
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

УДК 629.01
ББК 39.1в631
К 95

Кучер В.А.

Кандидат технических наук, профессор института информационных технологий и безопасности университетского комплекса Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, тел. (861) 253-47-31

Макарян А.С.

Аспирант института информационных технологий и безопасности университетского комплекса Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: msanya@yandex.ru

Оптимизационная математическая модель решения задачи автоматизированного планирования транспортного обеспечения в условиях чрезвычайной ситуации (Рецензирована)

Аннотация

Разработка планов по управлению транспортной инфраструктурой в условиях ограниченных ресурсов и чрезвычайной ситуации (ЧС) является весьма трудоемким и не до конца формализованным процессом. Повышение эффективности деятельности органов управления, обеспечивающих математическую поддержку внедрения современных методов планирования транспортных мероприятий на основе геоинформационных технологий, является чрезвычайно актуальным. В связи с этим рассмотрены характеристики процесса эвакуации – набор исходных данных и объектов, участвующих в процессе, предложена постановка двухэтапной математической задачи транспортных мероприятий, оптимизационная модель эвакуации.

Ключевые слова: *чрезвычайная ситуация, эвакуация, транспортные мероприятия, математическая оптимизационная модель, принятие решений.*

Kucher V.A.

Candidate of Technical Sciences, Professor of Institute of Information Technologies and Security, University Complex of the Kuban State University of Technology, Krasnodar, ph. (861) 253-47-31

Makaryan A.S.

Post-graduate student of Institute of Information Technologies and Security, University Complex of the Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: msanya@yandex.ru

Optimized mathematical model of problem solving for the automated transport planning in the emergency situation

Abstract

Development of plans on management of transport infrastructure in the conditions of limited resources and the emergency situation (ES) is very labor-consuming and not up to the end formalized process. Efficiency increase in activity of the governing bodies providing mathematical support to introduce modern transport planning methods on a basis of geoinformation technologies is extremely relevant. In this regard we examine characteristics of evacuation – a set of basic data and the objects participating in this process. A statement of a two-stage mathematical problem of transport actions and the optimized model of evacuation are proposed.

Keywords: *emergency situation, evacuation, transport actions, optimized mathematical model, decision-making.*

Процесс эвакуации населения как один из вопросов ликвидации аварийных ситуаций может быть определен как удаление жителей из опасной области в безопасное место как можно быстрее и надежнее. В процессе аварийных мероприятий может возникнуть большое количество проблем, влияющих на принятие конечных решений по эвакуации населения. Очевидно, что для автоматизированного планирования вывоза населения из опасных зон необходимо иметь определенный набор исходных данных [1]. Данный набор может быть представлен следующим образом:

- тип области, в которой определена ЧС (географическая информация и геоинформационная информация);
- оценка поведения людей в панической ситуации;
- данные о пострадавших (возраст, пол, количество);
- источник и эпицентр ЧС (точные данные и координаты);
- опасность и скорость распространения ЧС;
- безопасные направления эвакуации (ближайшие сборные эвакуационные пункты, промежуточные пункты сбора);
- состояние транспортной сети и транспортных развязок;
- информация об аварийной службе, закрепленной за районом бедствия, и данные о взаимодействии с ней;
- метеорологические и астрономические условия.

В данной статье рассматривается математическая постановка и оптимизационная двухэтапная модель транспортных эвакуационных мероприятий с учетом указанных исходных данных.

Общая формулировка задачи эвакуации населения из зоны ЧС может быть представлена следующим образом.

Первый этап решения оптимизационной задачи (задача «коммивояжера»)

Обозначим:

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ – совокупность пунктов сбора (ПС), которые должны быть обслужены сборным эвакуационным пунктом (СЭП);

$1 \leq i \leq p$ – число СЭП, закрепленных за данным муниципальным образованием (МО);

$f_i(x_{i1}, \dots, x_{im})$ – значение целевой функции, характеризующей процесс эвакуации i -ым СЭПом и представляющий собой решение задачи «коммивояжера» для включенных пунктов сбора. В качестве значения функции f_i примем время выполнения задачи в сопоставимых единицах (часы, минуты):

$$f: X \rightarrow T, \quad (1)$$

где $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ и $X = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$ – непустые множества.

Рассмотрим алгоритм получения значений целевой функции.

Пусть известны расстояния между ПС s_{ij} , $\|s_{ij}\|$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$ – матрица расстояний. Элементы $s_{ii} = \infty$, $s_{ij} \geq 0$. Предполагается, что матрица $\|s_{ij}\|$ не обязательно симметричная, при этом длина пройденного пути должна быть минимальной.

