УДК 66.094.2:656.085

*О.Н. Бодин, В.А. Казаков, В.Г. Полосин,*
*Ф.К. Рахматуллов, А.С. Сергеенков*

# Оптимизация оказания медицинской помощи в условиях чрезвычайной ситуации

Пензенский государственный университет, Пенза

***Резюме.*** *Задача оптимизации оказания медицинской помощи в чрезвычайной ситуации стоит особенно остро. Врачам-спасателям приходится действовать в неблагоприятных условиях острого дефицита времени, ограниченной точности и достоверности информации, что может привести к принятию нерациональных и даже ошибочных решений, а, следовательно, и к большим потерям. Представлена модель принятия оптимального решения очередности оказания медицинской помощи в чрезвычайной ситуации. В основе модели лежит медицинская сортировка с возможностью корректировки путем построения дерева принятия решения по результатам оценки функционального состояния организма пострадавших. Функционирование модели принятия оптимального решения очередности оказания медицинской помощи в чрезвычайной ситуации основано на методах медицины катастроф, теории массового обслуживания и теории принятия решения, обеспечивающих повышение эффективности принятия решения за счет совместного использования. Наиболее важными моментами функционирования модели являются: мониторирование пострадавших, медицинская сортировка и корректировка очередности. При этом корректировка очередности является основным этапом функционирования предлагаемой логико-вероятностной модели оценки функционального состояния организма пострадавших.*

***Ключевые слова****: медицинская сортировка, системы массового обслуживания, дерево событий, логико-вероятностная модель, функциональное состояние организма, врачи-спасатели, чрезвычайная ситуация, очередность оказания медицинской помощи.*

**Введение.** В чрезвычайной ситуации (ЧС) всегда имеет место несоответствие между потребностью в медицинской помощи и возможностью ее оказания. Медицинская сортировка (МС) является одним из средств достижения своевременности в оказании медицинской помощи пострадавшим. Существует всем известное, предложенное Н.И. Пироговым [4], деление пораженных на четыре группы:

«Агонирующие» – для выделения умирающих пострадавших, с травматическими повреждениями и (или) отравлениями, не совместимыми с жизнью. В одном из наиболее распространённых способов первичной медицинской сортировки – simple triage and rapid treatment (*START)* [9] пораженные из этой группы условно помечаются черным цветом.

«Неотложная помощь» подразумевает немедленное оказание помощи при абсолютно неотложных состояниях. Пораженные из этой группы условно помечаются красным цветом.

«Срочная помощь», когда помощь может быть отсрочена в течение ограниченного периода времени и не приведет к летальному исходу. Для жизни нет непосредственной угрозы. Пораженные из этой группы условно помечаются желтым цветом.

«Несрочная помощь» означает, что помощь может быть отсрочена, пока она оказывается пострадавшим других категорий. Пораженные из этой группы условно помечаются зеленым цветом.

**Цель исследования.** Обосновать способы оптимизации работы врачей-спасателей при оказании медицинской помощи в условиях острого дефицита времени, ограниченной точности и достоверности информации, характерных для чрезвычайной ситуации и основанных на современных информационных и телекоммуникационных технологиях.

**Результаты и их обсуждение.** В настоящее время накоплен достаточно большой опыт проведения медицинской сортировки в условиях ЧС [2, 6, 8, 9]. Согласно положению, описанному Ю.В. Мирошниченко [6] в блоке медицинской сортировки медицинские данные, полученные с помощью диагностического оборудования, подвергаются экспресс-анализу. Затем по результатам экспресс-анализа осуществляется:

– формирование потока заявок на телемедицинские (ТМ) консультации;

– управление оказанием экстренной медицинской помощи пострадавшим.

На рисунке 1 приведена структурная схема мобильного телемедицинского комплекса (МТМК), а на рисунке 2 – схема одноканальной системы массового обслуживания (СМО) пострадавших в ЧС в МТМК [6].

