

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 007.3

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ КАК СИСТЕМЫ С МНОГИМИ СОСТОЯНИЯМИ

Т. У. Есмагамбетов, О. М. Шикульская

Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Статья посвящена решению научной задачи повышения эффективности управления спасательными операциями в условиях чрезвычайных ситуаций на основе системного анализа степени влияния реального уровня ухудшения состояния необходимых ресурсов на степень выполнимости поставленных задач спасательной операции. Для решения поставленной задачи применены методы функционально-структурного моделирования на основе методологии IDEFO, анализа дерева отказов и системного подхода с многими состояниями системы.

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.

MODEL OF EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE TASKS SOLUTION OF MANAGEMENT BY PROCESSES OF THE EMERGENCY REACTION AS MULTI-STATE SYSTEMY

T.U. Esmagambetov¹, O.M. Shikulskaya²

¹Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz

²Astrakhan State Architectural and Construction University

Paper is devoted to the solution of a scientific problem of management effectiveness increase of rescue operations in the conditions of emergency situations on the system analysis basis of influence extent of the resources' state degradation level on the solution degree of a rescue operation task. Methods of functional and structural modeling on the basis of IDEFO methodology, failure tree analysis and system approach with multistate system are applied to the task solution.

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.

Введение

Одной из важнейших задач любого государства является защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС), причиной которых могут быть как природные явления, так и деятельность человека.

Природные бедствия уносят ежегодно тысячи человеческих жизней и наносят колоссальный материальный ущерб. Причинами возрастания риска возникновения техногенных ЧС в России являются значительная выработка проектного ресурса потенциально опасных производственных объектов, технологическая отсталость производства; низкий уровень профессиональной подготовки персонала; снижение технологической и производственной дисциплины; и низкие темпы внедрения безопасных технологий. Показатели риска возникновения ЧС на потенциально опасных объектах в Российской Федерации значительно превышают показатели достигнутых в мировой практике приемлемых рисков. На территории страны функционирует огромное количество потенциально опасных объектов.

Ежегодно в России происходит около 220 тыс. пожаров, 70% из них приходится на непромышленную сферу. За год во время пожаров

гибнет 12-16 тыс. человек. Величина потерь от пожаров превышает общий ущерб государства от ЧС техногенного характера. Она является, по сути, безвозвратной. Урон от пожаров не только является невосполнимым. Он требует значительно больших затрат для восстановления уничтоженных материальных ценностей.

В России эксплуатируется несколько сотен накопителей промышленных отходов и более 30 тыс. водохранилищ. Многие гидротехнические сооружения эксплуатируются без реконструкции более 50 лет, они находятся в предаварийном состоянии.

Количество жертв и размеры материального ущерба в условиях ЧС напрямую зависят от эффективности организации и проведения аварийно-спасательных работ.

Для служб экстренного реагирования разработано более 100 алгоритмов действия при различных ЧС. Однако в них предусмотрено требуемое состояние ресурсов, что на практике далеко не всегда осуществимо. Поэтому лицу, принимающему решения (ЛПР) в условиях ЧС необходимо заблаговременно знать степень осуществимости этих алгоритмов, чтобы заблаговременно осуществлять проверку ресурсов и оперативно вносить коррективы в планы.

Оценка моделей экстренного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций является трудной задачей по ряду причин: такие модели представляют собой набор сложных статических процедур, используемых в динамических ситуациях; модели ориентированы на вовлечение многих заинтересованных сторон (органы власти, службы экстренного реагирования, население и ресурсы, которые пространственно распределены по территориям, при этом для гарантии безопасности населения управляющим структурам нужно спланировать организацию действий с использованием всех необходимых средств (организационный, технический, информационный и человеческий ресурсы).

