

Басманов О.Є., Говаленков С.С.

Експериментальна перевірка моделі розповсюдження вторинної хмари небезпечної хімічної речовини в атмосфері

На прикладі аміаку проведено перевірку адекватності математичної моделі розповсюдження небезпечної хімічної речовини у повітрі при її неперервному витіканні з місця аварії

Ключові слова: аварія, надзвичайна ситуація, небезпечна хімічна речовина

Basmanov A.E., Govalenkov S.S.

Experimental verification of the model of secondary hazardous chemical cloud spread in atmosphere

Mathematical model of hazardous chemical spread in the air is verified on example ammonia which continuously exiated from accident place

Key words: accident, emergency, hazardous chemical spread

УДК 614.84

Беляев В.Ю., адъюнкт, НУГЗУ,

Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПУТЕЙ ЭКСТРЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Проведен анализ существующих моделей нахождения оптимальных путей экстренной эвакуации населения. Показано, что в литературе отсутствуют континуальные модели нахождения оптимальных путей при наличии динамики поражающих факторов чрезвычайной ситуации, а также при повреждении или недоступности сети дорог.

Ключевые слова: эвакуация населения, пути эвакуации, модели оптимального пути эвакуации

Постановка проблемы. Общий рост численности населения и плотности его проживания, повышения антропогенного давления на окружающую среду, усложнение самой техногенной сферы и повышение ее потенциальной опасности, а также влияние глобальных климатических изменений приводят к росту рисков значительных человеческих потерь в результате возникновения масштабных природных и техногенных чрезвычайных ситуа-

Беляев В.Ю., Тарасенко А.А.

цій (ЧС) и катастроф. Одним из путей уменьшения человеческих потерь является эвакуация населения из зон возможного влияния поражающих факторов природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [1-3]. В то же время, масштабность зоны поражения, ее динамический характер приводят к возможности нанесения ущерба здоровью людей непосредственно во время проведения эвакуации.

Одним из факторов, влияющих на эффективность проведения эвакуации, является выбор путей эвакуации, являющихся составной частью плана эвакуации.

Построение моделей маршрутов эвакуации возможно с помощью методов математического моделирования. В связи с этим необходимо выполнить обзор существующих математических моделей.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ математических моделей эвакуации осуществлен в работах [4,5]. В виду актуальности проблемы эвакуации появились новые работы [8,10,12,15,16], которые нуждаются в анализе.

Постановка задачи и ее решение. Для получения модели оперативного нахождения оптимальных путей экстренной эвакуации, необходимо проанализировать и обобщить уже существующие модели.

Достаточно полная модель путей эвакуации представлена в работе [4]. Целью работы является разработка методов решения задачи оценки обстановки и маршрутизации (ОМ) при техногенной аварии.

Для задач маршрутизации сформулированы ограничения и критерии, основанные на средних показателях времени и дозы заражения, указаны их типичные комбинации. На этой основе сформулированы базовые задачи поиска оптимальных путей, а также планов эвакуации и проведения аварийных работ при типичных сочетаниях ограничений и критериев по дозе заражения, времени и транспортным ресурсам, которые образуют иерархическую систему моделей и методов решения основных классов задач маршрутизации.

Задачи планирования эвакуации и перемещения аварийных бригад (АБ) рассматриваются независимо. Поскольку число АБ много меньше числа рейсов для эвакуации населения, они направляются для выполнения работ самостоятельно и, как правило, на своем транспорте.

Базовая задача поиска оптимального маршрута аварийной бригады ξ , расположенной в пункте k , для выполнения работ на объекте $o \in O$ имеет вид

$$\text{Задача 1.1. Найти} \quad \arg \min_{P_Q(k,l)} (t_{ko} + t_{ol}), \quad (1)$$

$$\text{где} \quad P_Q(k,l) = \arg \max_{p(k,o), p(o,l)} q_\xi(k,o,l),$$

$$\text{при} \quad T_\xi^o = T^o, \quad q_\xi(k,o,l) \geq 0.$$

ξ - номер АБ;

k - исходный пункт;

o - пункт проведения работ АБ;

l - приемный эвакуационный пункт (ПЭП);