Математическая запись целевой функции, характеризующей процесс эвакуации i -ым СЭПом, будет иметь вид:

$$f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где i, j – пункты сбора, s_{ij} – расстояния между ПС, x_{ij} – матрица переходов $\{0;1\}$, n – количество ПС.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad i \neq j, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где для обеспечения непрерывности маршрута вводятся дополнительно n переменных $u_i \geq 0$ и $u_j \geq 0$.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если транспорт проезжает из пункта } i \text{ в пункт } j, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (6)$$

Ограничение (3) показывает, что транспорт въезжает в каждый пункт только один раз; ограничение (4) обеспечивает построение маршрута, на котором единица из каждого пункта выезжает только раз; ограничение (5) устраняет возникающие на сети подциклы [2].

Таким образом, если принять СЭПы за вершины коммуникационной сети, а транспортные коммуникации между ними – за дуги, то решение задачи будет заключаться в построении системы управляющих матриц, которые будут показывать зависимость времени прохождения транспортной единицы по дугам от динамики движения других единиц по коммуникационной сети. Управляющие матрицы будут показывать отношение маршрутов и дуг (в маршруты каких колонн входит отдельно взятая дуга (матрица инцидентности дуг по отношению к маршрутам)), временные графики прибытия транспорта (графики прибытия транспорта в вершины сети), время прохождения единиц транспорта по дугам сети.

Второй этап решения оптимизационной задачи

Совокупность ПС, которые находятся в зоне обслуживания СЭП, можно представить как подмножество множества ПС данной области. Причем на множество пунктов сбора устанавливаем отношение эквивалентности: обслуживание i -ым СЭПом, что обеспечивает разбиение на непересекающиеся подмножества. В каждом таком подмножестве предполагается решение задачи коммивояжера, результатом которой будет некоторое время прохождения транспортом всей заданной области t_i .

Необходимо также ввести ограничения задержки транспорта по времени в каждом из СЭП, что будет накладывать изменения на выбор маршрута при расчете. Также ограничениями для модели будут выступать пропускные способности дуг (дорог).

В связи с этим, второй промежуточной моделью рассматриваемой задачи, обеспечивающей оптимизацию процесса, будет:

$$T = \max (t_{ij}) \quad (7)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Ограничение (8) показывает, что количество транспорта должно быть больше либо равно количеству запрашиваемого для транспортировки; ограничение (9) показывает, что запросы на транспортировку должны быть полностью удовлетворены (транспортная задача по критерию времени).

Визуализация моделирования может быть проведена с использованием разработанной системы, которая основывается на геоинформационных технологиях и является основой для принятия решений в процессе эвакуации (рис. 1), [3-5].