При оценке надежности моделей рассматривают два состояния системы: рабочее и отказ. Однако ненадлежащее состояние (частичный отказ) каких-либо ресурсов может по-разному влиять на достижение конечной цели и не всегда приводит к полному срыву выполнения задачи. Градация уровней состояния различных ресурсов и учет влияния уровня состояния ресурса на степень реализации конечной цели позволит повысить надежность спасательных операций и снизить расходы за счет рационального распределения ресурсов. Научная значимость разработки состоит в расширении границ применения методов системного анализа, в частности, адаптации систем с многими состояниями, применяемых в технике, к социально-экономическим системам.

Обзор литературы

В области управления в условиях чрезвычайных ситуаций проведено значительное количество исследований. Основное внимание в этих исследованиях уделяется защите населения и эвакуации. Проблемам в области эвакуации посвящены работы [1-4], в области защиты населения — [4, 5]. Имеются исследования, посвященные вопросам человеческих потерь в результате чрезвычайных ситуаций [3, 6, 7]. В них использованы модели поддержки принятия решений. Другие ученые (Flaus, Jain, McLean, Massaguer, и Georgiadou) делали попытки смоделировать глобальный процесс управления в ЧС [8, 9, 10, 11]. Vaez и Nougai [12] предложили интегрированную структуру экстренного реагирования с использованием блок-схемы надежности, с которой учитываются ошибки эксплуатации и ошибки, возникающие из-за недостаточности информации, навыков и знаний персонала и руководителей. Flaus [13] спроектировал структуру для любого анализа степени риска, вытекающего из модели. Однако, отсутствуют работы в сфере оценки рисков моделей реагирования Кризисного центра в условиях чрезвычайных ситуаций в полном объеме. В одних работах внимание сосредоточено на отдельных функциях, но исследование взаимосвязи между функциями отсутствует. В других только осуществляется проверка наличия соответствующим

процедур. Предложенные модели состояние ресурсов процессов не исследуют.

Чтобы оценить степень осуществимости разработанных моделей реагирования, нужно учитывать текущее состояние ресурсов (диагностика ресурсов). Такой анализ необходим, чтобы обеспечить априорное знание об уровне достижимости запланированных целей на различных этапах, отраженных в моделях.

Материалы и методы

Авторами предложен подход к оценке надежности работы алгоритма (модели) экстренного реагирования в условиях ЧС на основе логически последовательного использования трех методов: функционально-структурного моделирования на основе методологии IDEF0, анализа дерева отказов (Fault tree analysis, FTA) и системного подхода с многими состояниями системы, позволяющий оценить степень выполнения моделей управления оперативной деятельностью ситуационных центров в условиях ЧС.

Дерево отказов, как правило, строится для технических систем. Оно представляет логическую комбинацию событий, которые могут вызвать отказ функции. Дерево отказов создается для каждой функции. Отказы ресурсов функции являются основными событиями дерева отказа функции. Помимо этого, отказ ресурса иногда является результатом отказа некоторых функций поддержки этого ресурса. Основными событиями дерева отказов являются отказы функций поддержки ресурса.

Традиционно в дереве отказов рассматриваются два состояния процесса: отказ и функционирование. Однако с целью всестороннего анализа моделей экстренного реагирования, выявления ее «слабых мест» и оценки всего спектра используемых ресурсов целесообразным является использование системного подхода с многими состояниями системы [14]. Рассмотрение множества уровней ухудшения состояния ресурса необходимо для отражения степени выполнения требований алгоритмов (моделей). Поэтому целесообразно объединение Деревя отказов с системным подходом с многими состояниями системы. Таким образом, появляется возможность оценки эффективности реализации моделей на различных уровнях неполного функционирования и анализа риска ухудшения состояния ресурса, приводящего к ухудшению функционирования модели в целом. Системный подход со многими состояниями системы формирует знание о вероятности реализуемости модели экстренного реагирования в множестве состояний ухудшения ресурса на момент чрезвычайной ситуации.

Поскольку анализ дерева отказов — достаточно трудоемкий метод, целесообразно предварительно создать модель бизнес-процессов на основе метода функционально-структурного

моделирования и проанализировать ее на наличие «узких мест». Такой подход позволит сократить количество «деревьев отказа».