Формирование потока заявок на ТМ консультации осуществляется с использованием моделей, построенных на основе теории СМО [3]. Классификация СМО

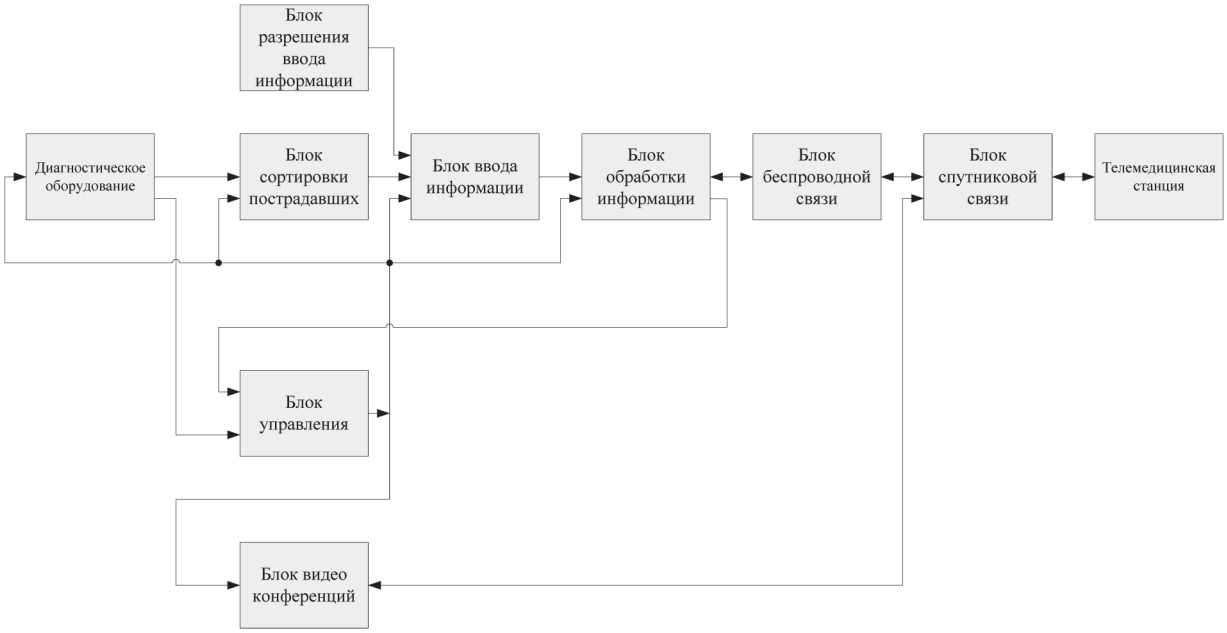


*Рис. 1.* Структурная схема мобильного телемедицинского комплекса

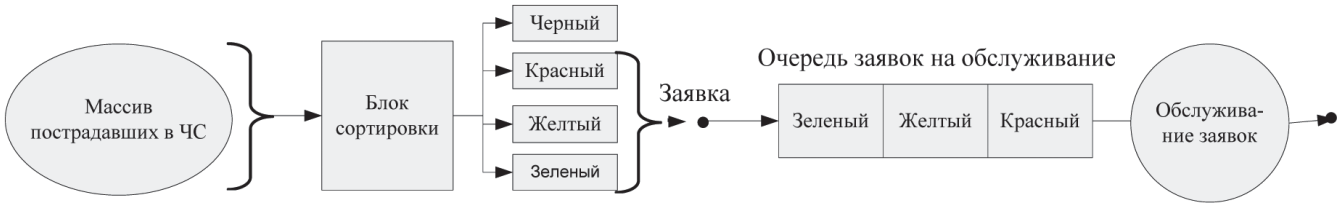


*Рис. 2.* Схема одноканальной системы массового обслуживания

предложена Кендаллом-Ли [3]. Согласно этой классификации, СМО МТМК может быть представлена виде:

$$\frac{|M_1|M_2|1_k|}{|\infty|\lambda|\mu|T|1_o|0|}, \quad (1)$$

где в числителе: $M_1$ – пуассоновский входной поток; $M_2$ – экспоненциальное время обслуживания; 1 – один канал обслуживания; в знаменателе: ∞ – неограниченное число требований; λ – интенсивность входного потока; μ – интенсивность обслуживания; Т – отсутствие потерь, т.е. требования не уходят из очереди (безусловно «терпеливые» клиенты); 1 – одна очередь; 0 – отсутствие приоритета.

Очевидно, что при наличии только одного канала связи с телемедицинской станцией (число 1 в числителе формулы 1) СМО МТМК будет плохо справляться с потоком пострадавших.

