

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ РАНеным В МЕДИЦИНСКОМ ОТРЯДЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ХОДЕ ЛИКВИДАЦИИ МЕДИКО-САНИТАРНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6);

² Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49)

Научные исследования, проводимые в области медицинского обеспечения войск (сил) и населения при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), неразрывно связаны с процессом моделирования сложных систем. Моделирование – исследование объектов, процессов и явлений для определения (уточнения) исследуемых характеристик рассматриваемой системы или уточнение (совершенствование) предлагаемых новых элементов данной системы. Одним из вариантов экспериментального исследования системы медицинского обеспечения войск (сил) и населения является имитационное моделирование. Цель исследования – имитационное моделирование процесса оказания медицинской помощи раненым в условиях ЧС с учетом их лечебно-эвакуационной характеристики в медицинском отряде специального назначения (медОСН). В качестве параметров модели использовались следующие данные: структура входящего потока пострадавших в медОСН по степени тяжести, сроки выполнения мероприятий соответствующих видов медицинской помощи, а также сроки временной нетранспортабельности пострадавших с различными поражениями. Для упрощения исследования были определены входящие потоки пострадавших с проникающими и непроникающими ранениями различной степени тяжести. При моделировании использованы усредненные значения о структуре входящего потока пострадавших в медОСН по степени тяжести в различных ЧС: 29,1 % – легкие ранения, 27,2 % – средней степени тяжести, 42,1 % – тяжелые и 1,6 % – крайне тяжелые. Мероприятия вида медицинской помощи, сроки нетранспортабельности описаны как случайные величины, имеющие треугольное распределение (Симпсона), параметры которого были оценены военными врачами (хирургами, анестезиологами-реаниматологами), выступившими в роли экспертов. В качестве модели потока поступления пострадавших использован простой пуассоновский процесс с различными параметрами. В ходе моделирования исследованы варианты работы медОСН при поступлении в него 40, 60, 80 и 100 пострадавших в сутки. Результаты моделирования указали на некоторые возможные «узкие места» в организации работы медОСН, в частности, операционных и отделения анестезиологии – реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии). Показано, что увеличение числа хирургических бригад способно значительно улучшить пропускную способность хирургического отделения и медОСН в целом, но при этом потребуются возрастание емкости отделения анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии) в связи с увеличившимся потоком послеоперационных раненых. Были изучены возможные эффекты применения современных технологий по типу бинта «Celoх Gauze[®]» и ведение ран с наложением повязок с локальным низким давлением (Vacuum assistant closure, VAC; Negative pressure wound therapy, NPWT). Результаты моделирования позволяют сделать предварительные выводы о возможности использования указанных технологий в работе медОСН. Показано, что имитационное моделирование позволяет определить особенности работы медОСН, учесть нагрузку и потенциальные возможности штатных подразделений при увеличении количества пострадавших во входящем потоке.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, имитационное моделирование, имитационная модель, медицинский отряд специального назначения, лечебно-эвакуационная характеристика, технологический процесс.

✉ Лемешкин Роман Николаевич – канд. мед. наук, проф. каф. организации и тактики медицинской службы, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), e-mail: lemeshkinroman@rambler.ru;

Крикунов Алексей Владимирович – магистр, инженер, С.-Петерб. нац. исслед. ун-т информац. технологий, механики и оптики (Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), e-mail: alexey.v.krikunov@yandex.ru;

Ковальчук Сергей Валерьевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., С.-Петерб. нац. исслед. ун-т информац. технологий, механики и оптики (Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), e-mail: sergey.v.kovalchuk@gmail.com;

Савченко Игорь Федорович – д-р мед. наук проф., каф. организации и тактики мед. службы Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), e-mail: lorka@yandex.ru

Введение

В последние годы отмечается значительный рост интересов к компьютерным системам имитационного моделирования (ИМ), предназначенным для решения практических задач в промышленности, области государственного и экономического управления, здравоохранении и военном деле, других областях хозяйственной деятельности [1, 3, 4].

Метод ИМ в самом общем виде представляет собой экспериментальный метод исследования реальной системы по ее имитационной модели, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники [2, 4]. Имитационной называется модель, которая воспроизводит все элементарные явления, составляющие функционирование исследуемой системы во времени с сохранением их логической структуры и последовательности.

Почти 40 лет назад Роберт Шеннон в своей книге «Имитационное моделирование систем – искусство и наука» (1978 г.) определил, что «... имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить ... различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы» [16].

В процессе ИМ исследователь имеет дело с четырьмя основными элементами: реальная система; логико-математическая модель моделируемого объекта; имитационная (машинная) модель; средство для автоматической обработки информации (персональный компьютер), на котором осуществляется имитация – направленный вычислительный эксперимент [3, 15]. Далее при помощи полученных результатов моделирования возможно оказывать воздействия на исследуемую (реальную) систему. Таким образом, процесс ИМ можно представить в виде цикла (рис. 1).

Применяя такой подход к объектам системы медицинского обеспечения насе-

ления в ходе ликвидации медико-санитарных последствий ЧС силами и средствами медицинской службы Вооруженных сил России (ВС России), ИМ можно определить как экспериментальную и прикладную методологию, позволяющую [9, 10]:

- исследовать и осмысливать реальные связи, закономерности и возможности элементов системы медицинского обеспечения войск (сил) и населения при ликвидации медико-санитарных последствий ЧС, разрабатывать меры по повышению их эффективности;
- осуществлять планирование основных видов деятельности в военно-медицинских организациях в условиях ЧС;
- разрабатывать новые и совершенствовать существующие организационные и организационно-штатные структуры подразделений, частей и военно-медицинских организаций, предназначенных (ориентированных) для участия в ликвидации медико-санитарных последствий ЧС;
- прогнозировать медицинскую обстановку при планировании и в ходе ликвидации медико-санитарных последствий ЧС и др.

Применение методов ИМ в военной медицине позволяет проводить исследование предполагаемых процессов при различных вариантах развития внешних факторов, в том числе и в условиях высокой степени неопределенности и дефицита исходной информации, что крайне актуально в условиях ЧС. В качестве реально существующей модели и для проведения ИМ работы в качестве объекта исследования выбран медицинский отряд специального назначения (далее – медоСпН или отряд) ВС России.

Отряд является структурным подразделением военного (военно-морского) клинического госпиталя и подчиняется его начальнику. Отряд предназначен для оказания первичной врачебной медико-санитарной помощи, а в случае придания групп (бригад) медицинского усиления – специализированной медицинской помощи раненым, больным и пораженным (далее – пострадавшим) в ходе ликвидации медико-санитарных последствий ЧС природного, техногенного и социального характера. Отряд может привлекаться к участию в миротворческих операциях в качестве госпиталя 2-го и 3-го уровней по классификации Организации Объединенных Наций.

