

*Д. В. Шихалев<sup>1</sup>, В. О. Корепанов<sup>2</sup>*

(<sup>1</sup>Академия ГПС МЧС России, <sup>2</sup>Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; e-mail: [evacsystem@gmail.com](mailto:evacsystem@gmail.com))

## МОНИТОРИНГ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ЗДАНИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ. ЧАСТЬ 2

Предложен подход к определению количества людей на типовом участке здания. Определены способы размещения технических средств подсчёта количества людей. Разработан экспериментальный программно-аппаратный комплекс мониторинга распределения людей в здании и соответствующая информационная система. Предварительные результаты указывают на необходимость исследования вопроса достоверности получаемых данных от системы видеонаблюдения и видеосчётчиков. Установлено, что с увеличением количества людей в зоне детекции, увеличивается погрешность подсчётов. При количестве людей в зоне детекции более 5, погрешность составляет порядка 15 %. Определены направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова: видеонаблюдение, мониторинг количества людей, информационная система, эвакуация, пожар.

### Введение

В ходе предыдущего исследования [1] анализа способов наблюдения за поведением людей в здании и технических средств мониторинга установлено, что имеющиеся в настоящее время методы наблюдения за людским потоком не могут быть применены в их первоначальной постановке, а, следовательно, необходима их адаптация для задачи непрерывного мониторинга распределения людей внутри здания. Этого возможно достичь, в том числе путём применения современных информационных технологий.

Таким образом, для развития технических и методологических аспектов мониторинга людей в здании ставилась задача разработки соответствующего подхода к подсчёту количества людей на заданных участках (зонах) в здании, который должен реализовывать следующие функции:

- непрерывный подсчёт количества людей на различных участках (зонах) в здании;
- формирование базы данных о перемещении людей (в том числе индивидуальные траектории) по путям эвакуации (маршрутам движения) в здании;
- определение зависимостей передвижения/местоположения и распределения людей внутри здания во времени.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка автоматизированной информационной системы мониторинга распределения людей в здании для обеспечения их безопасности.

### Задача определения количества людей на участке маршрута движения

Для определения количества людей на любом участке маршрута движения людей в здании предлагается подход, показанный на рис. 1. Сущность данного подхода основывается на подсчёте разниц количества вошедших/вышедших людей через существующие проходы на рассматриваемом участке. Таким образом, количество людей  $N_j$  на участке  $j$  в данный момент времени вычисляется как разница между количеством вошедших на  $j$ -й участок людей  $\sum_{i \in n(j)} P_{in}^{ij}$  и количеством вышедших людей  $\sum_{i \in n(j)} P_{out}^{ij}$  через имеющийся набор проёмов  $n(j)$  (проходов, дверей) с начала момента наблюдения:

$$N_j = \sum_{i \in n(j)} P_{in}^{ij} - \sum_{i \in n(j)} P_{out}^{ij} \quad (1)$$

где  $n(j)$  – множество проходов, примыкающих к участку  $j$ .