Математическое описание модели процесса экстренного реагирования как системы с многими состояниями

Система с многими состояниями (Multi-State System, MSS) определяется как система с конечным количеством уровней производительности с конечным количеством уровней производительности ресурсов.

Для любого элементов j в системе, имеется k_j состояний, соответствующих уровню производительности $g_{j,i}$, где i – номер состояния $i \in \{1, 2, \dots, k_j\}$. $G_{j(t)}$ является уровнем производительности элемента $g_j \in \{g_{j,1}, g_{j,2}, \dots, g_{j,k_j}\}$. Вероятность нахождения в состоянии g_i в момент времени t может быть представлена множеством $P_j(t) \in \{p_{j,1}(t), p_{j,2}(t), \dots, p_{j,k_j}(t)\}$, где $p_{j,1} = \Pr\{G_j(t) = g_{j,1}\}$.

Если система состоит из n элементов, производительность системы определяется функцией от уровней производительности ее элементов: $G(t) = \phi\{G_1(t), G_2(t), \dots, G_n(t)\}$. Выход функции $G(t)$ характеризует состояние системы.

Выберем 4 состояния системы и 4 уровня деградации ресурсов. Для каждого отказа ресурсов и процессов модели определены степени отказа (уровни деградации):

- Lvl 1: Не ухудшенный ($\{g_{j,1} = 1, p_{j,1}\}$).
- Lvl 2: Скорее не ухудшенный ($\{g_{j,2} = 2, p_{j,2}\}$).
- Lvl 3: Скорее ухудшенный ($\{g_{j,3} = 3, p_{j,3}\}$).
- Lvl 4: Полностью ухудшенный ($\{g_{j,4} = 4, p_{j,4}\}$).

Конкретные значения "уровня деградации" должны быть приняты в соответствии с требованиями проанализированных сценариев. Например, в функции эвакуации: полная эвакуация - уровень 1, частичная эвакуация (больше, чем 3/4 эвакуированного населения — уровень 2, частичная эвакуация (меньше, чем 3/4 эвакуированного населения) — уровень 3, и полная неудача эвакуации - уровень 4. Это означает, что уровни определены экспертами по отношению к приемлемому выполнению функции. Это сопоставимо с классическим построением матрицы риска. Способ неудачи характеризуется списком пар {уровень, вероятность}. Таким образом, для каждого ресурса и функции определены 4 уровня сбоя — 4 пары.

Авторами разработана методика для оценки надежности алгоритмов экстренного реагирования в условиях ЧС, основанная на предложенном способе сочетания трех методов: функционально-структурного моделирования, анализа дерева отказов (FTA) и системного подхода с

многими состояниями (MSS-подхода), которая включает следующие шаги:

1. Построение модели бизнес-процессов по оцениваемой модели управления оперативной деятельностью ситуационного центра в условиях ЧС для установления взаимосвязи процессов и ресурсов.
2. Выявление «узких мест» на основании анализа моделей бизнес-процессов.
3. Построение дерева отказов для каждого неэффективного процесса методом FTA с использованием логических элементов «И», «ИЛИ» и «ПРИОР».
4. Определение вероятности элементов нижнего уровня дерева с помощью экспертов или на основании статистического анализа имеющихся данных.
5. Определение вероятностей каждого уровня работоспособности процесса (корня дерева отказов) с использованием аппарата математической логики для системного подхода с многими состояниями системы.
6. Оценка модели в целом.

Разработана вычислительная процедура оценки дискретных состояний процессов модели экстренного реагирования в условиях ЧС в зависимости от вероятностей уровней ухудшения состояния используемых ресурсов посредством анализа дерева отказов системы с многими состояниями

Дерево отказов описывает логическую связь между состояниями системы и ее ресурсов и представлено в виде бинарного дерева.

