

## ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТОВ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Т.Ж. Мазаков<sup>1</sup>, А.Д. Бургегулов<sup>1</sup>, Ш.А. Джомартова<sup>1</sup>, А.Т. Мазакова<sup>1\*</sup>,  
А.А. Саметова<sup>1,2</sup>, А.Т. Досаналиева<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,  
e-mail: tmazakov@mail.ru

Данная работа посвящена построению маршрутов для эвакуации сотрудников из здания при возникновении ЧС. Рассматривается система пожаротушения и управления пожаром, а также системы оповещения и эвакуации граждан. Для построения оптимальных путей эвакуации применима теория графов. Также существуют много методов решения, пригодных для практического использования. Разработано программное обеспечение для ЭВМ "Программа построения маршрутов для эвакуации сотрудников из здания при возникновении ЧС". Оно предназначено для расчета маршрутов эвакуации сотрудников учреждений или жителей многоэтажных домов при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС). Программа помещает результаты численных расчетов в текстовый файл. Результаты численных расчетов отображаются в виде графа. В заключении представлены перспективы развития систем пожарной безопасности в будущем.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, искусственный интеллект, графы, контроллер, микропроцессорная система, датчики температуры и давления.

## ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙ ТУЫНДАҒАН КЕЗДЕ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІ ҒИМАРАТТАН ЭВАКУАЦИЯЛАУ ҮШІН МАРШРУТ ҚҰРУ

Т.Ж. Мазаков<sup>1</sup>, А.Д. Бургегулов<sup>1</sup>, Ш.А. Джомартова, А.Т. Мазакова<sup>1\*</sup>,  
А.А. Саметова<sup>1,2</sup>, А.Т. Досаналиева<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,  
e-mail: tmazakov@mail.ru

Бұл жұмыс төтенше жағдай туындаған кезде қызметкерлерді ғимараттан оқшаулау маршруттарын құруға арналған. Мұнда өрт сөндіру және өртті басқару жүйесі, сондай-ақ, азаматтарды хабардар ету және эвакуациялау жүйелері қарастырылады. Оқшаулаудың оңтайлы жолдарын құру үшін графтар теориясы қолданылады. Сонымен қатар, практикалық қолданысқа жарамды шешімнің көптеген әдістері бар. "Төтенше жағдай туындаған кезде қызметкерлерді ғимараттан эвакуациялау үшін маршруттар құру бағдарламасы" деп аталатын ЭЕМ үшін бағдарламалық қамтама әзірленді. Ол төтенше жағдай (ТЖ) туындаған кезде мекеме қызметкерлерін немесе көп қабатты үйлердің тұрғындарын эвакуациялау маршруттарын есептеуге арналған. Бағдарлама сандық есептеулердің нәтижелерін мәтіндік файлға орналастырады. Сандық есептеулердің нәтижелері граф түрінде көрсетіледі. Қорытындыда болашақта өрт қауіпсіздігі жүйесін дамыту перспективалары ұсынылған.

**Түйін сөздер:** өрт қауіпсіздігі, жасанды интеллект, графтар, контроллер, микропроцессорлық жүйе, температура мен қысым датчиктері.

---

## BUILDING ROUTES FOR EVACUATION OF EMPLOYEES FROM THE BUILDING IN CASE OF EMERGENCY SITUATION

T.Zh. Mazakov<sup>1</sup>, A.D. Burgegulov<sup>1</sup>, Sh.A. Jomartova<sup>1</sup>, A.T. Mazakova<sup>1\*</sup>,  
A.A. Sametova<sup>1,2</sup>, A.T. Dossanaliyeva<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering and Communications,  
Almaty, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: tmazakov@mail.ru

This paper is devoted to the construction of routes for evacuation of employees from the building in case of an emergency situation. Fire extinguishing and fire control system as well as public address and evacuation systems are considered. Graph theory is applicable to construct optimal evacuation routes. There are also many solution methods suitable for practical use. Computer software "Program for building routes for evacuation of employees from the building in case of emergency" was developed. It is designed to calculate evacuation routes for employees of institutions or residents of high-rise buildings in case of an emergency situation. It is designed to calculate evacuation routes for employees of institutions or residents of high-rise buildings in case of an emergency situation. The results of numerical calculations are displayed in the form of a graph. The conclusion presents the future prospects for the development of fire safety systems.

