

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ  
ПЛАНИРОВАНИИ ВЫГРУЗКИ (ПОГРУЗКИ) РАНЕННЫХ (БОЛЬНЫХ)  
ИЗ ВОЕННО-САНИТАРНОГО ПОЕЗДА**

**И.Ф. Латыпов (Санкт-Петербург), В.В. Девятков (Казань),  
С.В. Кульнев, И.Ф. Савченко, Е.А. Солдатов (Санкт-Петербург)**

**Введение**

Для органов военно-медицинского управления сложной и многогранной задачей является организация эвакуации раненых (больных) с театра военных действий вглубь страны, особенно в условиях разрушения коммуникаций. На наш взгляд, очевидным является то, что в крупномасштабной войне основным средством эвакуации раненых (больных) в специальные формирования здравоохранения будут военно-санитарные поезда. От того на сколько спланирована и организована выгрузка/погрузка раненых (больных) из военно-санитарного поезда напрямую зависит состояние их тяжести и летальности на путях медицинской эвакуации. На основании этого, актуальным является научная проработка вопросов выгрузки/погрузки раненых (больных) из военно-санитарных поездов с помощью современных методов исследования.

Цель исследования, описанного в данной статье, разработать комплекс имитационных моделей, позволяющий спланировать и принять обоснованное решение по выгрузке/ погрузке раненых (больных) из военно-санитарного поезда.

**Формализация технологии выгрузки/погрузки**

В процессе анализа и формализации работы санитаров по погрузке/выгрузке раненых (больных) была разработана структурно-логическая схема, которая заключалась в восьми возможных технологиях их выгрузки/погрузки на носилках звеньями санитаров из военно-санитарного поезда (рисунок 1). Цифрами на схемах обозначены места передачи раненых и больных от одного звена другому. Конечными точками нахождения раненых и больных при выгрузке из военно-санитарного поезда, является приемно-сортировочная площадка, при погрузке – полка в купе вагона.

Технологии друг от друга отличаются количеством звеньев (от 1 до 6), наличием или отсутствием приемно-сортировочной площадки, выгрузкой/погрузкой через двери или окна вагона и рядом других характеристик.

Уровень детализации работы бригад санитаров в каждой из моделей определялась последовательным переходом в дискретные моменты времени раненых (больных) из одного системного состояния в другое, где между соседними состояниями системы происходят события.

В результате было сформирован общее дискретно-событийный алгоритм реализации технологии.



Рис.1 – Технологии погрузки/выгрузки в военно-санитарном поезде

На рисунке 2 показан пример представления технологии выгрузки.



$S_0$  – раненый (больной) находится на полке в купе,  $T_0$  – время прибытия военно-санитарного поезда;

$S_1$  – раненый (больной) находится погруженным на носилки,  $T_1$  – общее время выгрузки раненых;

$S_2$  – раненый (больной) находится на площадке перед вагоном,  $T_2$  – общее время переноски раненых на площадку перед вагоном;

$S$  – раненый (больной) находится на приемно-сортировочной площадке,  $T_3$  – общее время переноски раненых на приемно-сортировочную площадку.

Рис. 2 – Дискретно-событийное представление технологии выгрузки

Следует отметить, что процесс погрузки раненых/больных осуществляется в обратном порядке. Последовательность событий технологии циклически повторяется до полной выгрузки или погрузки раненых и больных (28 раз или 36 раз, в зависимости от типа вагона).

### Построение комплекса имитационных моделей

Далее на основе проведенной формализации для проведения экспериментального исследования необходимо было разработать модель технологии погрузки/выгрузки.

Применить аналитические методы, например, теорию систем массового обслуживания, для построения модели не представлялось возможным. Это связано с наличием многих фаз обслуживания, сложными алгоритмами обработки очередей, также наличием множества случайных факторов – времени прибытия военно-санитарных поездов, времени выгрузки/погрузки и транспортировки и т.д. Поэтому было принято решение о применении метода имитационного моделирования (далее ИМ).

В мире используется множество языков и систем имитационного моделирования, в России наиболее популярными являются AnyLogic [1] и GPSS Studio.

