

4. Зоценко Н. Л., Винников Ю. Л., Бабенко В. А. Усиление фундаментов общественного здания методом вдавливания свай // Реконструкция. Санкт-Петербург : материалы международного симпозиума. Ч. 2. СПб, 1993. С. 130–133.

5. Тер-Мартirosян А. З. Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.02 – основания и фундаменты, подземные сооружения.

6. Купчикова Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жесткость основания // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10.

7. Polishchuk A. I., Maksimov F. A. Numerical Analysis of Helical Pile–Soil Interaction under Compressive Loads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. 262012099.

8. Купчикова Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1361–1368.

9. Купчикова Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчёта // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 88–96.

10. Купчикова Н. В. Методика расчета свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24–26.

11. Ануфриев Д. П., Купчикова Н. В. Эффективные строительные конструкции и технологии на Каспийском инновационном форуме – 2009 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 5. С. 52.

12. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 123–132.

УДК 007.3

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПРИ ПОЖАРЕ (ВЗРЫВЕ) В ШАХТЕ**

***Т. У. Есмагамбетов\*, О. А. Рожкова\*\*, О. М. Шиккульская\*\****

*\*Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза  
(Республика Казахстан)*

*\*\*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

В данной статье авторами показано, что существует значительное количество разработок в области управления в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Проанализирован подход для определения степени влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения задачи по ликвидации ЧС, который наиболее актуален в условиях ограниченности ресурсов. Данный подход основан на комплексном применении трех известных методов. Авторами разработана функциональная модель процессов экстренного реагирования ситуационного центра при пожаре (взрыве) в шахте как одном из самых разрушительных видов производственных аварий. Разработанная функциональная модель позволяет выявить потенциально менее надежные процессы, рассчитать для них степень влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения общей

задачи, заблаговременно разработать мероприятия, предупреждающие срыв операций по ликвидации ЧС, рационально распределить ресурсы. Применение данной методики для оценки планов ликвидации позволит снизить человеческие и материальные потери в случае ЧС.

**Ключевые слова:** модель экстренного реагирования, ситуационный центр, чрезвычайная ситуация, ресурс, деградация ресурса, структурно-функциональное взаимодействие, дерево отказов, множество состояний системы, априорный анализ, системный подход, функциональная модель.

In this paper it is shown by authors that there is a significant amount of developments in the field of management in the emergency situations (ES) conditions. Approach for definition of influence extent of the resources' state degradation level on the solution degree of ES elimination task which is most relevant in the conditions of resources limitation is analysed. This approach is based on complex application of three known methods. Authors have developed functional model of processes of the emergency reaction of the situational center at the fire (explosion) in the mine as one of the most destructive types of production accidents. Developed functional model allows to reveal potentially less reliable processes, to calculate for them influence extent of the resources' state degradation level on the solution degree of ES elimination task, to beforehand develop the actions preventing failure of operations on emergency elimination, to distribute resources rationally. Application of this technique for plans assessment of emergency situations elimination will allow to reduce human and material losses in ES case.

**Keywords:** model of the emergency reaction, situational center, emergency, resource, resource degradation, Function-Interaction-Structure (FIS), Fault-Tree, Multi-Level state of system; aprioristic analysis, system approach, functional model.

Вопросами экстренного реагирования в условиях ЧС в Казахстане занимаются Ситуационные (кризисные) центры [1]. Для них разработано более 100 моделей экстренного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Однако модели предусматривают наличие необходимых ресурсов в требуемом состоянии, что не может быть гарантировано на практике. Поэтому необходимо заблаговременно знать, каким образом недостаток ресурсов может отразиться на решении задач по ликвидации ЧС и спасению населения.