$P(i,j)$ - множество маршрутов из пункта i в пункт j ;

p_{ko} - маршрут движения АБ из исходного пункта $k \in K$ в пункт $o \in O$;

t_{ko} - время движения АБ по маршруту из исходного пункта $k \in K$ в пункт $o \in O$;

p_{ol} - маршрут движения АБ из пункта $o \in O$ в пункт $l \in L$;

t_{ol} - время движения АБ по маршруту из пункта $o \in O$ в пункт $l \in L$;

T_ξ^o - время выполнения работы АБ в пункте $o \in O$;

T^o - продолжительности работ в пункте $o \in O$, причем для их выполнения может привлекаться одновременно не более одной бригады;

$$q_\xi(k,o,l) = Q_\xi^{\max} - Q_\xi^{kol},$$

где Q_ξ^{\max} - максимальная доза воздействия агрессивной среды (АС) на АБ;

Q_ξ^{kol} - ранее накопленная доза поражения АБ, а также воздействие АС, полученное, в среднем, каждым членом бригады ξ при движении из k в o , при работе в o и при движении из o в l .

Базовые задачи маршрутизации, связанные с поиском оптимального плана проведения аварийных работ, имеют вид:

$$\text{Задача 1.2. Найти} \quad \arg \min_{\pi \in \Pi} T_\pi. \quad (2)$$

$$\text{Задача 1.3. Найти} \quad \arg \max_{\pi \in \Pi} q_\pi. \quad (3)$$

$$\text{Задача 1.4. Найти} \quad \arg \min_{\pi \in \Pi} \bar{T}_{\pi}. \quad (4)$$

$$\text{Задача 1.5. Найти} \quad \arg \max_{\pi \in \Pi} \bar{q}_{\pi}. \quad (5)$$

где T_{π} (\bar{T}_{π}) – самое позднее (среднее) время окончания аварийных работ для всех N_k бригад;

q_{π} (\bar{q}_{π}) – минимальный (средний) сохраненный ресурс по дозе воздействия на бригады;

Π – множество всех перестановок номеров бригад;

$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{N_o})$ – некоторая перестановка номеров бригад, $\pi_i \in K$.

Базовые задачи оптимизации плана эвакуации принимают следующий вид:

$$\text{Задача 1.6. Найти} \quad \mu_Q^* = \arg \min_{\mu \in \mu(M)} Q_{\mu}. \quad (6)$$

$$\text{Задача 1.7. Найти} \quad \mu_T^* = \arg \min_{\mu \in \mu(M)} T_{\mu}. \quad (7)$$

где M – транспортный ресурс;

μ – распределение транспортного ресурса M между пунктами эвакуации;

Q_{μ} – максимальная доза воздействия по всем эвакуируемым группам;

T_{μ} – максимальное время эвакуации по всем эвакуируемым группам.

Предложены методы решения базовых задач оптимизации маршрутов для аварийных бригад, основанные на их сведениях к задачам поиска оптимальных маршрутов и транспортных задач различного типа, а также методы решения базовых задач оптимизации планов эвакуации населения, основанные также на их сведениях к задачам поиска оптимальных маршрутов. При этом в работе [4] не учитывается динамика ЧС и возможные изменения в сети дорог, связанные с распространением поражающих факторов.

В работе [5], на примере системы поддержки принятия решений реального времени RODOS, а также входящих в него модулей EVSIM и STOP, рассмотрена оптимизация процесса эвакуации населения из зоны поражения при радиационной аварии.

В работе [5] предложена модель, которая позволяет находить оптимальные маршруты не только по длине пути или по времени,

но и по дозе, которую получают эвакуируемые, выбирающие тот или иной маршрут.

В работе сделаны допущения:

- имеется стационарная зараженная зона, из которой надлежит провести эвакуацию;
- имеется карта дорог и населенных пунктов, где произошла авария;
- заданы типы дорог (грунтовые, шоссейные) и их пропускная способность;
- заданы количество населения и их распределение по возрастным группам.

Модуль STOP предназначен для решения задач организованной эвакуации трех типов.

Задача 1. Задача коммивояжера. Оптимизация может проводиться как по длине маршрута, так и по времени, а также по дозе, полученной автобусом, и, соответственно, людьми, в нем находящимися.

