

**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

"Согласовано"
Зам. председателя УМС
Департамента здравоохранения

"Утверждаю"
Первый зам. Руководителя
Департамента здравоохранения

Л.Г. Костомарова
1 июня 2011 года

Н.Ф. Плавунов
8 июня 2011 года

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОРГАНИЗАЦИИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ
НА ДОГОСПИТАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПРИ МАССОВЫХ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ**

*Методические рекомендации
(№9)*

Москва 2011

Учреждение-разработчик: Научно-практический Центр экстренной медицинской помощи Департамента здравоохранения города Москвы

Составители: Ю.С. Мелешков, к.м.н. С.А. Федотов,
к.м.н. Т.Н. Бук, д.м.н. В.И. Потапов

Рецензент: зам. директора НПЦ ЭМП по научной работе,
д.м.н. профессор Л.Г. Костомарова

Предназначение: территориальным Центрам медицины катастроф,
Станции скорой и неотложной медицинской
помощи, организаторам здравоохранения

Данный документ является собственностью
Департамента здравоохранения Правительства Москвы
и не подлежит тиражированию и распространению
без соответствующего разрешения

С целью оптимизации управления процессом ликвидации медицинских последствий массовых дорожно-транспортных происшествий и выбора оптимального варианта действий экстренных медицинских сил используются имитационные математические модели.

К массовым дорожно-транспортным происшествиям относятся случаи с числом одномоментно пострадавших 5 и более человек. Сведения о массовых ДТП в Москве и их медицинских последствиях представлены в табл. 1.

Табл. 1. Массовые дорожно-транспортные происшествия на территории Москвы в 2006–2010 годах

Год	Количество ДТП	Количество пострадавших
2006	91	561
2007	86	544
2008	81	497
2009	80	539
2010	83	535
Всего	421	2676

Из данных таблицы следует, что количество массовых ДТП в течение 5 лет колебалось в пределах от 80 до 90 происшествий, при этом отмечается тенденция к их уменьшению: в 2010 году по сравнению с 2006 годом — на 8,8%.

В табл. 2 показано распределение массовых ДТП по административным округам города Москвы.

Наибольшее количество ДТП постоянно регистрируется в Юго-Восточном и Южном административных округах — 17,% и 15,2% от общего количества таких происшествий на территории Москвы.

Эти же округа характеризуются наиболее высоким транспортным травматизмом в целом.

В табл. 3 приведены данные о распределении массовых ДТП в зависимости от количества одномоментно пострадавших. Из данных таблицы следует, что большинство массовых дорожно-транспортных происшествий сопровождается санитарными потерями не превышающими 10 пострадавших — 96,6%; в 2,1% ДТП число пострадавших составляло от 11 до 20 человек и в 1,3% более 20 пострадавших.

По нашему мнению, относительно низкий уровень масштабных ДТП связан с невысокой скоростью движения автотранспортных средств на городских магистралях.

Табл. 2. Распределение массовых ДТП по административным округам Москвы

Административный округ	Количество массовых ДТП					
	2006	2007	2008	2009	2010	Всего
Центральный	10	8	6	7	5	36
Северный	7	6	9	7	8	37
Северо-Восточный	11	12	7	2	3	35
Восточный	9	9	8	7	10	43
Юго-Восточный	11	15	15	16	16	73
Южный	12	9	16	16	11	64
Юго-Западный	6	9	5	6	10	36
Западный	12	9	7	10	11	49
Северо-Западный	11	8	5	7	8	39
Зеленоградский	2	1	3	2	1	9
Итого:	91	86	81	80	83	421

Табл. 3. Распределение массовых ДТП по количеству одновременно пострадавших

Год	Количество ДТП			
	5-10 чел.	11-20 чел.	свыше 20 чел.	Всего
2006	90	1	0	91
2007	83	2	1	86
2008	79	1	1	81
2009	74	4	2	80
2010	81	1	1	83
Итого	407	9	5	421
	96,6%	2,1%	1,3%	100%

В табл. 4 представлены данные о медицинских последствиях рассматриваемых массовых ДТП.

Летальность на месте происшествия составила 7,7% от общего количества пострадавших при массовых ДТП, большинство пострадавших было направлено на экстренную госпитализацию в стационары города по показаниям: 2038 человек или 76,2%.

В здравоохранении организационно-управленческий процесс при массовых дорожно-транспортных происшествиях направлен на достижение оптимальных оперативности и эффективности экстренно-го медицинского обеспечения пострадавших.

