

Из приведённых зависимостей видно, что учёт структуры вычислительных устройств позволяет существенно повысить точность при вычислении нижней границы надёжности ВС, причем выигрыш существенно сказывается при $\theta < 0,1$. Максимальный выигрыш в точности расчёта надёжности получается при $S=\theta=0$ и равен $m=L^2$.

Таким образом, в настоящее время одним из наиболее эффективных способов повышения надёжности ВС является комбинированное резервирование, сочетающее достоинства постоянного резервирования и резервирования замещением. В ВС с комбинированным резервированием одним из принципов введения избыточности является гибридный принцип, на основе которого используется гибридное резервирование. Учёт структуры ВС в модели надёжности с гибридным резервированием позволяет повысить точность расчёта надёжности таких систем.

Литература

1. Надёжность технических систем и техногенный риск: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2007.
2. Иыуду К.А. Надёжность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. М.: Высш. шк., 1989.
3. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надёжных систем. М.: Мир, 1956.
4. Пирс У. Построение надёжных вычислительных машин. М.: Мир, 1968.
5. Козлов В.А., Ушаков И.А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Надёжность технических систем и техногенный риск. СПб.: БХВ-Петербург, 1998.
7. Основы проектирования надёжных вычислительных систем / А.Е. Александров [и др.]. М.: Радио и связь, 2005.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СОСТАВА СИЛ И СРЕДСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

О.А. Рыбин, доктор технических наук;

В.В. Попов, кандидат военных наук, доцент;

А.А. Козлов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены подходы, в основе которых лежит принцип согласования структуры и перечня задач (действий) сил и средств, выделяемых для ликвидации чрезвычайных ситуаций. Синтез структуры состава сил и средств, выделяемых для ликвидации чрезвычайных ситуаций, производится путём отображения моделей структур во множество альтернативных структур (ядро) и последующего выбора наиболее рациональной структуры в соответствии с принятым принципом оптимальности. Выбор окончательной структуры производится путём последовательного анализа альтернативных вариантов. Представлено обобщенное описание методики построения графа модели организационной структуры состава сил и средств, выделяемых для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, графовая модель, организационная структура, оптимизация структуры

BUILDING A GRAPH MODEL OF THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF THE COMPOSITION OF THE FORCES AND MEANS ALLOCATED FOR LIQUIDATION OF EMERGENCIES

O.A. Rybin; V.V. Popov; A.A. Kozlov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In the basis of the described approaches is the principle of harmonization of the structure and list of tasks or actions of forces and means allocated for liquidation of emergency situations. Synthesis of the structure of the composition of the forces and means allocated for liquidation of emergency situations is by displaying models of structures in a set of alternative structures (core) and the subsequent selection of the most rational structure in accordance with the principle of optimality. The choice of the final structure is made by sequential analysis of alternative вариантов. В article presents a generalized description of the methods of building a graph model of the organizational structure of the composition of the forces and means allocated for liquidation of emergency situations.

Keywords: emergency situation, the graph model, organizational structure, optimization of the structure

При возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС), в соответствии с существующим законодательством, ликвидацией её последствий занимается Комиссия по ликвидации ЧС (КЧС), которой оперативно подчиняются силы и средства соответствующих функциональных и территориальных подсистем системы РСЧС. Указанные силы и средства, обладают количественными и качественными характеристиками, а также обладают определённой структурой и функционируют в рамках своих ведомственных систем, однако при ликвидации ЧС зачастую возникает вопрос об изменении функциональных связей указанных сил и средств с целью оперативной и полной ликвидации ЧС. Данная цель может быть достигнута только в случае централизованного и эффективного использования всех сил и средств, которое, в свою очередь, достигается полным согласованием целей и задач каждого подразделения, выделяемого для ликвидации ЧС.

Для оперативного решения указанных задач, а именно распределения сил и средств для ликвидации ЧС и формирования на их основе организационной структуры, необходимо провести подготовительный этап по формированию набора «сценариев действий» в зависимости от складывающихся условий обстановки.