Задача 2. Необходимо определить такой маршрут транспортного средства, при котором доза, получаемая людьми в дороге, будет минимальной. С математической точки зрения эта задача соответствует задачи нахождения кратчайшего пути на графе.

Задача 3. Здесь необходимо учитывать возможности пересечения маршрутов различных колонн транспорта по времени и по дорогам, необходимо учитывать время, затрачиваемое на посадку, пропускные способности дорог и их распределение по типам (грунтовые, шоссейные) и т.д. С точки зрения математической постановки эти задачи используют аппарат теории расписаний.

Для решения данных задач используются следующие математические модели и алгоритмы:

1. Задача нахождения «оптимального» пути между двумя вершинами графа. Для решения этой задачи был использован метод Дейкстры.

2. Задача коммивояжера. STOP используются локально-оптимальные методы, которые являются аналогами известных в непрерывной оптимизации градиентных методов. Эти алгоритмы позволяют найти решение за приемлемое время [6,7].

3. Задача нахождения оптимальных времен начала эвакуации.

Пусть имеется n населенных пунктов, которые должны быть эвакуированы. Известен населенный пункт $n+1$, в который люди

будут ввозиться. Известен оптимальный путь эвакуации населенного пункта с номером и по критерию времени. Известно время задержки колон автобусов из населенного пункта с номером i в пункте назначения.

Данный алгоритм позволяет избежать пересечения маршрутов транспорта во времени, а также задержек транспорта в пути и аварий.

В работе [5] область загрязнения и сеть автодорог являются неизменными за время проведения эвакуации, т.е. расчет происходит на основе ретроспективной, а не прогностической информации.

В работе [8] решается проблема прокладывания оптимальной по времени прохождения трассы по цифровой (растровой) карте местности, состоящей из участков с различной степенью проходимости (в том числе по бездорожью).

Для сокращения вычислений векторные данные цифровой карты местности преобразовываются к матричному формату или растру качеств.

Растр качеств может быть представлен в виде матрицы:
 $R = \|r_{ij}\|, i=1\dots N; j=1\dots M,$

где r_{ij} – элемент растра качеств (соответствует скорости прохождения участка местности);

N, M – размеры растра качеств.

Поиск маршрута движения осуществляется на основе данных растра качеств с помощью волнового метода нахождения оптимальной траектории [9].

В работе [8] решается модель

$$T = \min_{k>0} w_k, \quad (8)$$

где T – оптимальная траектория движения;

w_k – значение k -го фронта волны;

$$w_k = w_{k-1} + r_{ij}.$$

На выходе алгоритма получается двумерный вектор с координатами сглаженной трассы. В виду возможного прохождения трассы вблизи от зоны поражения (при ЧС различной природы) и при следовании по данному пути техники и людей им может быть нанесен значительный ущерб. В работе [8] вводится критерий без-

опасности движения. При этом ограничением выступает пороговое значение вероятностного поражения (рис.1).



Рис. 1 – Введение в карту опасных зон и их влияние на последующий выбор оптимальной трассы [8]

В работе [8] найдено решение задачи прокладывания оптимальной по времени прохождения трассы по цифровой (растровой) карте местности, состоящей из участков с различной степенью проходимости (в частности по бездорожью).

При этом предложена методика прохождения трассы возле зон запрета (зон радиоактивного поражения или химического заражения). Данная работа может быть полезной при выборе пути экстренной эвакуации населения при отсутствии или разрушении дорожной сети.

Применимость модели (8) ограничена стационарным распределением поражающих факторов, поскольку динамика ЧС не учитывается.

В работе [10] решается задача поиска оптимального пути проезда пожарного расчета к месту пожара по критерию минимума времени, которая может быть использована при создании модели путей эвакуации. При этом делается вывод, что разработка модели минимизации времени проезда является необходимым условием определения кратчайшего пути следования к месту пожара. В связи с этим в работе разрабатывается модель времени проезда, как зависимость от значимых факторов дорожных условий, с возможностью ее уточнения и адаптации к изменяющимся внеш-

ним условиям. Задача решается с помощью методов эволюционного моделирования [11].

