

Радоуцкий В. Ю., канд. тех. наук, доц.,
Шантала В. Г., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

zchs@intbel.ru

В статье рассмотрены вопросы оптимального распределения ликвидационных задач между отдельными спасательными формированиями при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с использованием математического моделирования.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, формирования, аварийно-спасательные работы, время ликвидации, группировка, алгоритм, вектор загрузки, математическая модель.

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.

Пусть известны координаты (x_0, y_0) места ЧС, количественный показатель W необходимого объема работ по ликвидации ЧС, множество $C = \{C_1, C_2, \dots, C_A\}$ 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 (АСДНР). 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 ликвида-

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

Отсюда

$$t_{\text{общ}} = \frac{W + \sum_{i \in M} w_i t_i^n}{\sum_{i \in M} w_i}. \quad (7)$$

ционных мероприятий и необходимые для этого затраты:

$$t_{\text{общ}} \rightarrow \min \quad (2)$$

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

при ограничениях:

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

Здесь t_i^n – 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 :

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

где M – множество номеров формирований, успевших прибыть на место ЧС к моменту времени t . Время t_i^n 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

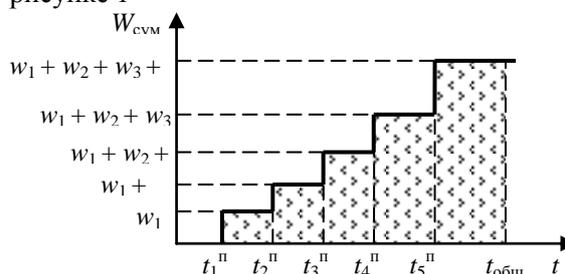


Рис. 1. Вид зависимости $W_{\text{сумм}}(t)$

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

Предположим, что в ликвидации ЧС в ВУЗе могут участвовать пять аварийно-спасательных 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^n , мин.	Производительность, м ³ /мин	Затраты на выдвигание z_i^n , руб./мин	Затраты на ликвидацию z_i^p , руб./мин

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

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

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 $V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$

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

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:

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

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

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:

$$t_{общ} \leq t_{фукс} \quad (9)$$

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

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:

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

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

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

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

в котором номера формирований упорядочены по удельным затратам. Получим:

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

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Ветрова Ю.В. Методы оценки потенциального ущерба, связанного с чрезвычайными ситуациями в образовательных учреждениях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 4. – С. 133 – 135
 2. Радоуцкий В.Ю., Егоров Д.Е. Шаптала В.Г. Оптимизация распределения средств на предупреждение чрезвычайных ситуаций в высших учебных заведениях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 3. – Белгород, 2011. – С. 91 – 93.

