

Павленко А.В., аспирант,
Ветрова Ю.В., канд. техн. наук, доц.,
Васюткина Д.И., асс.

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПОЖАРОВ

zchs@intbel.ru

В статье рассматриваются вопросы выбора оптимального состава сил и средств для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а так же вопросы оптимального распределения ликвидационных задач между отдельными формированиями.

Ключевые слова: алгоритм, чрезвычайная ситуация, план ликвидации, математическое моделирование, матрица, оптимизация.

Введение. В условия возникновения и динамического развития чрезвычайных ситуаций (ЧС) и пожаров критическим фактором для принятия решений о ликвидации ЧС является информация, ее полнота, непротиворечивость и надежность. Отсюда следует актуальность информационной поддержки оперативного управления в ЧС на самых ранних этапах – на стадии распознавания ЧС на основе недостаточной и часто противоречивой информации [1]. Одним из способов осуществления информационной поддержки распознавания ЧС – разработка и реализация системы, содержащей список всех ожидаемых аварий и средств поиска наиболее близкой ситуации. В настоящее время одним из наиболее широко используемых методов оперативного управления в ЧС является сценарный подход [2]. В связи с этим для большинства классов возможных ЧС построены сценарии их развития. Набор описаний сценариев может быть взят за основу базы знаний о возможностях ЧС, которая используется для решения задачи распознавания.

Актуальной задачей системы информационной поддержки управляющих решений в условиях ЧС является разработка метода генерации плана ликвидации ЧС на основе имеющихся ресурсов и правил их использования [3].

Основная часть. Поскольку процесс принятия решений по ликвидации ЧС является слабоформализуемым, то метод составления плана ликвидации ЧС включает в себя осуществление следующих действий [4]:

- уточнение характеристик ЧС с помощью алгоритма распознавания и получения на основе динамических моделей уточненных прогнозных оценок развития опасных факторов ЧС и перечня необходимых ликвидационных мероприятий;
- выполнение уточненного расчета параметров использования имеющихся сил, средств и ресурсов на основе прогноза развития ЧС;
- поиск оптимального распределения ресурсов в рамках выбранного плана действий.

Реализация данного метода осуществляется в два этапа [5]:

1) формирование необходимого базового плана ликвидации ЧС с неуказанными параметрами выполнения и не назначенными исполнителями;

2) формирование эффективного детального плана с рассчитанными параметрами и назначенными исполнителями.

Вопросы выбора оптимального состава сил и средств для ликвидации последствий ЧС, а так же вопросы оптимального распределения ликвидационных задач между отдельными формированиями остается до настоящего времени малоразработанными. Не разработаны так же методы анализа затрат, необходимых для ликвидации ЧС. Перспективным направлением решения этих задач является использование математического моделирования и информационных технологий [6].

Пусть известны координаты (x_0, y_0) места ЧС, количественный показатель W необходимого объема работ по ликвидации ЧС, множество $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ формирований, предназначенных для ликвидации, функция $\lambda((x_0, y_0), \dots, (x_k, y_k))$, определяющая время в пути каждого формирования. Составим матрицу Λ , i -ая строка которой описывает характеристически i -го формирования ...

$$\Lambda = \begin{bmatrix} w_1 t_1^0 x_1^k y_1^k z_1^p z_1^n \\ w_2 t_2^0 x_2^k y_2^k z_2^p z_2^n \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где w – производительность формирования в единичных объемах работы в час; t^0 – время приведения формирования в полную готовность с учетом времени на принятие решения; (x^k, y^k) – координаты местонахождения формирования; z^p – затраты формирования за 1 час ликвидационных работ; z^n – затраты формирования на 1 час пути.

Анализ особенности протекания техногенных ЧС в учреждениях, и в том числе и в ВУЗах,

оказывает что обеспечить минимальные потери можно лишь при максимально быстром проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ [7]. Отсюда следует, что в качестве критерия эффективности проведения ликвидации ЧС можно выбрать скалярный параметр «Время ликвидации». Оптимизация процесса ликвидации ЧС заключается в отыскании вектора загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$ минимизирующего суммарное время $t_{\text{общ}}$ на выполнение ликвидационных мероприятий и необходимые для этого затраты:

$$t_{\text{общ}} \rightarrow \min \tag{2}$$

$$Z_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^A (z_i^{\text{П}} t_i^{\text{П}} + z_i^{\text{Р}} \cdot \frac{V_i}{w_i}) \rightarrow \min \tag{3}$$

