

## МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ ЕВАКУАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМІЖНИХ ПУНКТІВ ЕВАКУАЦІЇ

Г.В. Фесенко<sup>1</sup>, А.В. Ромін<sup>1</sup>, З.Р. Шайхлісламов<sup>1</sup>,  
А.О. Подорожняк<sup>2</sup>, С.І. Клівець<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Академія цивільного захисту України, Харків,  
<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил)

*Пропонується модель оптимізації вивезення населення з небезпечних місць надзвичайних ситуацій до зон безпечного проживання через проміжні пункти евакуації.*

*цивільний захист, евакуаційні заходи, оптимізація*

**Постановка проблеми.** Одним із способів захисту населення у надзвичайних ситуаціях є його евакуація і розміщення у зонах, безпечних для проживання. З метою запобігання проявам паніки та недопущення загибелі людей під час евакуації забезпечується її планування – одне з головних завдань штабів цивільного захисту всіх рівнів. Під час такого планування вирішуються завдання забезпечення оптимального вивезення населення із небезпечних місць до районів постійного розміщення (РПР) у зонах, безпечних для проживання. У зв'язку з цим, розробка моделей оптимізації проведення евакуаційних заходів є важливою науковою задачею.

**Аналіз літератури.** Проведений аналіз науково-технічної літератури за даною тематикою [1 – 4] засвідчив, що за рамками досліджень залишаються питання оптимізації вивезення населення через проміжні пункти евакуації (ППЕ). Створення таких пунктів обумовлено необхідністю зміни транспорту та наданням відпочинку населенню, що евакуюється, під час його вивезення на великі відстані.

**Мета статті.** Метою статті є: запропонувати модель вивезення населення з небезпечних місць надзвичайних ситуацій до РПР через ППЕ з мінімальними витратами.

**Викладення основних результатів.** Для формування моделі введемо наступні позначення:

$i = \overline{1, m}$  – номер пункту відправлення евакуйованого населення;

$j = \overline{1, n}$  – номер РПР;

$k = \overline{1, p}$  – номер ППЕ;

$N_i$  – кількість населення на  $i$ -му пункті відправлення;

$P_k$  – перепускні можливості  $k$ -го ППЕ;

$U_j$  – можливості щодо прийняття населення  $j$ -го РПР;

$c_{ik}^a$  – вартість вивезення населення від  $i$ -го пункту відправлення до  $k$ -го ППЕ;

$c_{kj}^b$  – вартість вивезення населення від  $k$ -го ППЕ до  $j$ -го РПР;

$x_{ik}^a$  – шукана кількість населення, що вивозиться від  $i$ -го пункту відправлення до  $k$ -го ППЕ;

$x_{kj}^b$  – шукана кількість населення, що вивозиться від  $k$ -го ППЕ до  $j$ -го РПР.

**Математична модель.** Цільовою функцією моделі, що пропонується, є знаходження мінімуму загальної вартості вивезення населення до РПР через ППЕ

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ik}^a x_{ik}^a + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj}^b x_{kj}^b \rightarrow \min$$

при обмеженнях:

– на вивезення людей з небезпечних місць:

$$\sum_{k=1}^p x_{ik}^a = N_i, \quad (i = \overline{1, m});$$

– на перепускні можливості  $k$ -го ППЕ:

$$\sum_{i=1}^m x_{ik}^a \leq P_k, \quad (k = \overline{1, p});$$

– на можливості прийняття населення РПР:

$$\sum_{k=1}^p x_{kj}^b = U_j, \quad (j = \overline{1, n});$$

– на знак змінних:  $x_{ik}^a \geq 0, x_{kj}^b \geq 0$ .

Розглянемо наступний приклад. З трьох пунктів відправлення місць, небезпечних для проживання, необхідно вивезти населення у п'ять РПР через чотири ППЕ. Кількість населення на кожному пункті відправлення та вартість його вивезення до ППЕ наведені у табл. 1. Перепускні можливості кожного ППЕ та вартість доставки населення з ППЕ до РПР наведені у таблиці 2. Можливості прийняття населення РПР наступні: 1-го – 300 чол.; 2-го – 200 чол.; 3-го – 800 чол.; 4-го – 500 чол.; 5-го – 600 чол.

Таблиця 1

Показники вивезення людей з пунктів відправлення до ППЕ

Пункт відправлення	Вартість перевезення однієї людини з пункту відправлення до ППЕ, грн.				Кількість населення, що вивозиться
	1	2	3	4	
1	40	50	70	60	700
2	70	120	100	110	800
3	60	110	80	90	900

Таблиця 2

Показники вивезення людей з ППЕ до РПР

Пункт Відправлення	Вартість перевезення однієї людини з ППЕ до РПР, грн.					Перепускні можливості ППЕ
	1	2	3	4	5	
1	40	30	70	30	70	600
2	80	30	40	90	110	900
3	40	30	40	70	70	1200
4	60	20	20	80	80	700