Корнем дерева является процесс: $v_0 \in V$, листьями дерева являются ресурсы. Неграничные вершины представляют собой промежуточные сбой системы. Каждый узел дерева, кроме листьев, включает в себя логический элемент, типа <И>, <ИЛИ>, и <PRIOR>. Каждый сбой (элемент дерева) характеризуется списком пар {уровень, вероятность}, определяемым множеством $C_i = (G_i, P_i)$, где i — номер узла дерева, G_i — уровень ухудшения состояния ресурса, P_i — вероятность этого уровня. Для листьев значения элементов множества C_i определяются экспертами или статистическим методом. Для остальных узлов и корня они рассчитываются через логические элементы.

Определим функции логических элементов.

На выходе каждого логического элемента имеются два множества $\{C_1, C_2\}$, которые определяют вероятности уровней ухудшения состояния элементов дерева. На входе – одно множество $\{C\}$, которое также определяет вероятности уровней ухудшения состояния предшествующего элемента дерева. Необходимо определить $\{C\}$ через $\{C_1, C_2\}$. Функция логического элемента дерева $\{C\} = f(\{C_1, C_2\})$.

Отношение $R = C_1 \times C_2 = R(G_1, P_1, G_2, P_2)$ является декартовым произведением множеств C_1 и C_2 . Определим отношение R' через отношение R , дополнив его вычисляемыми атрибутами:

$$R'(G_1, P_1, G_2, P_2, G_3, P_3).$$

$$G_1: \{g_{11}, \dots, g_{1i}, \dots, g_{1k}\}, \quad G_2: \{g_{21}, \dots, g_{2i}, \dots, g_{2k}\},$$

$$P_1: \{p_{11}, \dots, p_{1i}, \dots, p_{1k}\}, \quad P_2: \{p_{21}, \dots, p_{2i}, \dots, p_{2k}\}.$$

Для i -го кортежа отношения R' : $g_{3m} = g_{2m} \# g_{2m}$, $p_{3m} = p_{2m} \cdot p_{2m}$, m – номер кортежа

Оператор $\#$ определяется логическим элементом:

- для логического элемента <И>:
 $g_{2m} \# g_{2m} = \min(g_{1,m}, g_{2,m})$,
- для логического элемента <ИЛИ>:
 $g_{2m} \# g_{2m} = \max(g_{1,m}, g_{2,m})$,
- для логического элемента <PRIOR>:
 $g_{2m} \# g_{2m} = g_{1,m}$.

Отношение $C(G, P)$ — определяет вероятности уровней деградации элементов дерева на выходе из логического элемента. Оно получается из отношения R' с использованием агрегатной функции SQL:

$$G: \{g_1, \dots, g_i, \dots, g_k\}, \quad P: \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_k\}, \quad \text{где}$$

$$p_i = \sum_{g_i} p_j.$$

Теперь, зная функции логических элементов, можно рассчитать все дерево до корня. Начинаем обход дерева от корня.

Дугу, по которой проходим в сторону от корня, обозначаем как 0, после возвращения — 1.

На узле, у которого две исходящие дуги обозначены 1 запускаем функцию логического элемента и определяем множество вероятностей уровней ухудшения состояний элемента узла $C(G, P)$. Обойдя весь граф получим множество вероятностей уровней ухудшения состояний процесса (корня дерева) $C_0(G_0, P_0)$, по которому мы можем оценить процесс.

Для расчета многоуровневых деревьев отказов необходимо определить вероятности нижнего уровня. Это можно сделать с помощью экспертов или на основании статистического анализа имеющихся данных.

Результаты исследования

Разработанные теоретические положения реализованы для одинаковых процессов различных алгоритмов экстренного реагирования в условиях ЧС, в частности для эвакуации населения [14].

Оценка надежности плана эвакуации населения при ЧС

Для детального анализа процесса эвакуации с выявлением всех необходимых ресурсов разработана модель бизнес-процессов эвакуации населения при ЧС. На рисунке 1. представлено дерево узлов модели, на рисунке 2 — декомпозиция контекстной диаграммы модели бизнес-процессов эвакуации населения при ЧС. Для оценки ресурсов определены вероятные виды их отказов и предложена градация степени отказов. Эта информация использована в качестве свойств, определяемых пользователем (UDP) при построении модели бизнес-процессов.

