

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА ГОСПИТАЛЬНОМ ЭТАПЕ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

Н. А. Карасев, Е. В. Кислухина, В. А. Васильев

Научно-исследовательский институт скорой помощи
им. Н. В. Склифосовского, Москва

Using of Queuing Theory in Organization of Medicine Process on Admission Phase in Emergency Hospital

N. A. Karasev, E. V. Kislukhina, V. A. Vasiljev

Sklifosovsky Research Center for Emergency Medicine, Moscow

В статье представлена возможность применения методов математического моделирования при организации лечебно-диагностического процесса в больницах скорой медицинской помощи. Для упрощенных моделей приводятся аналитические формулы расчета коэффициентов обеспеченности и использования ресурса. Для моделирования процессов неоднородных по времени и учитывающих приоритеты в обслуживании применяется имитационное моделирование. Теория массового обслуживания может служить инструментом, позволяющим предварительно проанализировать последствия организационных мероприятий до их апробации на реальном объекте.

The article describes application of mathematical modeling for organization of cure-treatment process in emergency clinics. For simplified models the analytical expressions of coefficients of supply and use of resources are given. For processes, which are heterogeneous in time and take into account the priority of service, the simulation was used. The queuing theory can be used as tool, which allows preliminarily analyze the results of organization activity before their approbation on the real object.

Многие из видов деятельности в больницах скорой медицинской помощи (БСМП) в значительной степени связаны с организационным управлением ресурсами (как людскими, так и материальными), а не только с природой самих ресурсов [1]. Для оптимизации использования ресурсного обеспечения лечебного процесса в БСМП наиболее подходящим инструментом является «исследование операций» [2]. В настоящее время «исследованием операций» называют определенную совокупность задач управления, допускающих математическое моделирование, которое рассматривается как часть теории организационных решений.

Возможности достижений в медицине и здравоохранении не ограничены, однако на практике обычно ощущается нехватка ресурсов для их реализации (кадров, оборудования, финансов и т. д.). При переизбытке ресурсов очередей на обслуживание не возникает и нет предмета для исследования, но это экономически неэффективная ситуация. В остальных случаях неизбежно возникновение очередей, проблему которых надо решать, используя имеющиеся ограниченные ресурсы с максимальной эффективностью с позиций оказания экстренной медицинской помощи пациенту.

Исследованием состояния очередей при различных дисциплинах обслуживания занимается раздел исследования операций, получивший название «теория массового обслуживания» [3]. Главная ценность теории массового обслуживания состоит в том, что она позволяет оценить среднее ожидания при заданном потоке заявок на обслуживание. Для наиболее эффективного использования обслуживающего элемента системы его загрузка должна быть как можно больше, тогда как для обеспечения минимального времени ожидания она должна быть как можно меньше. Следовательно, задача состоит в планировании соотношений между этими противоречивыми требованиями при различных тактиках обслуживания.

Простые системы массового обслуживания характеризуются однородностью потока заявок и однотипностью обслуживающих их устройств. Для этих случаев применяется аналитическая теория [3,4]. Рассмотрим один простой подход к расчетам параметров подобных систем.

При оказании экстренной медицинской помощи важную роль играет проведение интенсивной терапии. Как показывает опыт, ее целесообразно проводить на специализированных реанимационных койках. В дан-

Таблица 1. Распределение реанимационных и клинических койко-дней и определение вероятности запроса по годам.

Койко-дни	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Клинические	290619	299277	301758	302297	313612	315546	309728
Реанимационные	20158	23585	34240	24529	27326	28556	27862
Вероятность (p)	0,07	0,8	0,1	0,08	0,09	0,09	0,09
Клинические койки	828	828	828	828	828	828	828
Реанимационные койки	78	78	84	84	90	90	90

Таблица 2. Коэффициенты обеспеченности и использования в зависимости от числа реанимационных коек по годам.