при ограничениях:

$$V_i \geq 0; i = (1, A); \sum_{i=1}^A V_i = W \tag{4}$$

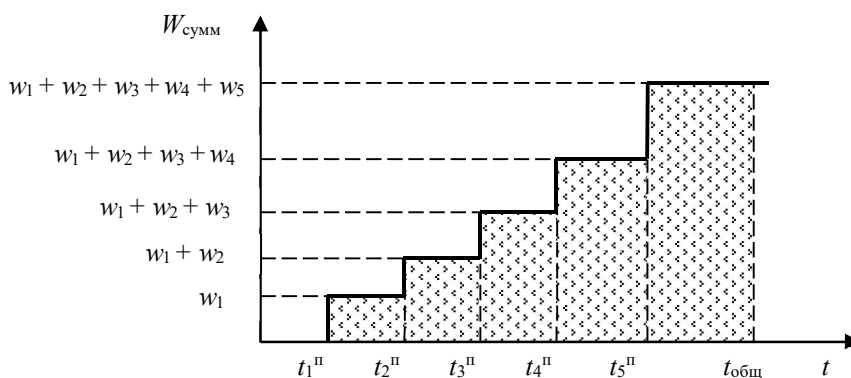


Рис. 1. Вид зависимости $W_{\text{сумм}}(t)$

Площадь ступенчатой фигуры $S(t)$ соответствует объему выполненной работы

$$W = S(t_{\text{общ}}) = \sum_{i \in M} w_i (t_{\text{общ}} - t_i^{\text{П}}) = \sum_{i \in M} w_i t_{\text{общ}} - \sum_{i \in M} w_i t_i^{\text{П}} = t_{\text{общ}} \sum_{i \in M} w_i - \sum_{i \in M} w_i t_i^{\text{П}}. \tag{6}$$

Отсюда

$$t_{\text{общ}} = \frac{W + \sum_{i \in M} w_i t_i^{\text{П}}}{\sum_{i \in M} w_i}. \tag{7}$$

Предположим, что в ликвидации ЧС в ВУЗе могут участвовать пять аварийно-спасательных

Здесь $t_i^{\text{П}}$ – время, затраченное i -ым формированием на выдвижение к месту ЧС; w_i – производительность i -го формирования.

Зависимость общей производительности группировки ликвидационных формирований от времени имеет вид :

$$W_{\text{сумм}}(t) = \sum_{i \in M} w_i \tag{5}$$

где M – множество номеров формирований, успевших прибыть на место ЧС к моменту времени t . Время $t_i^{\text{П}}$ прибытия i -го формирования к месту ЧС зависит от степени его готовности и расстояния, поэтому формирования включаются в работу не все сразу, а постепенно- по мере прибытия.

Характер зависимости $W_{\text{сумм}}(t)$ показан на рисунке 1.

формирований, характеристики которых приведены в таблице 1. Минимизация $t_{\text{общ}}$ сводится к поиску множества M номеров формирований, наиболее эффективно участвующих в ликвидации ЧС в ВУЗе.

Таблица 1.

Исходные данные по аварийно-спасательным формированиям

Формирование	Время прибытия $t_i^{\text{П}}$, мин.	Производительность, $\text{м}^3/\text{мин}$	Затраты на выдвижение $z^{\text{П}}$, руб./мин	Затраты на ликвидацию $z^{\text{Р}}$, руб./мин

Поиск состава оптимальной группировки формирований может быть выполнен по следующему алгоритму [8]:

1. Проранжируем формирования в порядке возрастания времени их прибытия к месту ЧС. Получим упорядоченную последовательность

формирований, в начале которой находится самое «близкое», а в конце – самое «дальнее» формирование.

2. Построим диаграмму, приведенную на рисунке 1.

3. Вычислим $S(t)$ для $t = t_1^n + \Delta t$, где $0 \leq \Delta t \leq t_2^n - t_1^n$. Получим $S(t) = w_1(t_2^n - t_1^n)$ – объем ликвидационных работ, выполненных первым прибывшим на место ЧС формированием.

4. Вычислим $S(t)$ для $t = t_3^n + \Delta t$, где $0 < \Delta t < t_3^n - t_2^n$. Получим $S(t) = w_1(t_2^n - t_1^n) + (w_1 + w_2)(t_3^n - t_2^n)$.

5. Аналогично продолжаем расчет $S(t)$ последовательно для периодов $t \in (t_i^n, t_{i+1}^n)$ до момента, когда $S(t) \geq W$. Номер шага n_m , на котором будет выполнено данное условие, соответствует номеру последнего формирования, успешного к ликвидации ЧС.

6. Находим $t_{общ}$, подставив в формулу (7) номера формирований, участвовавших в ликвидации ЧС.