В структуре Службы медицины катастроф Минобороны России медоСпН являются единственным полевым военно-медицинским

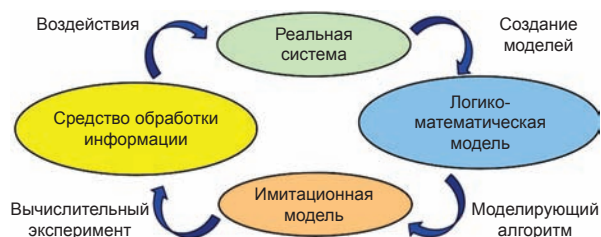


Рис. 1. Цикл имитационного исследования.

формированием постоянной боевой готовности, в связи с чем занимают ведущее место [8] и являются объектами непрерывного поиска рациональных организационных форм, инновационным плацдармом достижений отечественной военной медицины. С другой стороны – множится количество новых задач, стоящих перед медоСпН в мирное время, особенно связанных с прямым предназначением отряда – участием в ликвидации медико-санитарных последствий техногенных аварий и катастроф, стихийных бедствий, вооруженных конфликтов и террористических актов, т. е. в ситуациях, которые подпадают под определение ЧС [7].

Массив информации, накопленный в ходе деятельности медоСпН, стал основой исходных данных для проведения ИМ: Чеченская Республика, 1994–1996 гг., 1999–2001 гг.; Индонезия, 2005 г.; Южная Осетия, 2008 г.; Дальневосточный федеральный округ, Россия, 2013 г. Данные о лечебно-эвакуационной характеристике пострадавших в ЧС с набором свойственных только им признаков были помещены во внутреннюю среду моделирования.

Существуют различные подходы к определению понятия «внутренняя среда». Основываясь на исследованиях М. Мескона и соавт. [6], основные переменные внутренней среды – это цели, структура, задачи, технология и люди. С этих позиций медоСпН – организация (медицинское формирование), предназначенная для выполнения результата целого коллектива по оказанию первичной врачебной медико-санитарной помощи, а в случае придания групп (бригад) медицинского усиления – ранней специализированной медицинской помощи пострадавшим [5], так как индивидуально поставленная цель выполнения быть не может.

Общая организационная структура медоСпН – это логическая взаимосвязь взаимозависимых уровней управления и функциональных подразделений с горизонтальным и вертикальным разделением труда: качественной и количественной дифференциацией и специализацией служебной деятельности, обособлением функций управления от исполнительских. Структурные элементы медоСпН в виде функциональных подразделений имеют свои задачи – это предписанная работа, серия работ или часть работы (регламентированные мероприятия соответствующего вида медицинской помощи), которые должны быть выполнены в заранее установ-

ленные сроки (8–12 ч) и установленным способом. Организация медоСпН, построенная в такой форме, в ходе ликвидации медико-санитарных последствий ЧС позволяет наиболее эффективно достигать поставленных целей, выполнить ранее указанные задачи и представлена:

1) управлением – командованием отряда, группой (планирования и управления), группой (организации материально-технического обеспечения);

2) основными подразделениями – приемным отделением (медицинской сортировки и эвакуации), отделением санитарной обработки, хирургическим отделением, хирургической группой (подвижной), отделением анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии), госпитальным отделением (на 100 коек), отделением лабораторно-диагностическим, рентгеновским кабинетом, стоматологическим кабинетом, группой переливания крови;

3) подразделениями обеспечения – отделением медицинского снабжения, ротой обеспечения, комендантским отделением, отделением связи, контрольно-техническим пунктом (рис. 2).

Организационная структура и технология оказания медицинской помощи в медоСпН реализуются через штатных и приданных военно-медицинских специалистов. При этом специалисты являются центральным фактором в рассматриваемой моделируемой внутренней среде.

Эксперимент по ИМ преследовал следующие цели:

– оценить возможности существующей организации медоСпН по оказанию медицинской помощи входящему потоку пострадавших;

– оценить нагрузку на исследуемую систему;

– выявить «узкие места» и определить рациональную организацию оказания медицинской помощи в медоСпН при различных лечебно-эвакуационных характеристиках входящего потока пострадавших с помощью воздействия на логико-математическую модель в ходе эксперимента;

– определить направления совершенствования организации работы медоСпН.

Общая цель исследования – имитационное моделирование процесса оказания медицинской помощи раненым в условиях ЧС с учетом лечебно-эвакуационной характеристики входящего потока в медоСпН.

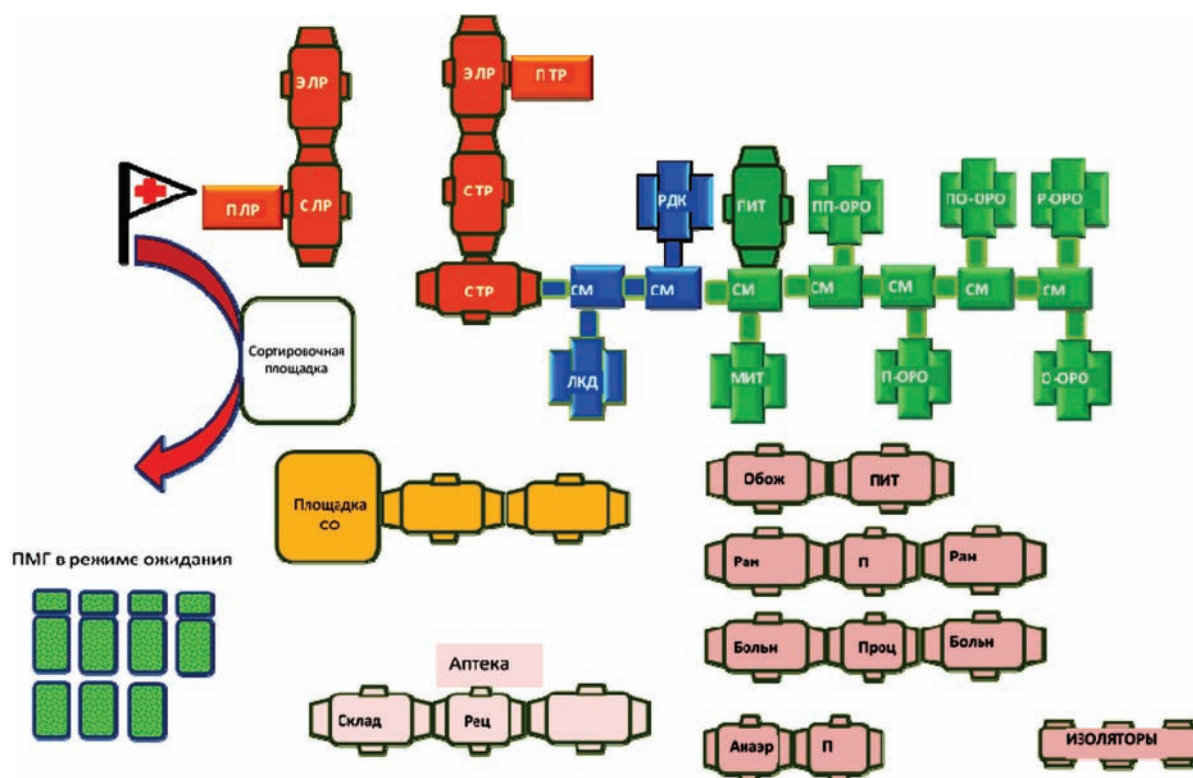


Рис. 2. Схема разворачивания медицинского отряда специального назначения (вариант).