Существует значительное количество разработок в области управления в условиях ЧС [2–19]. Предложен подход для определения степени влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения задачи по ликвидации ЧС [19–22], который наиболее актуален в условиях ограниченности ресурсов, необходимых для ликвидации ЧС. Он базируется на сочетании методов моделирования бизнес-процессов, анализа дерева отказов (FTA) и системного подхода с многими состояниями системы (MSS). Для реализации данного подхода разработана соответствующая методика. Первым этапом данной методики является построение модели бизнес-процессов (функциональной модели) с целью выявления наиболее значимых и наименее эффективных процессов [23, 24]. Дальнейшие операции выполняются именно для выбранных на первом этапе процессов. Такой подход позволяет снизить трудоемкость последующих операций. На вто-

ром этапе строится дерево ошибок. Пример дерева ошибок для процесса эвакуации населения приведен на рис. 1. На третьем этапе методики анализируется дерево ошибок и рассчитывается степень влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения задачи по ликвидации ЧС с использованием системного подхода с многими состояниями системы.

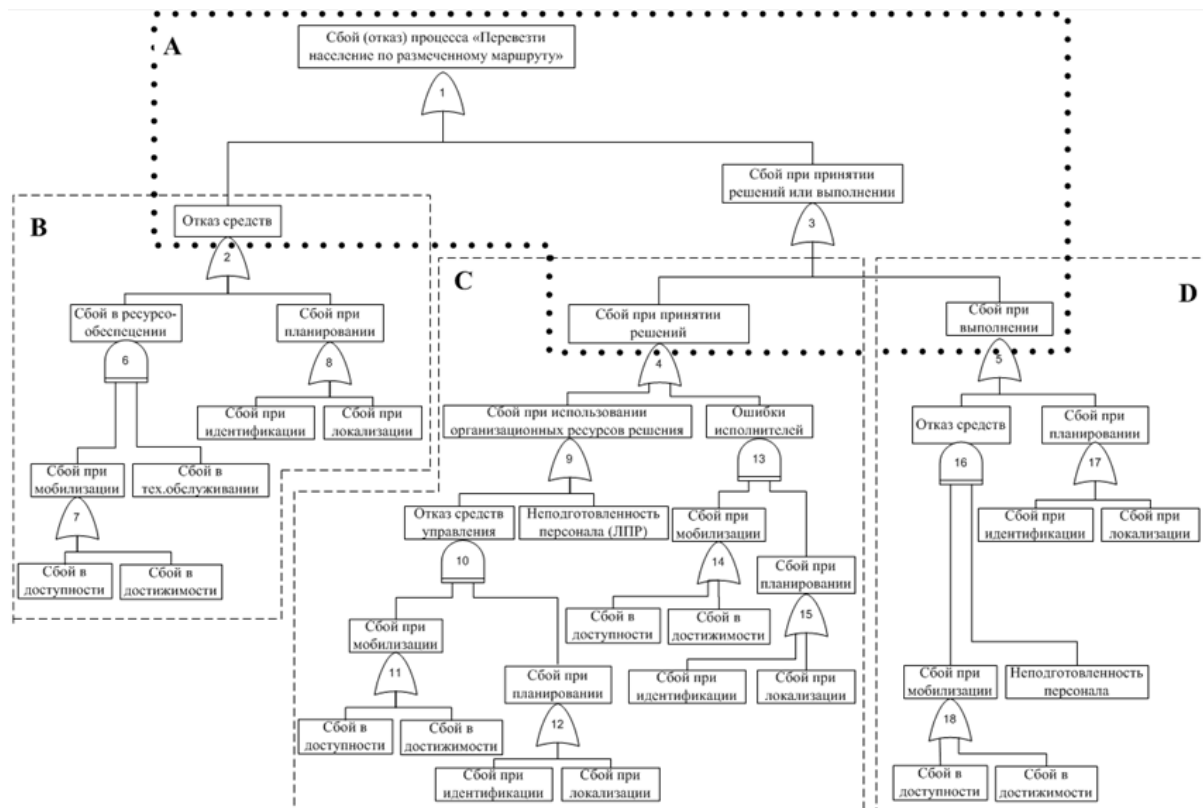


Рис. 1. Дерево ошибок для процесса эвакуации населения

Таким образом, анализ всех предложенных для ситуационного центра моделей экстренного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций должен быть начат с построения функциональных моделей описанных в них процессов.