Для решения задачи делаются следующие допущения: структура дорог является прямоугольной. Каждый перекресток пронумеровывается в соответствии с центрально-радиальной схемой (рис. 2). Местонахождение пожарного подразделения имеет нулевой номер, наиболее отдаленному “северо-восточному” перекрестку отвечает наибольший номер. Количество перекрестков – N . Рассмотренной структуре дорог отвечает матрица расстояний между перекрестками $S = (s_{ij})_{i,j=0}^{N-1}$, где s_{ij} - расстояние от i -го к j -му перекрестку. При наличии информации о средней скорости движения пожарного расчета, матрице расстояний можно поставить в соответствие матрицу времени проезда между перекрестками $T = (t_{ij})_{i,j=0}^{N-1}$.

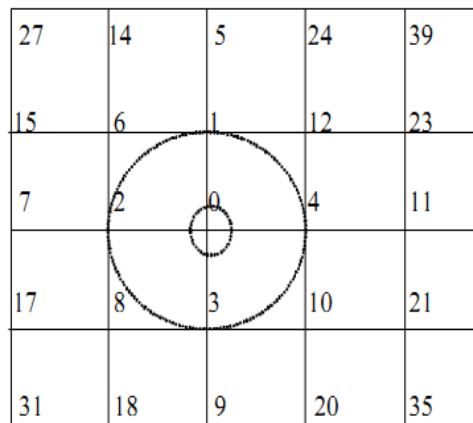


Рис. 2 – Центрально-радиальная нумерация перекрестков

Модель разрабатывается с учетом ограничений по количеству перекрестков по пути следования, загруженности дорог (среднее количество автомобилей на дороге в единицу времени), их качеству.

Для формирования целевой функции применяется два подхода. В первом случае необходимо иметь достаточное количество статистических данных. При этом модель имеет вид

$$T = (L, K, g, q), \quad (9)$$

где T - время следования пожарного расчета к месту пожара;

L – длина пути;

K - количество перекрестков, которые он проехал;

g - номер временного интервала;

q - показатель качества дорожного покрытия, который интегрирует в себе и погодные условия.

Во втором случае формирования целевой функции происходит эмпирически с использованием взвешивающих и поправочных коэффициентов. При этом используются данные матрицы T . Среднее время проезда из x_0 в x_n (по одному из маршрутов) определяется по формуле

$$T_v = \frac{\prod_{i=1}^3 w_i}{g_{t2}} \cdot k_{n2} \cdot \chi(v = g_{t1}) \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i}^n t_{ij} \cdot g_{ij} \cdot \chi(s \neq 0), \quad (10)$$

где w_1 – весовой коэффициент, который определяет значимость параметра количества перекрестков;

w_2 - весовой коэффициент, указывающий на важность параметра качества дорожного покрытия;

w_3 - весовой коэффициент важности временных интервалов;

g_{t1} - номер временного интервала;

g_{t2} - относительные частоты количества автомобилей в g_{i1} -м временном интервале;

k_{n2} - минимальное количество перекрестков, которое необходимо проехать при прохождении к k_{n1} ;

t_{ij} – время проезда от i -го к j -му перекрестку;

χ - функция-индикатор;

$\chi = 1 - \delta_{ij}$, где δ_{ij} – символ Кронекера, $\chi = \begin{cases} 1, & i \neq j; \\ 0, & i = j. \end{cases}$

v - номер временного интервала.

Построение функции (9) осуществляется аналитически и, в большинстве случаев, может быть теоретически обосновано. Зависимость (10) получают, исходя из эмпирических построений, и процедура ее реализации является достаточно длительной.

Работа [10] имеет следующие недостатки:

1. Не учитывается отсутствие или нарушение дорожной инфраструктуры, а также возможная динамика чрезвычайной ситуации.

2. Структура дорог является прямоугольной (см. рис. 2).
3. Исключается маршрутизация по бездорожью.

Одной из задач, рассматриваемых в работе [12], является синтез оптимального эвакуационного плана, включающий в себя формирование системы площадки посадки (ПП), формирование системы маршрутов колонн, распределение транспортных средств по маршрутам, распределение численностей эвакуируемых по маршрутам таким образом, чтобы время эвакуации было минимальным.

В работе построено развернутую модель, обеспечивающую планирование эвакуации населения города.

