

## МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ КАРДИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ В СТАЦИОНАРЕ

Т. М. АБУХАЙ, С. В. КОВАЛЬЧУК, М. А. БАЛАХОНЦЕВА, А. В. БУХАНОВСКИЙ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: mbalakhontceva@corp.ifmo.ru*

Исследование посвящено разработке имитационной модели потока пациентов для оценки нагрузки специализированного медицинского центра с использованием эмпирических данных, а также моделирования дискретных событий и теории массового обслуживания. Результаты моделирования демонстрируют обратную зависимость между скоростью поступления пациентов и их количеством, а также показывают, что объединение всех ресурсов в один общий фонд не всегда является решением для снижения нагрузки на конкретное отделение.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, процессы оказания медицинской помощи, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных

Система здравоохранения как во всем мире, так и в России находится на этапе глобального реформирования и смены парадигмы. Цифровое преобразование этой области с целью улучшения качества предоставляемой медицинской помощи, повышения уровня жизни населения и оптимизации затрат подразумевает не только разработку передовых методов и технологий, использующих инновационные разработки, но и создание виртуальных систем, позволяющих получать новые знания без проведения реальных экспериментов. Такого рода виртуальные системы помогут оптимизировать процессы и ресурсы как всей системы здравоохранения, так и отдельного лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ).

Настоящая статья посвящена моделированию, анализу и прогнозированию процессов оказания медицинской помощи стационарным пациентам кардиологического профиля для оценки нагрузки и оптимизации ресурсов и процессов специализированного медицинского центра. Существует большое количество исследований по данной тематике, целью которых зачастую является моделирование потока пациентов для одного конкретного отделения, например, амбулаторной помощи [1] или палат интенсивной терапии [2] и неотложной помощи [3—5]. Специализированный медицинский центр представляет собой комбинацию физически связанных служб и отделений, работающих в системе под управлением одного института [6]. По этой причине требуется синхронизировать потоки пациентов между отделениями, иначе задержки в точке пересечения могут существенно повлиять на всю систему, что приведет к ее перегруженности и ухудшению качества предоставляемой медицинской помощи [7]. Следовательно, такие системы не могут быть полностью изучены посредством анализа конкретного отделения или отдельных групп пациентов [8].

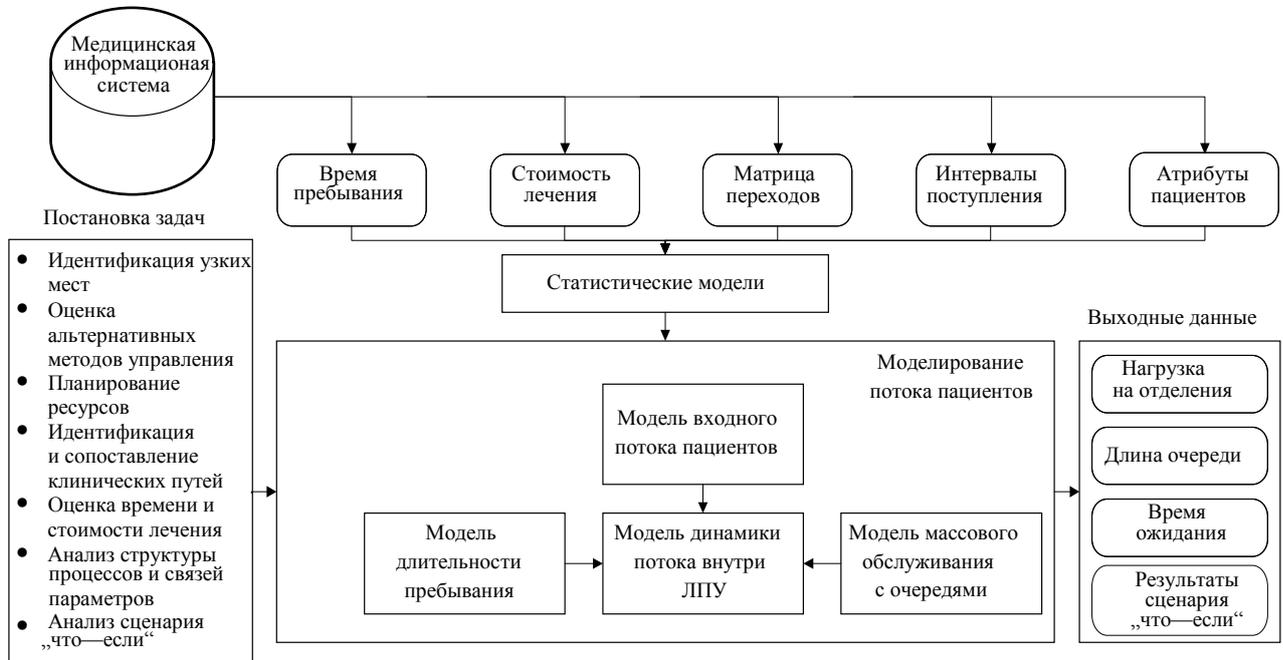
Цели данного исследования:

- моделирование потоков пациентов для создания целостного представления и выявления изменений в системе;
- разработка подхода, основанного на конкретных данных, для создания реалистичной модели процесса оказания кардиологической помощи;
- моделирование продолжительности пребывания пациента в стационаре с использованием методов мультимодальной оценки плотности распределения.

Предлагаемая имитационная модель построена с использованием данных из медицинской информационной системы Национального медицинского исследовательского центра

им. В. А. Алмазова Минздрава России (Санкт-Петербург). Были проанализированы 8677 анонимизированных электронных медицинских карт пациентов, которые наблюдались в Центре Алмазова в период с 2010—2015 гг. В картах содержится как минимум две записи о посещении пациентами различных отделений (в том числе, приемного отделения).

Архитектура разработанной имитационной модели, состоящей из нескольких подмоделей, представлена на рисунке.



Разработанная модель и процедуры идентификации ее элементов по эмпирическим данным позволяют обеспечить детальный анализ структуры системы здравоохранения на уровне системы ключевых отделений медицинского центра. Использование механизмов интеллектуального анализа данных и машинного обучения, интегрированных с дискретно-событийной имитационной моделью, позволит учесть разнородность потока пациентов, индивидуальные особенности оказания медицинской помощи в отделениях, более точно оценить время и стоимость лечения, а также спрогнозировать нагрузку на конкретное отделение в зависимости от внешних условий. Результаты демонстрируют уменьшение количества пациентов во внутреннем потоке отделения при увеличении общей скорости поступления пациентов в специализированный медицинский центр. Кроме того, полученные результаты позволяют сделать вывод, что изменение в одном отделении влияет на нагрузку других, что подтверждает необходимость моделирования потоков пациентов сразу несколько отделений (по крайней мере, ключевых) ЛПУ. Результаты этого исследования также указывают на то, что объединение всех ресурсов в один общий фонд не всегда является решением для снижения нагрузки на конкретное отделение, поскольку при этом наблюдается увеличение средней длины очереди и среднего времени ожидания по сравнению с исходным вариантом, основанном на разделении фондов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-11-00823).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Santibáñez P., Chow V. S., French J., Puterman M. L., Tyldesley S. Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency’s ambulatory care unit through simulation // Health Care Management Science. 2009. Vol. 12, N 4. P. 392—407.

2. Christensen B. A. Improving ICU Patient Flow Through Discrete-Event Simulation / Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, 2012.
3. Konrad R. et al. Modeling the impact of changing patient flow processes in an emergency department: Insights from a computer simulation study // *Operations Research Health Care*. 2013. Vol. 2, N 4. P. 66—74,
4. Cocke S. et al. UVA emergency department patient flow simulation and analysis // *IEEE Systems and Inform. Eng. Design Symp.* 2016. P. 118—123.
5. Hurwitz J. E., Lee J. A., Lopiano K. K., McKinley S. A., Keesling J., Tyndall J. A. A flexible simulation platform to quantify and manage emergency department crowding // *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2014. Vol. 14, N 1. P. 50.
6. Bhattacharjee P., Ray P. K. Patient flow modelling and performance analysis of healthcare delivery processes in hospitals: A review and reflections // *Computers and Industrial Eng.* 2014. Vol. 78. P. 299—312.
7. Gunal M. M. A guide for building hospital simulation models // *Health Systems*. 2012. Vol. 18. P. 17—25.
8. Abuhay T. M., Krikunov A. V., Bolgova E. V., Ratova L. G., Kovalchuk S. V. Simulation of patient flow and load of departments in a specialized medical center // *Proc. Computer Science*. 2016. Vol. 101. P. 143—151.

