

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

М. М. Синцева¹, А. В. Кузьмин², Н. Е. Дятлов³

^{1, 2, 3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹kudanovamarina@gmail.com, ²a.v.kuzmin@pnzgu.ru, ³sakedas@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Данное исследование посвящено решению одной из важных проблем здравоохранения в области предоставления медицинской помощи населению – поддержке управленческих решений при организации работы медицинских учреждений. Целью исследования явилась разработка системы моделирования для поддержки принятия управленческих решений в области управления медицинскими учреждениями и оценка возможности ее применения. *Материалы и методы.* В качестве тестового примера использована система из трех медицинских учреждений с штатом, включающим врачей-терапевтов и кардиологов. Проанализированы данные рабочего расписания и загрузки врачей. В качестве инструмента имитационного моделирования использована среда AnyLogic. *Результаты.* Разработана схема взаимодействия систем и пользователей, а также функциональная модель системы. На основании исходных данных с помощью инструмента моделирования AnyLogic построена имитационная модель процесса обслуживания пациентов в сети медицинских учреждений. Представлены результаты экспериментов по увеличению нагрузки и сокращению числа специалистов. *Выводы.* Результаты показывают, что выбранный подход является работоспособным, и разработанная система может быть использована для поддержки принятия управленческих решений. Дальнейшая разработка системы может быть связана с обеспечением удаленного доступа к данным моделирования для должностных лиц.

Ключевые слова: имитационное моделирование, поддержка принятия решений, информационная система, обслуживание пациентов, медицинское учреждение

Для цитирования: Синцева М. М., Кузьмин А. В., Дятлов Н. Е. Система моделирования процесса обслуживания пациентов в медицинских учреждениях для поддержки принятия управленческих решений // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 1. С. 94–104. doi:10.21685/2227-8486-2022-1-10

SIMULATION SYSTEM OF THE PROCESS OF SERVING PATIENTS IN MEDICAL INSTITUTIONS FOR MANAGEMENT DECISION SUPPORT

M.M. Sintseva¹, A.V. Kuzmin², N.E. Dyatlov³

^{1, 2, 3} Penza State University, Penza, Russia

¹kudanovamarina@gmail.com, ²a.v.kuzmin@pnzgu.ru, ³sakedas@gmail.com

Abstract. *Background.* This study is devoted to solving one of the important health problems in the field of providing medical care to the population – supporting management decisions in organizing the work of medical institutions. The purpose of this study was to develop a modeling system to support managerial decision-making in the field of managing medical institutions and assess the possibility of its application. *Materials and methods.* As a test example, a system of three medical institutions with a staff of general practitioners and cardiologists was used. The data of the work schedule and workload of doctors were analyzed. The AnyLogic environment was used as a simulation modeling tool. *Results.* A scheme of interaction between systems and users, as well as a functional model of the system, has been developed. Based on the initial data, using the AnyLogic modeling tool, a simulation model of the patient service process in a network of medical institutions was built. The results of experiments to increase the workload and reduce the number of specialists are presented. *Conclusions.* The results show that the chosen approach is workable and the developed system can be used to support managerial decision making. Further development of the system may be related to providing remote access to simulation data for officials.

Keywords: simulation modeling, decision support, information system, patient care, medical institution

For citation: Sintseva M.M., Kuzmin A.V., Dyatlov N.E. Simulation system of the process of serving patients in medical institutions for management decision support. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2022;(1):94–104. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-1-10

Введение

Повышение эффективности обслуживания пациентов в медицинских учреждениях является одной из важнейших задач здравоохранения, поскольку качественная медицинская помощь имеет ключевое значение для сохранения жизни и поддержания здоровья населения.

За последние несколько лет накоплен значительный опыт разработки и внедрения информационных систем, используемых в работе лечебно-профилактических учреждений и управлении здравоохранением на различных уровнях [1].