В основе этого этапа лежит моделирование рассматриваемых процессов, в частности моделирование организационной структуры, выделяемой для ликвидации ЧС состава сил и средств в различных условиях обстановки. В основе этой модели предлагается использовать графовую модель, позволяющую учесть принцип согласования структуры и перечня задач (действий).

Пусть структура задач, выделяемых сил и средств (назовём их подсистемами) при ликвидации ЧС представлена графом (рис. 1).

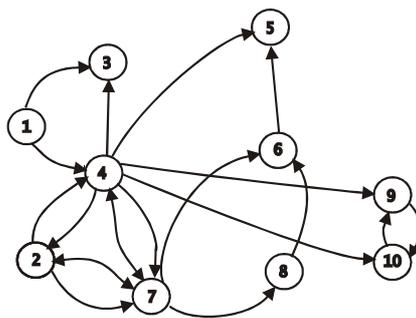


Рис. 1. Граф структуры модели организационной структуры

Применим методику оптимального синтеза к структуре модели организационной структуры.

1. Декомпозиция графа может быть произведена формальным возведением матрицы смежности в степени и их последующим анализом. Однако здесь применим способ декомпозиции, основанный на определении достижимого и контрдостижимого множества для всех вершин графа. Определим достижимые множества вершин:

$$\begin{array}{ll}
 R(1) = \{1,2,3,\dots,10\} & R(6) = \{5,6\} \\
 R(2) = \{2,3,\dots,10\} & R(7) = \{1,2,3,\dots,10\} \\
 R(3) = \{3\} & R(8) = \{5,6,8\} \\
 R(4) = \{2,3,\dots,10\} & R(9) = \{9,10\} \\
 R(5) = \{5\} & R(10) = \{9,10\}
 \end{array}$$

Контрдостижимое множество вершин графа:

$$\begin{array}{ll}
 Q(1) = \{1\} & Q(6) = \{1,2,4,6,7,8\} \\
 Q(2) = \{1,2,4,7\} & Q(7) = \{1,2,4,7\} \\
 Q(3) = \{1,2,3,4,7\} & Q(8) = \{1,2,3,4,7,8\} \\
 Q(4) = \{1,2,4,7\} & Q(9) = \{1,2,4,7,9,10\} \\
 Q(5) = \{1,2,4,5,6,7,8\} & Q(10) = \{1,2,4,7,9,10\}
 \end{array}$$

Последовательно определим сильно связанные подграфы исходного графа и получим подграфы V_1, \dots, V_7 , которые в соответствии с методикой могут быть отождествлены с одной вершиной:

$$\begin{array}{l}
 V_1 = R(1) \cap Q(1) = \{1\} \\
 V_2 = R(2) \cap Q(2) = \{2,4,7\} \\
 V_3 = R(3) \cap Q(3) = \{3\} \\
 V_4 = R(5) \cap Q(5) = \{5\} \\
 V_5 = R(6) \cap Q(6) = \{6\} \\
 V_6 = R(8) \cap Q(8) = \{8\} \\
 V_7 = R(9) \cap Q(9) = \{9,10\}
 \end{array}$$

Переномеруем вершины графа. Отождествляем вершины, принадлежащие сильно связанному подграфу. Именно, положим $2' \equiv \{2, 4, 7\}$; $4' \equiv \{9, 10\}$; $7' \equiv 8$, номера остальных вершин оставим без изменений. Получим граф (рис. 2.).

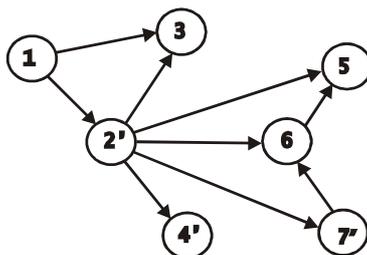


Рис. 2. Преобразованный граф задач (после декомпозиции)

2. Применим алгоритм вертикальной структуризации графа. Запишем множество левых инцидентов G^{-1} для введенного графа. Получим $G^{-1}(1)=\{\emptyset\}$; $G^{-1}(2)=\{1\}$; $G^{-1}(3)=\{1,2\}$; $G^{-1}(4)=\{1,2\}$; $G^{-1}(5)=\{1,2,6,7\}$; $G^{-1}(6)=\{1,2,7\}$; $G^{-1}(7)=\{1,2\}$.