Табл. 4. Медицинские последствия массовых ДТП

Год	Количество ДТП	Количество пострадавших	Направлено на госпитализацию	Амбулаторная помощь	Отказ от госпитализации (осмотр)	Летальный исход на месте ДТП
2006	91	561	440	4	71	46
2007	86	544	408	16	85	35
2008	81	497	383	-	65	49
2009	80	539	386	10	101	42
2010	83	535	421	2	79	33
Всего	421	2676	2038	32	401	205
		100%	76,2%	1,2%	14,9%	7,7%

Определенную поддержку в принятии рациональных решений по организации ликвидации медицинских последствий при массовых ДТП оказывает создание имитационных моделей, описывающих процесс ликвидации таких ДТП.

В Научно-практическом центре разработан вариант имитационной модели, позволяющий оценить возможности экстренного медицинского обеспечения контингента пострадавших за заданное время с учетом реальных для Москвы условий: расположения подстанций СМП и больниц с профильными подразделениями, их мощности, транспортной доступности и ряда других параметров.

Описание алгоритма и методики расчетов имитационной модели

Математическая модель для описания процесса ликвидации медицинских последствий ЧС строится на основе принятого в службе регламента. Бригады ЭМП и/или СМП, прибывшие к месту сбора пострадавших первыми, осуществляют процесс сортировки пострадавших и оказания первой помощи, к которым, в случае необходимости, присоединяются и прибывающие следом бригады.

Транспортировку в стационары осуществляют бригады СМП не задействованные в данный момент в процессе сортировки.

После госпитализации очередного пострадавшего бригады СМП возвращаются к месту сбора для выполнения следующего наряда, если там есть ожидающие госпитализации пострадавшие.

Пострадавшие сортируются на три группы: тяжелые, средней тяжести и легкие. В модели считается, что госпитализация требуется пострадавшим средней и тяжелой степени (приоритетная группа), т.е. госпитализация пострадавших средней степени тяжести начинается после госпитализации всех тяжелых пострадавших. Если пострадавший средний тяжести будет привезен в стационар среди тяжелых, то он будет ждать, пока не госпитализируют всех тяжелых пострадавших, задерживая при этом бригаду СМП. В последнюю очередь принимается решение о направлении на госпитализацию или амбулаторное лечение пострадавших с легкой степенью повреждения.

Очевидно, что в случае, когда поток прибывающих к месту ЧС бригад СМП больше, чем скорость госпитализации, в стационаре возникает очередь пострадавших, которая значительно увеличивает общее время обслуживания.

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

- время вывоза с места сбора всех тяжелых пострадавших:
 $T_{ЧС,т} \leq 60$ мин;
- время окончания госпитализации всех тяжелых больных:
 $T_{Гос,т} \leq 90$ мин;
- время вывоза с места сбора всех пострадавших средней тяжести:
 $T_{ЧС,ср} \leq 120$ мин;
- время окончания госпитализации пострадавших средней степени тяжести: $T_{Гос,ср} \leq 180$ 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 $(t - \tau_D - \tau_{Гос})$ в приемном отделении стационара находились бригады СМП, где

τ_D — время доезда от стационара до места сбора пострадавших,
 $\tau_{Гос}$ — время задержки бригады в стационаре.

Следовательно, этот поток равен

$$b \times \theta[m(t - \tau_D - \tau_{Гос})]$$

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:

$$X(t) = a(t) + b \times \theta[m(t - \tau_D - \tau_{Гос})] \quad (1)$$

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

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

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

где $n(t)$ — количество пострадавших в пункте сбора, $\tau_{ЧС}$ — время задержки бригады в пункте сбора, τ — 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):

$$m(t) - m(t - \tau) = X(t - \tau_{ЧС} - \tau_D) \theta[n(t - \tau_{ЧС} - \tau_D)] - c \times \theta[m(t - \tau)] \quad (3)$$

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 $t = i \times \tau$. Вначале решается уравнение:

$$m(t) - m(t-\tau) = \{a(t - \tau\Delta - \tau\text{ЧС}) + b \times \theta[m(t - 2\tau\Delta - \tau\text{Гос} - \tau\text{ЧС})]\} \\ \theta[n(t - \tau\text{ЧС} - \tau\Delta)] - c \times \theta[m(t - \tau)] \quad (5)$$