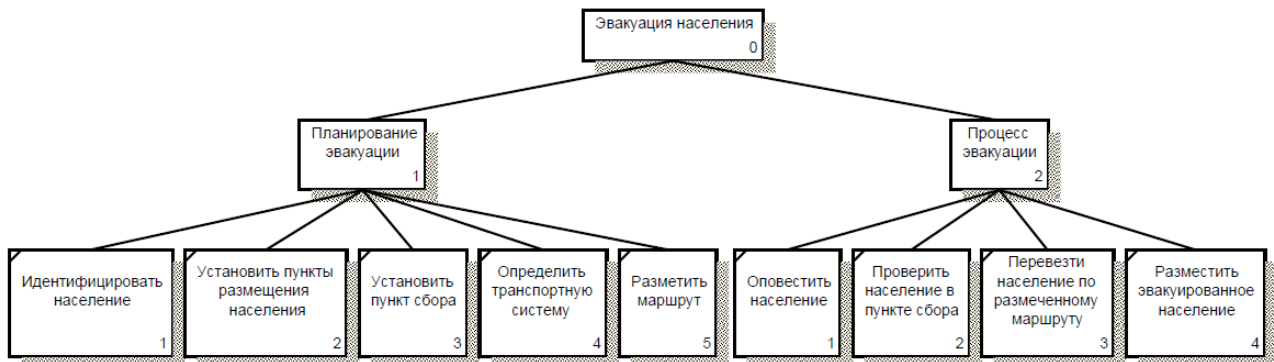


Рис. 1. Дерево узлов модели бизнес-процессов эвакуации населения при ЧС

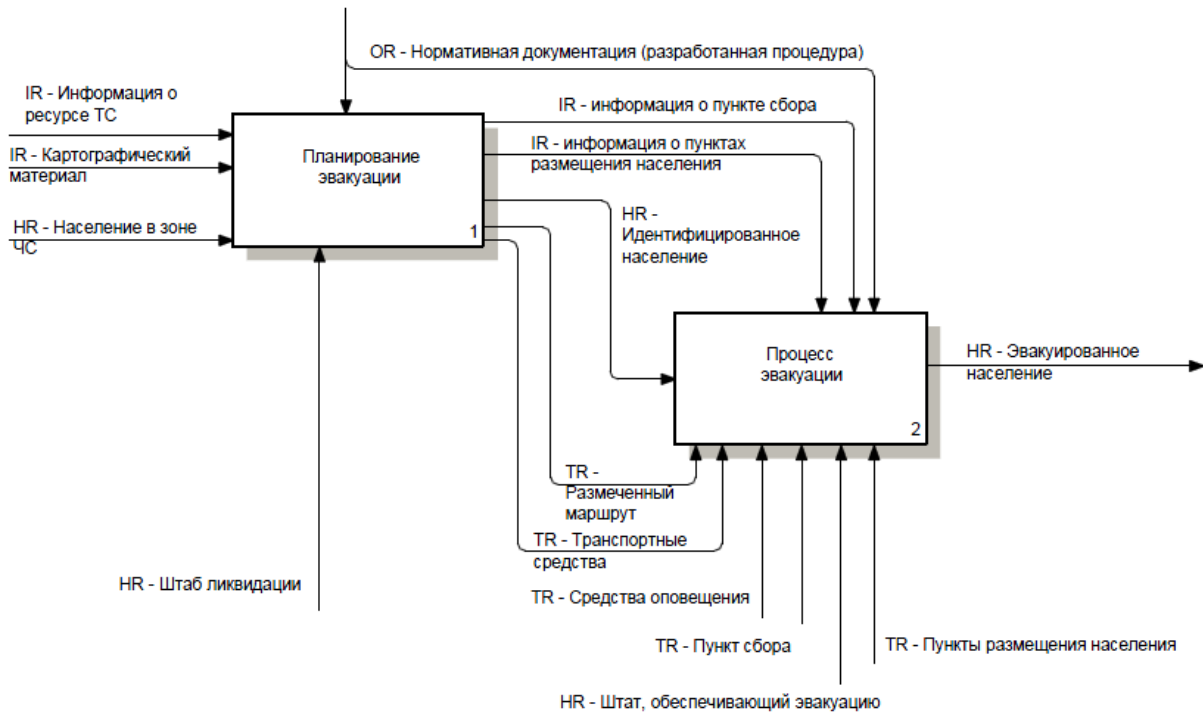


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции контекстной диаграммы модели бизнес-процессов эвакуации населения при ЧС

Построение дерева отказов для процесса эвакуации населения при ЧС

Все ресурсы распределены по четырем категориям:

- OR – организационный ресурс (organizational resource),
- TR – технический ресурс (technical resource),
- HR – человеческий ресурс (human resource),
- IR – информационный ресурс (informational resource).

Возможные виды отказов для различных категорий ресурсов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Виды отказов для различных категорий ресурсов

Вид отказа	Категория ресурса			
	HR	TR	OR	IR
Отказ идентификации	x	x	x	
Отказ по местоположению	x	x	x	
Отказ в доступности	x	x	x	x
Отказ в достижимости	x	x	x	
Отказ в обучении (недостаточная обученность)	x			
Отказ в обслуживании		x		
Отказ в отсутствии запаса	x	x	x	
Отказ в распространении			x	x

Классификация ресурсов бизнес процессов эвакуации населения представлена в таблице 2.

Таблица 2

Классификация ресурсов бизнес процессов эвакуации населения

Ресурсы		
Категория ресурса	Имя ресурса	