Данная работа посвящена функциональному моделированию процессов пожара (взрыва) в шахтах.

Пожары и взрывы в шахтах считаются одним из самых разрушительных видов производственных аварий. Они несут постоянную угрозу безопасности шахтеров. По количеству потерь и ущербу пожары и взрывы в шахтах значительно опережают аварии в других отраслях промышленности. Для ликвидации такой чрезвычайной ситуации (ЧС) в зависимости от ее масштабов привлекаются различные силы и средства.

Создание функциональных моделей базируется на методологии IDEF0, которая предписывает построение иерархической системы диаграмм. Сначала выполняется описание системы в целом и ее взаимодействия с внешней средой (контекстная диаграмма), после чего проводит-

ся ее функциональная декомпозиция. Затем каждая подсистема разбивается на более мелкие – и так далее до достижения нужной степени подробности.

На основании описательной модели процессов реагирования при пожарах (взрывах) в шахте построена их функциональная модель. Диаграмма дерева узлов системы, позволяющая показать иерархию всех процессов в целом без указания связей между ними, представлена на рис. 2.

Контекстная диаграмма алгоритма экстренного реагирования при пожаре (взрыве) в шахте представлена на рис. 3.

Первая декомпозиция контекстной диаграммы показана на рис. 4. Декомпозиции второго уровня (A1, A2, A3) представлены соответственно на рис. 5–7.



Рис. 2. Дерево узлов функциональной модели экстренного реагирования при пожаре (взрыве) в шахте



Рис. 3. Контекстная диаграмма функциональной модели экстренного реагирования при пожаре (взрыве) в шахте (А-0)