Актуальной проблемой здравоохранения в области предоставления медицинской помощи населению являются очереди в поликлиниках. Плохо оптимизированная работа медицинских учреждений, большой поток пациентов (особенно в период сезонных заболеваний), дефицит медицинского персонала – все эти факторы негативно сказываются на качестве и своевременности предоставления медицинских услуг. Не лучшим образом влияет на ситуацию и пандемия COVID-19 [2].

Таким образом, актуальной задачей является оптимизация процесса обслуживания пациентов в медицинских учреждениях. Решение данной проблемы может быть достигнуто путем создания системы имитационного моделирования обслуживания пациентов в медицинских учреждениях, анализа полученных данных и принятия необходимых мер по оптимизации обслуживания пациентов [3]. Данная работа посвящена созданию системы моделирования процесса обслуживания пациентов в медицинских учреждениях для поддержки принятия управленческих решений.

Прогрессирующая сложность систем массового обслуживания и возрастающие объемы передаваемой информации обуславливают актуальность использования методов имитационного моделирования. Современные платформы имитационного моделирования дают возможность построения одноканальных и многоканальных моделей систем массового обслуживания, а также позволяют осуществлять сбор и анализ статистики, что усиливает эффективность проводимых исследований за счет снижения трудоемкости выполняемых работ и повышения достоверности результатов моделирования [3, 4].

Системы поддержки принятия решений (СППР) также являются перспективным направлением развития медицинских информационных систем. В сфере здравоохранения различные типы СППР применяются в клинической практике, обучении и в научных исследованиях [5].

Таким образом, в настоящее время имитационное моделирование и СППР активно внедряются и используются в сфере здравоохранения, однако все еще не получили широкое распространение системы моделирования для поддержки принятия решений в области управления медицинскими учреждениями.

Для разработки такой системы моделирования необходимо выполнить следующие условия:

1. Выбрать адекватную среду моделирования.
2. Разработать имитационную модель исследуемой системы здравоохранения.
3. Сформировать и проанализировать массив исходных данных для системы.
4. Разработать структуру системы поддержки принятия решений.
5. Выполнить вычислительные эксперименты с моделью и оценить результаты.

Материалы и методы

В основу разработки системы поддержки принятия решений в процессе управления медицинскими учреждениями должна быть положена возможность прогнозирования результатов тех или иных решений, показателей работы системы в различных ситуациях и режимах работы. Для получения ответов на данные вопросы целесообразно использовать аппарат имитационного моделирования [6].

Имитационное моделирование – удобный инструмент анализа, призванный помогать в поиске оптимальных решений и давать четкое представление о сложных системах. Особенно актуально применение технологий моделирования в случаях, когда проведение экспериментов на реальной системе невозможно или непрактично [7].

В качестве примера моделируемой системы для демонстрации работоспособности выбранного подхода в данной работе была выбрана система, представляющая собой сеть из трех медицинских учреждений, в каждом из которых ведут прием восемь врачей-терапевтов и два врача-кардиолога.

В качестве среды моделирования выбран программный продукт AnyLogic, предназначенный для мультиметодного имитационного моделирования. Система AnyLogic позволяет создавать имитационные модели с ис-

пользованием различных методологий и языков моделирования, включая дискретно-событийное моделирование, агентную динамику, системную динамику, стохастическое моделирование, блок-схемы процессов, диаграммы состояний и диаграммы действий. Доступность нескольких методов моделирования одновременно дает гибкость, необходимую для решения любой поставленной задачи. Также данная среда обладает широким инструментарием для сбора и анализа статистики, что является необходимым для проведения исследований в рамках поставленной задачи [8].

Для работы с системой имитационного моделирования требуется иметь достаточно большой объем исходных данных, а результаты моделирования должны сохраняться для последующего анализа и использования при поддержке принятия решений. Эти функции будет выполнять информационная система. Взаимодействие систем и пользователей схематично приведено на рис. 1.