Число р. коек	1999		2000		2001		2002		2003	
	K_o	$K_{и}$	K_o	$K_{и}$	K_o	$K_{и}$	K_o	$K_{и}$	K_o	$K_{и}$
50	77	100	55	100	74	100	69	100	60	100
60	90	98	66	100	88	99	82	100	72	100
70	98	91	77	100	97	94	94	97	84	99
80	100	81	87	100	100	84	99	90	93	97
90	100	72	95	97	100	75	100	81	99	91
100	100	68	99	91	100	68	100	73	100	83
110	100	62	100	83	100	62	100	66	100	75
120	100	56	100	76	100	56	100	61	100	69

ной статье мы упростим задачу и проведем расчеты параметров загрузки единого пула реанимационного коечного фонда. В теории массового обслуживания для описания таких систем вводятся следующие понятия [1]:

1) коэффициент обеспеченности (K_o), т. е. та доля фактической потребности в реанимационных койках, которая может быть удовлетворена,

2) коэффициент использования ($K_{и}$), т. е. доля времени, в течение которого эти койки используются по своему прямому назначению.

Для расчета этих коэффициентов необходимо задавать вероятность (p) запроса на требуемый ресурс. Эта априорная вероятность может быть определена из опыта работы исследуемого учреждения НИИ СП им. Н. В. Склифосовского как отношение койко-дней на реанимационных и клинических койках (табл. 1).

Расчеты выполняются по следующей схеме. Для стационара на n коек вероятность того, что r больным потребуется реанимационная койка, имеет биномиальное распределение:

$$p_r = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$$

а среднее число таких коек равно np . Пусть у нас имеется N реанимационных коек. Тогда среднее число занятых реанимационных коек равно

$$S = \sum_{r=0}^N r p_r + \sum_{r=N+1}^n N p_r$$

Первый член суммы — число больных в те дни, когда спрос может быть удовлетворен полностью, а второй относится к случаям, когда спрос превышает

предложение. Коэффициенты обеспеченности (K_o) и использования ($K_{и}$) рассчитываются по следующим формулам:

$$K_o = S/np; K_{и} = S/N$$

Результаты вычислений для 1999—2003 гг при вероятности потребности пребывания больного на реанимационной койке $p=0,1$, приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы, потребность в реанимационных койках удовлетворяется в должной степени при наличии 90 коек, при этом простой коек незначителен. При увеличении числа коек спрос удовлетворяется полностью, но простой койки растет. Подчеркнем, что в приведенных расчетах не учитываются пиковые нагрузки, а также массовые поступления.

Расчеты использования реанимационных коек при разных вероятностях потребности пребывания больного на реанимационной койке даны в следующей таблице 3.

Из таблицы видно, что даже незначительное увеличение вероятности (возможности оказания качественной экстренной помощи) приводит к значительному увеличению необходимого количества реанимационных коек, что необходимо учитывать при планировании структуры стационара. Таким образом, целесообразное количество реанимационных коек составляет 100—110. Имеется ряд других задач планирования, где допустим подобный простой подход.

Стационары относятся к классу больших систем, т. е. систем, из которых нельзя однозначно выделить подсистемы, имеющих на входе разнородный поток заявок на обслуживание и разнородные ресурсы для обслуживания этого потока. В этом случае основным методом теории массового обслуживания является имитационное моделирование (simulation modeling) [5, 6]. Имитационное моделирование позволяет учесть приоритетность в обслуживании требований, что характерно для оказа-

Таблица 3. Коэффициенты обеспеченности и использования в зависимости от вероятности потребности в реанимационных койках и числа реанимационных коек

Число реан. коек	$p=0,1$		$p=0,15$		$p=0,2$	
	Ко	Ки	Ко	Ки	Ко	Ки
80	93	97				
90	99	91	72	100		
100	100	83	80	100		
110	100	75	88	100		
120	100	69	95	98	72	100
130			99	94	79	100
140			100	89	85	100
150					90	100
160					95	99
170					93	97