$m(t) = 0$, при $t \leq (\tau\Delta + \tau\text{ЧС})$.

$$n(t) - n(t - \tau) = -\{a(t - \tau\text{ЧС}) + b \times \theta[m(t - \tau\Delta - \tau\text{Гос} - \tau\text{ЧС})]\} \quad (6)$$

$n(t) = N$, при $t \leq 0$,

$$b = c.$$

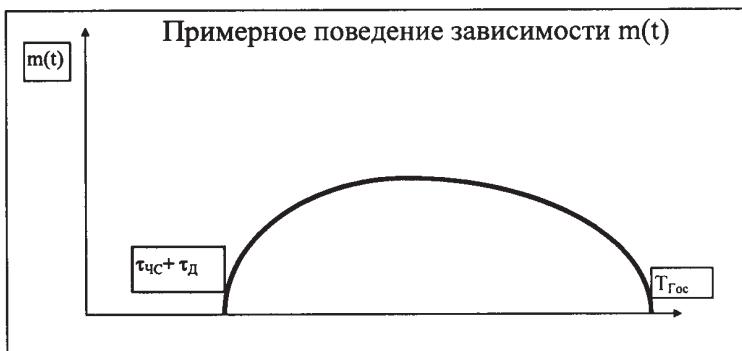
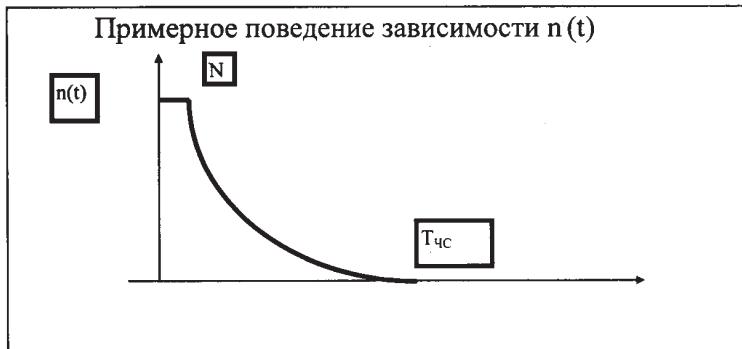
Выражения (5)–(6) используются для определения решения в последовательные моменты времени до тех пор, пока $n(t)$, а затем и $m(t)$ не станут равными нулю.

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

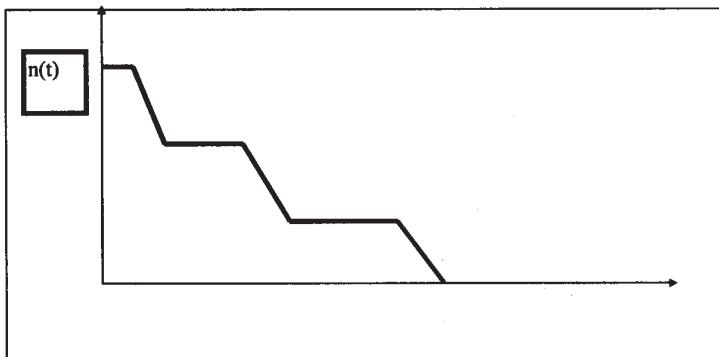


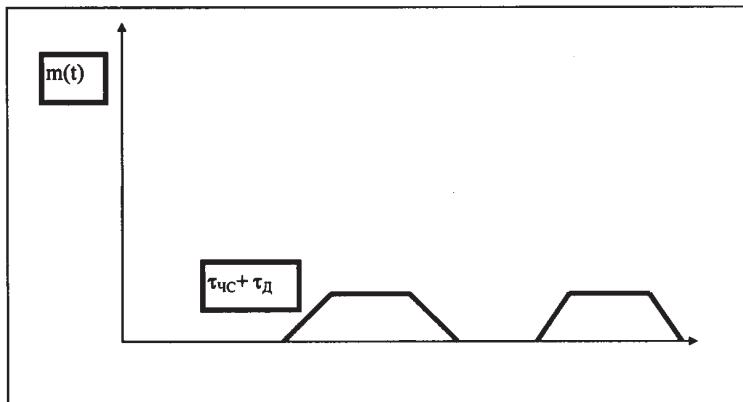
Решение задачи о времени окончания обслуживания пострадавших средней степени тяжести сводится к уже описанному решению, но начнется после госпитализации тяжелых пострадавших и будет иметь другое время $\tau\text{ЧС}$.