Определим вершины нулевого уровня по правилу:

$$N_0 = \{i: G^{-1}(i) = \emptyset\}$$

$$N_0 = \{1\}$$

Определим вершины последующих уровней:

$$N_1 = \{i: G^{-1}(i) \subset N_0\}$$

$$\vdots$$

$$N_j = \{j: G^{-1}(j) \subset N_0 \cup \dots \cup N_{j-1}\}$$

$$N_1 = \{2\}, N_2 = \{3,4,7\}, N_3 = \{6\}, N_4 = \{5\}$$

Нумеруя вершины графа, начиная с нулевого уровня, получим вертикально структурированный граф, в скобках указаны старые номера вершин (рис. 3).

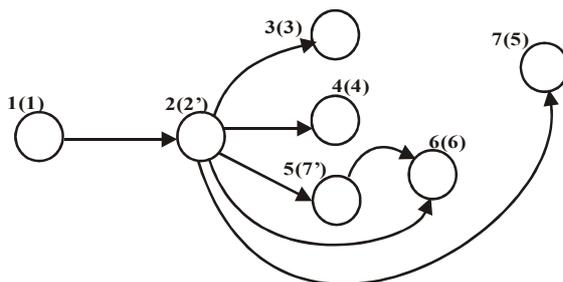


Рис. 3. Вертикально структурированный граф моделей организационных структур

3. Следующим шагом методики (для прямой задачи) является назначение норм надёжности – вероятности полного и своевременного решения задач системой управления $P(t)$ и определение ресурсов управления c_1, \dots, c_n . Под ресурсами будем понимать расходы, связанные с созданием и поддержанием требуемых ресурсов для решения одной задачи. В частности, это могут быть дополнительные или специальные технические средства и т.п. Для простоты записи назовём c_1, \dots, c_n «ресурсами подсистем» и будем опускать аргумент t для функции вероятности, где это возможно. Для этого случая возможно применение методов оптимального усиления внутри группы.

4. В рассматриваемой структуре предполагается прямая зависимость между задачами, то есть решение задачи нижнего уровня невозможно без решения связанной с ней задачи верхнего уровня. Если считать, что система предназначена для решения конечных задач, то с точки зрения надёжности система управления представляет собой последовательную схему.

Следующим шагом методики является принятие гипотезы о модели надёжности подсистемы. Надёжность технических средств, как показывает практика, значительно выше, по сравнению с надёжностью человека. Поэтому сделаем допущение о том, что технические средства абсолютно надёжны. Выбор модели надёжности расчёта осуществляется по приведенной выше методике.

Итак, преобразованный граф структуры задач имеет вид, представленный на рис. 4.

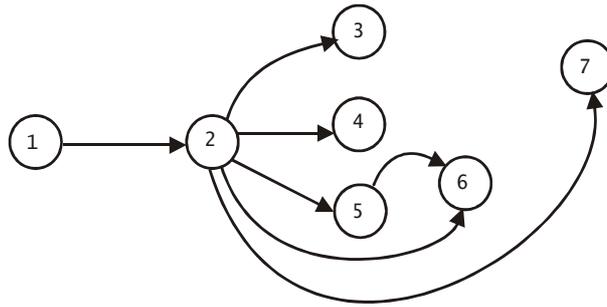


Рис. 4. Структурированный граф модели организационной структуры

Зададимся моделями надёжности рассматриваемых подсистем. Пусть, например, функции надёжностей имеют вид:

$$p_i(t) = 1 - a_i e^{-b_i t}, i = \overline{1,4},$$

где $a_1=a_2=0,2$; $a_3=a_4=0,3$; $b_1=b_2=1$; $b_3=b_4=2$.

$$p_j(t) = \frac{1}{1 + a_j e^{-b_j t}}, j = \overline{5,7},$$

где $a_j=1$; $b_j=1$, $j = \overline{5,7}$.