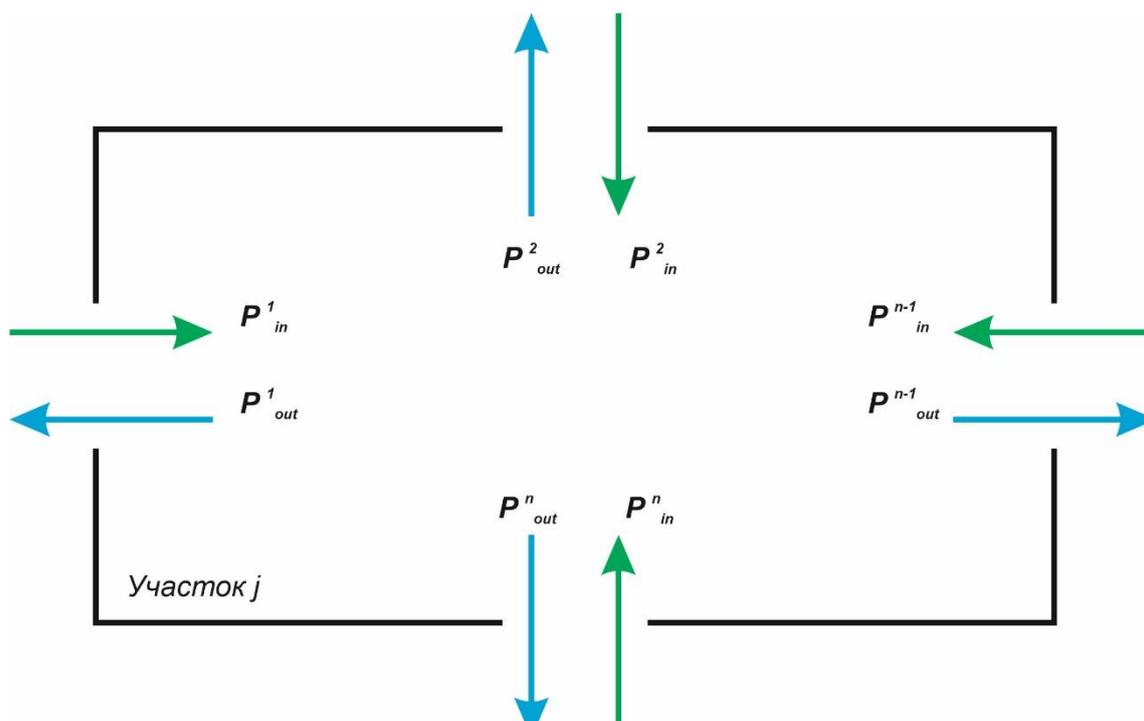


Рис. 1. Способ определения количества людей на участке  $j$

Технические средства подсчёта людей размещаются в здании таким образом, чтобы разбить его на изолированные участки, с тем, чтобы фиксировать переход людей между участками. Дополнительные средства подсчёта устанавливаются на всех входах в здание. Далее с использованием выражения (1) с заданным интервалом подсчитывается количество людей на каждом участке здания, то есть распределение людей в здании. Задача размещения средств подсчёта людей в здании – отдельная проблема из класса задач о разбиении графа [2-3], при этом критерий оптимальности построенного разбиения пока тоже не ясен (равная площадь участков, каждое помещение – участок,

минимизация линейной длины участков и т.п.) – он может исходить как из целей минимизации ошибок, затрат на средства, так и из целей оптимальных данных для расчёта безопасных путей эвакуации. Данные проблемы выходят за рамки данной работы.

Таким образом, постоянно формируется актуальная база данных о распределении людей по участкам здания, которая в дальнейшем может обрабатываться соответствующими методами интеллектуального анализа [4-5] или методами имитационного моделирования [6]. Информация необходима для определения безопасных маршрутов движения людей, а также может быть полезна в режиме повседневной деятельности, например, для оценки загруженности того или иного участка (помещения), динамики перемещения людей внутри здания и других задач (например, распределение потенциальных покупателей внутри здания).

### Экспериментальный программно-аппаратный комплекс мониторинга распределения людей в здании

Для разработки и апробации научно-обоснованных подходов и технологий создания систем мониторинга распределения людей в здании, для обеспечения их безопасности при чрезвычайных ситуациях, усовершенствованию существующих способов фиксации перемещения людей внутри здания разработан *экспериментальный программно-аппаратный комплекс "Мониторинг распределения людей в здании" (ЭПАК)*. Функциональная схема ЭПАК показана на рис. 2.