**Keywords:** fire safety, artificial intelligence, graphs, controller, microprocessor system, temperature and pressure sensors.

**Введение.** Пожары представляют собой одно из самых губительных деструктивных явлений, непрерывно появляющихся в жизни людей с начала существования человеческой цивилизации. С того времени, как человек научился добывать огонь, последний наносит заметно чаще существенный, порой необратимый вред всем биосистемам на планете: их популяции, среде обитания.

Новые возникшие трудности с пожароопасными условиями в настоящее время появились с процветанием научно-технического прогресса, электрической техники и оборудования, возникновением сложных технологий, массового применения углеродородных веществ и материалов, ростом преступности, влиянием политических и социально-экономических проблем, растущего социального неравенства и разногласий. В совокупности вышеперечисленных факторов происходит увеличение вероятности появления аварий и катастроф и повышение социально-экономических потерь от них.

Усугубление ситуации обеспечивают устаревшие противопожарные системы с недостаточным уровнем результативности осуществления и реализации, положенных на нее целей, задач и функций, с падением уровня научно-технического развития данной деятельности, также одной из первопричин является отсутствие комплексности решения этой проблемы

государством.

**Материалы и методы.** Разработка специальных методов и вычислительных алгоритмов и программно-аппаратных комплексов, позволяющих в реальном времени предупреждать, строить оптимальные маршруты при возникновении ЧС являются актуальной проблемой [1-3].

### **Входные и выходные данные:**

Входные и выходные данные организованы в виде отдельных файлов и содержат информацию одного из перечисленных ниже типов:

- характеристики здания;
- результаты численных расчетов.

**Результаты и обсуждение. Описание алгоритма.** Здание описывается следующей структурой, размещаемой в текстовом файле F1zdan.txt:

В первой строке последовательно размещается следующая информация (в виде целых чисел): 1) количество этажей - Ne, 2) количество кабинетов Nk, 3) количество лестниц Nl, 4) количество выходов Nv.

Далее построчно размещается информация о каждом кабинете: 1) номер кабинета, 2) номер этажа, на котором находится кабинет, 3) количество людей, размещаемых в данном кабинете.

Далее построчно размещается информация о каждой лестнице: 1) номер лестницы, 2) номер этажа, на котором находится лестница.

Далее построчно размещается информация о связях между объектами. Под объектами здесь предполагаются кабинеты, лестницы и выходы.

Связь представляется следующим образом: первый объект, связанный с ним объект, тип связи и расстояние между объектами.

Тип связи может принимать следующие значения  
1 - кабинет связан с лестницей,

2 - кабинет связан с выходом,  
3 - лестница связана с лестницей,  
4 - лестница связана с выходом.

*Например.* Запись вида 1 2 1 100

означает, что первый кабинет связан с лестницей №2 и расстояние от кабинета до лестницы равно 100 метрам.

На рисунках 1 и 2 приведен вид здания, состоящего из двух этажей, пяти кабинетов, трех лестниц и двух выходов.