СО – специальная обработка; ПЛР – перевязочная для легкораненых; СЛР – сортировочная для легкораненых; ЭЛР – эвакуационная для легкораненых; ПТР – перевязочная для тяжелораненых; СТР – сортировочная для тяжелораненых; СМ – модуль стыковочный; ЛКД – лаборатория клинко-диагностическая; РДК – рентгенодиагностический кабинет; ПИТ – палата интенсивной терапии; МИТ – модуль интенсивной терапии; ПП-ОРО – предперевязочная отделения операционно-реанимационного; П-ОРО – перевязочная отделения операционно-реанимационного; ПО-ОРО – предоперационная отделения операционно-реанимационного; Р-ОРО – реанимационная отделения операционно-реанимационного; О-ОРО – операционная отделения операционно-реанимационного; Обож – палата для обожженных; ПИТ – палата интенсивной терапии для обожженных; Ран – палата для раненых; П – перевязочная; Больн – палата для больных; Проч – процедурная; Анаэр – анаэробная палата; Рец – рецептурный модуль аптеки; ПМГ – подвижная медицинская группа.

Материал и методы

Построение математических моделей для исследования различных систем зачастую позволяет получить более дешевые и быстрые результаты, чем натурные эксперименты.

Математическое моделирование использует описание элементов системы и связей и отношений между ними для изучения самой системы. Аналитические методы моделирования позволяют наиболее формально описать исследуемую систему, а для исследования используют строгие методы изучения операций. К сожалению, при изучении сложных систем строгое формальное описание может быть затруднено, а полученные соотношения могут не иметь аналитического решения.

Имитационные модели, в отличие от аналитических, описывают систему менее формально, в терминах, более приближенных

к терминам предметной области. Для построения имитационной модели достаточно знать в общих чертах алгоритм функционирования и взаимодействия частей системы. Этот алгоритм отражается в компьютерной программе, которую называют компьютерной моделью. Под процессом моделирования подразумевается замена натурального эксперимента запуском компьютерной модели.

Имитационные модели можно использовать не только для анализа текущей ситуации, сценарного анализа возможных направлений развития, но и для поиска рациональных параметров работы системы.

Для исследования некоторых систем удобно рассматривать процессы, проходящие в них в виде последовательности отдельных важных моментов – событий. Дискретно-событийные имитационные модели описывают исследуемую систему в виде набора состоя-

ний, изменяющихся вследствие возникновения событий в дискретные моменты времени. Такой подход широко используется в моделировании бизнес-процессов, производства, логистики, здравоохранения и т. д. [13].

Обычно события и моменты их возникновения описываются как случайные величины с заданными распределениями вероятностей. Также иногда удобно описывать систему, в том числе и работу медицинских организаций, исследуемую с помощью дискретно-событийного подхода, в терминах теории массового обслуживания.

В исследовании поведение отдельных элементов моделируемой системы описывается в виде алгоритмов, реализованных на языке программирования Python с использованием библиотеки программирования SimPy [17].

Язык программирования Python является языком общего назначения, что позволяет использовать его не только для разработки модели, но также с его помощью производить автоматизированную предобработку входных данных, автоматически подготавливать отчеты по результатам экспериментов, строить полноценные программные решения, использующие разработанную модель. Помимо этого, в отличие от специализированных сред дискретно-событийного моделирования разработка модели на языке общего назначения дает большую гибкость, позволяет определить большее количество параметров исследуемой системы и при необходимости использовать наиболее современные подходы к моделированию (например эволюционные алгоритмы). Средства разработки на языке Python распространяются бесплатно. Основным минусом использования языка программирования общего назначения являются более высокие требования к технической подготовке разработчика модели в сравнении со специализированными средами дискретно-событийного моделирования. Используемая библиотека SimPy содержит в себе инструменты дискретно-событийного моделирования и позволяет быстро и эффективно разрабатывать такие модели без необходимости самостоятельно описывать базовые механизмы ее работы, что существенно ускоряет разработку конкретной модели и позволяет избежать многих возможных ошибок при программной реализации.

В качестве параметров модели использовались следующие данные: лечебно-эвакуационная характеристика входящего в медоСпН потока пострадавших, сроки про-

ведения различных медицинских процедур и манипуляций, хирургических операций, а также сроки временной нетранспортабельности пострадавших.

В интересах достижения цели осуществлялось моделирование 4 входящих потоков пострадавших в различных сочетаниях (рандомно): с ранениями и травмами конечностей (20%); ранениями и травмами груди (17,5%); ранениями и травмами головы – ранениями и травмами черепа (16,1%), ранениями и травмами челюстно-лицевой области (9,6%), ранениями и травмами органа зрения; ранениями и травмами живота (по 8,8%); ожогами (8,6%); ранениями и травмами позвоночника (7,9%) и психогенно-реактивные состояния (2,6%). Более детально входящий поток пораженных представлен в табл. 1.

При моделировании входящего потока пострадавших по степени тяжести использованы усредненные значения данных о структуре входящего потока пострадавших в различных ЧС: 29,1% – легкие ранения, 27,2% – средней степени тяжести, 42,1% – тяжелые и 1,6% – крайне тяжелые.

Мероприятия вида медицинской помощи, сроки нетранспортабельности описывались как случайные величины, имеющие треугольное распределение (Симпсона), параметры которого были оценены военными хирургами, анестезиологами-реаниматологами, терапевтами, выступившими в роли экспертов.

В качестве модели входящего потока пострадавших использовался простой пуассоновский процесс с различными параметрами. В ходе моделирования исследованы варианты работы отряда при поступлении в него 40, 60, 80, 100 пострадавших в сутки.

