозволить моделювати також потоки людей при їх виході з метро, кінотеатрів, місць з масовим перебуванням людей, тощо, з урахуванням особливостей місць 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. Беляев С. В. Эвакуация людей массового назначения. М., 1938. 72 с.

3. Predtechenskii V. M., Milinskii A. I. Planning for the foot traffic flow in buildings. New Delhi, 1978.
4. Kholshchevnikov V. V. Experimental researcher of human flow in staircases of high-rise-building. International Journal of Applied Engineering Research, 2015. V. 10. № 21. P. 42549–42552.
5. Самошин Д. А. Программные комплексы для расчета эвакуации людей: материалы международной конференции “Производство. Технологии. Экология”. Ижевск, 2010. С. 50–52.
6. Karkin I. N., Parfenenko A. P. Floiwtch VD – computer-simulation method from evacuation calculation. International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation of People from Buildings. Warsaw, 2011. P. 111–118.
7. 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 «Математичне моделювання та обчислювальні методи». Харків, 2014. 25 с.
8. Chernov N., Stoyan Y., Romanova T., Pankratov A. Phi-Functions for 2D Objects Formed by Line Segments and Circular Arcs. Advances in Operations Research, 2012. V. Article ID 346358. 26 p.
9. Komyak V. Komyak V., Danilin A. A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 1/4(85). С. 17–23.

V. Komyak¹, DSc, Professor, Professor of the Department

O. Danilin¹, PhD, Head of Department

V. Komyak¹, PhD, Lecturer of the Department

K. Kyazimov², PhD, Head of Department

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²Academy of the Ministry of Emergencies of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF CHOICE OF WAYS AND MEANS FOR EVACUATION FROM HIGH-RISE BUILDINGS

Fires, explosions and other emergencies pose a particular risk to high rise buildings due to their design, design, erection and subsequent evacuation features. In case of emergence and development of an emergency situation in high-rise buildings for its localization and elimination, the task is to optimize the implementation of rescue operations, the predominant and most important part of which is ensuring the safety of people. To ensure the safety of people, scientifically sound plans for rational evacuation along paths are formed, including stairs, corridors on floors, elevators, emergency evacuation facilities. Therefore, an article on the subject of guided evacuation of such buildings is relevant. The article formalizes the constraints of the problem of optimization of the choice of ways and means of evacuation from high-rise buildings, the mathematical model of the problem is constructed and its properties are investigated. It is shown that the problem of optimization of the choice of ways and means for evacuation from high-rise buildings has a discrete-continuous structure of large dimension, so its solution has two stages: discrete - optimization on a discrete set, which can be represented, for example, by a solution tree and continuous - for each branch of a tree - is a simulation of the movement of heterogeneous flows of people through a network, which consists of corridors, stairs, ways of movement of elevators and means of emergency evacuation. The proposed approach is the basis for computer simulation of the evacuation process and can be used to make rapid decisions on the choice of rational evacuation routes from high-rise buildings, depending on the change in the timing of emergency evacuation routes. The modeling of heterogeneous flows is widely used for people with reduced mobility of mixed composition in a fairly wide range of public buildings, both different classes of functional fire hazard, and the different contingent that resides in them.

Keywords: emergency, evacuation, heterogeneous flows, evacuation, modeling, optimization, high-rise buildings, emergency work, safety of people

References

1. Roytman, V. M. (2007). Normirovaniye zashchity vysotnykh zdaniy ot progressiruyushchego razrusheniya pri kombinirovannykh osobykh vozdystviyakh. M.: Pozharovzryvobezopasnost', 10, 2, 6–11.
2. Belyayev, S. V. (1938). Evakuatsiya lyudey massovogo naznacheniya. M. 72.
3. Predtechenskii, V. M., Milinskii, A. I. (1978). Planning for the foot traffic flow in buildings. New Delhi.
4. Kholshchevnikov, V. V. (2015). Experimental researcher of human flow in staircases of high-rise-building. International Journal of Applied Engineering Research. 10, 21, 42549–42552.
5. Samoshin, D. A. (2010). Programmnyye komplekсы dlya rascheta evakuatsii lyudey: materialy mezhdunarodnoy konferentsii “Proizvodstvo. Tekhnologii. Ekologiya”. Izhevsk, 50–52.
6. Karkin, I. N., Parfenenko, A. P. (2011). Floiwtch VD – computer-simulation method from evacuation calculation. International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation of People from Buildings. Warsaw, 111–118.
7. Komyak, V. V. (2014). Modeli ta metody rozbyttya i trasuvannya dlya otsinky shlyakhiv evakuatsiyi u vysotnykh budivlyakh pry proektuvanni: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 01.05.02 «Matematychnе modelyuvannya ta obchyslyvalni metody». Kharkiv, 25.
8. Chernov, N., Stoyan, Y., Romanova, T., Pankratov, A. (2012). Phi-Functions for 2D Objects Formed by Line Segments and Circular Arcs. Advances in Operations Research. Article ID 346358, 26.
9. Komyak, V., Komyak, V., Danilin, A. (2017). A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/4(85), 17–23.

Надійшла до редколегії: 17.09.2019

Прийнята до друку: 11.10.2019