Рассмотрим случай, когда в ЧС 100 человек пострадавших, из которых:

10 человек с травматическими повреждениями и (или) отравлениями, не совместимыми с жизнью (черный цвет);

20 человек с тяжелыми травмами, чья жизнь находится под угрозой (красный цвет);

40 человек с травмами средней тяжести, жизни которых нет непосредственной угрозы (желтый цвет);

30 человек с легкими травмами, жизни которых ничто не угрожает (зеленый цвет).

Будем считать, что пострадавшие в ЧС поступают в СМО МТМК с одновременным обслуживанием одного пострадавшего. Средняя интенсивность поступлений λ=30 пострадавших в час. Среднее время обслуживания – 20 мин. Для повышения эффективности СМО МТМК необходимо увеличить число каналов связи с телемедицинской станцией. Условием оптимального функционирования СМО МТМК можно считать удовлетворение в среднем из каждых 100 пострадавших не менее 90 ТМ консультаций.

Прежде всего необходимо определить интенсивность нагрузки каналов (ρ) – трафик-интенсивность

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{30}{3} = 10, \quad (2)$$

т.е. за время среднего (по продолжительности) обслуживания пострадавшего $t_{об}$=20 мин в СМО в среднем поступает 10 заявок на обслуживание. Будем увеличивать постепенно число каналов $n$=2, 3, 4 ... и определять по формулам теории систем массового обслуживания [3] значения ρ, $Q$, $A$ для получаемой $n$-канальной СМО характеристики обслуживания.

Для $n$ = 2 (в числителе формулы 1):

$$P_0 = \left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \cdots + \frac{\rho^n}{n!}\right)^{-1}, \quad (3)$$

тогда $P_0 = \left(1 + 10 + \frac{10^2}{2!}\right)^{-1} = 0{,}016$.

Далее определяем относительную пропускную способность ($Q$):

$$Q = 1 - P_{отк} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \times P_o. \quad (4)$$

Подставив значения из формул 3 и 4, получим:

$$Q = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \times P_o = 1 - 50 \times 0{,}016 = 0{,}2. \quad (5)$$

Потом определяем абсолютную пропускную способность (А):

$$A = \lambda \times Q = 30 \times 0{,}2 = 6. \quad (6)$$

Затем аналогично определяем значения $\rho$, $Q$, $A$ для $n$ = 3, 4 … и т.д.

Рассчитанные характеристики обслуживания приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Рассчитанные характеристики обслуживания**

| Характеристика обслуживания | Число каналов | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Q | 0,09 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| A | 2,7 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 |

Из условия оптимальности следует, что в СМО МТМК без сортировки необходимо установить не менее 9 каналов обслуживания. Если в МТМК присутствует сортировка пострадавших, то непосредственно срочную помощь необходимо оказать только 60 чел., а не 100 чел., что сокращает общую продолжительность обслуживания и позволяет обеспечить своевременное оказание медицинской помощи максимальному числу пострадавших в оптимальном объеме.

Данные таблицы 1 подтверждаются опытом врачей-спасателей, согласно которому число пострадавших, нуждающихся в ТМ консультациях в процессе сортировки пострадавших, приблизительно соответствует суммарному количеству пострадавших с тяжёлой и средней степенью поражения [5].

*Оптимизация медицинской сортировки.* Предлагается логико-вероятностная модель оценки функционального состояния организма (ФСО) пострадавших, позволяющая оптимизировать оказание медицинской помощи путем корректировки очереди пострадавших. Функционирование модели происходит в соответствии со следующими этапами:

Мониторинг пострадавших ФСО пострадавших предназначен для:

– определения признаков повреждения пострадавших, что значительно сокращает стоимость и время лечения;

– отслеживания в динамике основных показателей ФСО пострадавших;

– первичной самодиагностики, выявляющей отклонения от установленных медицинской наукой половозрастных норм.

2. Медицинская сортировка (МС) представляет собой один из основных принципов медицины катастроф. Сущность МС состоит в распределении пострадавших на группы по принципу нуждаемости в однотипных лечебно-профилактических и эвакуационных мероприятиях, в зависимости от медицинских показаний и конкретных условий обстановки.

3. Корректировка очередности является основным этапом функционирования предлагаемой логико-вероятностной модели оценки ФСО пострадавших. На этом этапе осуществляется оптимизация решения об очередности оказания медицинской помощи пострадавшим в условиях ЧС.