Замечание 1. Для вершин, соответствующих сильно связным подграфам, получаемым в результате декомпозиции на первом шаге методики, введённые модели надёжности также применимы.

Действительно, с одной стороны, если задачи достаточно просты и близки в смысле расстояния, введённого в множестве моделей организационных структур, то эти задачи можно возложить на одну подсистему. С другой стороны, если эти задачи решает не одна подсистема, то функция надёжности для группы таких подсистем будет мультипликативной (в случае независимости).

Пусть, например, выделяемые для ликвидации ЧС силы и средства состоят из двух подсистем с функциями надёжности:

$$p_i(t) = 1 - a_i e^{-b_i t}, i = 1,2 .$$

Тогда:

$$\begin{aligned} p_1(t)p_2(t) &= (1 - a_1 e^{-b_1 t})(1 - a_2 e^{-b_2 t}) = \\ &= 1 - a_1 e^{-b_1 t} - a_2 e^{-b_2 t} + a_1 a_2 e^{-(b_1 + b_2)t} . \end{aligned}$$

Используя разложение экспоненты в нуле, получим:

$$p_1(t)p_2(t) = 1 - a_1(1 - b_1 t) - a_2(1 - b_2 t) + a_1 a_2(1 - (b_1 + b_2)t) + o(t) \text{ при } t \rightarrow 0.$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned} p_1(t)p_2(t) &\sim 1 - a_1 - a_2 + a_1 a_2 + t(a_1 b_1 + a_2 b_2 - a_1 a_2 (b_1 + b_2)) \text{ при } t \rightarrow 0 \\ \text{или } p_1(t)p_2(t) &\sim 1 - a e^{-bt} \text{ при } t \rightarrow 0 \end{aligned}$$

где $a=1+a_1a_2-(a_1+a_2)$, $b=a_1b_1(1+a_2)+a_2b_2(1+a_1)$.

Можно показать, что

$$p_1(t)p_2(t) \sim 1 - a_{\xi} e^{-\min(b_1, b_2)t} \text{ при } t \rightarrow \infty,$$

где $\xi = \{i: b_i = \min(b_1, b_2)\}$, если $b_1 \neq b_2$.

Таким образом, введённые модели хорошо аппроксимируют и надёжность группы независимых подсистем для малых и больших времён. Следовательно, можно на первом этапе проектирования считать систему управления состоящей из отдельных подсистем, имеющих соответственные функции надёжности.

Замечание 2. В рассматриваемых моделях групповой деятельности подсистем, выделяемых для ликвидации ЧС, время входит непрерывно. Удобнее рассматривать фиксированное время, соответствующее периодам времени работы. В этом случае можно вводить величину N – единого времени работы. Тогда формула для функции надёжности:

$$p_1(t, N) = 1 - a e^{-b \frac{t}{N}},$$

где b – безразмерная константа для данной модели.

Поэтому вероятности должны рассматриваться для значений времени кратных N : $0, N, 2N, \dots$. Для упрощения можно считать время непрерывным, округляя задаваемые значения времени в большую сторону до ближайшего кратного N .

В соответствии с алгоритмом синтеза для решения задачи необходимо определить структуру и надёжности выделяемых для ликвидации ЧС подсистем, отождествлённых с одной вершиной вертикального структурированного графа. Наиболее простой способ определения структуры группы – это отображение структуры задач группы на базовую модель деятельности выделяемых подсистем. Целесообразно учитывать также некоторые свойства задач, решаемых в группе. Если задачи простые, не требуют много времени, взаимосвязанные, то, например, связную пару задач типа может решать одна подсистема. Функция надёжности группы определится по формуле:

$$P_{\Gamma}(t) = \left(1 - \prod_{i=2,4,7} (1 - P_i(t)) \right) P_0(t),$$

где $P_0(t)$, $P_i(t)$ – надёжности руководителя и подсистем соответственно.