При этом использованы следующие принципы и допущения. Имеется сеть городских улиц, а также дорог и магистралей, выходящих в загородную зону. В рассматриваемой модели данная сеть представляется ориентированным графом, то есть набором вершин и направленных дуг. Вершины сети предполагаются трех типов. Тип 1 – площадки посадки, то есть места формирования, загрузки и отправления транспортных колонн. Тип 2 – промежуточные вершины, то есть места ответвления или пересечения улиц и магистралей. Тип 3 – места высадки эвакуируемых. Каждая дуга характеризуется длиной и набором некоторых свойств (количество полос, качество покрытия и др.). Данные свойства определяют среднюю скорость транспортных средств на данной дуге в зависимости от плотности загрузки дуги (количество автотранспортных средств на единицу длины).

Используя методы и алгоритмы решения оптимизационных задач [13,14] построена модель

$$\begin{aligned} \min_{X,A} \max_{1 \leq r \leq N} TM_r, X_1 + \dots + X_N \leq R; (IN(A IS))_k \leq c_k, k \in I_1; \\ (IN(A IS))_k \leq d_k, k \in I_3; X, A \geq 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где n – количество вершин в сети;

m – количество дуг в сети;

N – количество маршрутов в сети;

X_r – количество транспортных средств, выделенных на маршрут r ;

$X = (X_1, \dots, X_N)$ – вектор распределения транспортных средств по маршрутам;

R – общее количество распределяемых автотранспортных средств;

W – количество эвакуируемых, перевозимых транспортным средством;

l_j – длина j -ой дуги;

$l = (l_1, \dots, l_m)$ – вектор длин дуг;

L_r – протяженность r -го маршрута;

$L = (L_1, \dots, L_N)$ – вектор протяженностей маршрутов $L = (IS \ l)$;

a_r – количество эвакуируемых по маршруту r ;

$A = (a_1, \dots, a_N)$ – вектор распределения объемов перевозок (количество эвакуируемых) по маршрутам;

p_r – плотность потока на маршруте r ($p_r = X_r/L_r$);

$P = (p_1, \dots, p_N)$ – вектор плотностей потоков на маршрутах;

IS – матрица инцидентности маршрутов, размерности $N \times m$, показывает, какие дуги входят в маршруты, а именно $IS_{rj}=1$, если дуга j принадлежит маршруту r и $IS_{rj}=0$ иначе (под маршрутом понимаем некоторую последовательность сонаправленных дуг, начинающихся в одной из вершин типа 1 и заканчивающуюся в одной из вершин типа 3).

IN – матрица инцидентности графа сети, размерности $n \times m$, показывает структуру сети, а именно в какой вершине начинается каждая дуга и в какой заканчивается, $IN_{ij} = 1$, если дуга j начинается или заканчивается в вершине i и $IN_{ij} = 0$ иначе;

$((P \ IS)_1, \dots, (P \ IS)_m)$ – вектор плотностей потока на дугах;

u_j – средняя скорость движения автотранспортных средств по дуге j ;

$u_j = F_j((P \ IS)_j)$;

$V = (v_1, \dots, v_m)$ – вектор средних скоростей потока;

t_j – время прохождения дуги j транспортным средством ($t_j = l_j/v_j$);

$T = (t_1, \dots, t_m)$ – вектор времен прохождения транспортных средств по дугам сети;

$((IS \ T)_1, \dots, (IS \ T)_N)$ – вектор времен прохождения транспортных средств по маршрутам;

I_1 – множество индексов вершин типа 1 ПП;

I_2 – множество индексов вершин типа 2 (транзитные вершины);

I_3 – множество индексов вершин типа 3 (площадки высадки (ПВ));

s_k – общее количество эвакуируемых из вершины k типа 1 ($k \in I_1$);

d_k – максимальное количество эвакуируемых в вершину k типа 3 ($k \in I_3$);

$Y = ((A \ IS)_1, \dots, (A \ IS)_m)$ – вектор нагрузок дуг сети – общее количество эвакуируемых по дугам сети;

$((IN Y)_1, \dots, (IN Y)_n)$ – интегральный вектор потока по вершинам сети (сумма входящего и исходящего потоков);

$TM=(TM_1, \dots, TM_N)$ – вектор продолжительностей перевозок по маршрутам, согласно предписанным количествам эвакуируемых и распределенным автотранспортным средствам

$$TM_r = \begin{cases} 2 \cdot IS \cdot T \frac{a_r}{X_r W}, & a_r > 0, X_r > 0, \\ 0, & a_r = 0, X_r = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Работа не учитывает динамики ЧС и возможных изменений в сети дорог.