В основе предлагаемой оптимизации оказания медицинской помощи лежит методология деревьев принятия решений [1]. Дерево принятия решений используется для корректировки медицинской сортировки на основе анализа данных о ФСО пострадавших. Дерево ФСО пострадавших при этом формируется следующим образом:

1. Определяются потенциальные ФСО. Каждое ФСО является корнем собственного дерева ФСО.

2. Рассматриваются все возможные переходы на заданные ФСО.

3. Эти ФСО формируют дочерние узлы «и» и «или».

4. Каждое из ФСО рассматривается как цель и формирует дочерние узлы.

5. Данный процесс продолжается рекурсивно.

*Формирование очередности* осуществляется на основании обработки дерева ФСО каждого пострадавшего, начиная от листьев и заканчивая корнем. В основе обработки дерева ФСО лежит Байесовский метод расчета условных вероятностей перехода из одного состояния в другое для установления ФСО пострадавших [7, 10].

Для каждого узла можно назначить атрибут (например, достоверность, «время жизни» и др.). На основе анализа атрибутов осуществляется корректировка очередности оказания медицинской помощи. Например, очередь на оказание медицинской помощи (см. рис. 2) может быть с учетом сказанного скорректирована следующим образом: второй пострадавший занимает первое место в очереди на оказание медицинской помощи (рис. 3).

На основе мониторинга для каждого симптома $K_{ij}$, обнаруженного у пострадавшего, производится определение условных вероятностей проявления этого симптома в каждой группе пострадавших $s$. Вероятность $p(K_{ij}/D_s)$ принадлежности пострадавшего к одной из диагностических групп $s$ определяется на основе формулы Байеса:

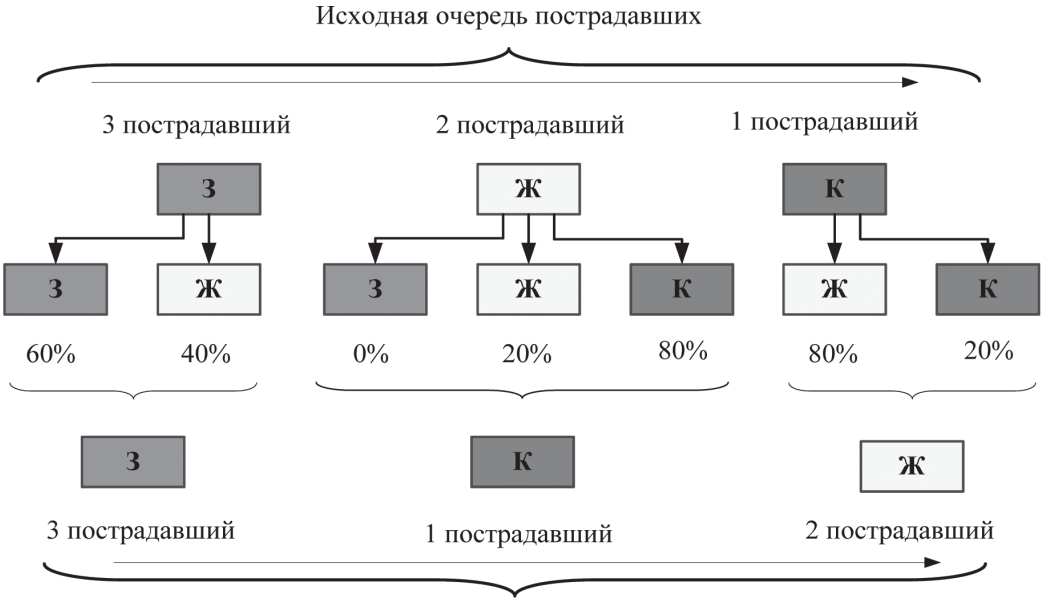


*Рис. 3.* Корректировка очереди на оказание медицинской помощи

$$p(D_s/K) = \frac{p(D_s)}{p(K)} \prod_{i=1}^{n} (p(K_{ij}/D_s)), \qquad (7)$$

где – вероятность нахождения пациента в группе диагноза $D_s$; $K$ –комплекс симптомов, обнаруженный у больного при мониторинге ($K_{1i}$, $K_{2j}$, $K_{3r}$, $K_{4p}$, $K_{5m}$); $p(K)$ – вероятность обнаружения у больного комплекса симптомов K:

$$p(K) = \sum_{s=1}^{4} p(D_s) \cdot p(K_{1i}/D_s) \cdot p(K_{2j}/D_s) \cdot$$

$$\cdot\, p(K_{3r}/D_s) \cdot p(K_{4p}/D_s) \cdot p(K_{5m}/D_s).$$

Очерёдность внутри отдельной группы выстраивается в порядке возрастания вероятности $p(D_s/K)$, учитывающей возможность перехода больного из одной группы пострадавших в другую.