Для описания отдельных частей ИМ медоСпН использовался термин «обслуживающее устройство» из теории массового обслуживания. Обслуживающие устройства в модели имитировали работу различных отделений в составе медоСпН. Admission Room – устройство, имитирующее работу сортировочного поста, в котором дозиметристом производится первичная (предварительная) сортировка пострадавших. После первичной сортировки пострадавших направляют в сортировочное отделение, работа которого имитируется устройством Sorting Room. Оттуда, на основании сортировочного заключения, принятого сортировочной бригадой (внутрипунктовая сортировка), пострадавшего направляют в предоперационную (Preoperative Room), для подготовки к хирургической операции в опе-

Таблица 1

Характеристика входящего потока пострадавших по нозологическим формам

Диагноз	%
Ранения бедра с повреждением костей	15,6
Проникающие ранения груди с повреждением легких и гемопневмотораксом	14,7
Закрытые переломы челюстей, скуловых костей	9,6
Ожоги I–IIIa степени, менее 10 % поверхности тела	8,6
Ушибы головного мозга	6,0
Проникающие ранения живота с повреждением полых органов	6,0
Закрытые стабильные переломы позвоночника без повреждения спинного мозга	5,8
Переломы костей черепа с ушибом головного мозга	5,4
Ранения мягких тканей плеча	4,4
Прободные ранения заднего отрезка глазного яблока	3,9
Разрушение глазного яблока	3,9
Невротические расстройства, связанные со стрессом и соматоформными расстройствами	2,6
Переломы костей черепа с тяжелым ушибом головного мозга и признаками его сдавления	2,5
Сотрясение головного мозга	2,3
Проникающие ранения груди с повреждением легких и открытым пневмотораксом	2,3
Проникающие ранения живота без повреждения внутренних органов	1,6
Проникающие ранения живота с повреждением внеорганных образований	1,2
Закрытые нестабильные переломы позвоночника с повреждением спинного мозга	1,1
Контузии глазницы	0,6
Закрытые стабильные переломы позвоночника с повреждением спинного мозга	0,6
Проникающие ранения груди с повреждением легких и напряженным пневмотораксом	0,5
Контузии глазного яблока	0,4
Закрытые нестабильные переломы позвоночника без повреждения спинного мозга	0,4
Всего	100,0

рационную (Surgery Room) либо в перевязочную (Dressing Room), в отделение анестезиологии – реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии) (Reanimation). После оказания мероприятий соответствующего вида медицинской помощи пострадавших направляют в отделение анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии), если это требуется, либо в госпитальное отделение (Hospital) на срок нетранспортабельности пострадавшего и затем в эвакуационное отделение (Evacuation). Если пострадавший не нуждается в оказании медицинской помощи, его сразу же отправляют в эвакуационное отделение.

Емкость «обслуживающих устройств» показывает, какое количество пострадавших может быть одновременно обработано обслуживающим устройством (какому количеству пострадавших будет оказана медицинская помощь в функциональных подразделениях) и определяется в зависимости от ИМ отделения либо количеством одновременно работающих медицинских бригад, либо количеством койко-мест в отделении. В качестве базовой использовалась следующая конфигурация (количество обслуживающих устройств): «сортировочный пост» – 1, «сортировочная» – 1, «предоперационная» – 1, «операционная» – 2,

«перевязочная» – 1, «отделение анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии)» – 20 мест, «госпитальное отделение» – 100 мест, «эвакуационная» – 20 мест.

Пострадавшие в ИМ различаются видом и степенью тяжести поражения. С нашей точки зрения, – это основные показатели лечебно-эвакуационной характеристики, которые определяют дальнейший процесс оказания медицинской помощи. В случае, если при поступлении пострадавшего в функциональное подразделение (обслуживающее устройство) их количество (обслуживаемых элементов) в данный момент времени равняется пропускной способности (емкости устройства) функционального подразделения, то поступивший попадает в очередь устройства, в которой ожидает до момента освобождения места в обслуживающем устройстве. Дисциплины обслуживания очереди FIFO (firstin – firstout – первый пришел – первый ушел) [17].

Для определения сроков оказания медицинской помощи (сроков обслуживания) пострадавшим (экспертами определялись мероприятия необходимого вида медицинской помощи при различных ранениях) устанавливался приоритет поступившего в функцио-

нальное подразделение (очередь устройства), а также среднее время оказания вида медицинской помощи. Для моделирования случайных величин использовались генераторы случайных чисел.

В результате работы модели оценивали следующие параметры, которые, на наш взгляд, помогают установить эффективность работы медоСпН и отдельных его частей, представленные в таблицах: средняя длина очереди устройства – mQ , максимальная длина очереди устройства – Q_{max} , среднее время ожидания в очереди (мин) – T_{mean} , отношение времени оказания медицинской помощи к общему времени работы устройства – U . Для средней длины очереди, максимальной длины очереди и среднего времени ожидания также оценивали стандартное отклонение [$mQ(std)$, $Q_{max}(std)$, $T(std)$ соответственно].

Для устройств, которые в модели представляют военно-медицинских специалистов, приемлемое значение U_t лежит в пределах физиологических возможностей человека и при выполнении в течение достаточно длительного времени тяжелой физической работы не должно превышать 0,8.

В случае выявления «узкого места» последовательно наращивалась емкость устройства (n), что соответствовало усилению данного функционального подразделения дополнительными врачебно-сестринскими бригадами, койками и рабочими местами, оснащением и т. п. Это действие производилось до тех пор, пока выбранные показатели эффективности не приходили в соответствии с теми, которые, по нашему мнению, характеризуют работу системы как «эффективная».

Также были проведены ряд экспериментов, позволяющих оценить эффективность введения различных технологических улучшений процесса оказания медицинской помощи. Для этого изменялись характеристики обслуживающих устройств в соответствии с предполагаемыми изменениями, которые должны последовать вследствие нововведений (например уменьшение среднего времени обслуживания определенных пострадавших). При этом обращаем внимание на то, что полученные результаты являются абстрактными, но показательными для модели. В ходе построения модели были введены допущения: возможность развертывания дополнительно операционно-реанимационного отделения, нештатных палат реанимации и интенсивной терапии, число оперируемых раненых по экстренным и неотложным показаниям.

Результаты и их анализ

В качестве первого шага было проведено моделирование работы медоСпН в «базовой» конфигурации. Результаты показали, что самым «узким местом» является операционная (табл. 2). При входящем потоке раненых 40 чел./сут отряд хорошо справляется с имеющейся нагрузкой. Для большинства обслуживающих устройств среднее число пострадавших в очереди не превышает 1 человека, а максимальное полученное значение ожидающих в очереди при моделировании достигло 6 человек (в операционной). Наибольшее среднее время ожидания наблюдается также в операционной (41 мин).

Дальнейшие результаты подтвердили, что самым «узким местом» является операционная. При увеличении входящего потока до 60 чел./сут и среднее число раненых в очереди в операционную возросло до 46, со средним временем ожидания почти в 2 сут (2182 мин).

Ситуация еще более усугубляется при потоке более 60 чел./сут. При поступлении 80 чел./сут среднее число ожидающих в очереди в операционную возрастает до 107 человек (максимально достигнутое значение 216), а среднее время ожидания в очереди достигает 3,5 сут (5057 мин). При величине потока в 100 раненых средняя длина очереди составила 145 человек, среднее время ожидания 4,7 сут (6814 мин).