Рассмотрим качественный характер поведения решений при разных параметрах задачи. Если бригад достаточно много и они непрерывно подвозят пострадавших к госпиталю, то примерное поведение решений имеет следующий вид:



Если количество бригад СМП мало, а время доезда до госпиталя велико, то решения могут иметь следующий вид:





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

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. Рассчитывается по модели, приведенной выше, 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.

В настоящее время в НПЦ ЭМП создана и функционирует компьютерная программа, которая в интерактивном режиме рассчитывает время, необходимое для ликвидации медицинских последствий ЧС.

Специфика имитационной модели при расчете ликвидации массовых дорожно-транспортных происшествий

Как было показано выше, подавляющее большинство 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 СЭМП (базовые и резервные), в которые обычно госпитализируются такие пострадавшие, в настоящее время способны принять несколько пострадавших практически одновременно.

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

- наличие свободных бригад СМП на ближайших подстанциях;
- 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 требуется специализированные бригады) и стационаров, в которые производится госпитализация.

В общей модели этап подбора ресурсов СЭМП, в основном, определялся близостью подстанций и мощностью экстренного коечного фонда базовых и резервных больниц СЭМП.

Модернизация имитационной модели, сформулированная автором работы, потребовала включения в модель подробных сведений о всех ресурсах СЭМП, хранящихся в базе данных НПЦ ЭМП и существенной переработки существующих имитационных программ. Теперь имитационные программы включают в себя сведения о всех бригадах подстанций СМП (вид бригады и время ее работы) и сведения о всех стационарах Москвы (с точностью до коечного фонда каждого отделения). Реальная транспортная обстановка в городе учитывается возможностью задания произвольной скорости движения при приезде бригад со своих подстанций и при доставке пострадавших в соответствующий стационар. В предшествующих моделях соответствующие скорости определялись статистическими данными.

В процессе работы рассматривались ряд вариантов моделирования процесса организации медицинской помощи при массовых ДТП и их анализ. При этом места массовых ДТП для указанных вариантов выбраны с учетом реальных данных за 2010 год. Во всех расчетах время обслуживания тяжелых пострадавших на месте ДТП принято равным 30 минутам, время обслуживания пострадавших средней тяжести — 15 минутам. Средняя скорость движения принята равной 30 км/час. Число пострадавших — 10 человек. Структура пострадавших по тяжести состояния и характеру повреждений в разных вариантах различна.

Рассмотрим два варианта расчета сил и средств при аварии на одном из наиболее транспортно-опасных участков города (Волгоградский проспект, пересечение с Люблинской улицей, Люблинский мост) – 19 ДТП (50% ДТП по ЮВАО).

Вариант 1 (в ближайшие стационары)

Число пострадавших — 4 в тяжелом состоянии и 6 в состоянии средней тяжести.

Выбранные ресурсы СЭМП для ликвидации ДТП:

Подстанции	До ДТП (км)	Время доезда (мин)	Кол-во 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