#### Сведения об авторах

- Тесфамариам Мулюгета Абухай** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра высокопроизводительных вычислений; инженер; E-mail: tmabuhay@corp.ifmo.ru
- Сергей Валерьевич Ковальчук** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, кафедра высокопроизводительных вычислений, доцент
- Марина Андреевна Балахонцева** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, НИИ наукоемких компьютерных технологий, мл. научный сотрудник; E-mail: mbalakhontceva@corp.ifmo.ru
- Александр Валерьевич Бухановский** — д-р техн. наук; Университет ИТМО, мегафакультет трансляционных информационных технологий, директор

Поступила в редакцию  
30.07.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Абухай Т. М., Ковальчук С. В., Балахонцева М. А., Бухановский А. В. Моделирование, анализ и прогнозирование процессов оказания кардиологической помощи в стационаре // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2018. Т. 61, № 8. С. 730—733.

### SIMULATION, ANALYSIS, AND PREDICTION OF MEDICAL CARE PROCESSES FOR CARDIOLOGICAL IN-PATIENTS

T. M. Abuhay, S. V. Kovalchuk, M. A. Balakhontceva, A. V. Boukhanovsky

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: mbalakhontceva@corp.ifmo.ru

A simulation model of the patient flow for estimating the load of a specialized medical center is developed using empirical data, as well as simulating discrete events, and queuing theory. The results of the simulation demonstrate an inverse relationship between the rate of arrival of patients and their number, and show that the pooling of all resources into one common fund is not always a solution to reduce the burden on a particular department.

**Keywords:** simulation, medical care processes, machine learning, intellectual analysis of data

#### REFERENCES

1. Santibáñez P., Chow V.S., French J., Puterman M.L., and Tyldesley S. *Health Care Manag. Sci.*, 2009, no. 4(12), pp. 392–407.
2. Christensen B.A. *Improving ICU patient flow through discrete-event simulation*, Massachusetts Institute of Technology, 2012.
3. Konrad R. et al. *Oper. Res. Heal. Care*, 2013, no. 4(2), pp. 66–74.
4. Cocke S. et al. *2016 IEEE Syst. Inf. Eng. Des. Symp.*, 2016, pp. 118–123.
5. Hurwitz J.E., Lee J.A., Lopiano K.K., McKinley S.A., Keesling J., and Tyndall J.A. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, 2014, no. 1(14), p. 50.
6. Bhattacharjee P. and Ray P.K. *Comput. Ind. Eng.*, 2014, vol. 78, pp. 299–312.

7. Gunal M.M. *Heal. Syst.*, 2012, vol. 18, pp. 17–25.

8. Abuhay T.M., Krikunov A.V., Bolgova E.V., Ratova L.G., and Kovalchuk S.V. *Procedia Comput. Sci.*, 2016, vol. 101, pp. 143–151.

**Data on authors**

- Tesfamariam M. Abuhay** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of High-Performance Computing; Engineer; E-mail: tmabuhay@corp.ifmo.ru
- Sergey V. Kovalchuk** — PhD; ITMO University, Department of High-Performance Computing; Associate Professor
- Marina M. Balakhontceva** — PhD; ITMO University, eScience Research Institute, Junior Scientist; E-mail: mbalakhontceva@corp.ifmo.ru
- Alexander V. Boukhanovsky** — Dr. Sci.; ITMO University, School of Translational Information Technologies, Head of the School

**For citation:** Abuhay T. M., Kovalchuk S. V., Balakhontceva M. A., Boukhanovsky A. V. Simulation, analysis, and prediction of medical care processes for cardiological in-patients. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 730—733 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-730-733