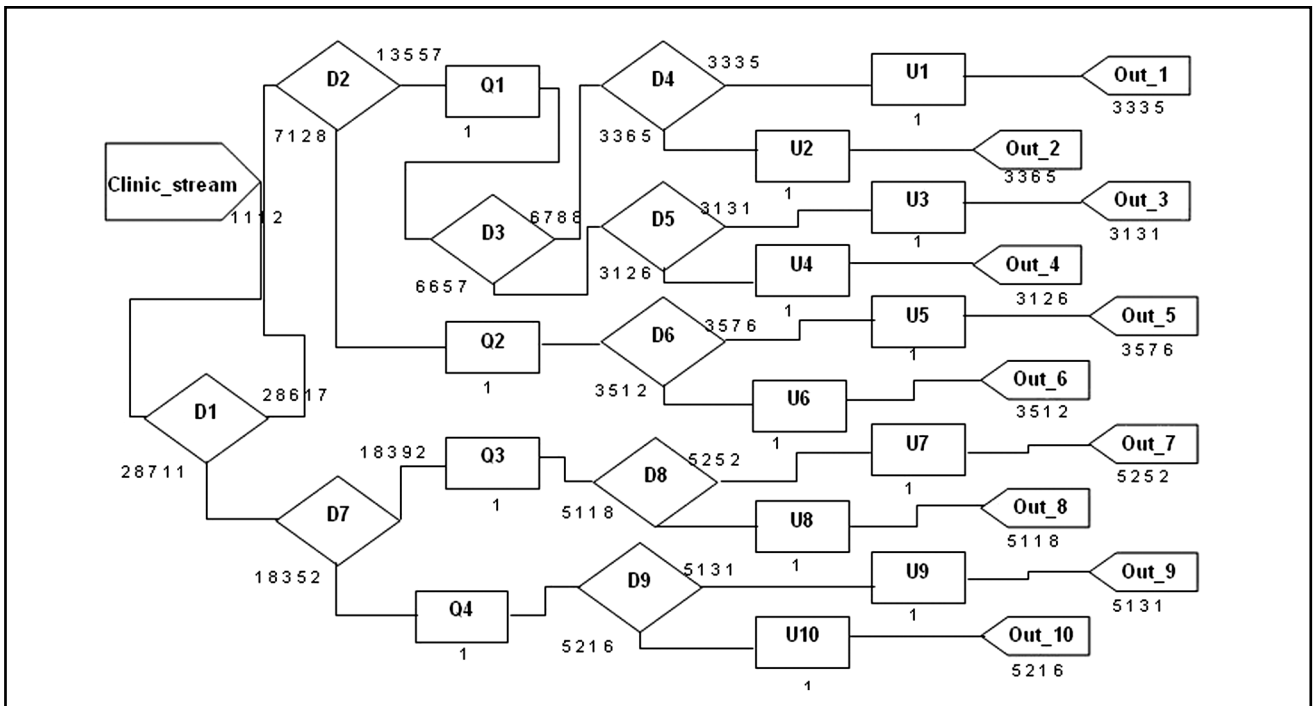


Рисунок 1.

Обозначения: clinic_stream — входной поток (пациенты стационара); D1, D2, ... — разделители потока; Q1, Q2, ... — очереди; U1, U2, ... — приборы; Out_1, Out_2, ... — выходные потоки.

ния экстренной медицинской помощи, а также изменяющийся по времени характер поступлений требований на обслуживание. Этот метод ранее применялся для анализа очередей в приемном отделении БСМП при различных дисциплинах (тактиках) обслуживания [4].

Рассмотрим применение имитационного моделирования на примере временного анализа работы служб лучевой диагностики, в которых каждое исследование требует значительного времени и должно выполняться в максимально короткие сроки. Здесь возможно возникновение очередей.

В качестве исходных данных (входного потока) для имитационного моделирования взяты данные по всем пролеченным в 2003 году больным. Для каждого случая госпитализации выбрано время обращения пациента и нозологическая форма, из которой по МЭСам

определялась потребность в исследованиях для этого пациента. Поток заявок для амбулаторных больных суммировался с потоком заявок для стационарных больных.