Одной из рассматриваемых задач в работе [15] является задача расчета оптимальных маршрутов доставки противопожарных сил и средств с учетом рельефа местности, на примере лесного пожара.

Для решения задачи используется волновой алгоритм (алгоритм Ли) [9] по критерию минимизации стоимости перехода из данной точки контура волны в текущую.

Система ограничений учитывает предельную скорость локализации, направление локализации относительно области ЧС, минимальное расстояние от заградительного барьера до границы области ЧС в момент локализации t .

Задача оптимальной маршрутизации при управлении борьбой с лесными пожарами рассмотрена в виде приближенного решения на графе-решетке типа «Манхэттен».

Модель [15] может быть полезной при выборе маршрута эвакуации при отсутствии или разрушении дорожной сети.

При решении задачи не учитывается возможная динамика чрезвычайной ситуации.

В работе [16] рассматривается математическая модель выбора оптимального маршрута между различными объектами, фиксированными как вершины ориентированного графа (задача коммивояжера). Критерий решения задачи – минимизация длины маршрута.

Весы дуг графа задаются его матрицей смежности A порядка N .

Вводится функция

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в циклическом маршруте вершина } i \\ & \text{непосредственно предшествует вершине } j, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Модель произвольного маршрута L по матрице A имеет вид

$$L = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N x_{ij} * a_{ij}, \quad (13)$$

где a_{ij} - вес (расстояние) между вершинами графа i и j , $i, j = \overline{1, N}$;

N – порядок матрицы A ;

X_{ij} – введенная функция.

Модель расчетного маршрута L_p

$$L_p = \sum_{i=1}^N a_{i,i+1}, \quad (14)$$

где $a_{i,i+1}$ – элементы матрицы $A(1)$, которые соответствуют дугам расчетного маршрута.

В работе [16] решается задача нахождения оптимального пути в условиях развитой дорожной инфраструктуры.

В задаче не рассматривается вопрос нахождения оптимальных маршрутов в случае отсутствия или разрушения транспортной сети. Также задача не решает вопрос нахождения оптимальных маршрутов при наличии ЧС и динамики ее изменения.

Проведенный анализ демонстрирует, что решение существующих задач предполагает использование одного из вариантов – либо нахождение оптимального пути на графе (в т.ч. решеточном), либо методов имитационного моделирования.

Выводы. Анализ работ продемонстрировал отсутствие моделей, позволяющих в континуальной (нерешеточной) постановке найти оптимальные маршруты полной экстренной эвакуации населения из динамической зоны ЧС, когда часть или вся дорожная сеть оказывается недоступной и когда скорость перемещения эвакуируемых колонн зависит от степени воздействия на нее агрессивной среды [17]. Не получила решения задача оперативного отыскания маршрутов эвакуации как по доступной динамичной транспортной сети, так и в условиях бездорожья. Представляется

перспективним використання алгоритма «встречной волны» в континуальній постановці спільно з векторно-функціональною моделлю місцевості [18], дозволяючої урахувати наявність зон заборони для руху.

ЛИТЕРАТУРА

1. Про єдину державну систему запобігання і реагування на НС техногенного та природного характеру. Постанова КМУ № 1198, 1998 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1198-98-%EF>
2. Концепція захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій. Указ Президента України, 1999 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/txt/?doc=laws/laws/law284_99
3. Про затвердження Положення про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Постанова КМ України N 1432, 2001 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP011432.html
4. Коба К.М. Моделі і методи розв'язання задач маршрутизації при ліквідації наслідків техногенних аварій / К.М. Коба // Дис. канд. техн. наук: 01.05.02. – Харків: ХНУРЕ. – 2005. – 160 с.
5. Глушкова В.В. Оптимізація процесу евакуації населення в разі радіаційної аварії / В.В. Глушкова, А.А. Седлецкий, Д.А. Седлецкий // Математические машины и системы. – 1998. - №1. – С. 89-94.
6. Сергиенко И.В. Локальные методы дискретной оптимизации / И.В. Сергиенко, Т.Т. Лебедева, В.А. Рощин // - Киев: Наукова думка. – 1980. – 281 с.
7. Каспицкая М.Ф. Некоторые задачи решения коммивояжера / М.Ф. Каспицкая, В.В. Глушкова // Кибернетика. – 1985. - №5. – С.45-51.
8. Данилкин Ф.А. Трассировка маршрута движения по цифровым картам местности / Ф.А. Данилкин, Д.С. Наумов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Вып. 31. – Рязань: РГРТУ. – 2010. - № 1. - С.86-88.