Наиболее простым решением для устранения «узкого места» в данном случае оказалось увеличение количества хирургических бригад. Результаты моделирования с 4 хирургическими бригадами показаны в табл. 3. Увеличение количества хирургических бригад позволяет снизить время ожидания и длину очереди в операционной: при входящем потоке в 60 раненых – менее 1 раненого в очереди и среднее время ожидания 2 мин; менее 1 раненого и 17 мин для входящего потока в 80 раненых; 7 раненых в среднем в очереди и среднее время ожидания 172 мин (до 3 ч) для потока в 100 раненых.

При этом, вследствие увеличения пропускной способности операционной, увеличивается поток поступающих в отделение анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии). Также при величине входящего потока более 80 чел./сут средняя длина очереди в реанимации достигает значения 47 раненых со средним временем ожидания в очереди 1,8 сут (2642 мин), а при величине входящего потока 100 чел./сут средняя длина очереди составит 73 раненых

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования для базовой конфигурации медоСПН

Устройство	Емкость	mQ	mQ (std)	Qmax	Qmax (std)	Tmean	T (std)	U
40 раненых								
Admission Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,09
Sorting Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,08
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,04
Surgery Room	2	Менее 1	0,14	6	1,50	41	60,98	0,67
Dressing Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,04
Reanimation	20	Менее 1	0,01	1	1,14	Менее 1	6,53	0,63
Hospital	100	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,35
Evacuation	20	0	0,00	Менее 1	1,26	Менее 1	2,58	0,20
60 раненых								
Admission Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,14
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,14	0	0,01	0,12
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,05
Surgery Room	2	46	4,58	94	6,81	2182	1276,86	0,74
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,50	Менее 1	0,37	0,06
Reanimation	20	Менее 1	0,13	5	1,61	14	44,80	0,79
Hospital	100	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,42
Evacuation	20	Менее 1	0,05	5	2,26	2	18,12	0,24
80 раненых								
Admission Room	1	0	0,00	Менее 1	0,48	0	0,03	0,19
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,35	0	0,07	0,16
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,07
Surgery Room	2	107	5,33	216	6,85	5057	2944,40	0,70
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,14	Менее 1	1,03	0,08
Reanimation	20	Менее 1	0,18	5	1,73	13	45,75	0,80
Hospital	100	0	0,00	Менее 1	0,28	Менее 1	1,99	0,48
Evacuation	20	Менее 1	0,03	4	1,93	1	12,66	0,27
100 раненых								
Admission Room	1	0	0,00	Менее 1	0,24	0	0,09	0,23
Sorting Room	1	0	0,00	1	0,14	Менее 1	0,21	0,19
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,09
Surgery Room	2	145	4,48	290	6,92	6819	3938,39	0,67
Dressing Room	1	Менее 1	0,00	Менее 1	0,00	Менее 1	1,60	0,09
Reanimation	20	Менее 1	0,11	5	1,47	12	40,47	0,79
Hospital	100	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,51
Evacuation	20	Менее 1	0,02	3	2,17	Менее 1	9,88	0,30

со средним временем ожидания оказания вида медицинской помощи 2,8 сут (4139 мин). Рост числа хирургических бригад позволяет снизить время ожидания и длину очереди в операционной, но при этом при величине входящего потока раненых 80 чел./сут или более увеличивает эти показатели для отделения анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии) вследствие увеличения потока из операционной в реанимационную.

С целью снижения длины очереди и времени ожидания при величине входящего потока 80 раненых и более было проведено моделирование, предполагающее перераспределение 10 коек госпитального отделения в реанимационное (табл. 4). Моделирова-

ние показало, что такое решение позволяет уменьшить очередь в реанимацию, незначительно увеличивая ее для госпитального отделения.

Соответственно при величине входящего потока 80 чел./сут получаем менее 1 раненого в очереди и среднее время ожидания 11 мин и 1 раненого со средним временем ожидания 33 мин для величины входящего потока 100 чел./сут для отделения анестезиологии–реанимации (с палатами реанимации и интенсивной терапии).

При этом, время ожидания в очереди в госпитальном отделении составило в среднем 1277 и 1621 мин для величины входящего потока 80 и 100 чел./сут соответственно. Таким образом, при данной нагрузке и с учетом со-

Таблица 3

Результаты имитационного моделирования базовой конфигурации медоСпН с четырьмя хирургическими бригадами в операционной

Устройство	Емкость	mQ	mQ (std)	Qmax	Qmax (std)	Tmean	T (std)	U
60 чел./сут								
Admission Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,14
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,14	0	0,01	0,12
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,05
Surgery Room	4	Менее 1	0,03	3	0,60	2	9,51	0,57
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,50	Менее 1	0,36	0,06
Reanimation	20	4	2,10	15	4,16	246	256,72	0,89
Hospital	100	0	0,00	Менее 1	0,28	Менее 1	1,27	0,43
Evacuation	20	Менее 1	0,33	13	4,68	27	88,07	0,28
80 чел./сут								
Admission Room	1	0	0,00	Менее 1	0,41	0	0,02	0,18
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,43	0	0,07	0,15
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,07
Surgery Room	4	Менее 1	0,16	6	1,54	17	30,34	0,74
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,24	Менее 1	1,12	0,07
Reanimation	20	47	3,66	100	4,00	2642	1598,36	0,93
Hospital	100	1	0,68	22	6,93	253	569,49	0,45
Evacuation	20	Менее 1	0,58	17	6,18	51	132,18	0,29
100 чел./сут								
Admission Room	1	0	0,00	Менее 1	0,27	0	0,09	0,23
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,00	Менее 1	0,18	0,19
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,09
Surgery Room	4	7	2,74	20	6,15	172	157,88	0,86
Dressing Room	1	Менее 1	0,00	1	0,14	Менее 1	1,77	0,09
Reanimation	20	73	2,49	159	3,76	4139	2541,80	0,93
Hospital	100	3	0,99	43	7,68	650	1318,39	0,48
Evacuation	20	1	0,70	19	5,40	89	165,91	0,44

Таблица 4

Результаты имитационного моделирования конфигурации с четырьмя хирургическими бригадами и увеличением количества мест в реанимации до 30 коек за счет 10 коек госпитального отделения