**Заключение.** Предлагаемая логико-вероятностная модель оценки ФСО пострадавших обеспечивает оптимальность решения очередности оказания медицинской помощи в условиях ЧС за счет корректировки очереди пострадавших на основе анализа вероятностей перехода ФСО из одного состояния в другое. При этом в предлагаемом подходе к оценке ФСО пострадавших достигается синергетический эффект от совместного использования, позволяющий повысить эффективность оказания медицинской помощи в условиях ЧС:

– моделей, построенных на основе теории систем массового обслуживания;
– методологии деревьев принятия решений;
– теории гипотез Байеса.

## Литература

1. Ананий, В. Ограничения мощи алгоритмов: Деревья принятия решения / В. Ананий // Алгоритмы: введение в разработку и анализ. – М.: Вильямс, 2006. – С. 409–417.
2. Бодин, О.Н. Мобильный телемедицинский комплекс / О.Н. Бодин [и др.] // Положительное решение на выдачу Патента РФ на полезную модель по заявке № 2013122147 (032608) от 14.05.2013.
3. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Академия, 2003.– 432 с.
4. Жуков, С.В. Избранные лекции по медицине катастроф / С.В. Жуков, Е.Г. Королюк. – Тверь, 2007. – 120 с.
5. Колб, Л.И. Медицина катастроф и чрезвычайных ситуаций / Л.И. Колб, С.И. Леонович, И.И. Леонович. – Минск: ВШ, 2008. – 447 с.
6. Мирошниченко, Ю.В. Концептуальные подходы к автоматизации управления ресурсами медицинского имущества // Ю.В. Мирошниченко [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2012. – № 1 (37). – С. 251–255.
7. Ординарцева, Н.П. Формирование результатов в условиях неопределённости / Н.П. Ординарцева, О.В. Фурманов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 3 (23). С. 55–61.
8. Радушкевич, В.Л. Алгоритм-классификатор по оказанию первой медицинской помощи: методическое пособие / В.Л. Радушкевич Л.И. Дежурный Я.В. Шепелева. – Воронеж, 2000. – 22 с.
9. Шелепов, А.М. Управление лечебно-эвакуационным обеспечением в отдельной горной мотострелковой бригаде / А.М. Шелепов [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2012. – № 1 (37). – С. 266–273.

10. Benson, M. Disaster triage: START, then SAVE – a new method of dynamic triage for victims of a catastrophic earthquake / M. Benson, K.L. Koenig, C.H. Schultz // Prehospital and disaster medicine: an official publication of the World association for disaster and emergency medicine. – 1996, № 2 (11). – P. 117–124.

*O.N. Bodin, V.A. Kazakov, V.G. Polosin, F.K. Rakhmatullov, A.S. Sergeenkov*

## Optimization of medical assistance in emergencies

***Abstract.*** *The problem of optimizing medical care in an emergency situation is particularly acute. Doctors rescuers must act in adverse conditions of acute shortage of time, the limited accuracy and reliability of information that can lead to a wasteful and even wrong decisions and, consequently, to large losses. We presented the development of optimal decision-making model of triage in an emergency. The model is based triage with the possibility of correction by constructing decision tree for the evaluation of the functional state of the body affected. Operation of models of optimal decision-is making triage in an emergency based on the methods of disaster medicine, queuing theory and the theory of decision-making, ensuring efficiency decision by sharing. The most important moments of the model's functioning are affected monitoring, triage and priority adjustment. So, this adjustment is the main priority phase of the proposed logical-probabilistic model of evaluation of the functional state of the body affected.*

***Key words*****:** *medical sorting, queuing systems, event tree, logical-probabilistic model, functional state of the body, medical rescue, emergency, triage of medical help.*

Контактный телефон: 8-963-098-04-53; e-mail: bodin_o@inbox.ru