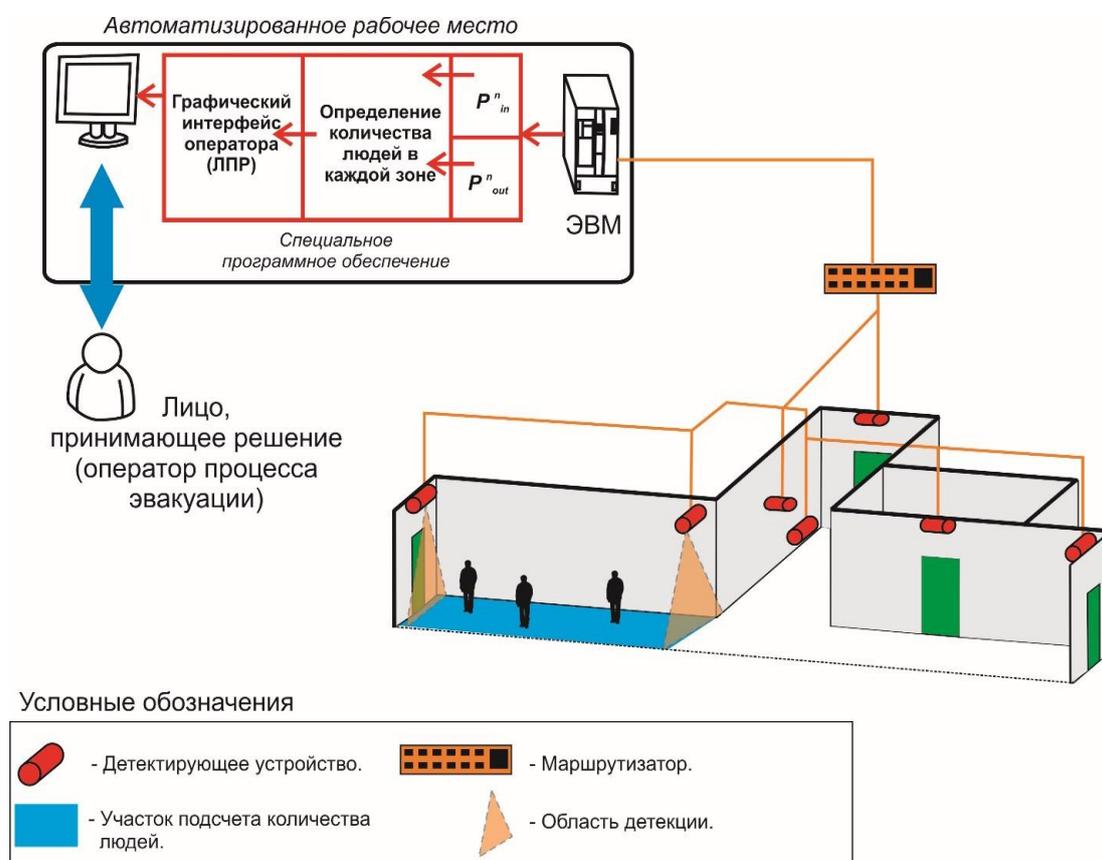


Рис. 2. Функциональная схема экспериментального программно-аппаратного комплекса

В состав ЭПАК входят детектирующие устройства (средства подсчёта людей), маршрутизатор и ЭВМ со специальным программным обеспечением (информационная система). Данная система разработана в программно-математическом комплексе *Matlab*, на неё получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ<sup>1</sup>. Интерфейс информационной системы показан на рис. 3.

Информационная система функционирует следующим образом: в режиме повседневной деятельности система осуществляет постоянное накопление данных о перемещении людей внутри здания, их распределении по различным участкам здания во времени в соответствии с выражением (1). Результаты подсчёта, с заданной периодичностью, сохраняются в файл формата *CSV* и накапливаются в базе данных.

Накапливаемые данные в постоянном режиме обрабатываются методами интеллектуального анализа, в результате чего образуются зависимости передвижения и распределения людей внутри здания во времени. В случае возникновения чрезвычайной ситуации, в результате которой необходима экстренная эвакуация людей из здания, информационная система, на основании имеющихся данных о текущем (реальном) распределении людей и соответствующих моделей их передвижения, определяет маршруты эвакуации и информирует посетителей и персонал о направлениях безопасной эвакуации (аудио-визуально посредством динамиков, динамических указателей и т.п.).