Учитывая функциональные возможности и предпочтения авторов, в качестве инструмента ИМ была выбрана среда моделирования GPSS Studio [2], поддерживающая наиболее мощный инструмент ИМ GPSS World. В частности, на основе любой отлаженной модели можно сделать предметно-ориентированное имитационное приложение, предоставляющее множество дополнительных инструментов для организации и проведения имитационного исследования на языке близком к терминологии исследователя.

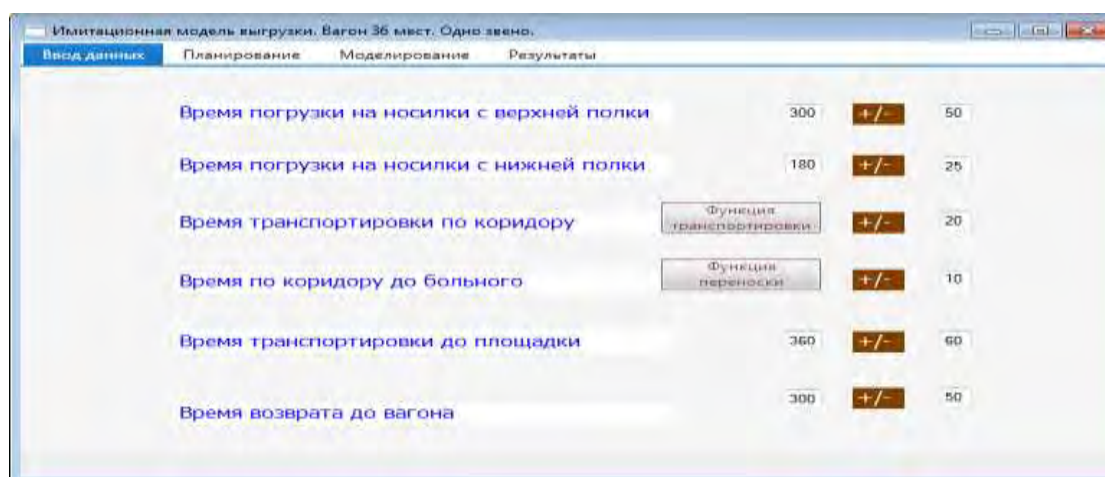


Рис.3 – Задание параметров времени в технологии выгрузки/погрузки для военно-санитарного поезда

Для реализации каждого из восьми вариантов технологии была разработана отдельная имитационная модель. Примеры ввода параметров времени в имитационных приложениях приведены на рисунках 3 и 4. Также в модели организован ввод множества других данных, например функциональной зависимости времени транспортировки раненых (больных) по коридору вагона и возвращения санитаров обратно от номера купе (рисунок 4).

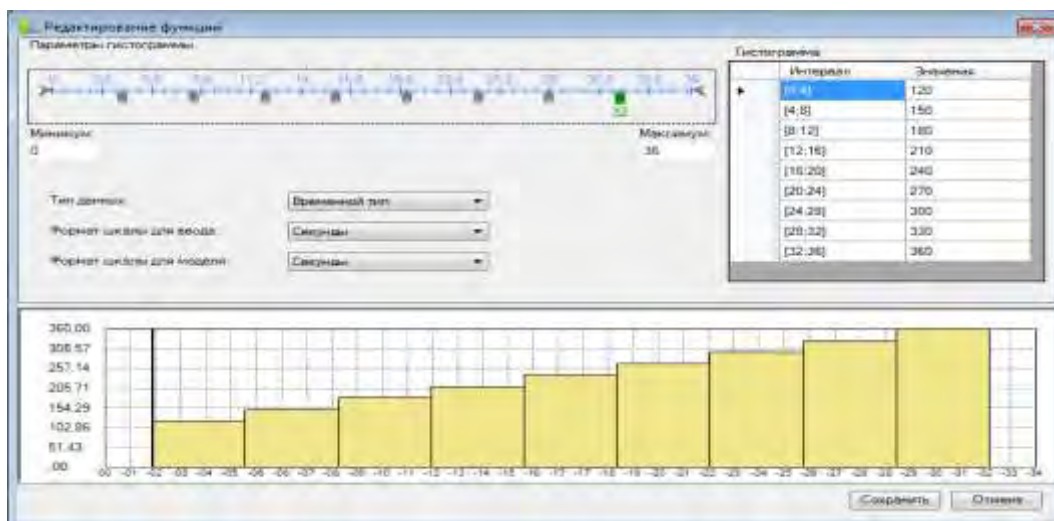


Рис.4 – Гистограмма времени транспортировки внутри вагона

Для проведения значимых вычислительных экспериментов с моделью, необходимы реальные исходные данные. Часть из них была получена из различных источников, а оценка временных параметров технологии была проведена с помощью физического моделирования.