Пусть заданы надёжности выделяемых подсистем:

$$p_i(t) = 1 - a_i e^{-b_i t}, \quad a_i = \frac{1}{2}, \quad b_i = 1, \quad i = \overline{1,5};$$

$$p_i(t) = \frac{1}{1 + a_i e^{-b_i t}}, \quad a_i = 1, \quad b_i = 1, \quad i = \overline{6,10}$$

и вектор ресурсов $\bar{c} = (5, 5, 2, 3, 4, 2, 6, 1, 2, 10)$.

А) Решим прямую задачу оптимального синтеза организационной структуры – найти вектор m^* , которому соответствует максимальная вероятность безошибочного и своевременного принятия действий при ограничении на ресурсы системы $C=100$.

Пусть t выбрано таким, чтобы $\min_i \{b_i t\} = 2$. Этот момент времени соответствует хорошо согласованной и отлаженной системе управления – функции надёжности

приближаются к установившемуся значению. Тогда из начальных условий определяем $t=2$, и вероятности $p_i(2)$ имеют значения: $p_i(2)=0,93$, $i = \overline{1,5}$; $p_i(2)=0,88$, $i = \overline{6,10}$.

Определим надёжность и ресурсы группы, в которую входят подсистемы 2, 4, 7 и 9. Получим $P_r(2)=0,88$, $C_r=5+3+6+2=16$. Итак, вершина 2 преобразованного графа имеет ресурсы $c_2=16$ и надёжность $p_2=0,88$. Воспользуемся приближёнными выражениями для числа подсистем и групп их включающих:

$$m_i^* = \left(\ln u_j - \left(c + \sum_{i=1}^n u_i \ln u_i \right) / \sum_{i=1}^n u_i \right) / \ln(1-p_i), \text{ где } u_i = -c_i / \ln(1-p_i).$$

Получим:

$$m_1^* \approx 1,5$$

$$m_2^* \approx 1$$

$$m_3^* \approx 1,8$$

$$m_4^* \approx 1,6 .$$

$$m_5^* \approx 1,8$$

$$m_6^* \approx 2,5$$

$$m_7^* \approx 1,5.$$

Отсюда, округляя полученные значения до ближайших целых, получим, что m_i^* могут принимать значения:

$$m_1^* \in \{1,2\}$$

$$m_2^* \in \{1\}$$

$$m_3^* \in \{2\}$$

$$m_4^* \in \{1,2\} .$$

$$m_5^* \in \{2\}$$

$$m_6^* \in \{2,3\}$$

$$m_7^* \in \{1,2\}.$$

Таким образом, надёжность усиленной системы управления находится по формуле

$$P = \prod_i \left(1 - (1 - p_i)^{m_i^*} \right),$$

где m_i^* могут принимать указанные значения. Далее полным перебором, проверяя выполнение ограничения на ресурсы, получим, что оптимальное число подсистем даётся вектором $\bar{m} = (1, 1, 2, 1, 2, 3, 1)$, при этом ресурсы системы $C = (\bar{c}, \bar{m}) = 50$, надёжность системы $P \approx 0,8$.

Таким образом, система управления имеет вид (рис. 5), на котором восстановлена исходная нумерация подсистем, выделяемых для ликвидации ЧС сил и средств. Отброшена также неестественная для иерархических систем связь между девятой и группой шестых подсистем, так как её наличие, означало бы двойное подчинение. Это подчинение девятой

подсистеме реализуется через группу подсистем 8. Двухнаправленные стрелки соответствуют взаимодействию при решении ими поставленных задач.