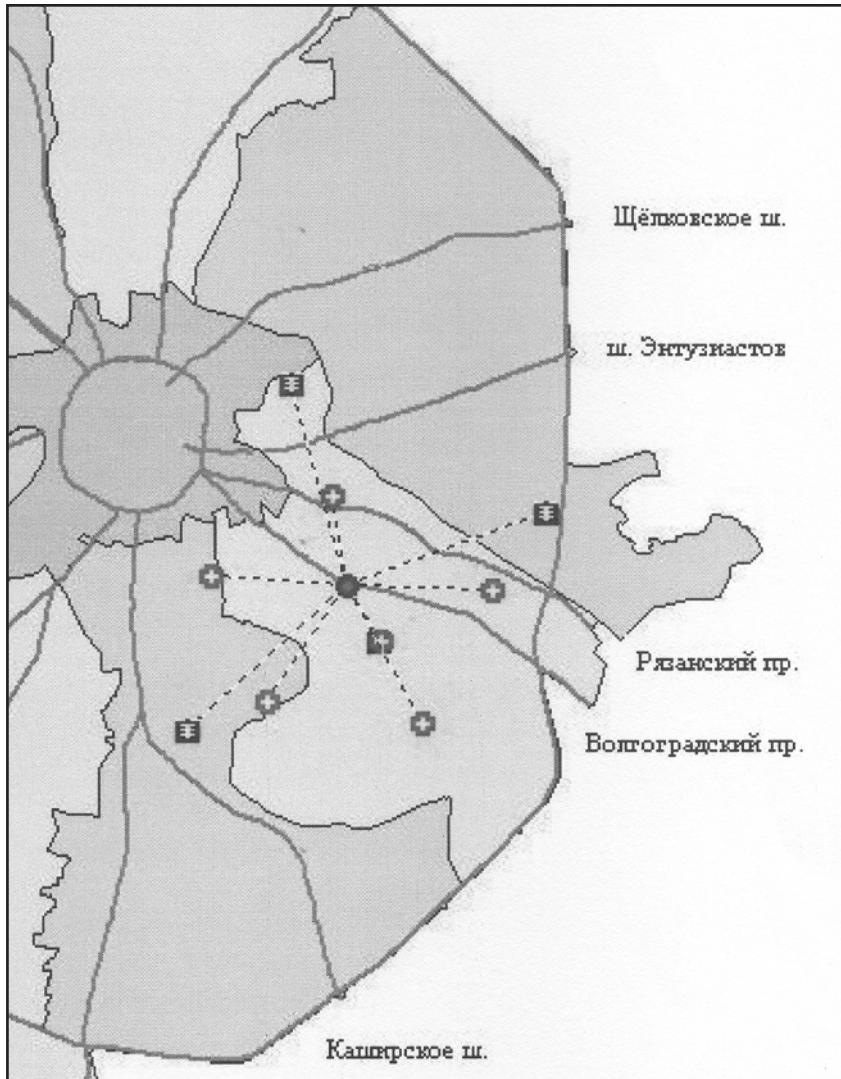
ЛПУ	СЭМП	От ДТП (км)	Время доезда (мин)	Тяжелых пострадавших	Пострадавших средней тяжести
ГКБ №68	базовая	2,09	4	1	2
ГКБ №15 им. О.М.Филатова	базовая	6,79	14	1	2
ГКБ №29 им. Н.Э.Баумана	резервная	6,72	13	1	2
ГКБ № 79	резервная	6,96	14	1	

Расчет:

Под- стан- ции	Время приезда бригад с под- станций	Стационары		Время госпита- лизации тяжелых постра- давших	Время госпита- лизации постра- давших средней тяжести
№8	9	ГКБ №68		43	
№37	11	ГКБ №15 им. О.М.Филатова		55	
№8	14	ГКБ №29 им. Н.Э.Баумана		57	
№3	14	ГКБ №79		58	
№40	14	ГКБ №68			33

№19	14	ГКБ№68		33
№37	16	ГКБ№15 им.О.М.Филатова		45
№3	19	ГКБ№15 им.О.М.Филатова		48
№40	19	ГКБ№29 им.Н.Э.Баумана		47
№19	19	ГКБ№29 им.Н.Э.Баумана		47

Ресурсы на карте:



Вариант 2

Число пострадавших — 6 в тяжелом состоянии и 4 в состоянии средней тяжести, необходимо госпитализировать взрослого и ребенка с ожогами и множественными травмами.

Ближайшие ЛПУ такого профиля — НИИСП им. Н.В. Склифосовского и ДГКБ №9 им. Г.Н. Сперанского.