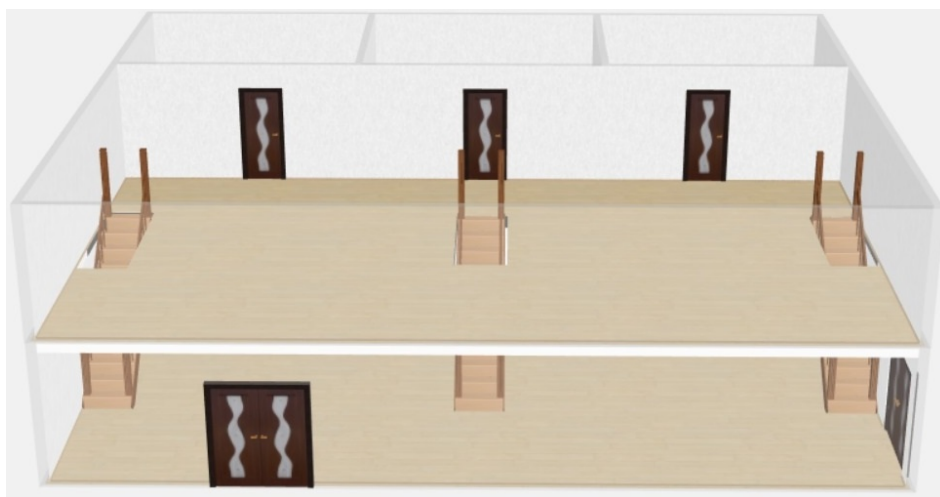


Рис. 1 - Вид здания спереди

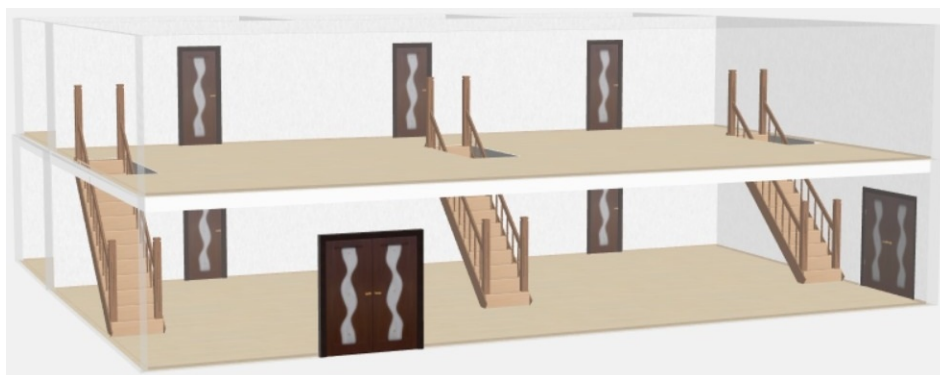


Рис. 2 - Вид здания сбоку

На рисунке 3 приведена информация о модельной структуре здания.

```

f1zdan.txt – Блокнот
Файл  Правка  Формат
| 2 5 3 2
1 1 3
2 1 4
3 2 2
4 2 5
5 2 7
1 1
2 1
3 1
1 1 2 100
1 2 2 50
2 1 2 60
2 2 2 65
3 1 1 10
3 2 1 20
4 1 1 55
4 2 1 30
4 3 1 60
5 1 1 42
5 3 1 25
1 1 4 20
1 2 4 15
2 1 4 35
2 2 4 70
3 1 4 15
3 2 4 5

```

Рис. 3 - Содержимое файла F1zdan.txt

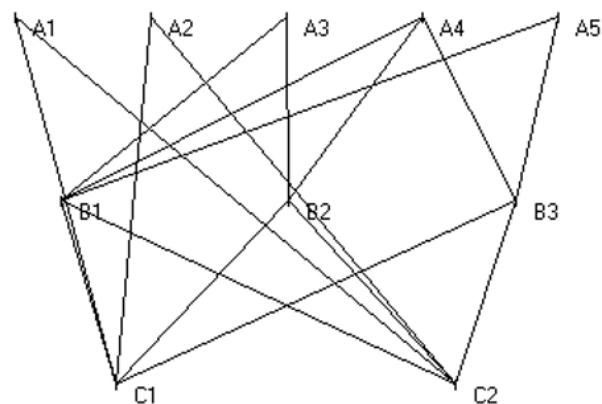


Рис. 4 - Вид экрана с отображением полученного графа

Для построения оптимальных путей эвакуации применим теорию графов [4-6].

На основе имеющейся информации построим граф с вершинами

$V_i, i = \overline{1, N}$ , где  $N = N_k + N_l + N_v$  - общее количество объектов.

На основе информации о связях между объектами определяется матрица связей  $M_{ij}, i, j = \overline{1, N}$ .

Далее для всех кабинетов строится матрица кратчайших путей до всех объектов  $Dl_{ij}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}$ . Здесь  $i$  - номер кабинета,  $j$  - номер объекта.

Ниже приводится содержимое файла Result.txt

KolEtj=2 KolKab=5 KolLes=3 KolVix=2 KolVer=10

Для каждого кабинета  $i$  определяется выход  $i_j$  из условия минимума расстояния от кабинета до выхода:

$$\min Dl_{ij}$$

Далее от выбранного выхода до рассматриваемого кабинета восстанавливается кратчайший путь.

Программа помещает результаты численных расчетов в текстовый файл. Результаты численных расчетов отображаются в виде графа [7-8].

Во время работы программы выводится исследуемый граф (Рисунок 4).