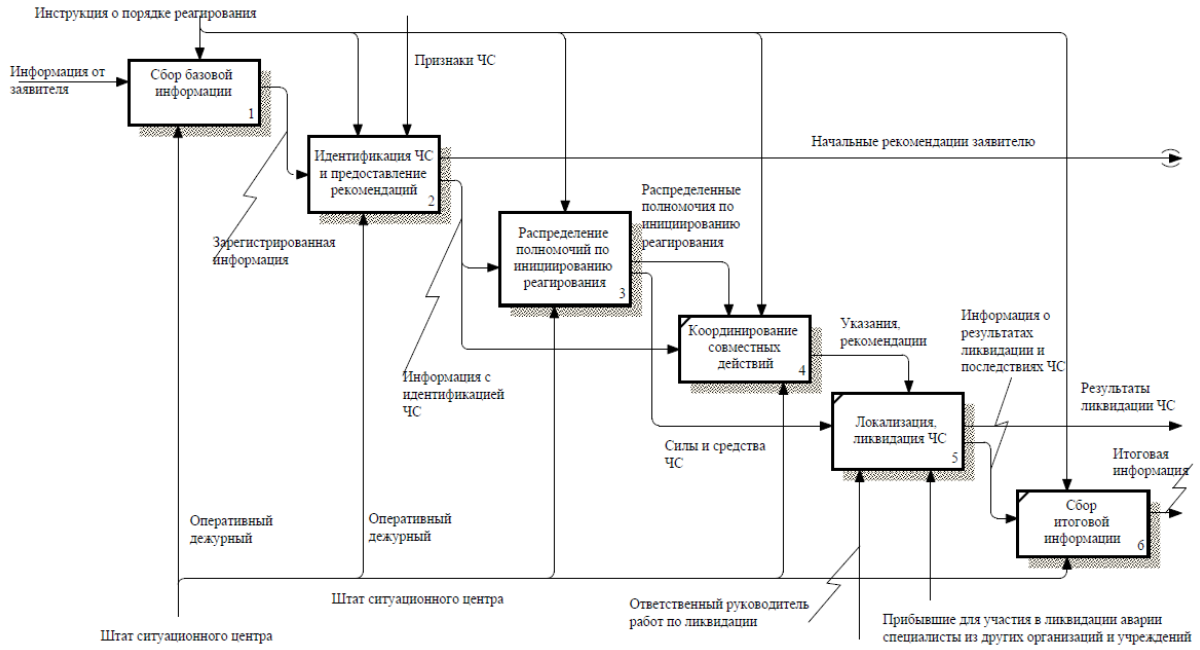


Рис. 4. Первая декомпозиция контекстной диаграммы функциональной модели экстренного реагирования при пожаре (взрыве) в шахте (A0)