7. Искомый вектор загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$

примет вид:

$$v_i = \begin{cases} w_i(t_{общ} - t_i^n), & i \in M \\ 0, & i \notin M \end{cases} \quad (8)$$

В случае, когда стратегия ликвидации ЧС определяется как «минимальные затраты за приемлемое время» распределение загрузки формирований ищется в соответствии с условиями:

$$Z_{общ} = \sum_{i=1}^A (z_i^n t_i^n + z_i^n \frac{V_i}{w_i}) \quad (9)$$

$$V = \left\{ \begin{matrix} w_1(t_{фикс} - t_1^n), w_2(t_{фикс} - t_2^n), 0, \dots, 0 \\ w_1(t_{фикс} - t_1^n), w_2(t_{фикс} - t_2^n), w_3(t_{фикс} - t_3^n), 0, \dots, 0 \end{matrix} \right\} \quad (13)$$

Рассчитывая на каждом шагу W_i .

При выполнении условия $W_i \geq W$ переходим к шагу 4, имея в виду, что $\alpha = i$

4. Искомый вектор загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$ тогда примет вид:

$$v_i = \begin{cases} W_i(t_{фикс} - t_i^n), & i < \alpha \\ W - \sum_{i=1}^{\alpha-1} v_i, & i = \alpha \\ 0, & i > \alpha \end{cases} \quad (14)$$

Оптимальность найденных векторов загрузки (8) и (14) доказывается тем, что при размещении любого формирования, входящего в найденную группировку, другим, не входящим в неё, происходит ухудшения плана ликвидации ЧС по соответствующим критериям.

Выводы. На основе проведенных выше алгоритмов может быть разработана информационная система поддержки решений по оптимальному распределению сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий ЧС в

Общее время ликвидации ЧС должно быть зафиксировано, иначе решением задачи будет, назначение всего объема работ самому экономичному формированию.

Для отыскания плана ликвидации, удовлетворяющего условиям (9), может быть использован следующий алгоритм:

1. Проранжируем все формирования в порядке возрастания величины удельных затрат на ликвидацию ЧС, которые вычисляются по формуле:

$$Z_i^{уд} = \frac{z_i^n t_i^n + z_i^n (t_{фикс} - t_i^n)}{w_i (t_{фикс} - t_i^n)} \quad (10)$$

Исходя из полученной таким образом упорядоченной последовательности формирований, подберем группировку формирований, способной за время $t_{фикс}$ выполнить объем работ W с минимальными затратами. Для этого :

2. Вычислим объем выполненных за время $t_{фикс}$ работ для распределения нагрузки:

$$V = (w_1 (t_{фикс} - t_1^n), \dots, 0), \quad (11)$$

в котором номера формирований упорядочены по удельным затратам. Получим:

$$W_1 = v_1 = w_1 (t_{фикс} - t_1^n). \quad (12)$$

3. Если $W_1 < W$, то повторяем шаг 2 для векторов загрузки:

учреждениях высшего профессионального образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю. Система информационного обеспечения прогнозирования чрезвычайных ситуаций в образовательных учреждениях высшего профессионального образования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №3. С. 130-131.
2. Азанов С.Н., Мухин Н.Н. Методика оптимального распределения сил при ликвидации чрезвычайных ситуаций // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1999. Вып.4. С. 49-54.
3. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Оптимальное распределение сил и средств, предназначенных для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 138-139.

4. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Системы информационной поддержки принятия управленческих решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 188-191.

5. Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Мультиагентная концептуальная модель ликвидации чрезвычайных ситуаций // Комплексная безопасность высших учебных заведений – исследования, управление, опыт: сб. науч. тр. Белгород: ООО «ЕвроПолиграф». 2012. С. 38-42.

6. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Мониторинг, прогнозирование, моделирование и оценка рисков чрезвычайных ситуаций в системе высшего профессионального образования: монография. Белгород: Изд-во ООО «ЕвроПолиграф». 2012. 120с.

7. Радоуцкий В.Ю., Полуянов В.П. Организация и ведение аварийно-спасательных работ: уч. пос. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 156с.

8. Дубинин Н.М., куликов О.М., Ямалов Ч.У. Синтез алгоритмов оперативного управления при ликвидации чрезвычайных ситуаций // Проблемы прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. II Всероссийская научно-практическая конференция / сб. материалов. Уфа. 2001. С. 150-153.

Pavlenko A.V., Vetrova Yu.V., Vasyutkina D.I.

ALGORITHMS OF THE OPTIMAL SELECTION OF MANPOWER AND RESOURCES FOR ELIMINATING EMERGENCIES AND FIRES

The article deals with the issues of the optimal selection of manpower and resources for eliminating the consequences of emergencies, and with the issues of optimal distribution of elimination tasks among separate units.

Key words: *algorithm, emergency, plan of elimination, mathematical modelling, matrix, optimization.*