

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ: АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**В. В. Уйба (Москва), Д. Н. Верзилин, Т. Г. Максимова (Санкт-Петербург)**

Система специализированного государственного здравоохранения (СГЗ), созданная в 1947 году с целью организации научного медицинского сопровождения атомного проекта, выявления профессионально обусловленных заболеваний, разработки новых методов лечения, в настоящее время является неотъемлемой частью государственной системы жизнеобеспечения отдельных территорий Российской Федерации. Система СГЗ функционирует в рамках Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России), находящегося в ведении Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации. Сегодня ФМБА России решает новые, чрезвычайно важные задачи по охране здоровья и обеспечению медицинской составляющей безопасности работников, занятых в отдельных отраслях промышленности с особо опасными условиями труда (в том числе подготовкой и выполнением космических полетов по пилотируемым программам, проведением водолазных и кессонных работ), и населения отдельных территорий по перечню, утверждаемому Правительством Российской Федерации (далее – прикрепленные контингенты). Общая численность прикрепленных контингентов составляет более трех миллионов человек [1].

Одной из приоритетных задач функционирования системы СГЗ является организация медицинской помощи при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций на предприятиях и при ликвидации техногенных катастроф.

Несмотря на обширную и разностороннюю литературу о лечебно-эвакуационном обеспечении населения в чрезвычайных ситуациях (ЧС), в тени остаются методические подходы к раскрытию логической взаимосвязи ряда количественных параметров, характеризующих потоки эвакуируемых. Между тем без разработки таких подходов невозможно глубокое научное обоснование организации медицинской помощи при ликвидации техногенных катастроф.

Базовым понятием теории лечебно-эвакуационного обеспечения является понятие лечебно-эвакуационной группы пораженных в ЧС. Оно используется для прогноза потребностей однородных групп пораженных в медицинской помощи. Важнейшими факторами формирования лечебно-эвакуационных групп являются два фактора: возможный исход и длительность лечения пораженных.

Несомненный интерес будут представлять следующие характеристики эшелонированной (этапной) системы оказания медицинской помощи: среднее время пребывания пораженных разных лечебно-эвакуационных групп на этапах эвакуации, среднее число пораженных на этапе медицинской эвакуации, распределение среднего числа пораженных по исходам поражения [2]. Обратимся к определению среднего времени пребывания пораженных в эшелонированной системе оказания медицинской помощи.

Пусть $Q(t)$ есть вероятность невыздоровления к моменту времени t , $F(t)=1-Q(t)$ можно интерпретировать как распределение времени выздоровления пораженных T . Тогда среднее время лечения пораженных в системе медицинских учреждений может быть найдено по формуле:

$$T_{\text{леч. ср}} = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt. \quad (1)$$

Рассмотрим первый этап медицинской эвакуации, его временные границы: $[0, \tau_1]$. На этом этапе возможны два исхода: выздоровление с вероятностью $F(\tau_1)$ или

невыздоровление с вероятностью $Q(\tau_1)$ и эвакуация на второй этап. Среднее время пребывания пораженных на первом этапе может быть определено как сумма следующих величин: $T_1 = (\text{среднее время лечения для выздоравливающих на первом этапе}) \times (\text{вероятность выздоровления на первом этапе}) + (\text{среднее время пребывания на первом этапе пораженных, нуждающихся в эвакуации}) \times (\text{вероятность невыздоровления на первом этапе})$. Определим слагаемые этой суммы.

Рассмотрим время лечения пораженных, выздоравливающих на первом этапе $T_{\text{леч1}}$. Функция распределения $T_{\text{леч1}}$ имеет вид:

$$F_{\text{леч1}}(t) = P(T_{\text{леч1}} < t) = P(T < t | T < \tau_1) = P((T < t) \wedge (T < \tau_1)) / P(T < \tau_1), \quad (2)$$

то есть

$$\begin{aligned} F_{\text{леч1}}(t) &= F(t)/F(\tau_1) \text{ для } t \leq \tau_1; \\ F_{\text{леч1}}(t) &= 1 \text{ для } t > \tau_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Среднее время лечения для выздоравливающих на первом этапе может быть определено по формуле

$$t_{\text{леч1}} = \int_0^{\infty} (1 - F_{\text{леч1}}(t)) dt = \int_0^{\tau_1} (1 - F(t)/F(\tau_1)) dt. \quad (4)$$

Время пребывания на первом этапе пораженных, не выздоравливающих к моменту τ_1 и нуждающихся в эвакуации, зависит от возможности эвакуации, а также является случайной величиной с функцией распределения:

$$\begin{aligned} F_{\text{э1}}(t) &= P(T_{\text{э1}} < t) = 1 - G(t)/(1 - F(\tau_1)) \text{ для } t \leq \tau_1, \\ F_{\text{э1}}(t) &= 1 \text{ для } t > \tau_1, \end{aligned} \quad (5)$$

где $G_1(t)$ характеризует долю ожидающих эвакуацию от общего числа находящихся на этапе на момент времени $0 \leq t \leq \tau_1$. Среднее время пребывания на первом этапе пораженных, нуждающихся в эвакуации, есть

$$t_{\text{э1}} = \int_0^{\tau_1} [1 - F_{\text{э1}}(t)] dt = 1/(1 - F(\tau_1)) \int_0^{\tau_1} G_1(t) dt. \quad (6)$$

Таким образом, среднее время пребывания на первом этапе пораженных с учетом эвакуации невыздоровливающих на следующий этап есть

$$t_1 = t_{\text{леч1}} F(\tau_1) + t_{\text{э1}} (1 - F(\tau_1)) = \int_0^{\tau_1} [F(\tau_1) - F(t)] dt + \int_0^{\tau_1} G_1(t) dt. \quad (7)$$

Из последнего соотношения очевидна геометрическая интерпретация для t_1 (рис. 1):

$$t_1 = S_1 + S_2. \quad (8)$$

Среднее время пребывания пораженных на втором этапе (с учетом эвакуации нуждающихся на следующий этап) складывается из следующих величин: $t_2 = (\text{среднее время лечения для выздоравливающих на втором этапе}) \times (\text{вероятность выздоровления на втором этапе}) + (\text{среднее время пребывания на втором этапе пораженных, нуждающихся в эвакуации}) \times (\text{вероятность невыздоровления на втором этапе})$.