Аббр.	Название	
OR	Организационный ресурс	OR - Нормативная документация (разработанная процедура)
HR	Человеческий	HR - Идентифицированное население

	ресурс	ление
		HR - Население в зоне ЧС
	HR - Население, информированное об эвакуации	
	HR - Оповещенное население	
	HR - Перевезенное население	
HR	Человеческий ресурс	HR - Собранное население
		HR - Штаб ликвидации
		HR - Штат, обеспечивающий эвакуацию
		HR - Эвакуированное население
		HR Население, информированное об эвакуации
IR	Информационный ресурс	IR - Информация о пунктах размещения населения
		IR - информация о пункте сбора
		IR - Информация о ресурсе ТС
		IR - Картографический материал
TR	Технический ресурс	TR - Пункт сбора
		TR - Пункты приема населения
		TR - Пункты размещения населения
		TR - Размеченный маршрут
		TR - Средства оповещения
		TR - Транспортные средства

Для каждого отказа ресурсов и процессов модели определены степени отказа (уровни деградации):

- Lvl 1: Не ухудшенный ($\{g_{j,1} = 1, p_{j,1}\}$),
- Lvl 2: Скорее не ухудшенный ($\{g_{j,2} = 2, p_{j,2}\}$),
- Lvl 3: Скорее ухудшенный ($\{g_{j,3} = 3, p_{j,3}\}$),
- Lvl 4: Полностью ухудшенный ($\{g_{j,4} = 4, p_{j,4}\}$).

Построенное авторами дерево отказов для процесса эвакуации населения при ЧС представлено на рис. 3.