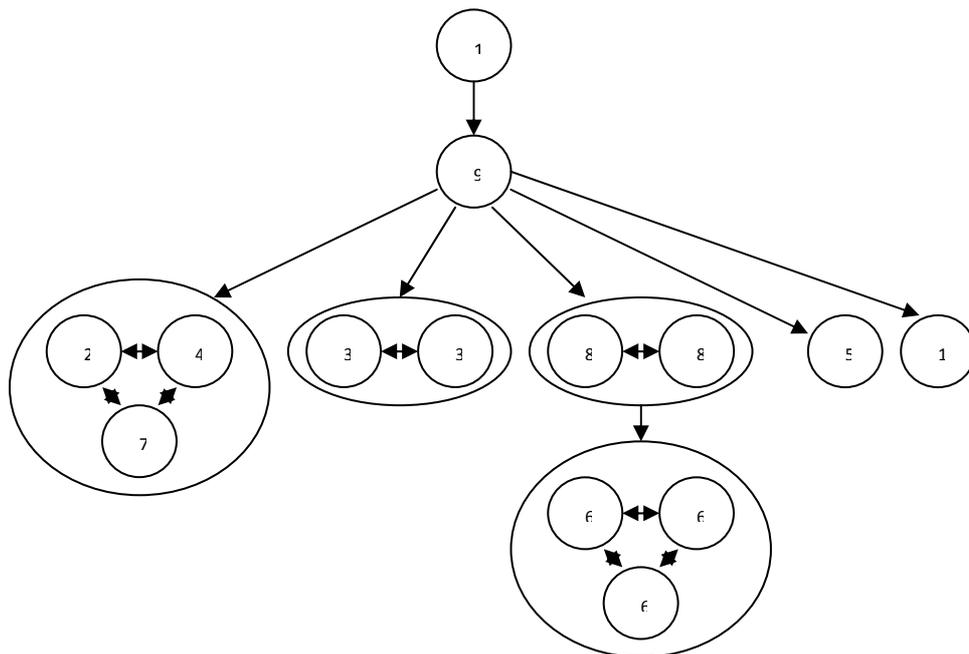


Рис. 5. Структура системы управления (прямая задача)

Б) Обратная задача. Пусть заданы функции надёжности и ресурсов выделяемых подсистем, как и в первой задаче, а также требуемая надёжность системы $P=0,89$. Решим обратную задачу – найдем оптимальное число подсистем, то есть вектор \bar{m} , для которого ресурсы минимальны и надёжность системы не ниже 0,9. Выберем момент времени такой же, как и в первой задаче $t=2$. Воспользуемся приближенным равенством для высоконадёжных систем.

$$m_i^* = \frac{\ln(1-p)}{\ln(1-p_i)} - \frac{\ln \sum_{i=1}^n u_i - \ln u_i}{\ln(1-p_i)}, \text{ где } u_i = \frac{c_i}{\ln(1-p_i)}.$$

Получим:

$$\begin{aligned} m_1^* &\approx 1,6 \\ m_2^* &\approx 1,2 \\ m_3^* &\approx 1,9 \\ m_4^* &\approx 1,7. \\ m_5^* &\approx 2 \\ m_6^* &\approx 2 \\ m_7^* &\approx 2. \end{aligned}$$

Отсюда, округляя полученные значения до ближайших целых, получим, что m_i^* могут принимать значения:

$$\begin{aligned}
m_1^* &\in \{1,2\} \\
m_2^* &\in \{1\} \\
m_3^* &\in \{2\} \\
m_4^* &\in \{1,2\} \\
m_5^* &\in \{2\} \\
m_6^* &\in \{2\} \\
m_7^* &\in \{2\}
\end{aligned}$$

Надёжность усиленной системы управления находится по формуле

$$P = \prod_i (1 - (1 - p_i)^{m_i^*}),$$

где m_i^* могут принимать указанные значения. Далее полным перебором, проверяя выполнение ограничения на надёжность системы, получим, что оптимальное число подсистем и их групп даётся вектором $\bar{m} = (2, 1, 2, 2, 2, 2, 2)$, при этом ресурсы системы $C = (\bar{c}, \bar{m}) = 64$, надёжность системы $P=0,89$.