Время лечения пораженных, выздоравливающих на втором этапе, задается функцией распределения вида:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{леч}2}(t) &= 0 && \text{для } t \leq \tau_1, \\
 F_{\text{леч}2}(t) &= [F(t) - F(\tau_1)] / [F(\tau_2) - F(\tau_1)] && \text{для } \tau_1 < t < \tau_2, \\
 F_{\text{леч}2}(t) &= 1 && \text{для } t \geq \tau_2.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Среднее может быть найдено в этом случае по формуле:

$$t_{\text{леч}2} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} [F(\tau_2) - F(t)] / [F(\tau_2) - F(\tau_1)] dt. \tag{10}$$

Среднее время пребывания на втором этапе пораженных, нуждающихся в эвакуации, определяется аналогично:

$$t_{s2} = 1 / (1 - F(\tau_2)) \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_2(t) dt, \tag{11}$$

где $G_2(t)$ характеризует долю ожидающих эвакуацию от общего числа находящихся на втором этапе.

Таким образом, среднее время пребывания пораженных на втором этапе может быть найдено по формуле:

$$t_2 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} [F(\tau_2) - F(t)] dt + \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_2(t) dt \tag{12}$$

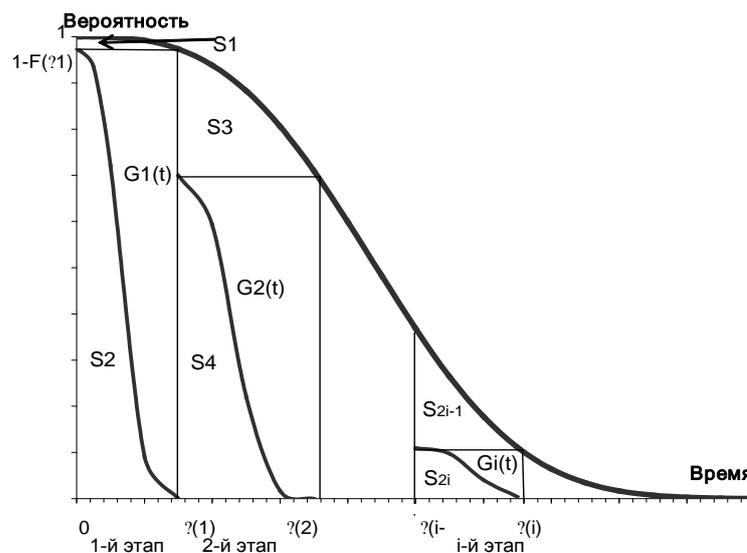
или (см. рисунок):

$$t_2 = S_3 + S_4. \tag{13}$$

Аналогичным образом может быть найдено среднее время пребывания пораженных на i -м этапе медицинской эвакуации:

$$t_i = \int_{\tau_{(i-1)}}^{\tau_i} [F(\tau_i) - F(t)] dt + \int_{\tau_{(i-1)}}^{\tau_i} G_i(t) dt = S_{2i-1} + S_{2i}. \tag{14}$$

Управляемое движение пораженных на этапах медицинской эвакуации описывалось имитационными моделями на языке GPSS World. Характеристики эвакуации пораженных задавались на основании существующих реальных данных. Предполагалась трехэтапная модель медицинской эвакуации.



Определение среднего времени пребывания пораженных на этапах медицинской эвакуации с учетом эшелонирования медицинской помощи (S1, S2 и т.д. – площади под кривыми $G_1(t)$, $G_2(t)$ и т. д.)

Моделирование осуществлялось для каждой группы пораженных с заданными тяжестью и профилем поражения – профильной лечебно-эвакуационной группы. В результате моделирования определена средняя численность пораженных профильных групп на каждом этапе медицинской эвакуации (место катастрофы, медико-санитарная часть промышленного объекта, резерв коек центральных медико-санитарных частей).

В соответствии с полученными в результате комплексного моделирования характеристиками движения пораженных определена целесообразная коечная емкость лечебных учреждений и отделений.

Полученные оценки среднего времени пребывания и численности пораженных в эшелонированной системе оказания медицинской помощи могут использоваться при планировании лечебно-эвакуационных мероприятий для оценки состояния логистических звеньев в составе самой системы.

Моделирование системы оказания медицинской помощи в рамках одного класса моделей (аналитических или имитационных) может привести в ряде случаев к ошибочным результатам. Выходом из создавшегося положения является построение многомодельного комплекса, с помощью которого отражаются различные аспекты функционирования системы оказания медицинской помощи. Необходимость проведения комплексного моделирования вызвана, прежде всего, тем, что принципиально невозможно, используя только однотипные модели (пускай даже имитационного уровня), решить с требуемой точностью, достоверностью и оперативностью весь перечень задач анализа и синтеза системы оказания специализированной медицинской помощи.

Литература

1. **Уйба В. В.** Системе Федерального медико-биологического агентства – 60 лет//Медицина экстремальных ситуаций. 2007. № 3(21). С. 5–10.
2. **Максимова Т. Г.** Логистика медико-социальных систем в чрезвычайных ситуациях. СПб.: СПбГУЭФ, 2000. 278 с.