

## Принцип построения имитационных моделей ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций и дорожно-транспортных происшествий в крупных городах

С.А. Федотов<sup>1</sup>, Ю.С. Мелешков<sup>1</sup>, Л.Л. Стажадзе<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический центр экстренной медицинской помощи (НПЦ ЭМП) Департамента здравоохранения Москвы, <sup>2</sup>ФГБУ «Учебно-научный медицинский центр» УД Президента РФ

Представлена имитационная модель моделирования процесса ликвидации медицинских последствий массовых чрезвычайных ситуаций в крупных городах. Рассмотрена модификация этой модели для массовых дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Приведены два варианта расчета сил и средств экстренных служб при ДТП на одном из наиболее транспортно-опасных участков Москвы.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, дорожно-транспортные происшествия, расчет сил экстренных служб.

The authors present an imitation model for modeling the process of liquidating medical consequences of mass disasters in cities. They also discuss a modification of this model which could be applied for mass traffic accidents. Two variants of calculating strength and resources for disaster services in case of a large traffic accident at one of the most dangerous places in Moscow are presented.

**Key words:** disaster event, traffic accident, calculation of resources for disaster services.

В данной статье рассматриваются принципы построения имитационной модели ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Главное назначение модели – заранее проиграть процесс ликвидации последствий ЧС в любой точке города и, изменяя параметры процесса, определить его оптимальные характеристики в конкретных условиях. Такой же результат можно было бы получить, изучая сведения о всех предыдущих ЧС в городе, но ЧС – редкое событие и происходит в случайных местах. Поэтому математическое моделирование – практически единственный объективный способ предварительного определения оптимальной стратегии процесса ликвидации последствий возможных ЧС. Разумеется, такая имитация требует достаточно полных знаний о медицинской службе города.

### Описание алгоритма и методики расчетов имитационной модели

Имитационная математическая модель [1] для описания процесса ликвидации медицинских последствий ЧС строится на основе принятого в экстренных службах регламента.

Бригады скорой медицинской помощи (СМП), прибывшие в зону ЧС, проводят сортировку пострадавших, оказывают первую помощь и осуществляют транспортировку пострадавших в стационары.

После госпитализации очередного пострадавшего бригады СМП по команде диспетчера возвращаются к месту ЧС для выполнения следующего наряда.

Пострадавшие сортируются на три группы: тяжелые, средней тяжести и легкие. В модели считается, что госпитализация требуется пострадавшим средней и тяжелой степени (приоритетная группа). Госпитализация пострадавших средней степени тяжести начинается после госпитализации всех тяжелых пострадавших. Если пострадавший средней тяжести будет привезен в стацио-

нар среди тяжелых, то он будет ждать, пока не госпитализируют всех тяжелых пострадавших.

Очевидно, что, если поток прибывающих к месту ЧС бригад СМП больше, чем скорость госпитализации, в стационаре возникает очередь пострадавших, которая значительно увеличивает общее время приема и оказания помощи.

Основные временные ограничения на процесс ликвидации медицинских последствий ЧС можно сформулировать так:

- время доставки тяжелых пострадавших  $T_{\text{чс,т}} \leq 60$  мин;
- время окончания госпитализации тяжелых больных  $T_{\text{гос,т}} \leq 90$  мин;
- время доставки пострадавших средней тяжести  $T_{\text{чс,ср}} \leq 120$  мин;
- время окончания госпитализации всех пострадавших  $T_{\text{гос,ср}} \leq 180$  мин.

Алгоритм для расчета всех параметров процесса сформулируем только для тяжелых пострадавших и для госпитализации только в один стационар. Этот алгоритм является основным блоком при расчете более сложных ситуаций.

К месту сбора пострадавших в произвольный момент времени  $t$  приходит два потока бригад (поток – количество бригад, прибывающих в заданный интервал времени):

внешний поток бригад от подстанций СМП –  $a(t)$ ,  
поток бригад от стационара, который определяется пропускной способностью стационара.

Второй поток не равен нулю, если в момент времени  $(t - \tau_{\text{д}} - \tau_{\text{гос}})$  в приемном отделении стационара находилась бригада СМП, где

$\tau_{\text{д}}$  – время доезда от стационара до места сбора пострадавших,

$\tau_{\text{гос}}$  – время задержки бригады в стационаре.

Следовательно, этот поток равен:

$$b \times \theta[m(t - \tau_d - \tau_{\text{гос}})],$$

где  $b$  – константа,  $\theta(x)$  – функция Хевисайда, равная нулю при  $x \leq 0$  и единице при  $x > 0$ .

Итак, поток бригад, прибывающих к ЧС –  $X(t)$ , имеет вид:

$$X(t) = a(t) + b \times \theta[m(t - \tau_d - \tau_{\text{гос}})], \quad (1)$$

где  $m(t)$  – количество пострадавших, находящихся в очереди в приемном отделении стационара.