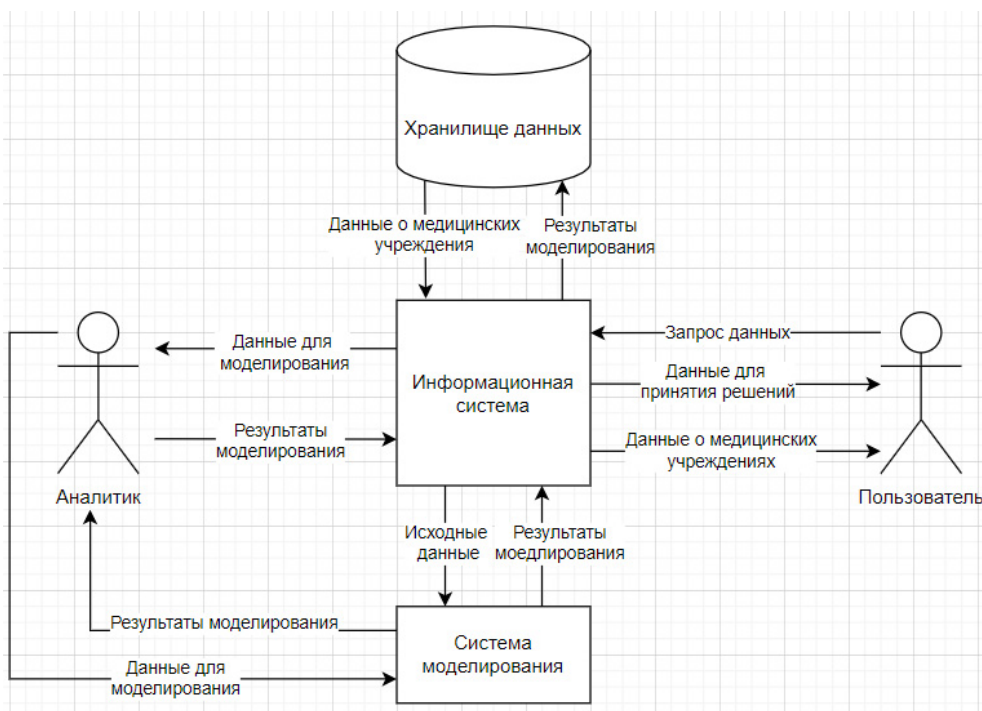


Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов системы имитационного моделирования AnyLogic

Для разработки структуры информационной системы выбран функциональный подход. С помощью инструмента для моделирования Open ModelSphere была разработана модель системы [9].

Исходными данными для построения имитационной модели процесса обслуживания пациентов в сети медицинских учреждений являются сведения о расписании работы врачей-терапевтов и кардиологов МСЧ № 59 г. Заречного Пензенской области. Предполагается, что длительность рабочего дня врачей-терапевтов и кардиологов в медицинском учреждении составляет 8 часов. Согласно расписанию МСЧ № 59 г. Заречного, каждый врач-терапевт

принимает пациентов в течение 4 часов в день (оставшееся время уходит на посещение пациентов на дому). В среднем количество врачей-терапевтов, ведущих прием в поликлинике в любой момент времени, равно 8, а для имитации работы врачей-кардиологов в рамках модели были выбраны временные параметры времени приема, полученные путем приведения расписания [10] к восьмичасовому рабочему дню с учетом сменности.

Результаты

Разрабатываемая система включает в себя хранилище данных, необходимых для моделирования процесса обслуживания пациентов в сети медицинских учреждений, имитационную модель, а также приложение, обеспечивающее доступ к исходным данным и результатам моделирования.

Разработанная имитационная модель приведена на рис. 2.