Тоді модель вивезення населення з пунктів відправлення до РПР через ППЕ з мінімальними витратами запишеться наступним чином:

$$\begin{aligned}
 &40x_{11}^a + 50x_{12}^a + 70x_{13}^a + 60x_{14}^a + 70x_{21}^a + 120x_{22}^a + 100x_{23}^a + \\
 &\quad + 110x_{24}^a + 60x_{31}^a + 110x_{32}^a + 80x_{33}^a + 90x_{34}^a + 40x_{11}^b + \\
 &\quad + 30x_{12}^b + 70x_{13}^b + 30x_{14}^b + 70x_{21}^b + 80x_{22}^b + 30x_{23}^b + 40x_{23}^b + \\
 &\quad + 90x_{24}^b + 110x_{25}^b + 40x_{31}^b + 30x_{32}^b + 40x_{33}^b + 70x_{34}^b + 70x_{35}^b + \\
 &\quad + 60x_{41}^b + 20x_{42}^b + 20x_{43}^b + 80x_{44}^b + 80x_{45}^b \rightarrow \min; \\
 &x_{11}^a + x_{12}^a + x_{13}^a + x_{14}^a = 700; \quad x_{21}^a + x_{22}^a + x_{23}^a + x_{24}^a = 800; \\
 &\quad x_{31}^a + x_{32}^a + x_{33}^a + x_{34}^a = 900; \\
 &x_{11}^a + x_{21}^a + x_{31}^a \leq 600; \quad x_{12}^a + x_{22}^a + x_{32}^a \leq 900; \\
 &x_{13}^a + x_{23}^a + x_{33}^a \leq 1200; \quad x_{14}^a + x_{24}^a + x_{34}^a \leq 700;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{11}^b + x_{21}^b + x_{31}^b + x_{41}^b &= 300; & x_{12}^b + x_{22}^b + x_{32}^b + x_{42}^b &= 200; \\
 x_{13}^b + x_{23}^b + x_{33}^b + x_{43}^b &= 800; & x_{14}^b + x_{24}^b + x_{34}^b + x_{44}^b &= 500; \\
 x_{15}^b + x_{25}^b + x_{35}^b + x_{45}^b &= 600; \\
 x_{ik}^a &\geq 0 \quad (i = \overline{1,3}; k = \overline{1,4}); & x_{kj}^b &\geq 0 \quad (k = \overline{1,4}; j = \overline{1,5}).
 \end{aligned}$$

Застосувавши для розв'язання запропонованої задачі методи лінійного програмування, отримаємо результати, подані у вигляді табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Обсяги вивезення населення з пунктів відправлення до ППЕ, чол.

Пункт відправлення	Проміжні пункти евакуації			
	1	2	3	4
1	0	0	0	700
2	600	0	200	0
3	0	0	900	0

Таблиця 4

Обсяги вивезення населення з ППЕ до РПР, чол.

ППЕ	Райони постійного розміщення				
	1	2	3	4	5
1	100	0	0	500	0
2	0	0	0	0	0
3	200	200	100	0	600
4	0	0	700	0	0

Загальна вартість вивезення людей за такою схемою складає 269000 грн.

На підставі даних табл. 3 та 4 побудуємо схему вивезення населення через ППЕ з найменшими витратами.

Аналіз даної схеми показує, що для запропонованих вихідних даних процес евакуації має наступні особливості:

– другий ППЕ не використовується – всі перевезення населення доцільно здійснювати через інші ППЕ. Відповідно персонал евакуаційних

органів цих пунктів разом зі штатними одиницями (транспортна група, група продовольчого забезпечення, медичний пункт тощо), доцільно розподілити серед решти ППЕ;

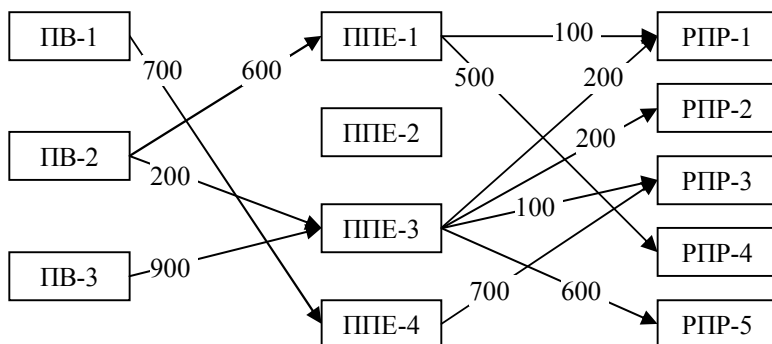


Рис. 1. Схема вивезення населення під час евакуації через ППЕ з найменшими витратами

– найбільша кількість пунктів відправлення населення відправляє населення до третього ППЕ, з якого потім воно вивозиться до чотирьох РПР (відповідно третій ППЕ потребує підсилення штатного складу необхідними фахівцями).

**Висновки.** Таким чином, використання запропонованої моделі дозволяє знаходити схеми вивезення людей під час евакуації через ППЕ з найменшими витратами.

Крім того, розроблену модель доцільно використовувати під час розробки науково обґрунтованих пропозицій керівникам штабів цивільного захисту та евакуаційних комісій щодо штатного складу пунктів евакуації, їх забезпечення необхідними силами та засобами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Цивільна оборона / О.П. Депутат, І.В. Коваленко, І.С. Мужик. За ред. В.С. Франчука. – Львів: „Афіша”, 2001. – 336 с.*
2. *Довідник з цивільної оборони та з питань захисту населення у надзвичайних ситуаціях мирного часу. – К.: ЗАТ „Укртехногрупа”, 2001. – 328 с.*
3. *Шоботов В.М. Цивільна оборона. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 438 с.*
4. *Действия населения в чрезвычайных ситуациях. – М.: Мин ЧС, 1995. – 80 с.*

Надійшла 19.04.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор І.Г. Черванев,  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна.