

УДК 004.9:614  
ББК 32.973-018.2  
И 74

**Кудаева Фатимат Хусейновна**

*Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики института физики и математики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: kfatimat@yandex.ru*

**Кайгермазов Арслан Ахматович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики института физики и математики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: karслан@yandex.ru*

**Казиев Валерий Муаедович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и информатики института физики и математики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: kkkvkb@mail.ru*

**Тхабисимова Мария Муштафаровна**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики института физики и математики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: tembotowa.m@yandex.ru*

**Норалиев Нурилла Хайдаралиевич**

*Кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой информационно-коммуникационных технологий Ташкентского государственного аграрного университета, Ташкент, e-mail: nurnoralihaydar1964@gmail.com*

**Информационно-коммуникационные технологии в исследовании  
проблем медицинского обслуживания  
(Рецензирована)**

*Аннотация.* Предлагаемая работа посвящена исследованию организации и планирования медицинского обслуживания. Изучение очередей в системах медицинского обслуживания позволяет определить критерии функционирования больничной системы, при этом наиболее значимыми являются – среднее время ожидания в очереди на госпитализацию и средняя длина очереди ожидания. Существующие в настоящее время варианты заявок, особенности их обслуживания, образование очередей, расположение, количество и организация каналов обслуживания послужили причиной появления большого разнообразия систем массового обслуживания. Теоретически возможности новых достижений в медицине неограниченны, но на практике ощущается нехватка врачей и медицинских сестер, недостаток лекарств, помещений, финансов и т.д. В этой связи возникает множество неотложных проблем, решение которых позволило бы использовать имеющиеся ограниченные ресурсы с максимальной эффективностью.

*Ключевые слова:* система массового обслуживания, длина очереди, среднее время ожидания, эффективность численности обслуживания, относительная пропускная способность, абсолютная пропускная способность, загрузка системы, большая выборка, канал обслуживания.

**Kudaeva Fatimat Khuseynovna**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of Department of Informatics and Applied Mathematics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: kfatimat@yandex.ru*

**Kaygermazov Arslan Akhmatovich**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of Department of Informatics and Applied Mathematics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: karслан@yandex.ru*

**Kaziev Valeriy Muaedovich**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of Department of Informatics and Applied Mathematics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: kkkvkb@mail.ru*

**Tkhabisimova Mariya Mushtafaevna**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Informatics and Applied Mathematics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: tembotowa.m@yandex.ru*

**Noraliev Nurilla Khaydaralievich**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of Department of Information-Communication Technologies, Tashkent State Agrarian University, Tashkent, e-mail: nurnoralihaydar1964@gmail.com*

## Information and communication technologies in the study of problems of medical care

**Abstract.** *The study of queues in health care systems allows us to define the criteria for the operation of the hospital system, among which the most important are the average waiting time in queue of hospitalization and the average length of the waiting queue. We use such information to select the appropriate level of service. Currently existing versions of the applications, features of their maintenance, shaping queues, the location, the number and organization of the service channels was the reason for the emergence of a large variety of queueing systems. Theoretically, the possibility of new advances in medicine is unlimited, but in practice, there is a shortage of doctors and nurses, lack of medicines, facilities, finance, etc. In this regard, there are many urgent problems, the solution of which would allow us to use the limited resources available with maximum efficiency. Our proposed work deals with the organization and planning of health services.*

**Keywords:** *system of mass service, length of the waiting cueue, the average waiting time, efficiency of the service personnel, relative capacity, absolute capacity, system loading, big selection, service facility.*

### Введение

Основная цель применения информационно-коммуникационных технологий в исследовании проблем медицины [1, 2] состоит в том, чтобы увеличить объем и повысить качество медицинского обслуживания, а также добиться того, чтобы каждому больному уделялось столько внимания, сколько требуется.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: построить и исследовать модель определения потребности в медицинском обслуживании; изучить способы применения информационно-коммуникационных технологий в исследовании проблем медицинского обслуживания; построить и исследовать модель проектирования отделения больницы; изучить систему приема амбулаторных больных; провести анализ влияния различных факторов на прием амбулаторных больных.

В различных источниках [3–5] для решения поставленных задач предлагают воспользоваться математическим аппаратом. Это связано с тем фактом, что медицинские проблемы и организация медицинского обслуживания в разных странах различны, но общие цели и задачи примерно одинаковы.

Для решения сформулированных задач были использованы методы теории вероятностей и математической статистики.

В предлагаемой работе построена модель определения потребности в медицинском обслуживании и получена оценка общей эффективности численности обслуживаемого населения, вычислены дисперсии по большой выборке, потребное число коек-дней, а также среднее время, в течение которого больной должен ожидать госпитализации. Потребность в госпитализации больных рассмотрены для больных с разными болезнями.

### Постановка задачи

В медицинском обслуживании различают следующие виды обслуживания: общая практика, амбулаторное лечение, лечение в стационаре, оказание помощи на дому, а также другие виды медицинской помощи. В каждой из этих областей есть свои проблемы. Существует много вариантов заявок на обслуживание. Особенности обслуживания, образование очередей, расположение, количество и организация каналов обслуживания послужили причиной появления большого разнообразия систем массового обслуживания.

Численность населения, которое обслуживается какой-то определенной группой больниц, можно вычислить следующим образом. Берется список больных, поступивших в эти лечебные учреждения за какой-нибудь определенный период, а затем на основании адресов больные распределяются по географическим районам, что позволяет раскрыть только часть потребностей какого-либо определенного района, так как некоторые больные могли обратиться в другие больницы. Поэтому такой анализ повторяется для всех тех групп больниц, которые находятся в окрестности данного района.

Пусть  $a_i$  – больные, поступившие в исследуемую на данной территории группу больниц,  $b_i$  – больные, поступившие в остальные больницы,  $N_i$  – количество человек, прожи-

вающих в исследуемом районе. Эффективная численность населения данного района, обслуживаемого группой, расположенных на его территории больниц, оценивается по формуле:

$$\frac{a_i N_i}{a_i + b_i}. \quad (1)$$

Суммирование по всем территориям, расположенным как внутри, так и за пределами данного административного района, дает оценку общей эффективной численности обслуживаемого населения:

$$\sum \frac{a_i N_i}{a_i + b_i}. \quad (2)$$

Если  $a_i$  и  $b_i$  – случайные величины, распределенные по закону Пуассона, то дисперсия случайной величины  $M$  по большой выборке имеет вид:

$$\sigma^2(M) = \sum \frac{a_i b_i N_i^2}{(a_i + b_i)^3}. \quad (3)$$

Получив оценку численности населения, потенциально нуждающегося в госпитализации (табл. 1), рассмотрим теперь определение фактической потребности в стационарном лечении по разным медицинским специальностям (табл. 2, 3) для основной группы исследуемых больниц.

Таблица 1

Оценка численности населения КБР, нуждающихся в госпитализации (2017 г., 2018 г.)

Номер больницы, $i$	Количество больных, поступивших в исследуемую на данной территории группу больниц, $a_i$	Количество больных, поступивших в остальные больницы, $b_i$	Количество человек, проживающих в исследуемом районе, $N_i$	Эффективная численность населения данного района, обслуживаемого в больницах этого района, $a_i N_i / (a_i + b_i)$	Дисперсия по выборке
1	57	23	238 987	1,428571429	72,8863
2	57	19	238 987	5,238095238	96,20991
3	57	35	238 987	24,75	55,6875
4	57	34	238 987	27,86666667	223,7074
5	57	45	238 987	18,5915493	288,1128
6	57	23	238 987	9,220588235	625,3409
7	57	57	238 987	5,1	176,0297
8	57	45	238 987	2,888888889	6,990398
9	57	50	238 987	18,31858407	170,7549
10	55	43	862000	8	44335,8
11	55	49	862000	9,79	54,06528
12	55	48	862000	38,40764331	180,1259
13	55	45	862000	13,2	139643,6
14	55	61	862000	10,06923077	471,9431
15	55	55	862000	16,30379747	543,2056
16	55	36	865 916	16,30379747	143,0429
17	55	43	865 916	10,395	54,03737
18	55	78	865 916	17,76237624	1081,212
19	55	43	865 916	16,61538462	826,1265
20	55	23	865 916	27,71900826	379,982
				оценка общей эффективности: 470,7828496	оценка общей эффективности: 470,7828496