Для этого были разработана методика, спланированы и проведены натурные эксперименты работы санитаров по выгрузке/погрузке раненых (больных) из вагона на базе обеспечения учебного процесса ВА МТО имени А.В. Хрулева (г. Луга), в ходе тактико-специальных учений медицинской службы «Очаг».

Некоторые результаты исследования приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Среднее время выгрузки/погрузки раненого на носилки

Наименование		Время, сек.
Выгрузка	Верхняя полка	42
	Нижняя полка	32
Погрузка	Верхняя полка	58
	Нижняя полка	22

Таблица 2 – Среднее время, затрачиваемое на перемещение по коридору вагона

Наименование	Время, сек.	
	туда	обратно
1 купе – выход	2	1
2 купе – выход	3	2
3 купе – выход	8	4
4 купе – выход	14	5
5 купе – выход	20	8
6 купе – выход	24	11
7 купе – выход	29	14
8 купе – выход	36	18
9 купе – выход	42	22

Таблица 3 – Среднее время транспортировки раненого (больного)

Наименование	Время	
	туда	обратно
Вагон – 100 метров	1 мин. 27 сек.	1 мин. 28 сек.
Вагон – 200 метров	3 мин. 22 сек.	4 мин. 22 сек.
Вагон – 300 метров	4 мин. 55 сек.	5 мин. 50 сек.
Вагон – 400 метров	6 мин. 50 сек.	7 мин. 20 сек.
Вагон – 500 метров	8 мин. 10 сек.	8 мин. 50 сек.

### Планирование и проведение имитационного исследования

Далее, необходимо было провести исследование эффективности работы различных вариантов технологии с помощью проведения уже вычислительных экспериментов с помощью имитационных приложений. При разработке сценариев исследования были использованы в качестве варьируемых факторов, такие исходные данные, как:

- полученные результаты натурных экспериментов;
- различные варианты минимально возможных количеств звеньев санитаров, в зависимости от способа (в соответствии с таблицей 4);
- максимальное количество раненых (больных) в вагоне (36 и 28 мест).

Таблица 4 – Минимальное количество звеньев санитаров, участвующих в выгрузке/погрузке раненых из вагона военно-санитарного поезда

Наименование	Минимальное количество используемых звеньев санитаров			
	2 звена	3 звена	4 звена	6 звеньев
Способ 1	+	–	–	–
Способ 2	–	–	+	–
Способ 3	–	+	–	–
Способ 4	–	–	–	+
Способ 5	+	–	–	–
Способ 6	–	–	+	–
Способ 7	+	–	–	–
Способ 8	–	–	+	–

В соответствии с выбранными сценариями были запланированы и проведены десятки экспериментов, в которых апробированы различные варианты технологий и определено время выгрузки/погрузки раненых соответствующими способами при использовании минимального количества звеньев санитаров. После каждого эксперимента можно оперативно проанализировать полученные результаты в табличной и графической форме. Для примера, на рисунке 5 приведен фрагмент ролика динамики (на 23 минуте) по выгрузке 36-местного вагона, 2-мя звеньями выгрузки и 3-мя звеньями переноски на сортировочную площадку.

Все результаты исследования были обобщены. Сводные результаты среднего времени выгрузки для различных вариантов реализации технологий выгрузки приведены в таблице 5.

Хотелось бы отметить, что на основании проведенных натурных экспериментов при выгрузке/погрузке раненых (больных) из военно-санитарного поезда (с двух

выходов) нецелесообразно иметь непосредственно в вагоне более 4-х звеньев санитаров и более 3-х при работе через один выход. Также моделирование показало, что использование звеньев, осуществляющих транспортировку раненых (больных) от вагона на приемно-сортировочную площадку (от приемно-сортировочной площадки к вагону) в количестве более 6-ти – неэффективно, так как это вызывает их простой.

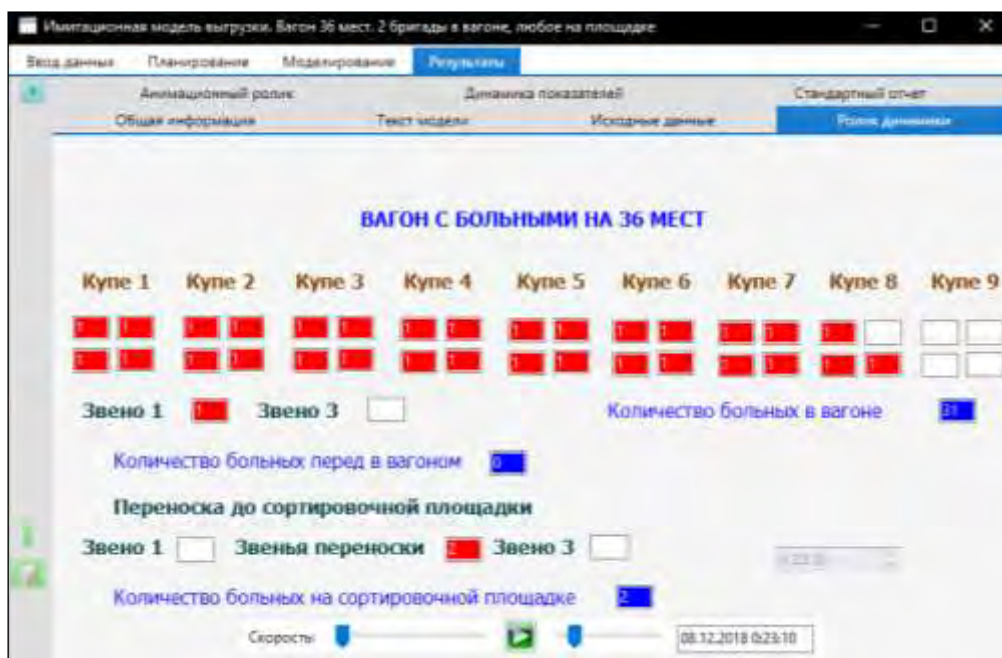


Рис.5 – Динамика хода разгрузки вагона

Таблица 5 – Среднее время выгрузки раненых из военно-санитарного поезда

	Среднее время выгрузки раненых и их транспортировка от купе вагона до приемно-сортировочной площадки				
	100 м	200 м	300	400 м	500 м
1 способ	1 час 53 мин	4 час. 46 мин	6 час. 35 мин	8 час. 38 мин	10 час. 20 мин
2 способ	1 час	2 час. 27 мин	3 час. 21 мин	4 час. 23 мин	5 час. 14 мин
3 способ	1 час 53 мин	4 час. 46 мин	6 час. 35 мин	8 час. 38 мин	10 час. 20 мин
4 способ	40 мин	1 час 25 мин	1 час 55 мин	2 час. 16 мин	2 час. 41 мин
5 способ	1 час 53 мин	4 час. 46 мин	6 час. 35 мин	8 час. 38 мин	10 час. 20 мин
6 способ	1 час 37 мин	3 час. 3 мин	3 час. 58 мин	4 час. 59 мин	5 час. 50 мин
7 способ	1 час 53 мин	4 час. 46 мин	6 час. 35 мин	8 час. 38 мин	10 час. 20 мин
8 способ	1 час	2 час. 27 мин	3 час. 21 мин	4 час. 23 мин	5 час. 14 мин

---

### **Выводы**

Разработанный комплекс имитационных моделей позволяет оперативно оценить различные технологии предстоящей выгрузки/погрузки раненых (больных) из военно-санитарного поезда. Это позволяет органам военно-медицинского управления своевременно принять оптимальное решение с учетом имеющихся сил и средств медицинской службы.

Запланировано дальнейшее совершенствование данного комплекса и применение метода ИМ для решения других организационно-технических задач медицинской службы.

### **Литература**

1. **Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
2. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.