Устройство	Емкость	mQ	mQ (std)	Qmax	Qmax (std)	Tmean	T (std)	U
80 чел./сут								
Admission Room	1	Менее 1	Менее 0,1	Менее 1	0,4	Менее 1	Менее 0,1	0,18
Sorting Room	1	Менее 1	Менее 0,1	Менее 1	0,4	Менее 1	Менее 0,1	0,15
Preoperative Room	1	Менее 1	Менее 0,1	0	0	0	0	0,07
Surgery Room	4	2	0,9	10	2,8	69	80	0,83
Dressing Room	1	Менее 1	Менее 0,1	1	0,2	Менее 1	1	0,07
Reanimation	30	Менее 1	0,2	5	1,6	11	34	0,80
Hospital	90	4	1,2	40	9	746	1277	0,47
Evacuation	20	14	2	81	10	975	867	0,42
100 чел./сут								
Admission Room	1	Менее 1	Менее 0,1	Менее 0,1	0,3	Менее 1	Менее 0,1	0,22
Sorting Room	1	Менее 1	Менее 0,1	1	0	Менее 1	0,1	0,19
Preoperative Room	1	0	0	0	0	0	0	0,08
Surgery Room	4	41	4,9	85	6	1147	690	0,86
Dressing Room	1	Менее 1	Менее 0,1	1	0,3	Менее 1	1,8	0,09
Reanimation	30	1	0,4	7	2,1	33	62	0,85
Hospital	90	5	1,2	47	7,5	961	1621	0,51
Evacuation	20	23	2,5	107	9,8	1521	1204	0,44

Таблица 5

Результаты имитационного моделирования медоСпН в базовой конфигурации
с учетом использования бинта «Celox Gauze®»

Устройство	Емкость	mQ	mQ (std)	Qmax	Qmax (std)	Tmean	T (std)	U
Addmission Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,14
Sorting Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,08
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,05
Surgery Room	2	Менее 1	0,12	6	1,64	25	41,47	0,63
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,48	Менее 1	0,48	0,06
Reanimation	20	4	1,87	14	4,36	220	240,43	0,91
Hospital	100	Менее 1	0,05	Менее 1	1,43	1	28,30	0,45
Evacuation	20	Менее 1	0,37	12	5,06	25	87,17	0,27

стояния раненых, поступающих в госпитальное отделение, такое время ожидания считается приемлемым.

Тем не менее, при величине входящего потока 100 чел./сут даже подобные организационные решения не позволяют справиться с потоком пациентов. Что говорит о том, что при ожидаемой величине входящего потока (при условии сохранения структуры потока) более 100 чел./сут одного медоСпН недостаточно для эффективного оказания медицинской помощи всем пострадавшим.

Помимо увеличения количества военно-медицинских специалистов, также были рассмотрены организационные решения, основанные на использовании различных новых технологий в оказании хирургической помощи в медоСпН, применение которых исследуются в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова Минобороны России (ВМедА). Далее будут приведены результаты моделирования с учетом возможного эффекта применения рассматриваемых технологий для величины входящего потока в медоСпН 60 чел./сут.

К примеру, это исследование гемостатической активности бинта по типу «Celox Gauze®». Специалистами ВМедА доказана возможность применения хирургическими бригадами противошоковой тазовой повязки для остановки продолжающегося массивного внутритазового кровотечения при оказании хирургической помощи на различных этапах медицинской эвакуации [11, 12]. Эффект от применения такого бинта учитывался в имитационной модели в виде уменьшения среднего времени проведения хирургических операций при ранениях, связанных с внутритазовыми кровотечениями, на 50 %.

Результаты ИМ работы медоСпН в базовой конфигурации с учетом использования бинта по типу «Celox Gauze®» при величине входящего потока 60 чел./сут приведены

в табл. 5. Отмечено значительное снижение длины очереди и времени ожидания оказания хирургической помощи в операционной по сравнению с вариантом без использования бинта. Результат связан с тем, что доля раненых с внутритазовым кровотечением в рассматриваемой структуре входящего потока в медоСпН вносит значительный вклад в нагрузку операционной, несмотря на то, что доля таких ранений не является преобладающей в структуре входящего потока.

Также исследован возможный эффект от использования технологии ведения ран с наложением повязок с локальным низким давлением (vacuum assistant closure – VAC, negative pressure wound therapy – NPWT), которые обеспечивают временное (в том числе длительное) герметичное закрытие ран (в том числе обширных) различной локализации и этиологии, а также временное закрытие брюшной полости после выполнения лапаротомии. При этом обеспечивается постоянное полное удаление раневого отделяемого из ран, включая раны со сложной геометрией поверхности. Это обеспечивает возможность не проводить ежедневную смену повязок. Создание герметичности предотвращает инфицирование раны. Эффект от применения повязок был учтен в модели путем сокращения среднего времени длительности хирургических операций при открытых ранах на 50 % [14].

Результаты ИМ медоСпН в базовой конфигурации с учетом использования повязок с локальным низким давлением при величине входящего потока 60 чел./сут приведены в табл. 6. Отмечено значительное снижение длины очереди и времени ожидания хирургической помощи в операционной по сравнению с вариантом без использования бинта «Celox Gauze®». Такой результат связан с тем, что проникающие ранения составляют значительную долю в общей структуре входящего потока в медоСпН.

Таблица 6

Результаты имитационного моделирования медоСпН в базовой конфигурации
с учетом использования повязок с локальным низким давлением

Устройство	Емкость	mQ	mQ (std)	Qmax	Qmax (std)	Tmean	T (std)	U
80 чел./сут								
Addmission Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,14
Sorting Room	1	0	0,00	Менее 1	0,14	0	0,00	0,08
Preoperative Room	1	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,05
Surgery Room	2	2	0,48	10	2,33	72	85,80	0,70
Dressing Room	1	0	0,00	Менее 1	0,47	Менее 1	0,40	0,06
Reanimation	20	4	1,73	14	4,45	224	239,93	0,90
Hospital	100	0	0,00	Менее 1	0,42	Менее 1	4,02	0,41
Evacuation	20	Менее 1	0,42	14	5,26	32	100,16	0,25

Таким образом, ИМ позволяет оценить возможности медоСпН по ожидаемому объему работы, потребность в силах и средствах и рациональное их использование с целью повышения эффективности системы медицинского обеспечения войск (сил) и населения в ходе ликвидации медико-санитарных последствий ЧС природного и техногенного характера.

Заключение

Методологическая задача имитационного моделирования в вопросах совершенствования системы медицинского обеспечения войск (сил) и населения при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций на примере конкретного медицинского формирования – медицинского отряда специального назначения позволяет получить условно-адекватную теоретическую структурно-функциональную модель, в той или иной степени соответствующую конкретной объективно существующей и практически функционирующей структуре медицинского отряда специального назначения.

В отличие от традиционных методов моделирования разработка имитационных моделей требует перестройки принципов мышления, так как основная ценность имитационного моделирования состоит в применении системного подхода. Это позволяет использовать имитационное моделирование как универсальное средство для принятия решения в условиях высокой степени неопределенности, при наличии в моделируемой системе трудно формализуемых факторов, а также применять основные принципы системного подхода для решения поставленных перед исследователем задач.