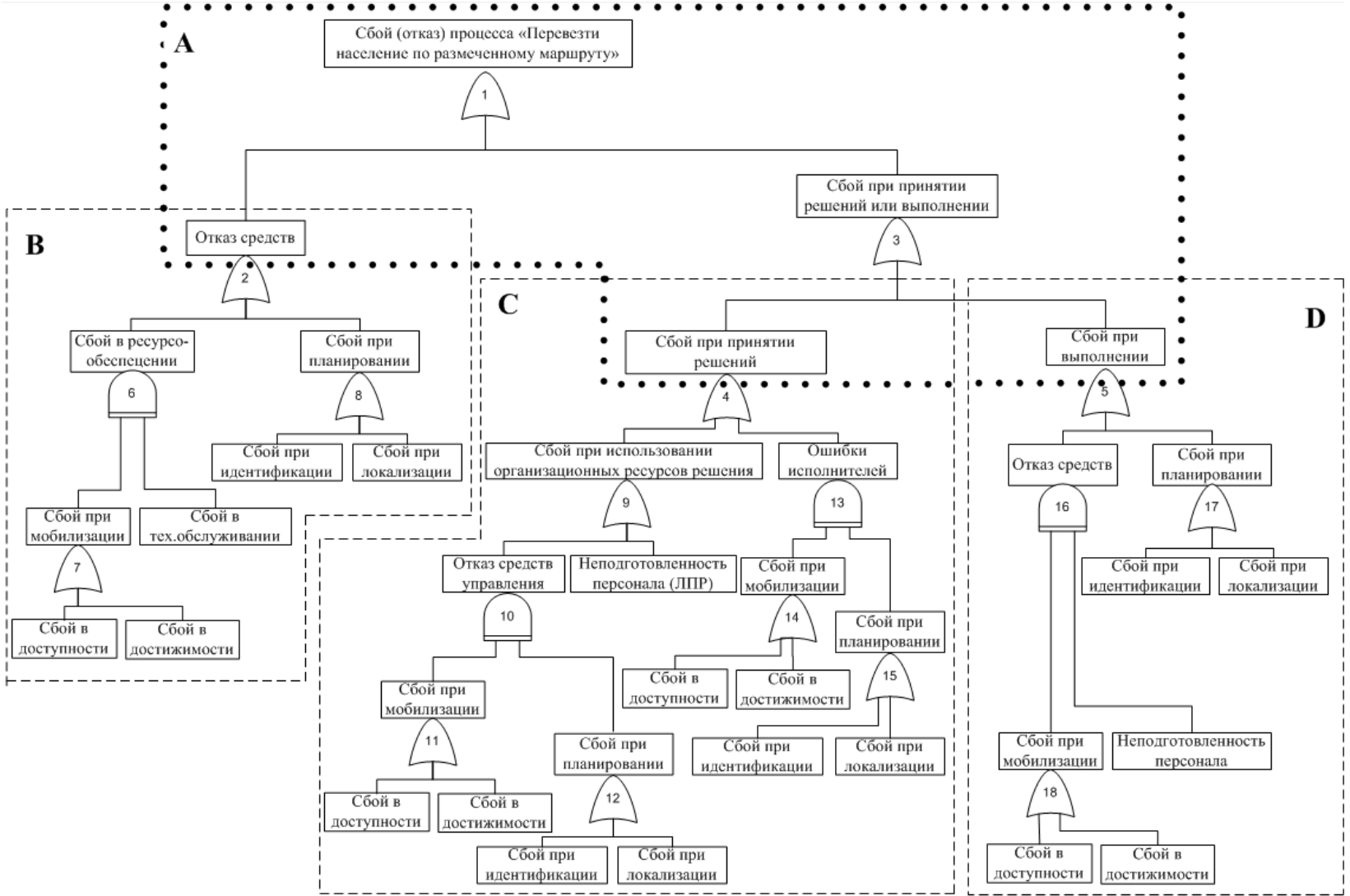


Рис. 3. Дерево отказов процесса эвакуации населения при ЧС

Определение вероятной степени сбоя процессов эвакуации вследствие отказа ресурсов осуществляется по дереву отказов с использованием логических операторов «и», «или», «исключающее или». Данные для элементов нижнего уровня дерева получают на основе анализа предыдущих ЧС

и экспертных оценок. На основе анализа процессов эвакуации выявлены узкие места – маршруты эвакуации. Оптимизацию маршрутов эвакуации предложено выполнять на основе методов транспортной логистики [15, 16].