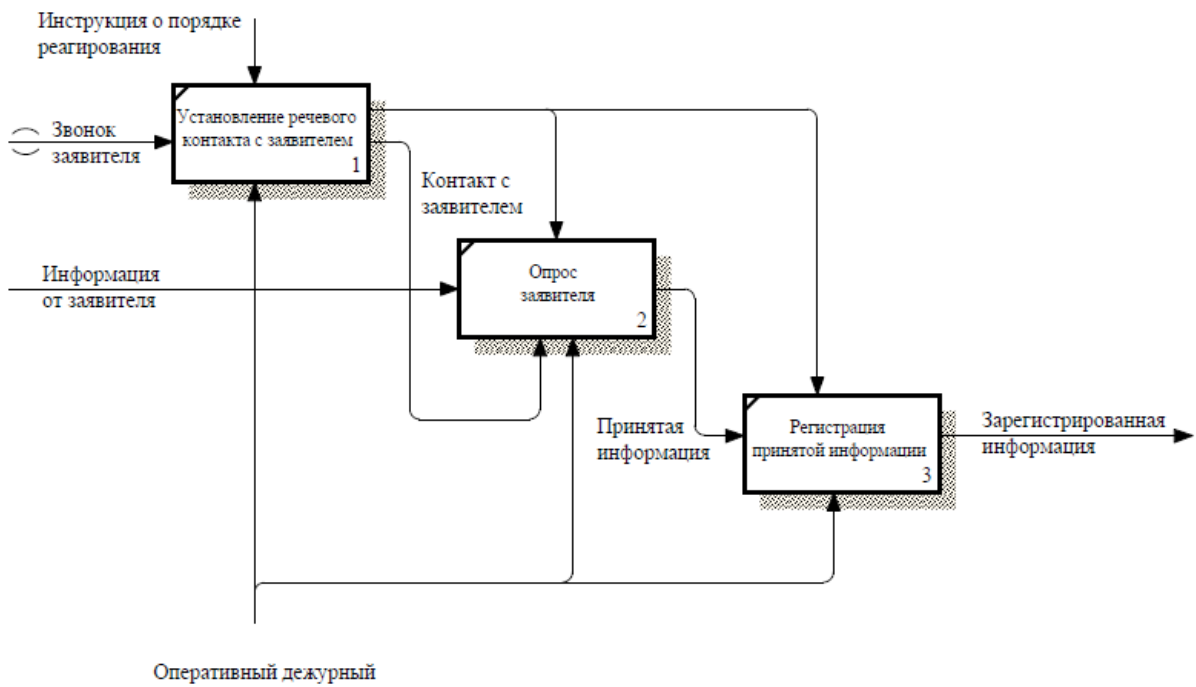


Рис. 5. Диаграмма декомпозиции процесса A1. Сбор базовой информации

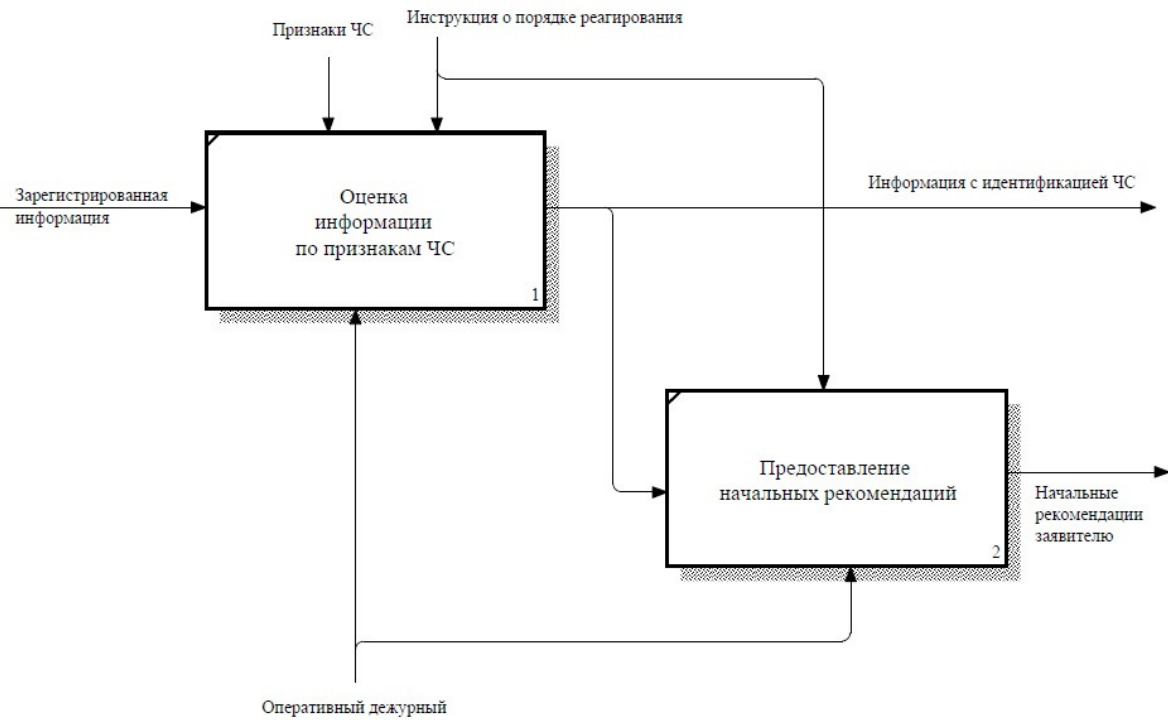


Рис 6. Диаграмма декомпозиции процесса А2. Идентификация ЧС и предоставление рекомендаций