В частности, имитационное моделирование процесса оказания медицинской помощи раненым в условиях чрезвычайных ситуаций

с учетом их лечебно-эвакуационной характеристики в медицинском отряде специального назначения позволило, несмотря на ряд допущений, получить результаты, характеризующие особенности работы штатных функциональных подразделений отряда, а также учесть нагрузку и потенциальные возможности при увеличении величины входящего потока пострадавших.

Таким образом, компьютерное имитационное моделирование, являющееся одним из самых популярных видов математического моделирования и применяемое для исследования сложных систем, может быть успешно использовано для оптимизации работы медицинского отряда специального назначения при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций. Разработанная имитационная модель позволяет проанализировать изменяющуюся нагрузку на функциональные подразделения отряда при различной величине входящего потока раненых в результате чрезвычайной ситуации природного, техногенного и социального характера.

Литература

1. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 399 с.
3. Емельянов А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками. СПб. : Инжэкон, 2000. 376 с.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М. : Машиностроение, 1979. 432 с.
5. Котив Б.Н. Военно-полевая хирургия XXI века // Воен.-мед. журн. 2016. № 5. С. 4–10.
6. Мескон М., Альбрехт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М. : Вильямс, 2009. 672 с.
7. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного ха-

рактера : Федер. закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ // Рос. газета. 1994. 24 дек., № 250.

8. О службе медицины катастроф Министерства обороны Российской Федерации : приказ Минобороны РФ от 10.06.2012 г. № 1450. М. : Воениздат, 2012. 10 с.

9. Савченко И.Ф., Рагулин А.П., Кучейник В.В., Миргородский А.Н. Использование имитационного моделирования в вопросах оснащения полевых военно-медицинских формирований современными подвижными комплексами // Имитационное моделирование: теория и практика : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. СПб., 2007. С. 193–197.

10. Савченко И.Ф., Рагулин А.П., Гоголевский А.С. Использование имитационного моделирования для обоснования тактики применения отдельного медицинского отряда специального назначения // Имитационное моделирование: теория и практика: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. СПб., 2009. С. 233–237.

11. Самохвалов И.М., Головкин К.П., Рева В.А. [и др.]. Применение местного гемостатического средства «Селокс» в экспериментальной модели массивного смешанного наружного кровотечения // Вестн. Рос. Воен.-мед. акад. 2013. № 4. С. 187–191.

12. Самохвалов И.М., Головкин К.П., Рева В.А. [и др.]. Применение местного гемостатического средства «Селокс» на экспериментальной модели повреждения печени IV степени // Воен.-мед. журн. 2013. № 11. С. 24–29.

13. Сидоренко В.Н., Красносельский А.В. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение // Бизнес-информатика. 2009. № 2 (08). С. 52–57.

14. Соловьев И.А., Суров Д.А., Васильченко М.В. [и др.]. Применение вакуумной терапии при развитии гнойно-септических осложнений у больных местно-распространенным раком органов малого таза после расширенных и комбинированных операций // Вестн. Рос. Воен.-мед. акад. 2016. № 1. С. 99–105.

15. Шелепов А.М., Котенко П.К. Моделирование процессов лечебно-эвакуационного обеспечения войск в интересах оптимизации организационно-штатных структур военных лечебных учреждений : метод. рекомендации. СПб. : ВМедА, 2008. 99 с.

16. Шеннон Р.Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М. : Мир, 1978. 418 с.

17. Gross D., Carl M. Harris Fundamentals of Queueing Theory (Wiley Series in Probability and Statistics). New York : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, 2008. 514 p.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.
Поступила 04.10.2017

Для цитирования. Лемешкин Р.Н., Крикунов А.В., Ковальчук С.В., Савченко И.Ф. Имитационная модель оказания медицинской помощи раненым в медицинском отряде специального назначения в ходе ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2017. № 4. С. 20–33. DOI 10.25016/2541-7487-2017-0-4-20-33

Simulation model of delivering health care to the wounded in a special purpose medical unit at elimination of medical and sanitary consequences of emergency situations

Lemeshkin R.N.¹, Krikunov A.V.², Kovalchuk S.V.², Savchenko I.F.¹

¹The Kirov Military Medical Academy (Academica Lebedeva Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia)

²Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverksky Ave., 49, St. Petersburg, 197101, Russia)

✉ Lemeshkin Roman Nikolaevich – Dr. Med. Sci., Prof. of Department of Organization and Tactics of Health Service, Kirov Military Medical Academy (Academica Lebedeva Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: lemeshkinroman@rambler.ru;

Aleksei Vladimirovich Krikunov – M.S., engineer, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverksky Ave., 49, St. Petersburg, 197101, Russia), e-mail: alexey.v.krikunov@yandex.ru;

Sergey Valerevich Kovalchuk – PhD. Tech. Sci, senior researcher, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverksky Ave., 49, St. Petersburg, 197101, Russia), e-mail: sergey.v.kovalchuk@gmail.com;

Igor Fedorovich Savchenko – Dr. Med. Sci. Prof. of Department of Organization and Tactics of Health Service, Kirov Military Medical Academy (Academica Lebedeva Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: lorka@yandex.ru

Abstract

Relevance. The scientific research conducted in the field of medical support at elimination of medical and sanitary consequences of the emergency situations (ES) is inseparably linked with process of modeling of complex systems. Modeling is a study of objects, processes and the phenomena for definition (specification) of the studied characteristics of the surveyed system or specification (improvement) of the offered new elements of this system. Simulation modeling is one option to study medical support system experimentally.

Intention. Simulation modeling is necessary for developing respective models of special purpose medical group functioning, describing the main components of health care delivery to the wounded at ES taking into account their medical and evacuation characteristics.

Methodology. For experiments, discrete and event simulation models were used which represented the system under study, its states changing with specific events in discrete time points. During research, the behavior of separate elements of the modelled system (a special purpose medical group) is described via Python programming algorithms and using the SimPy library. The following data were used as model parameters: victim in-flow structure with time-frames of various medical procedures and manipulations / surgeries as well as time-frames of non-transportability of victims with various lesions. For model simplification, in-flows of victims with penetrating and non-penetrating wounds of various severity were simulated. For modeling, averaged in-flow structures by severity grade in various ESs were used: 29.1 % – mild, 27.2 % – moderate, 42.1 % – severe and 1.6 % – extremely severe. Time-frames of medical manipulations and procedures, time-frames of non-transportability were described as random variables with triangular distribution (Simpson); its parameters were estimated by military-medical experts (surgeons, therapists). A simple Poisson process with various parameters was used for modeling the victim in-flow. During modeling, group work was assessed with victim in-flow of 40, 60, 80, 100 persons a day.

Results and Discussion. Results of modeling indicated some potential bottlenecks of a special purpose medical group, i.e. surgical unit and intensive care unit. It was shown, for example, increased number of surgical teams can enlarge considerably the capacity of a special purpose surgical unit and medical group in general, but at the same time will demand augmentation of capacity of the intensive care unit due to increased flow of the postoperative wounded. Possible effects of such advanced technologies as Celox Gauze[®] bandage and maintaining wounds with low pressure bandages were studied (vacuum assistant closure – VAC, negative pressure wound therapy – NPWT). Preliminary conclusions were made on appreciable effectiveness of the specified technologies in work of a special purpose medical group.