Kabinet

Kab=1 Etaj=1 Ludi=3  
 Kab=2 Etaj=1 Ludi=4  
 Kab=3 Etaj=2 Ludi=2  
 Kab=4 Etaj=2 Ludi=5  
 Kab=5 Etaj=2 Ludi=7

Lestnizi

Lest=1 Etaj=1  
 Lest=2 Etaj=1  
 Lest=3 Etaj=1

Vixod

Vixod=1  
 Vixod=2  
 Etaj=1 Ludi=7  
 Etaj=2 Ludi=14

razmer= 465 369

1 1 1 2 100 1 9  
 2 1 2 2 50 1 10  
 3 2 1 2 60 2 9  
 4 2 2 2 65 2 10  
 5 3 1 1 10 3 6  
 6 3 2 1 20 3 7  
 7 4 1 1 55 4 6  
 8 4 2 1 30 4 7  
 9 4 3 1 60 4 8  
 10 5 1 1 42 5 6  
 11 5 3 1 25 5 8  
 12 1 1 4 20 6 9  
 13 1 2 4 15 6 10  
 14 2 1 4 35 7 9  
 15 2 2 4 70 7 10  
 16 3 1 4 15 8 9  
 17 3 2 4 5 8 10

Rast

str=1 0 0 0 0 0 0 0 0 100 50  
 str=2 0 0 0 0 0 0 0 0 60 65  
 str=3 0 0 0 0 0 10 20 0 0 0  
 str=4 0 0 0 0 0 55 30 60 0 0  
 str=5 0 0 0 0 0 42 0 25 0 0  
 str=6 0 0 0 0 0 0 0 0 20 15  
 str=7 0 0 0 0 0 0 0 0 35 70  
 str=8 0 0 0 0 0 0 0 0 15 5  
 str=9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 str=10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

zickl = 1

DL = 0 10000 10000 10000 10000 10000 10000 10000 10000 100 50

Min ot kab 1 do vixoda 2 = 50

1 -> 10

zickl = 2

DL = 10000 0 10000 10000 10000 10000 10000 10000 10000 60 65

Min ot kab 2 do vixoda 1 = 60

2 -> 9

```

zikl = 3
DL = 10000 10000 0 10000 10000 10 20 10000 30 25
Min ot kab 3 do vixoda 2 = 25
3 -> 6 -> 10
zikl = 4
DL = 10000 10000 10000 0 10000 55 30 60 65 65
Min ot kab 4 do vixoda 1 = 65
4 -> 7 -> 9
zikl = 5
DL = 10000 10000 10000 10000 0 42 10000 25 40 30
Min ot kab 5 do vixoda 2 = 30
5 -> 8 -> 10

```

**Выводы.** В статье предложено математическое и программное обеспечение, позволяющее в реальном масштабе времени определять оптимальные маршруты для эвакуации людей из здания.

Возможности программы продемонстрированы на модельной задаче. В дальнейшем предполагается включить полученные результаты в программно-аппаратный комплекс, обеспечивающей оператив-

ный контроль здания и своевременное оповещение сотрудников о возникновении чрезвычайной ситуации [9-10].

*Работа выполнена за счет средств НИИ математики и механики при КазНУ имени аль-Фараби и грантового финансирования научных исследований на 2023-2025 годы по проекту AP19678157.*

### Литература

1. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях. - М.: Стройиздат.-1988.- 448 с. (in Russ).
2. Колодяжный С.А. Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в многофункциональных центрах // Авт.доктор.дисс. спец. 05.26.03.- 2017.- 48 с. (in Russ).
3. Акперов Р.Г. Экспериментально-теоретический подход к расчету времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре в производственных зданиях гидроэлектростанций // Авт.канд.дисс. спец. 05.26.03. 2018. -28 с. (in Russ)
4. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ (3-е издание). - М.: Издательский дом «Вильямс».- 2013. (in Russ).
5. Intelligent Buildings: Design, Management & Operation / edited by Derek Clements-Croome. - London: Thomas Telford Publishing, 2004. -408 p. (in Eng).
6. Бурегулов А.Д., Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З., Саметова А.А., Джолдасова Б.У. Применение интеллектуальных систем пожарной безопасности в умных городах // Вестник КазУТБ. - Нур-Султан/-2023. -№ 2(19). - стр. 7-20. (in Russ).
7. Платт Ч. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. - СПб.: БХВ-Петербург.-2015.- 448 с. (in Russ)
8. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. -М.: Мир.- 1981. (in Russ)
9. Nacci, A.A., Balaji, B., Spoletini, P., Gupta, R., Sciuto, D., & Agarwal, Y. Building Depot 2.0: An integrated management system for building analysis and control. Building Services Engineering Research and Technology-2016. - 37(6). -pp. 675-693. (in Eng)
10. Balaji, B., & Agarwal, Y. Building OS: a system for building analysis and control. - ACM Transactions on Cyber-Physical Systems.-2016.-1(1).-pp. 1-28. (in Eng)