Структурная схема лучевой диагностики позволяет выполнить декомпозицию задачи. Выделяется блок рентгеновской диагностики в приемном отделении. В имитационной модели рассматривались два работающих аппарата (состояние на 2003 год) и предполагалось, что аппараты равноправны, т. е. дифференциации больных по методам исследований не проводилось. Также не вводились приоритеты (очередность) обслуживания. По существу, предполагалась «идеальная» диспетчеризация — пациент направлялся на первый доступный ресурс. Вообще говоря, ранее приведенная схема расчетов применима и здесь, но она не позволила бы учесть неоднородность потока заявок по времени. Входной поток по

Таблица 4. Результаты имитационного моделирования лучевой диагностики

Количество пациентов	12700	38100	51123	51123
Ресурс времени (часы)	8760	8760	8760	8760
Число аппаратов (приборов)	2	2	2	1
Среднее время ожидания (мин)	0	2,5	7,2	15
Средняя длина очереди (пациенты)	0	0,2	0,7	2
Максимальная длина очереди (пациенты)	3	5	8	12

Таблица 5. Результаты имитационного моделирования работы УЗИ с учетом неоднородности потоков по времени

Очереди на различные обследования	1	2	3	4
Ресурс времени (часы)	2920	2920	2920	2920
Число аппаратов (приборов)	4	2	2	2
Среднее время ожидания (мин)	2	2	2	2
Средняя длина очереди (пациенты)	0,12	0,06	0,09	0,06
Максимальная длина очереди (пациенты)	3	5	7	5

времени распределялся по данным приемного отделения, сутки разбивались на отрезки по 4 часа, для каждого из которых рассчитывалась средняя интенсивность обращений. Имитационная модель рассчитывала поминутно обращения в соответствии с вероятностями пуассоновского распределения. Время обслуживания определено Приказом № 132 от 2.08.91 г. МЗ РФ.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы, при реальном потоке заявок на исследования (столбец 3) параметры очередей в приемном отделении носят вполне приемлемый характер. Очевидно, что при наличии диспетчеризации обращений учет приоритетности в обслуживании экстренных обращений легко осуществим.

Также выделяется блок ультразвуковых исследований (см. рисунок 1).

Количество заявок на УЗИ в 2003 г. — 41421. Использовалось 10 приборов, которые группируются по видам исследований, так что существуют 4 не связанные очереди. Результаты имитационного моделирования, с учетом неоднородности потоков по времени, приводятся в таблице 5.

Несмотря на то, что среднее время ожидания незначительно, максимальные длины очередей заметны. Учитывая, что длительность каждого исследования велика (20—30 мин), то при пиковых нагрузках выполнение некоторых исследований может быть длительно задержано. Для преодоления таких

задержек целесообразно использовать диспетчеризацию, учитывающую приоритетность заявок по состоянию пациента. Значительное увеличение количества аппаратов при данном потоке заявок нецелесообразно, так как в остальное время очереди не столь велики.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены только два примера применения методов теории массового обслуживания к анализу организации лечебного процесса в стационаре скорой медицинской помощи. Очевидно, что эта теория применима ко многим процессам оказания экстренной медицинской помощи. При этом, имитационное моделирование является более приемлемым подходом, так как позволяет учесть как пиковый характер нагрузок, так и необходимость введения приоритетов обслуживания с учетом тяжести состояния пациента. Оно позволяет рассмотреть как мероприятия по интенсивному развитию стационара, так и тактические, например, роль диспетчеризации.

Таким образом, теория массового обслуживания может служить инструментом, позволяющим предварительно проанализировать последствия организационных мероприятий до их апробации на реальном объекте.

Литература

1. Бейли Н. Математика в биологии и медицине. Мир, М. — 1970 — 322 с.
2. Карасев Н. А., Васильев В. А., Хорс Н. П., Шевчук В. П., Асташкина Е. В. Имитационное моделирование в больницах скорой медицинской помощи. Здравоохран. Росс. Фед., — 1997. — № 1 — с. 24—26.
3. Скитович В. П. Элементы теории массового обслуживания. Л., АГУ. 1976.
4. Flagle C. D., Huggins W. H., Roy R. H. Operations Research and Systems Engineering, Johns Hopkins, Baltimore. 1960.
5. Schieritz N., Milling P. Modeling the Forest or modeling the Trees. A comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation. The 21st International Conference of the System Dynamics Society NY, USA. 2005.
6. Solo K., Paich M. A Modern simulation approach for pharmaceutical portfolio management. International Conference on health science simulation. San Diego, CA, USA. — 2004.