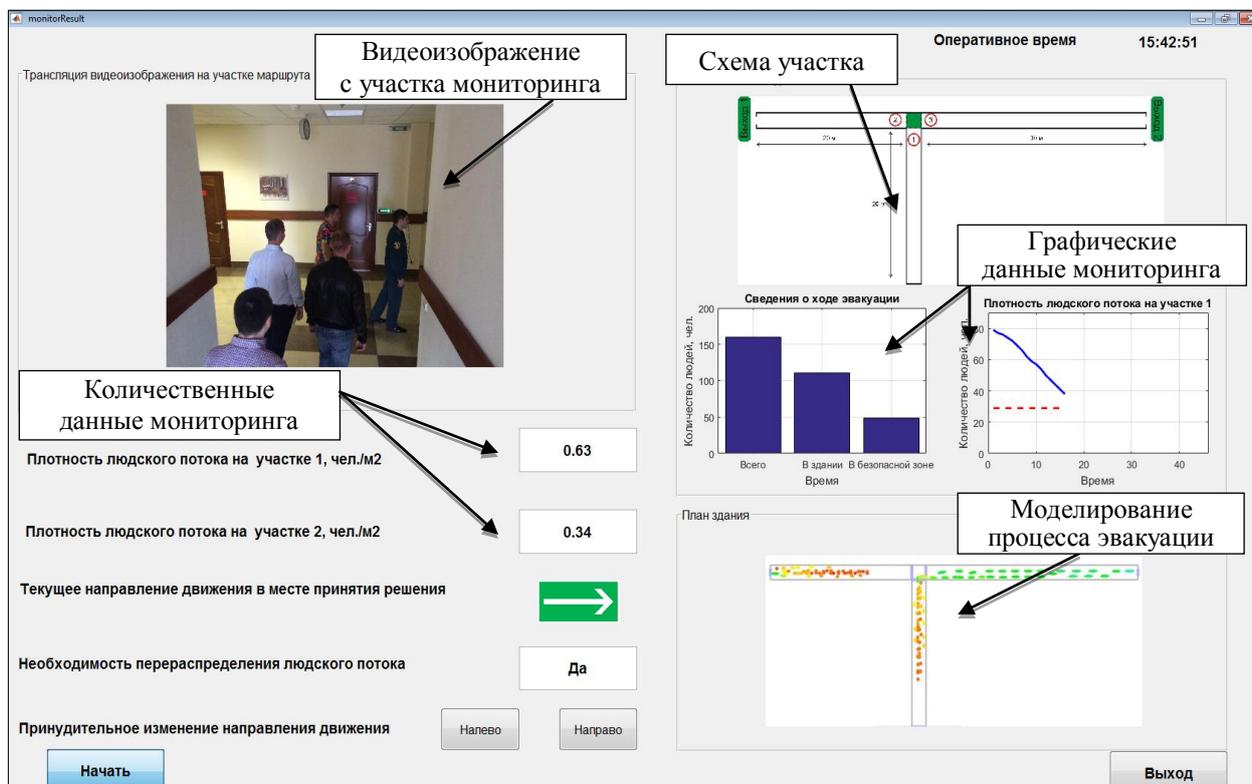


Рис. 3. Интерфейс информационной системы

<sup>1</sup> Свидетельство № 2017614509. Программа мониторинга количества людей в здании: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Шихалев Д. В., Хабибулин Р. Ш., Григорян Р. А., Белобородов В. А.; зарегистр. 18.04.2017

Окно детекции людей показано на рис. 4. В настоящее время проводится оценка предложенной информационной системы на базе одного из учебно-лабораторных корпусов Академии ГПС МЧС России.

Предварительные результаты указывают на необходимость исследования вопроса достоверности получаемых данных от системы видеонаблюдения и видеосчётчиков. Установлено, что с увеличением количества людей в зоне детекции, увеличивается погрешность подсчётов. При количестве людей в зоне детекции более 5, погрешность составляет порядка 15 %. Вторая задача исследования – проверка эффективности использования выражения (1) для решения задачи мониторинга распределения людей в здании. Так как погрешность у используемых видео-детекторов в ближайшее время всё равно будет присутствовать, то необходимо предложить средства коррекции накопленных ошибок. Эта задача может быть решена либо традиционными методами классификации изображений [7-8], либо с помощью сверточных нейронных сетей [9-10].

### Выводы и направления дальнейшей работы

Для развития технических и методологических аспектов мониторинга людей в здании предложен соответствующий подход к подсчёту количества людей на участке, а также экспериментальный программно-аппаратный комплекс "Мониторинг количества людей в здании" с использованием которого возможно накапливать данные о перемещении людей (в том числе, индивидуальные траектории) по путям эвакуации и определять соответствующие зависимости передвижения и распределения людей внутри здания от времени.