### References

1. Astapenko V.M., Koshmarov Ju.A., Molchadskij I.S., Shevljakov A.N. Termogazodinamika

- pozharov v pomeshhenijah. - M.: Strojizdat.-1988.- 448 s. (in Russ).
- 2.Kolodjazhnyj S.A. Prognozirovanie vremeni blokirovaniya putej jevakuacii opasnymi faktorami pozhara v mnogofunkcional'nyh centrakh // Avt.doktor.diss. spec. 05.26.03.-2017. -48 s. (in Russ).
- 3.Akperov R.G. Jeksperimental'no-teoreticheskij podhod k raschetu vremeni blokirovaniya putej jevakuacii toksichnymi produktami gorenija pri pozhare v proizvodstvennyh zdaniyah gidrojelektrostancij // Avt.kand.diss. spec. 05.26.03.-2018.-28 s. (in Russ).
- 4.Kormen T.H., Lejzerson Ch.I., Rivest R.L., Shtajn K. Algoritmy. Postroenie i analiz (3-e izdanie). - M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams».-2013. (in Russ).
- 5.Intelligent Buildings: Design, Management & Operation / edited by Derek Clements-Croome. - London: Thomas Telford Publishing.-2004.- 408 p. (in Eng).
- 8.Majnika Je. Algoritmy optimizacii na setjah i grafah. - M.: Mir.-1981. (in Russ).
- 9.Nacci, A.A., Balaji, B., Spoletini, P., Gupta, R., Sciuto, D., & Agarwal, Y. Building Depot 2.0: An integrated management system for building analysis and control. Building Services Engineering Research and Technology, 2016. -37(6).-pp. 675-693. (in Eng).
- 10.Balaji, B., & Agarwal, Y. Building OS: a system for building analysis and control. - ACM Transactions on Cyber-Physical Systems.-2016. -1(1). -pp. 1-28. (in Eng).

***Сведения об авторах***

- 1.Мазиков Т.Ж. - доктор физико-математических наук, профессор Казахского национального университета имени аль-Фараби, e-mail: tmazakov@mail.ru;
- 2.Бурегулов А.Д. - докторант КазНУ имени аль-Фараби, e-mail: dizel\_kz@bk.ru;
- 3.Джомартова Ш.А. - доктор технических наук, доцент Казахского национального университета имени аль-Фараби, e-mail: jomartova@mail.ru;
- 4.Мазикова А.Т. - докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби, e-mail: aigerym97@mail.ru;
- 5.Саметова А.А. - докторант КазНУ имени аль-Фараби; старший преподаватель Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, e-mail: sametova\_aygerim@mail.ru;
- 6.Досаналиева А.Т. - докторант Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, старший преподаватель Алматинского технологического университета, e-mail: a.dosanalieva@turan-edu.kz.

***Information about the authors***

- 1.Mazakov T.Zh.-Al-Farabi Kazakh National University, Doctor of Physical and mathematical sciences, professor, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;
- 2.Burgegulov A.D.- doctoral student at Al-Farabi Kazakh National University, e-mail: dizel\_kz@bk.ru;
- 3.Jomartova Sh.A.- Al-Farabi Kazakh National University, doctor of technical sciences, ass.professor, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomartova@mail.ru;
- 4.Mazakova A.T.- doctoral student at Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;
- 5.Sametova A.A.-doctoral student at Al-Farabi Kazakh National University; Senior Lecturer, Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering and Communications, e-mail: sametova\_aygerim@mail.ru;
- 6.Dossanalieva A.T. Doctoral student at Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications; Senior Lecturer, Almaty Technological University, e-mail: a.dosanalieva@turan-edu.kz.