Conclusion. Simulation modeling is one of the most popular types of mathematical modeling and is used for research of complex systems. Therefore, it can be successfully used when modeling work of a special purpose medical group at elimination of medical and sanitary consequences of ESs. The developed simulation model helps analyze the changing workload of the group with various in-flows of wounded as a result of natural, technogenic and social ESs.

Keywords: emergency situation, simulation modeling, simulation model, a special purpose medical group, medical and evacuation characteristics, technological process.

References

1. Aksenov K.A., Goncharova N.V. Dinamicheskoe modelirovanie mul'tiagentnykh protsessov preobrazovaniya resursov [Dynamic simulation of multagent processes of conversion of resources]. Ekaterinburg. 2006. 311 p. (In Russ.)
2. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnykh system [Simulation of complex systems]. Moskva. 1978. 399 p. (In Russ.)
3. Emel'yanov A.A. Imitatsionnoe modelirovanie v upravlenii riskami [Simulation modeling in risk management]. Sankt-Peterburg. 2000. 376 p. (In Russ.)
4. Kleinrok L. Teoriya massovogo obsluzhivaniya [Queueing theory]. Moskva. 1979. 432 p. (In Russ.)
5. Kotiv B.N. Voenno-polevaya khirurgiya KhKhI veka [Field surgery of the XXI century]. *Voenno-meditsinskii zhurnal* [Military medical journal]. 2016. N 5. Pp. 4–10. (In Russ.)
6. Meskon M., Al'brekht M., Khedouri F. Osnovy menedzhmenta [Management bases]. Moskva. 2009. 672 p. (In Russ.)
7. O zashchite naseleniya i territorii ot chrezvychainykh situatsii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera: Federal'nyi zakon ot 21.12.1994 N 68-FZ [About protection of the population and territories against emergency situations of natural and technogenic character: Feeder. law of 21.12.1994 No. 68-FZ]. *Rossiiskaya gazeta* [Russian newspaper]. 1994. 24 Dec. N 250. (In Russ.)
8. O sluzhbe meditsiny katastrof Ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii : Prikaz Ministra oborony Rossii [About service of disaster medicine of the Ministry of Defence of the Russian Federation] 10.06.2012 N 1450. Moskva. 2012. 10 p. (In Russ.)
9. Savchenko I.F., Ragulin A.P., Kucheynik V.V., Mirgorodskiy A.N. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya v voprosakh osnashcheniya polevykh voenno-meditsinskikh formirovaniy sovremennymi podvizhnymi kompleksami [Use of a simulation modeling for equipping field military-medical formations by the modern relative frame complexes] *Imitatsionnoe modelirovanie: teoriya i praktika* [Simulation modeling: theory and practice] : Scientific. Conf. Proceedings. Sankt-Peterburg. 2007. Pp. 193–197. (In Russ.)
10. Savchenko I.F., Ragulin A.P., Gogolevskiy A.S. Ukazhite pervykh trekh Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya obosnovaniya taktiki primeneniya otdel'nogo meditsinskogo otryada spetsial'nogo naznacheniya [Use of a simulation modeling for justification of tactics of application of a special purpose separate medical group] *Imitatsionnoe modelirovanie: teoriya i praktika* [Simulation modeling: theory and practice] : Scientific. Conf. Proceedings. Sankt-Peterburg. 2009. Pp. 233–237. (In Russ.)
11. Samokhvalov I.M., Golovko K.P., Reva V.A. [et al.]. Primenenie mestnogo gemostaticheskogo sredstva «Celox» v eksperimental'noi modeli massivnogo smeshannogo naruzhnogo krvotecheniya [Usage of local hemostatic agent «Celox» in experimental model of massive external bleeding]. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of Russian Military medical Academy]. 2013. N 4. Pp. 187–191. (In Russ.)
12. Samokhvalov I.M., Golovko K.P., Reva V.A. [et al.]. Primenenie mestnogo gemostaticheskogo sredstva «Tseloks» na eksperimental'noi modeli povrezhdeniya pecheni IV stepeni [The use of local hemostatic agent «Celox» in experimental model of grade IV liver injury]. *Voenno-meditsinskii zhurnal* [Military medical journal]. 2013 N 11. Pp. 24–29. (In Russ.)

13. Sidorenko V.N., A.V. Krasnosel'skii A.V. Imitatsionnoe modelirovanie v nauke i biznese: podkhody, instrumenty, primeneniye [Information systems and technologies in business]. *Biznes-informatika* [Business Informatics]. 2009. N 2. Pp. 52–57. (In Russ.)
14. Solov'ev I.A., Surov D.A., Vasil'chenko M.V. [et al.]. Primeneniye vakuumnoi terapii pri razviti gnoiosepticheskikh oslozhnenii u bol'nykh mestno-rasprostranennym rakom organov malogo taza posle rasshirenykh i kombinirovannykh operatsii [Vacuum therapy application in development of purulent-septic complications in patients with locally advanced pelvic cancer after advanced and combined surgeries]. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of Russian Military Medical Academy]. 2016. № 1. Pp. 99–105. (In Russ.)
15. Shelepov A.M. [et al.]. Modelirovaniye protsessov lechebno-evakuatsionnogo obespecheniya voisk v interesakh optimizatsii organizatsionno-shtatnykh struktur voennykh lechebnykh uchrezhdenii [Modelling of medical and evacuation provision for troops to optimize organization and staff structures of military medical institutions]. Sankt-Peterburg. 2008. 99 p. (In Russ.)
16. Shennon R.Yu. Imitatsionnoe modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauka [Simulation modeling of systems – art and science]. Moskva. 1978. 418 p. (In Russ.)
17. Gross D., Carl M. Harris Fundamentals of Queueing Theory (Wiley Series in Probability and Statistics). New York : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken. 2008. 514 p.

Received 04.10.2017

For citing: Lemeshkin R.N., Krikunov A.V., Koval'chuk S.V., Savchenko I.F. Imitatsionnaya model' okazaniya meditsinskoi pomoshchi ranenym v meditsinskom otryade spetsial'nogo naznacheniya v hode likvidatsii mediko-sanitarnykh posledstviy chrezvychaynykh situatsii. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2017. N 4. Pp. 20–33. **(In Russ.)**

Lemeshkin R.N., Krikunov A.V., Koval'chuk S.V., Savchenko I.F. Simulation model of delivering health care to the wounded in a special purpose medical group at elimination of medical and sanitary consequences of emergency situations. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2017. N 4. P. 20–33. DOI 10.25016/2541-7487-2017-0-4-20-33