Количество пострадавших на месте сбора, ожидающих госпитализации, определяется соотношением:

$$n(t) - n(t - \tau) = -X(t - \tau_{\text{чс}}) \theta[n(t - \tau)], \quad (2)$$

где  $n(t)$  – количество пострадавших в пункте сбора,  $\tau_{\text{чс}}$  – время задержки бригады в пункте сбора,  $\tau$  – интервал времени, в котором определены все параметры задачи. Последний множитель в правой части означает, что поток бригад прекращается, когда  $n(t) = 0$ .

Количество пострадавших в очереди в приемном отделении стационара определяется соотношением (считается, что одна бригада перевозит одного больного):

$$m(t) - m(t - \tau) = X(t - \tau_{\text{чс}} - \tau_d) \theta[n(t - \tau_{\text{чс}} - \tau_d)] - c \times \theta[m(t - \tau)], \quad (3)$$

где  $c$  – скорость госпитализации пострадавших, если они там находятся.

Количество пострадавших, госпитализированных к данному моменту времени, равно:

$$N - (n + m), \quad (4)$$

где  $N$  – число пострадавших в ЧС.

Система уравнений (1)–(3) должна решаться в дискретные моменты времени  $t = i\tau$ . Вначале решается уравнение

$$m(t) - m(t - \tau) = \{a(t - \tau_d - \tau_{\text{чс}}) + b \times \theta[m(t - 2\tau_d - \tau_{\text{гос}} - \tau_{\text{чс}})]\} \theta[n(t - \tau_{\text{чс}} - \tau_d)] - c \times \theta[m(t - \tau)], \quad (5)$$

$$m(t) = 0, \text{ при } t \leq (\tau_d + \tau_{\text{чс}}).$$

$$n(t) - n(t - \tau) = -\{a(t - \tau_{\text{чс}}) + b \times \theta[m(t - \tau_d - \tau_{\text{гос}} - \tau_{\text{чс}})]\}, \quad (6)$$

$$n(t) = N, \text{ при } t \leq 0.$$

Выражения (5) – (6) используются для определения решения в последовательные моменты времени до тех пор, пока  $n(t)$ , а затем и  $m(t)$  не станут равными нулю.

Внешний поток бригад считается заданной функцией времени и обычно обращается в ноль вне некоторого интервала времени.

Решение задачи о времени окончания обслуживания пострадавших средней тяжести сводится к уже описанному решению, но начнется после госпитализации тяжелых пострадавших и будет иметь другое время  $\tau_{\text{чс}}$ .

Рассмотрим качественный характер поведения решений при разных параметрах задачи. Если бригад достаточно много и они непрерывно подвозят пострадавших к госпиталю, то количество пострадавших на месте ЧС  $n(t)$  плавно уменьшается, а количество пострадавших в приемном отделении стационара  $m(t)$  имеет вид плавной кривой с максимумом.

Если количество бригад СМП мало, а время доезда до госпиталя велико, то  $n(t)$  ступенчато уменьшается из-за задержки бригад в стационаре. Решение  $m(t)$  имеет вид нескольких кривых с максимумом, разнесенных по времени.

Решение задачи о времени окончания госпитализации пострадавших средней тяжести сводится к уже описанному решению, которое начнется после доставки тяжелых пострадавших и будет иметь другое время  $\tau_{\text{чс}}$ .

Полный алгоритм решения задачи о выборе стационаров при госпитализации пострадавших в ЧС сводится к следующей последовательности расчетов:

1. Задается структура пострадавших при ЧС.
2. Задаются поток бригад СМП, посылаемых к месту ЧС, характерные времена обслуживания и доезда до выбранного стационара.
3. По приведенной выше модели рассчитывается процесс ликвидации медицинских последствий ЧС.
4. До достижения заданных общих временных затрат расчет повторяется при варьировании потока бригад СМП.
5. Если получающиеся решения не удовлетворяют требованиям о нормативных сроках, то необходимо рассмотреть точно такую же задачу с дополнительным стационаром (два потока с разными характерными параметрами) и так далее.

#### Специфика имитационной модели при расчете ликвидации массовых дорожно-транспортных происшествий

В РФ ежегодно регистрируется около 600 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых получают травмы более 250 тыс. человек. С учетом актуальности проблемы в 2006 г. была принята Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах».

Подавляющее большинство массовых ДТП приводит к необходимости госпитализации пострадавших в количестве менее 10 человек. Этот факт снимает большинство ресурсных ограничений, характерных для крупномасштабных ЧС. Действительно, при малом количестве пострадавших можно за разумное время обеспечить приезд бригад СМП в количестве, равном количеству пострадавших, нуждающихся в госпитализации. Больницы в настоящее время способны принять несколько пострадавших практически одновременно.