Таблица 2

Фактическая потребность в стационарном лечении  
у разных специалистов-врачей в КБР

Специальности врачей	Среднесуточная потребность в лечении	Средняя длительность пребывания	Потребное количество дней в стационаре	Загрузка	Количество коек
Терапевт	10	12	120	8	15
Хирург	12	10	120	4,8	25
Гинеколог	11	10	110	3,666667	30
Онколог	2	20	40	2,666667	15
Невропатолог	4	12	48	2,086957	23
Лор	7	10	70	5,833333	12
Кардиолог	9	12	108	9	12

Таблица 3

Фактическая потребность в стационарном лечении  
у разных специалистов-врачей в КБР

Специальности врачей	Среднее число больных в очереди	Количество мест в очереди	Загрузка	Вероятность отказа	Относительная пропускная способность	Время на лечение
Терапевт	64,85882024	1	8	0,999872	0,000128	0,54056
Хирург	24,78012015	2	23,04	0,999664	0,000336	0,20657
Гинеколог	16,07341113	3	49,2963	0,999435	0,000565	0,146205
Онколог	8,539355196	2	7,111111	0,997081	0,002919	0,214107
Невропатолог	6,489289853	3	9,089504	0,9968	0,0032	0,135626
Лор	34,82489703	1	5,833333	0,99959	0,00041	0,497703
Кардиолог	83,87504869	3	729	0,99989	0,00011	0,776707

Допустим, что среднесуточная потребность в лечении по данной специальности составляет  $d$  больных и средняя длительность пребывания данной специальности в стационаре составляет  $s$  суток, тогда следует ожидать, что потребное количество дней в стационаре составит  $c = ds$ . Если имеется значительная потребность в стационарном лечении в отделении, имеющем ограниченную пропускную способность, то вначале возможно образование очереди. В таком случае необходимо, чтобы загрузка системы была меньше единицы, иначе время ожидания будет очень велико. На практике это означает, что пропускная способность больницы должна несколько превосходить так называемое критическое значение, вычисляемое по формуле  $c = ds$ . Требуемое дополнительное число коек может быть совсем небольшим.

Пусть в отделении имеется  $k$  коек, а длительность пребывания в больнице испытывает значительные колебания и является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону:

$$f(v) = \frac{e^{-v/x}}{s} dv, \quad 0 \leq v, \infty, \quad (4)$$

тогда суточная потребность в числе коек имеет пуассоновское распределение с математическим ожиданием  $d$ , и загрузка системы будет  $\rho = \frac{sd}{k}$ , которая характеризует отношение требуемой пропускной способности к фактической, если не учитывать дополнительных практических трудностей административного характера. Среднее число больных, находящихся в очереди, определяется по формуле:

$$r = \rho^2 \cdot \frac{1 - \rho^m (m + 1 - m\rho)}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)}, \quad (5)$$

где  $m$  – число мест в очереди. Среднее время ожидания больного в очереди равно среднему числу больных в очереди, деленному на интенсивность потока больных, то есть  $\frac{r}{sd}$ .

Если  $\rho < 1$ , процесс достигает равновесного состояния, и тогда среднее время ожидания госпитализации и нахождения в стационарном лечении (рис. 1) определяется по формуле:

$$w = \frac{r}{sd} + \frac{a}{\mu}, \quad (6)$$

где  $a$  – относительная пропускная способность больницы,  $\mu$  – интенсивность обслуживания больницы.