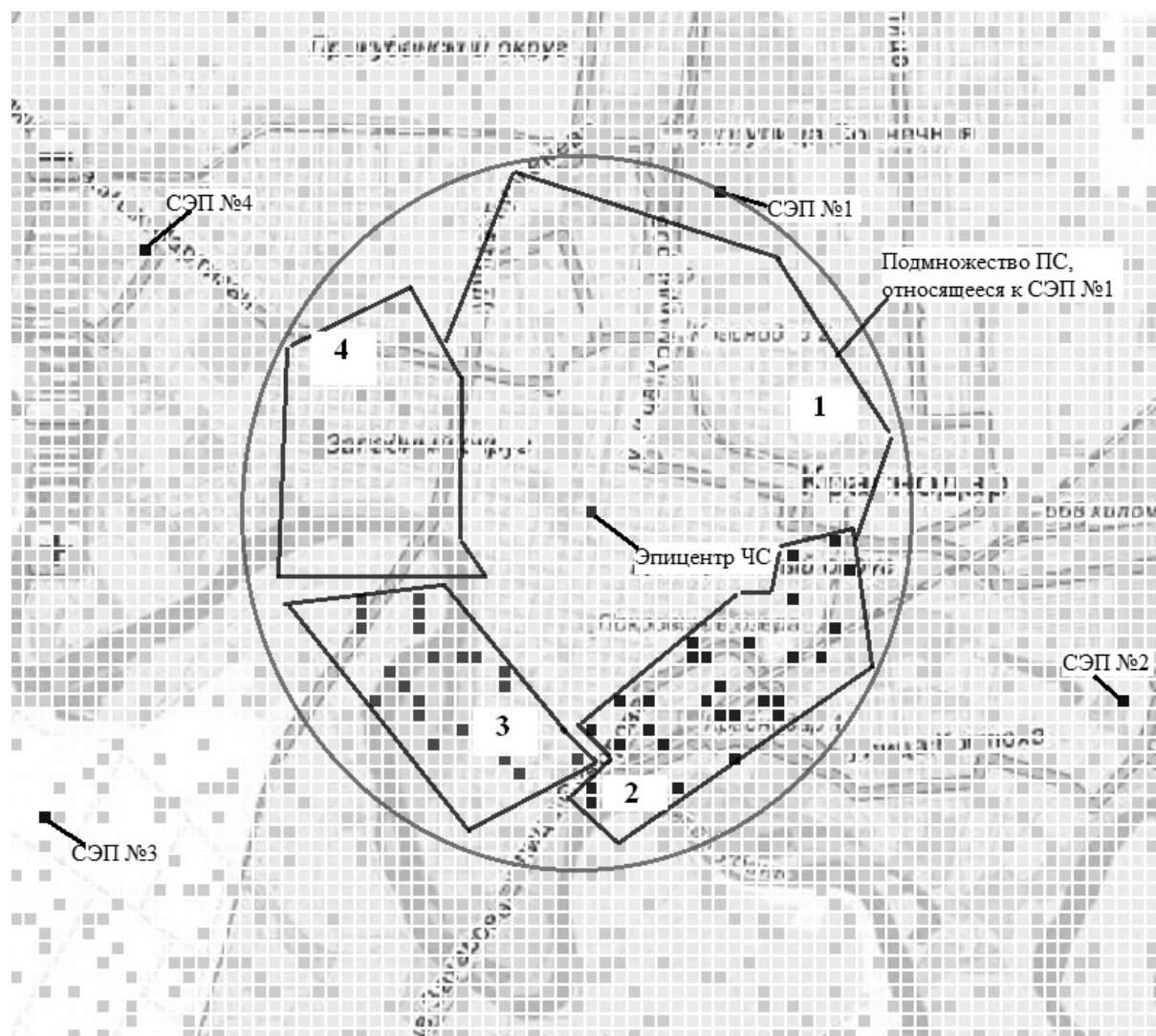


Рис. 1. Тестовый пример работы системы автоматизированного планирования вывоза населения

В данной тестовой модели можно наблюдать: эпицентр ЧС, зону действия и распространения ЧС (выделена овальным контуром), четыре СЭПа, которые обозначены номерами, ПС, разбитые на подмножества, относящиеся к конкретным СЭПам. Так, например, область, обозначенная под номером 1, относится к СЭПу №1, т.е. этот сборный эвакуационный пункт обслуживает все пункты сбора, входящие в данную область. В каждой области проходит реализация алгоритма решения задачи коммивояжера, после чего можно судить о времени эвакуации в данной области.

Таким образом, решая задачу коммивояжера для всех получившихся областей, получим искомое время T , которое будет максимальным из всех T данных разбиений (разбиения 1-4), а минимизация общего времени эвакуации путем нормализации областей разбиения пунктов сбора по СЭПам может явиться следующим шагом оптимизации.

Примечания:

1. Матвеев А.В., Коваленко А.И. «Основы организации защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени: Учебное пособие» СПб.: редакционно-издательский центр ГУАП, 2007. 223 с.
2. Лебедева Г.И., Микулик Н.А. «Прикладная математика. Математические модели в транспортных системах: Учебное пособие» Минск: «Асар», 2009. 512 с.
3. Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. «Геоинформатика» Учебник для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 480 с.
4. Черноруцкий И.Г. «Методы оптимизации в теории управления: Учебное пособие» СПб.: Питер, 2004. 256 с.
5. Черноруцкий И.Г. «Методы принятия решений» СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

References:

1. Matveev A.V., Kovalenko A.I. Foundations of the organization of protection of population and territories in emergency of peace and wartime: a manual. SPb.: GUAP publishing center, 2007. 223 pp.
2. Lebedeva G.I., Mikulik N.A. Applied mathematics. Mathematical models in transport systems: a manual. Minsk: Asar, 2009. 512 pp.
3. Koshkarev A.V., Tikunov V.S. Geoinformatics: a textbook for students of higher schools. M.: Akademia publishing center, 2005. 480 pp.
4. Chernorutskiy I.G. Optimization methods in control theory: a manual. SPb.: Piter, 2004. 256 pp.
5. Chernorutskiy I.G. Methods of decision-making. SPb.: BKhV-Petersburg, 2005. 416 pp.