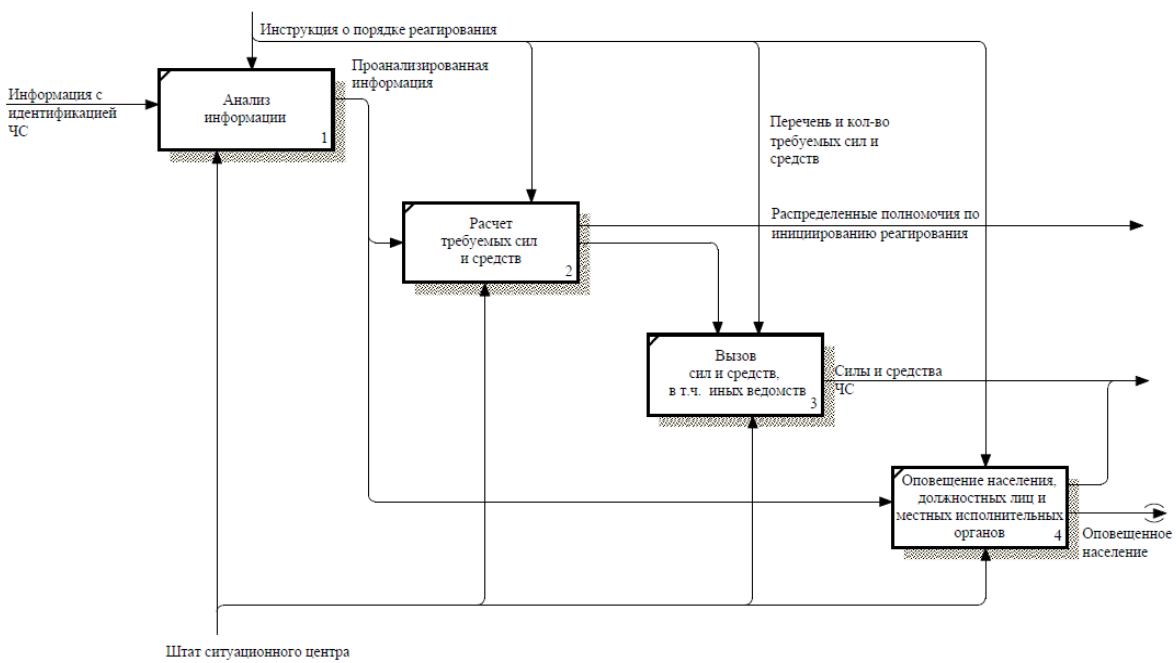


Рис. 7. Диаграмма декомпозиции процесса А3. Распределение полномочий по иницированию реагирования

Самым ресурсоемким является процесс локализации и ликвидации ЧС (А5). Его анализ требует дальнейшей декомпозиции и детального рассмотрения. Однако исполнителем процесса не является ситуационный центр, который распределяет полномочия и координирует этот процесс, то есть

выполняет функции управления. В рамках представленного исследования рассматриваются только процессы, выполняемые ситуационным центром. Среди них наиболее важные и сложные – именно процессы управления: распределение полномочий и координирование совместных действий. Сбои и ошибки в этих процессах могут повлечь за собой весьма ощутимые, а возможно, и критические последствия для выполнения всей операции. Поэтому именно эти два процесса должны быть подвергнуты процедурам дальнейшего анализа.

Таким образом, разработанная функциональная модель является первым шагом методики для определения степени влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения задачи по ликвидации ЧС. Она дает возможность выявить потенциально менее надежные процессы, рассчитать для них степень влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения общей задачи, заблаговременно разработать мероприятия, предупреждающие срыв операций по ликвидации ЧС, рационально распределить ресурсы. Применение данной методики для оценки планов ликвидации позволит снизить человеческие и материальные потери в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

#### Список литературы

1. Есмагамбетов Т. У., Есмагамбетова М. М. Ситуационные центры как структурные единицы в составе МЧС // Актуальные вопросы образования и науки : сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2013 г. Тамбов, 2013. Ч. 2. URL: [http://www.ucom.ru/doc/conf/2013\\_12\\_30\\_02.pdf](http://www.ucom.ru/doc/conf/2013_12_30_02.pdf)
2. Chang F.-S., Wu J.-S., Lee C.-N., Shen H.-C. Greedy-search-based multi-objective genetic algorithm for emergency logistics scheduling // Exp. Syst. Appl. 2014. Vol. 41. P. 2947–2956.
3. Dombroski M., Fischhoff B., Fischbeck P. Predicting emergency evacuation and sheltering behavior: a structured analytical approach // Risk Anal.: Off. Publ. Soc. Risk Anal. 2006. Vol. 26. P. 1675–1688.
4. Flaus J.-M. Modelisation de systemes organisationnels pour l'analyse des defaillances: Application au plan communal de sauvegarde // 8eme Conference Internationale de MOdelisation et SIMulation. Hammamet, Tunisie, 2010. P. 6.
5. Flaus J.-M. A modelling framework for model based risk analysis // ESREL. Troyes, France, 2011. P. 1533–1540.
6. Georgiadou, P.S., Papazoglou, I.A., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C., 2007. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. Reliab. Eng. Syst. Safety 92, 1388–1402.
7. Georgiadou P. S., Papazoglou I. A., Kiranoudis C. T., Markatos N. C. Multi-objective evolutionary emergency response optimization for major accidents // J. Hazard. Mater. 2010. Vol. 178. P. 792–803.
8. Groenendaal J., Helsloot I., Scholtens A. A critical examination of the assumptions regarding centralized coordination in large-scale emergency situations // J. Homel. Sec. Emerg. Manage. 2013. Vol. 10.
9. Henstra D. Evaluating local government emergency management programs: what framework should public managers adopt? // Pub. Admin. Rev. 2010. Vol. 70. P. 236–246.