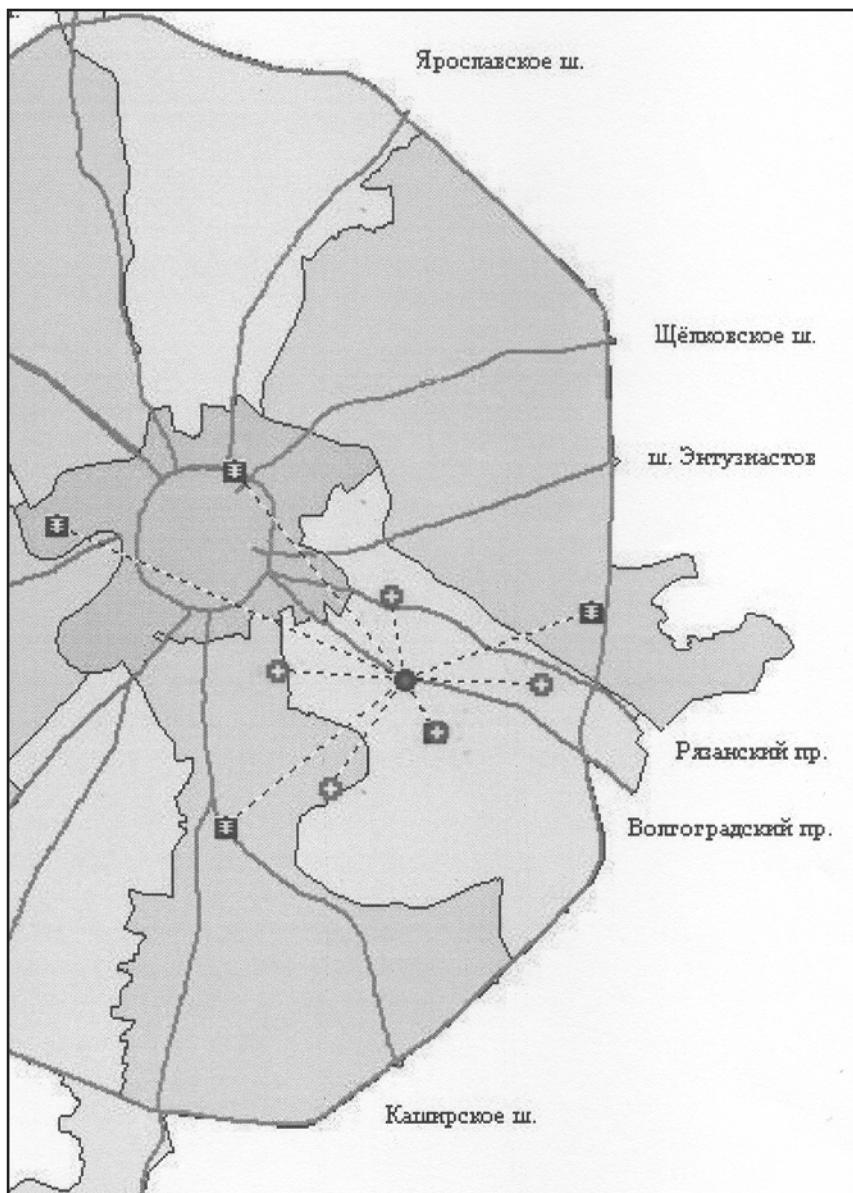
Выбранные ресурсы СЭМП для ликвидации ДТП (подстанции те же, что и в варианте 1; стационары приведены в таблице):

ЛПУ	СЭМП	От ДТП (км)	Время доезда (мин)	Тяжелых пострадавших	Пострадавших средней тяжести
ГКБ №68	базовая	2,09	4	2	2
ГКБ №15 им. О.М. Филатова	базовая	6,79	14	1	1
ГКБ №7	базовая	7,98	16	1	1
НИИСП им. Н.В. Склифосовского	базовая	9,25	18	1	0
ДГКБ №9 им. Г.Н. Сперанского	базовая	13,1	26	1	0

Расчет:

Под- станции	Время приезда бригад с под- станций	Стационары		Время госпитализации тяжелых пострадавших	Время госпитализации пострадавших средней тяжести
		ГКБ №68	ГКБ №15 им. О.М. Филатова		
№8	9	ГКБ №68		43	
№37	11	ГКБ №68		45	
№8	14	ГКБ №15 им. О.М. Филатова		58	
№3	14	ГКБ №7		60	
№40	14	НИИСП им. Н.В. Склифосовского		62	
№19		ДГКБ №9 им. Г.Н. Сперанского		70	
№37	16	ГКБ №68			35
№3	19	ГКБ №68			38
№40	19	ГКБ №15 им. О.М. Филатова			48
№19	19	ГКБ №7			50

Ресурсы на карте:



Анализ примеров расчета

Результаты расчетов имитационной модели показывают, что в основном ликвидация медицинских последствий массовых ДТП в Москве происходит в течение часа. Случай, когда это время существенно удлиняется, связаны с необходимостью госпитализации в многопрофильные стационары (с ожоговыми и нейрохирургическими отделениями), расположеннымными далеко от места ДТП.

По нашему мнению, резерв сокращения времени ликвидации медицинских последствий ДТП возможен только двумя способами:

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

— использование вертолетов для пострадавших, направляемых в многопрофильные отдаленные стационары.

Собственные наблюдения позволяют считать, что имитационные модели ликвидации медицинских последствий массовых дорожно-транспортных происшествий способствуют принятию оперативных и рациональных управленческих решений при реальных ДТП на основе созданного обновляемого архива сценариев, отражающих процесс организации экстренного медицинского обеспечения пострадавших в местах конкретных ДТП.