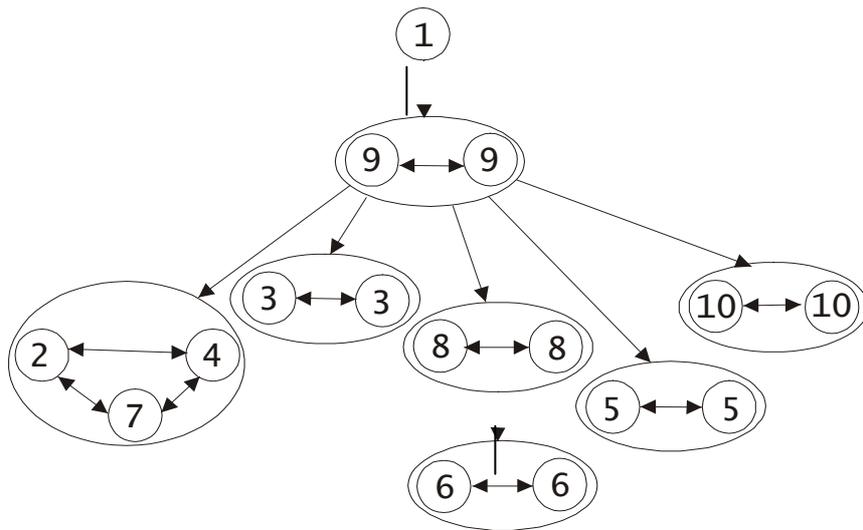


Рис. 6. Структура системы управления (обратная задача)

Таким образом, система управления имеет вид, как показано на рис. 6, на котором также восстановлена исходная нумерация подсистем. Для этой системы также отброшена связь между группой девярых и группой шестых подсистем. Очевидно, что полученная вторым способом структура обладает большей избыточностью и ресурсоёмкостью. Это обусловлено тем, что она имеет более высокую надёжность по сравнению со структурой, приведённой на рис. 5. Интересно, что во втором варианте структуры не произошло простого численного роста всех подсистем – например, число подсистем 6 уменьшилось. Можно отметить, что во втором варианте подсистема 9, занимающая в системе центральное место, усилена.

Литература

1. Технология синтеза организационных структур сложных систем управления / С.А. Багрецов [и др.]. М.: Гос. унитарн. предпр. «Всерос. НИИ межотрасл. информ.». 1998. 224 с.

2. Совершенствование организационных структур промышленных предприятий / А.С. Казарновский [и др.]. Киев: Наукова думка, 1981. 187 с.

3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето, оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.

МЕТОД РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРАХ

Т.А. Подружкина, кандидат педагогических наук;

М.И. Гвоздик, кандидат технических наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены различные аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Для разработки моделей поддержки принятия решений предлагается использовать подход, базирующийся на объединении современных моделей представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечеткой иерархии и моделей принятия решений, основанных на теории нечетких множеств, нечеткой логике, нечеткой математике.

Ключевые слова: модели принятия решений, нечеткие множества, чрезвычайные ситуации, аспекты обеспечения безопасности

THE METHOD OF MODELING DECISION MAKING IN THE FIELD OF RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT IN THE FIELDS OF NATURAL AND OF TECHNOGENIC

T.A. Podrzhkina; M.I. Gvozdk.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers various aspects of the security of human life. For modeling decision support is proposed to use an approach based on a combination of modern models of knowledge representation of poorly structured domain in the form of fuzzy hierarchy and decision-making models based on the theory of fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy mathematics.

Keywords: models of decision making, fuzzy sets, emergencies, security aspects

В статье члена Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации Ю.Л. Воробьева [1] рассмотрены различные аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, для решения которых необходимы совместные, комплексные, скоординированные усилия людей, общества, власти, общественных организаций и научных сообществ. Рассмотрены роль и задачи Экспертного совета МЧС России, призванного осуществлять экспертную поддержку управления при подготовке и принятии решений на ведение работ по предупреждению чрезвычайных ситуаций или спасению людей и защите территорий, когда штатных ресурсов МЧС России недостаточно, и требуются дополнительные консультации.

Необходимым элементом экспертной поддержки прогноза развития чрезвычайных ситуаций, а также анализа мер по их предотвращению являются модели поддержки принятия решений при выборе наиболее эффективных альтернатив развития и методов их обеспечения ресурсами, моделей прогноза результатов тех или иных решений с возможностью быстрой адаптации в условия изменяющихся целей, ресурсов и временных