Список литературы

1. 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. 32, 2012, 1468-1480.
2. Georgiadou, P.S., Papazoglou, I.A., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. // Reliab. Eng. Syst. Safety 92, 2007, 1388-1402.
3. 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.
4. Dombroski, M., Fischhoff, B., Fischbeck, P. Predicting emergency evacuation and sheltering behavior: a structured analytical approach. Risk Anal.: Off. Publ. Soc. Risk Anal. 26, 2006, 1675-1688.
5. Li, A.C., Nozick, L., Xu, N., Davidson, R. Shelter location and transportation planning under hurricane conditions. // Transport. Res. Part E: Logist. Transport. Rev. 48, 2012, 715-729.
6. Groenendaal, J., Helsloot, I., Scholtens, A. A critical examination of the assumptions regarding centralized coordination in large-scale emergency situations. // J. Hazard. Mater. 2013, 10.
7. 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 95, 2010, 1123-1133.
8. Flaus, J.M. Modelisation de systemes organisationnels pour l'analyse des defaillances: Application au plan communal de sauvegarde. / In 8eme Conference Internationale de Modelisation et Simulation. Hammamet, Tunisie, 2010, p. 6.
9. Jain, S., McLean, C. A framework for modeling and simulation for emergency response / In: Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2003, pp. 1068-1076.
10. Massaguer, D., Balasubramanian, V., Mehrotra, S., Venkatasubramanian, N. Multi-agent simulation of disaster response / In: ATDM Workshop in AAMAS, 2006.
11. Georgiadou, P.S., Papazoglou, I.A., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C. Multi-objective evolutionary emergency response optimization for major accidents // J. Hazard. Mater. 178, 2010, 792-803.
12. 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. 26, 2013, 1366-1379.
13. Flaus, J.M. A modelling framework for model based risk analysis // In: ESREL. Troyes, France, 2011., pp. 1533-1540.
14. Feng Nan, Olga Shikulskaya, Timur Esmagambetov, Tian-Jiao Song, Li Zhang and Wen-Xin Zhu // Assessment Methods Analysis of Models Reliability of Emergency Response in Emergency Situations. 2017 International Conference on Energy, Power and Environmental Engineering (ICEPEE 2017). April 23-24, 2017, Shanghai, China. pp 36-39. ISBN: 978-1-60595-456-1
15. Шиккульская О.М., Есмагамбетов Т.У. Решение оптимизационных задач транспортной логистики с учетом состояния и загруженности дорог / Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 160-173.
16. D. P. Anufriev, O. M. Shikulskaya, T. U. Esmagambetov and M. I. Shikulskiy, "The optimization model of transport routes taking into account the state of roads and road traffic congestions," 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, Indonesia, 2016, pp. 1717-1721. doi: 10.1109/IEEM.2016.7798171

© Т. У. Есмагамбетов, О. М. Шиккульская

Ссылка для цитирования:

Есмагамбетов Т. У., Шиккульская О. М. Модель оценки эффективности решения задач управления процессами экстренного реагирования как системы с многими состояниями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 108-114.

УДК 621.397:681.3.01(082)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ ДИСЦИПЛИН «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» И «ФИЗИКА»

В. П. Быкова

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

На основе учебно-методического комплекса, включающего 5 стендов, разработан лабораторный практикум с применением программы Delta Profi по курсу дисциплин «Электротехника» и «Физика», позволяющий выполнить 24 работы с элементами самостоятельного исследования. Математические расчеты измерений рекомендуется выполнять в Mathcad. Лабораторный практикум внедрен в учебный процесс вуза.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, электротехника, лабораторный практикум, физика, расчеты в Mathcad.

LABORATORY PRACTICUM PERFORMANCE IN ELECTRICAL ENGINEERING AND PHYSICS USING THE SOFTWARE AND HARDWARE PACKAGE

V. P. Bykova

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

On the basis of the educational and learning pack including 5 stands, a laboratory practicum in Electrical Engineering and Physics was designed with the use of the program DeltaProfi. It allows to perform 24 laboratory works with elements of independent re-