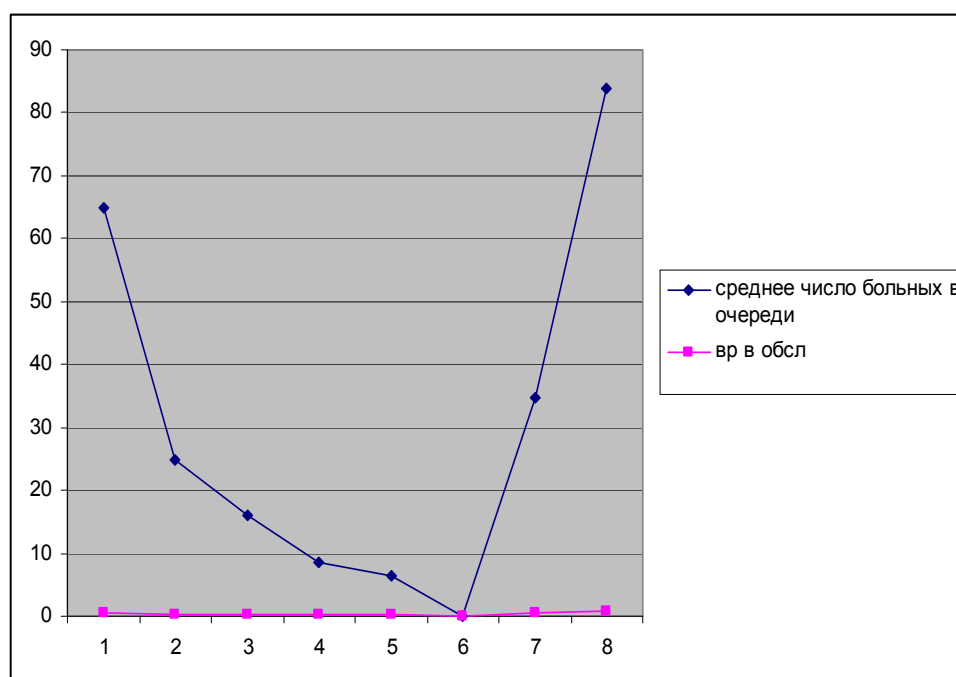


Рис. 1. Зависимость времени обслуживания больного в стационаре от среднего числа больных, находящихся в очереди на госпитализацию

Рассмотрим отделение больницы в случае, когда  $d=10$  и среднее время пребывания в стационаре  $s=12$  суток. Допустим, что в отделении имеется 15 коек, но, учитывая административные соображения, при наличии списка очередности можно держать занятыми только 12 коек. Таким образом,  $k=12$ ,  $\rho=8$ ,  $w=64$  суток. Это довольно долгое время ожидания, поэтому необходимо добавить койки сверх критического значения.

Для оценки критического числа  $c$  на основе фактических данных нужно знать среднюю квадратическую ошибку. Если  $d$  оценивается по числу  $n$  вновь поступающих больных, часть которых будет помещена в стационар, а часть останется в списке очередности за определенный промежуток времени, и если  $s$  вычисляется по  $n'$  наблюдениям, то дисперсия случайной величины  $c$ , взятая по большой выборке, будет иметь вид:

$$\sigma^2(c) = c^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n'} \right). \quad (7)$$

Оценка критического числа коек в пересчете на одного человека имеет вид:

$$R = \frac{c}{M}, \quad \text{где} \quad \sigma^2(R) = R^2 \left\{ \frac{\sigma^2(c)}{c^2} + \frac{\sigma^2(M)}{M^2} \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, получена статистически обоснованная оценка величины  $R$  и соответствующая средняя квадратическая ошибка. Это означает, например, то, что, проектируя строительство больниц в новом городе, можно на основании значений  $R$  для разных специ-

альностей и предполагаемой численности населения в городе,  $N_0$ , оценить соответствующее критическое число.

При таком подходе должна существовать достаточная уверенность в том, что в новом городе условия жизни населения и условия работы больницы будут близки к тем, для которых было получено первоначальное значение  $R$ . Можно предположить, что в новых условиях средняя потребность в госпитализации будет примерно такой же, как и в остальных местах, но медицинский персонал сочтет нужным изменить среднюю длительность пребывания в больнице  $s$ .

Желая составить прогноз для какой-либо конкретной больницы и группы населения, необходимо решить, какими именно могут быть значения  $d$  и  $s$  в этом случае. Зная эти значения, можно вычислить соответствующую критическую величину  $c$  и, следовательно, предсказать, насколько удовлетворительным будет то или другое запланированное число коек. Пусть предпринимается перестройка, переоборудование или реорганизация существующей больницы и поэтому требуется заново оценить фактический спрос с целью определения реальной потребности в помещениях. Если при некоторых незначительных изменениях и уточнениях можно принять существующую потребность за заданную, то не имеет смысла производить обширные исследования фактической потребности в стационарном лечении для определения эффективной численности обслуживаемого населения. Для этого нужно только знать, сколько коек необходимо для обслуживания определенного числа жителей.