9. Кемурджиан А.Л. Метод встречных волн в задаче выбора трассы подвижного робота / А.Л. Кемурджиан, А.К. Платонов, В.Н. Каширин и др. // М: Препр./Ин-т прикл. математики им. М.В. Келдыша АН СССР. - 1985. - № 52.
10. Снитюк В.Е., Джулай А.Н. Эволюционный метод определения кратчайшего пути проезда пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска / В.Е. Снитюк, А.Н. Джулай // XII-th International Conference Knowledge-Dialogue-Solution June 20-25, 2006, Varna (Bulgaria).
11. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик // М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2003. – 432 с.
12. Косоруков О.А. Управляющая система проведения эвакуации из крупных городов на основе комплекса оптимизационных математических моделей / О.А. Косоруков, А.И. Овсяник, О.В. Виноградов // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КГТУ. – 2006. - №6. – С. 163-169.
13. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
14. Макконел Дж. Основы современных алгоритмов. 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
15. Ушанов С.В. Оптимальная маршрутизация при управлении борьбой с лесными пожарами / С.В. Ушанов, О.В. Фадеенков // Хвойные бореальные зоны. - Красноярск: СибГТУ. - 2007. - №4-5, - С. 405-407.
16. Моргунов И.Б. Разработка математической модели выбора оптимального маршрута / И.Б. Моргунов // Вестник уфимского государственного авиационного технического университета. - Уфа: УГАТУ. – 2008. - №1. - С.194–199.
17. Беляев В.Ю. Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения по существующей сети автодорог / Беляев В.Ю., Тарасенко А.А.// Проблемы надзвичайних ситуацій. - 20011. - Вип. 13. - С. 39-46.
18. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій // Проблемы надзвичайних ситуацій. - 2008. - Вип. 8. - С. 185-193.

Беляев В.Ю., Тарасенко О.А.

Аналіз математичних моделей знаходження оптимальних шляхів екстреної евакуації населення

Проведено аналіз існуючих моделей знаходження оптимальних шляхів екстреної евакуації населення. Показано, що в літературі відсутні континуальні моделі знаходження оптимальних шляхів при наявності динаміки вражаючих факторів надзвичайної ситуації, а також при пошкодженні або недоступності мережі доріг.

Ключові слова: евакуація населення, шляхи евакуації, моделі оптимального шляху евакуації

Belyaev V.U., Tarasenko A.A.

Analysis mathematical models finding the optimal routes emergency evacuation of the population

An analysis existing models finding the optimal routes emergency evacuation of the population is carried out. It is shown that in the literature none continual models finding the optimal routes when availability dynamics impressive factors emergency situation, as well as in injuries or unavailable network roads.

Key words: evacuation of population, evacuation routes, model of optimal

УДК 614.8

*Вальченко О.І., канд. військ. наук, доц., НУЦЗУ,
Барбашин В.В., канд. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ*

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ МНС ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ

(представлено д-ром хім. наук Калугінім В.Д.)

Пропонується методичний підхід, який дозволяє визначити варіант розподілу підрозділів МНС по завданнях, в якому їх можливості реалізуються максимально

Ключові слова: моделювання, аварія, ліквідація наслідків

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується неухильним ростом ядерної енергетики і хімічної промисловості. Розвиток виробництв із ядерними і хімічно небезпечними компонентами характеризуються принциповою неможливістю надання повної гарантії безаварійної роботи

Моделювання дій підрозділів МНС при вирішенні завдань ліквідації наслідків аварії на потенційно небезпечному об'єкті