Реальными ограничениями в случае массовых ДТП являются только 3 параметра модели:

- наличие свободных бригад СМП;
- необходимость госпитализации в отдаленные от места ДТП стационары, как того требует специфика травмы (нейротравма, химическая, термическая травмы или их комбинация);
- скорость передвижения бригад СМП в момент ДТП на улицах города.

Такая специфика массовых ДТП позволяет в значительной степени уточнить этап подбора необходимых бригад СМП (иногда требуются специализированные бригады) и стационаров, в которые производится госпитализация.

Модернизация имитационной модели для ДТП [2] требует включения в модель баз данных о всех ресурсах СЭМП данного города, которая включают в себя сведения о всех бригадах СМП (вид бригады и время ее работы) и сведения о всех стационарах (с точностью до коечного фонда каждого отделения). Реальная скорость приезда бригад и доставки пострадавших в стационар учитывается с помощью произвольного параметра модели – скорости движения.

**Пример расчета массового ДТП на Волгоградском проспекте Москвы**

Вариант 1 (в ближайшие больницы).

Выбранные ресурсы СЭМП для ликвидации ДТП:

Подстанции	Расстояние до ДТП, км	Время доезда, мин	Количество бригад
№8	2,10	4	2
№37	2,94	6	2
№3	4,40	9	2
№40	4,55	9	2
№19	4,67	9	2

ЛПУ	Расстояние до ДТП, км	Время доезда, мин	Тяжелых	Средней тяжести
ГКБ №68	2,09	4	1	2
ГКБ №15	6,79	14	1	2
ГКБ №29	6,72	13	1	2
ГКБ №79	6,96	14	1	

Вариант 2 (необходимо госпитализировать взрослого и ребенка с ожогами и другими травмами; ближайшие ЛПУ такого профиля – НИИ им.Н.В. Склифосовского и ДГКБ №9).

Выбранные ресурсы СЭМП для ликвидации ДТП (подстанции те же, что и в варианте 1):

ЛПУ	Расстояние до ДТП, км	Время доезда, мин	Тяжелых	Средней тяжести
ГКБ №68	2,09	4	2	2
ГКБ №15	6,79	14	1	1
ГКБ №7	7,98	16	1	1
НИИ им.Н.В. Склифосовского	9,25	18	1	0
ДГКБ №9	13,06	26	1	0

Результаты расчета:

Вариант 1

Подстанции	Время приезда бригад, мин	ЛПУ	Госпитализация тяжелых	Госпитализация средней тяжести
№8	9	ГКБ №68	43	
№37	11	ГКБ №15	55	
№8	14	ГКБ №29	57	
№3	14	ГКБ №79	58	
№40	14	ГКБ №68		33
№19	14	ГКБ №68		33
№37	16	ГКБ №15		45
№3	19	ГКБ №15		48
№40	19	ГКБ №29		47
№19	19	ГКБ №29		47

Вариант 2

Подстанции	Время приезда бригад, мин	ЛПУ	Госпитализация тяжелых	Госпитализация средней тяжести
№8	9	ГКБ №68	43	
№37	11	ГКБ №68	45	
№8	14	ГКБ №15	58	
№3	14	ГКБ №7	60	
№40	14	НИИ им. Н.В. Склифосовского	62	
№19		ДГКБ №9	70	
№37	16	ГКБ №68		35
№3	19	ГКБ №68		38
№40	19	ГКБ №15		48
№19	19	ГКБ №7		50

Как видно из приведенных примеров и результатов анализа многочисленных расчетов по имитационной модели, ликвидация медицинских последствий массовых ДТП в Москве может производиться в течение 1 ч.

Случаи, когда это время может существенно удлиниться, связаны с необходимостью обязательной госпитализации в многопрофильные стационары (сочетанные повреждения) либо в стационары со специализированными отделениями (ожоговыми, нейрохирургическими, токсикологическими и др.), когда они расположены далеко от места ДТП.

Сокращение времени ликвидации медицинских последствий ДТП возможно только двумя способами:

сокращение времени обслуживания бригадой СМП пострадавшего на месте ДТП (сейчас это время принято равным 30 мин для тяжелых пострадавших);

использование вертолетов для пострадавших, направляемых в многопрофильные отдаленные стационары.

**Заключение**

Архивы результатов расчетов по имитационной модели способствуют оперативному принятию рациональных управленческих решений при ликвидации медицинских последствий реальных ЧС и ДТП в крупных городах.

**Литература**

1. Костомарова Л.Г. и др. // Методические рекомендации Комитета здравоохранения Москвы «Моделирование процесса ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций» – 1999. №16 – С. 3–9.

2. Федотов С.А. и др. // Методические рекомендации Департамента здравоохранения Москвы «Математическое моделирование процесса организации оказания медицинской помощи на догоспитальном этапе при массовых дорожно-транспортных происшествиях» – 2011. №9 – С. 3–15.