10. Jain, S., McLean, C., 2003. A framework for modeling and simulation for emergency response. In: Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 1068-1076.
11. Jonkman S. N., Lentz A., Vrijling J. K. A general approach for the estimation of loss of life due to natural and technological disasters // Reliab. Eng. Syst. Safety. 2010. Vol. 95. P. 1123–1133.
12. Karagiannis G.-M., Piatyszek E., Flaus J.-M. Industrial emergency planning modeling: a first step toward a robustness analysis tool. J. Hazard. Mater. 2010. Vol. 181. P. 324–334.
13. Karagiannis G.-M., Piatyszek E., Flaus J.-M. Model-driven and risk-based performance analysis of industrial emergency plans // J. Conting. Crisis Manage. 2013. Vol. 21. P. 96–114.
14. Kolen B., Kok M., Helsloot I. and Maaskant B. EvacuAid: a probabilistic model to determine the expected loss of life for different mass evacuation strategies during flood threats // Risk Anal.: Off. Publ. Soc. Risk Anal., 2013.
15. Li A. C., Nozick L., Xu N., Davidson R. Shelter location and transportation planning under hurricane conditions // Transport. Res. Part E: Logist. Transport. Rev. 2012. Vol. 48. P. 715–729.
16. Massaguer D., Balasubramanian V., Mehrotra S., Venkatasubramanian N. Multi-agent simulation of disaster response // ATDM Workshop in AAMAS. 2006.
17. Siebeneck L. K., Cova T. J. Spatial and temporal variation in evacuee risk perception throughout the evacuation and return-entry process // Risk Anal.: Off. Publ. Soc. Risk Anal. 2012. Vol. 32. P. 1468–1480.
18. Vaez N., Nourai F. RANDAP: An integrated framework for reliability analysis of detailed action plans of combined automatic-operator emergency response taking into account control room operator errors // J. Loss Prevent. Process Indust. 2013. Vol. 26. P. 1366–1379.
19. Есмагамбетов Т. У., Нань Фэн, Шикульская О. М. Анализ методов оценки надежности моделей экстренного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций // Перспективы развития строительного комплекса. 2016. С. 273–278.
20. Есмагамбетов Т. У. Алгоритм реагирования при получении информации об угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций // Актуальные вопросы образования и науки : сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2013 г. Тамбов, 2013. Ч. 2. URL: [http://www.ucom.ru/doc/conf/2013\\_12\\_30\\_10.pdf](http://www.ucom.ru/doc/conf/2013_12_30_10.pdf)
21. Есмагамбетов Т. У., Шикульская О. М. Анализ надежности плана эвакуации населения при чрезвычайной ситуации как системы с множеством состояний на основе построения дерева ошибок // Успехи современной науки. 2016. Т. 4, № 8. С. 68–72.
22. Есмагамбетов Т. У., Шикульская О. М. Информационно-аналитическая поддержка деятельности ситуационного центра МЧС // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 18–23
23. Есмагамбетов Т. У., Шикульский М. И., Шикульская О. М. Реинжиниринг бизнес-процессов оперативной деятельности Карагандинского кризисного центра // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 490–494.
24. Shikulskaya O., Esmagambetov T. Business Processes Modelling of the Karaganda Crisis Center Activity // American Journal of Operations Management and Information Systems. 2017. Vol. 2 (1). P. 15–20. DOI: 10.11648/j.ajomis.20170201.13