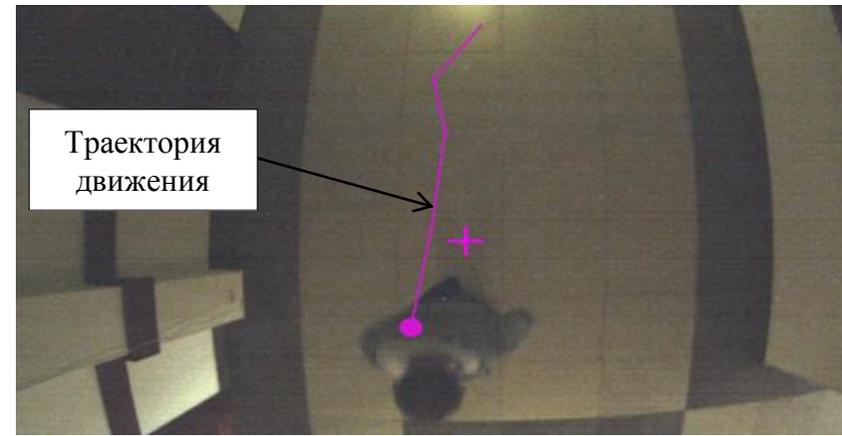
Предварительные результаты свидетельствуют о необходимости исследования вопроса достоверности получаемых данных от системы видеонаблюдения и видеосчётчиков, а также учёта влияния ошибок в получаемых данных на систему мониторинга распределения людей в здании.

В ходе дальнейших исследований планируется создание специального программного модуля подсчёта людей в здании в условиях ЧС на основе нейронных сетей и разработка методики его экспериментального исследования. Также дальнейшей работой может быть анализ системы мониторинга распределения на устойчивость к ошибкам детекции входящих/выходящих на участок людей или поиск путей корректировки накопленных ошибок.

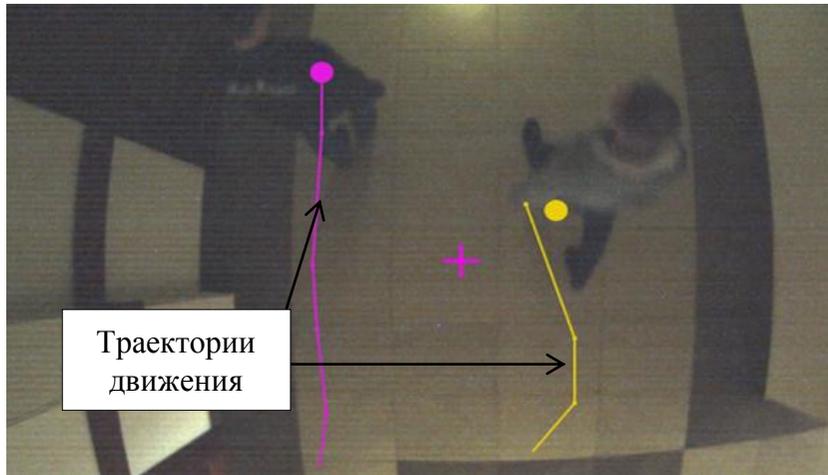
В случае получения положительных результатов исследования, данные результатов мониторинга распределения людей в здании позволят с высокой точностью вычислять безопасные маршруты эвакуации людей из здания в режиме реального времени, а также принимать обоснованные решения по координации действий сотрудников службы безопасности объекта во время организации и управления эвакуацией людей из здания.



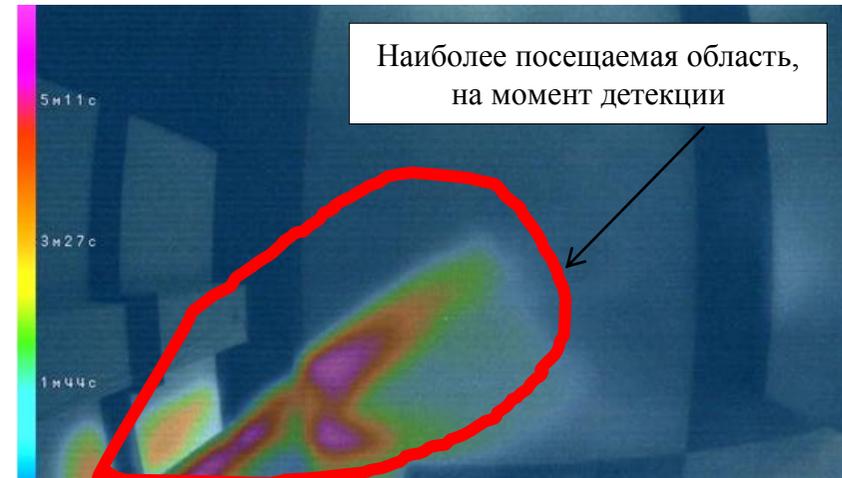
а) Детекция человека при проходе через условную границу