Для определения потребности в медицинском обслуживании составлена программа, разработанная в среде программирования Delphi 7.

В форме для идентификации входных данных (рис. 2) использованы метки, которые нужны для пояснения пользователю, какие данные вводить в каждое из окон. Метки находятся перед окнами, где будут введены следующие данные.

Для ввода и вывода информации в программе используется текстовое поле.

В форме используются следующие кнопки:

1. *Анализ данных* – используется для вывода на экран вычисленных результатов.
2. *Обнулить данные* – используется для очистки текстовых полей.
3. *Выход* – используется для выхода из программы.

Рис. 2. Модель с использованием изолированных палат

## Заключение

Во всех проведенных вычислениях важнейшую роль играет средняя длительность пребывания в больнице. Фактическое время пребывания в больнице каждого отдельного больного может колебаться в широких пределах, но средняя продолжительность зависит от состояния больного, от системы лечения, от имеющихся возможностей, поэтому среднее время пребывания в больнице можно изменять, учитывая различные обстоятельства. К таким обстоятельствам можно отнести нехватку коек в больнице для достаточного лечения больного. При наличии соответствующих условий для домашнего лечения можно было бы исходить из несколько меньшего времени пребывания в больнице.

Проведенные в работе вычисления не дают точных окончательных оценок потребностей, но при некоторых конкретных допущениях они позволяют определить последствия, которые автоматически вытекают из полученных оценок, что значительно облегчает планирование.

Предложенное в работе модельное описание необходимо для целей анализа, который может учитывать не только характеристики входящих потоков данных, в частности, о больных, ожидающих госпитализации, но и процессов обслуживания, а также внутреннюю структуру взаимосвязей, взаимопомощи, дисциплину и приоритеты медицинского обслуживания. Такой подход позволит более объективно прогнозировать перспективу работоспособности медицинских учреждений и разрабатывать действенные рекомендации по эффективному перестроению совокупностей существующих систем массового обслуживания, а также разработать рекомендации для вновь проектируемых сложных систем медицинского обслуживания.

Использование программной формы в среде Delphi 7, созданной для исследования исходной проблемы, оптимизирует работу поиска решения. С помощью данного пакета можно определить средний спрос на палаты, среднее число больных, находящихся в ожидании, а также нуждающихся в отдельных палатах.

#### Примечания:

1. Демичева Т.И. Влияние информационно-коммуникационных технологий на качество и доступность медицинских услуг // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 2 (2). С. 81–85.
2. Современные информационные технологии для эффективного управления муниципальными учреждениями здравоохранения / В.Е. Шибанов, Г.В. Рвачева, О.В. Алечко, А.В. Карпов, А.Р. Антонов // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 9. С. 212–214. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=25444> (дата обращения 11.03.2018)
3. Кирьянова Л.В., Лемин А.Ю., Мацевич Т.А. Теория случайных процессов: курс лекций. М., 2016. 96 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/62635.html>
4. Бахарева Н.Ф., Тарасов В.Н. Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания. Исследование компьютерных сетей. Самара: Поволжский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики, 2017. 328 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/71821.html>
5. Бейли Н.П. Математика в медицине и биологии. М.: Мир, 1967. 327 с.

#### References:

1. Demicheva T.I. Impact of information and communication technologies on the quality and availability of medical services // Bulletin of Nizhny Novgorod University by N.I. Lobachevsky, 2012. No. 2 (2). P. 81–85.
2. Modern Information Technologies for the Effective Management of Municipal Health Care Institutions / V.E. Shibanov, G.V. Rvacheva, O.V. Alechko, A.V. Karpov, A.R. Antonov // Modern High Technologies. 2010. No. 9. P. 212–214. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=25444> (date of access 11.03.2018)
3. Kiryanova L.V., Lemin A.Yu., Matseevich T.A. Theory of random processes: a course of lectures. M., 2016. 96 pp. URL: <http://www.iprbookshop.ru/62635.html>
4. Bakhareva N.F., Tarasov V.N. Approximation methods and models of mass service. Research of computer networks. Samara: Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 2017. 328 pp. URL: <http://www.iprbookshop.ru/71821.html>
5. Bailey N.P. Mathematics in medicine and biology. M.: Mir, 1967. 327 pp.