б) Определение траектории движения человека



в) Определение траектории движения группы



г) Тепловая карта передвижения людей на участке

Рис. 4. Окно детекции

### Литература

1. Шихалев Д. В., Корепанов В. О. Мониторинг распределения людей в здании для задачи управления эвакуацией. Часть 1 // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (83). 2019. С. 68-77. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.68-77.
2. Евстигнеев В. А. Применение теории графов в программировании. М.: Наука, 1985. 352 с.
3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / пер. с англ. М.: Мир, 1981. 324 с.
4. Замятин А. В. Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие. Томск: изд. дом Томского государственного университета, 2016. 120 с.
5. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 384 с.
6. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.
7. Idrees H., Saleemi I., Seibert C. Shah. Multi-source multiscale counting in extremely dense crowd images // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2013. Pp. 2547-2554.
8. Lempitsky V., Zisserman A. Learning to count objects in images // Advances in Neural Information Processing Systems, 2010. Pp. 1324-1332.
9. Zhang C. Li, H., Wang X., Yang X. Cross-scene crowd counting via deep convolutional neural networks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015. Pp. 833-841.
10. Zhang Y., Zhou D., Chen S., Gao S., Ma Y. Singleimage crowd counting via multi-column convolutional neural network // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016. Pp. 589-597.

*Материал поступил в редакцию 25 марта 2019 г.*

**Для цитирования:** Шихалев Д. В., Корепанов В. О. Мониторинг распределения людей в здании для задачи управления эвакуацией. Часть 2 // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 2 (84). – 2019. – С. 91-98. DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.91-98.

*D. V. Shikhalev, V. O. Korepanov*

## MONITORING THE DISTRIBUTION OF PEOPLE IN THE BUILDING FOR THE EVACUATION MANAGEMENT TASK. PART 2

This article is a continuation of the first part, where the analysis of existing methods of monitoring the pedestrian's flow people in a building and the technical means for counting the number of people inside a building are carried out.

The paper proposes an approach to determining the number of people in a typical building site. The ways of placing technical means for counting the number of people are determined. They should be placed in such a way as to break the area under consideration into isolated zones in order to record the transition of people between sites.

An experimental software and hardware complex for monitoring the distribution of people in a building and the corresponding information system have been developed. Preliminary results indicate the need to study the question of the reliability of the data obtained from the video surveillance system and video meters. It was found, that the error in the calculations increases with an increase of the number of people in the detection zone. When the number of people in the detection zone is more than 5, the error is about 15 %. The directions of further research are determined.

Key words: closed-circuit television (CCTV), pedestrian detection, information system, evacuation, fire.

### References

1. Shikhalev D. V., Korepanov V. O. Monitoring the distribution of people in the building for the evacuation management task. Part 1. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (83), 2019, pp. 68-77 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.68-77.
2. Evstigneev V. A. *Primenenie teorii grafov v programmirovanii* [Application of graph theory in programming]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 352 p.
3. Majnika E. *Algoritmy optimizacii na setyah i grafah* [Optimization algorithms on networks and graphs]. Trans. from Engl., Moscow, Mir Publ., 1981, 324 p.
4. Zamyatin A. V. *Intellektual'nyj analiz dannyh: uchebnoe posobie* [Century intellectual data analysis: a tutorial]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2016, 120 p.
5. Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V. *Tekhnologii analiza dannyh: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP* [Data analysis technologies: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2007, 384 p.
6. Karpov Yu. G. *Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic* [Imitating modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2006, 400 p.
7. Idrees H., Saleemi I., Seibert C. Shah. Multi-source multiscale counting in extremely dense crowd images. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2013, pp. 2547-2554.
8. Lempitsky V., Zisserman A. Learning to count objects in images. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2010, pp. 1324-1332.
9. Zhang C. Li, H., Wang X., Yang X. Cross-scene crowd counting via deep convolutional neural networks, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015, pp. 833-841.
10. Zhang Y., Zhou D., Chen S., Gao S., Ma Y. Singleimage crowd counting via multi-column convolutional neural network, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 589-597.

**For citation:** Shikhalev D. V., Korepanov V. O. Monitoring the distribution of people in the building for the evacuation management task. Part 2. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 2 (84), 2019, pp. 91-98 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.91-98.