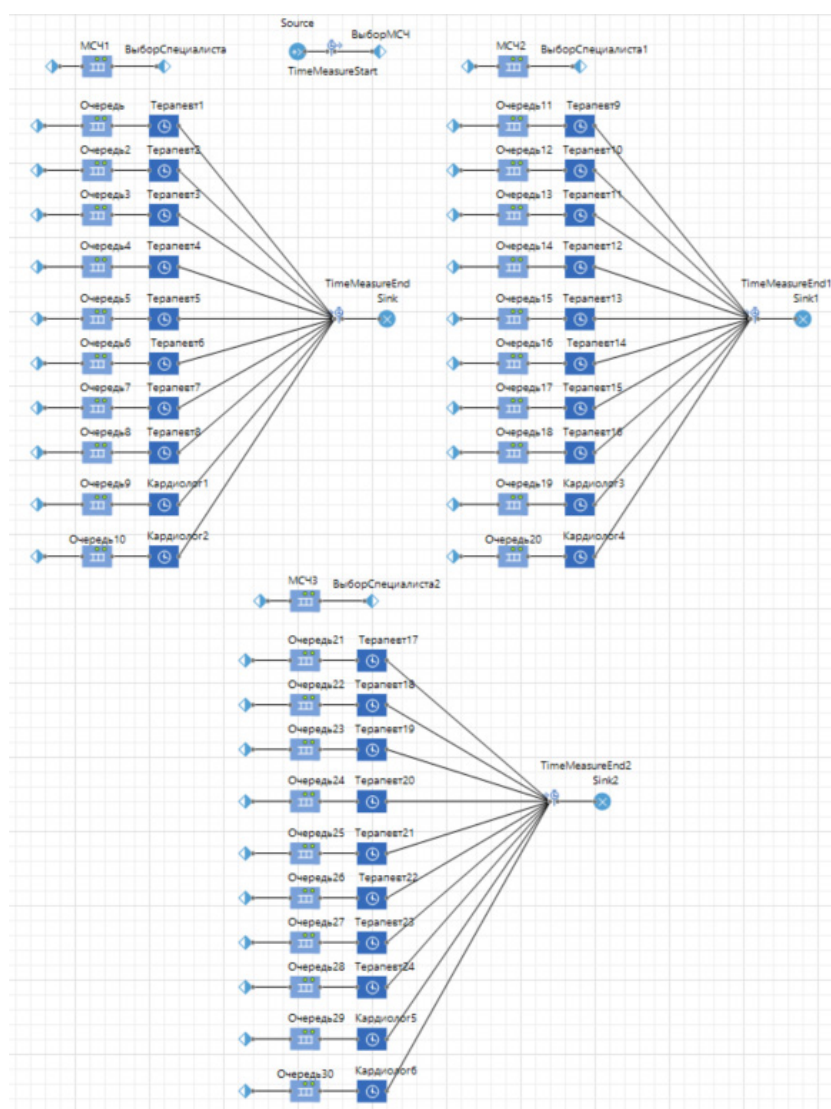


Рис. 2. Имитационная модель работы врачей-терапевтов и кардиологов МСЧ № 59

Для создания имитационной модели были использованы следующие объекты библиотеки моделирования процессов среды AnyLogic: объект Source для генерирования потока пациентов, объекты SelectIn и SelectOut для моделирования выбора пациентом медицинского учреждения и выбора специалиста, объекты Queue для моделирования очереди пациентов, ожидающих приема, объекты Delay для имитации приема пациента у специалиста, объекты TimeMeasureStart и TimeMeasureEnd для отслеживания общего времени обслуживания пациентов и объекты Sink в качестве конечной точки процесса.

Свойство «Интенсивность прибытия» блока Source установлено равным 141 человек в час, а максимальное количество прибытий равным 990.

Свойство «Время задержки» блоков Delay, имитирующих прием пациентов у врачей-терапевтов, распределено по треугольному закону со средним значением, равным 15,3, минимальным – равным 13,3 и максимальным – 17,3 мин [11].

Свойство «Время задержки» блоков Delay, имитирующих прием пациентов у врачей-кардиологов, распределено по треугольному закону со средним значением, равным 23,5, минимальным – 14,4 и максимальным – 46,9 мин [12].

Для работы с данными моделирования разработана информационная система. Функциональная модель системы приведена на рис. 3.

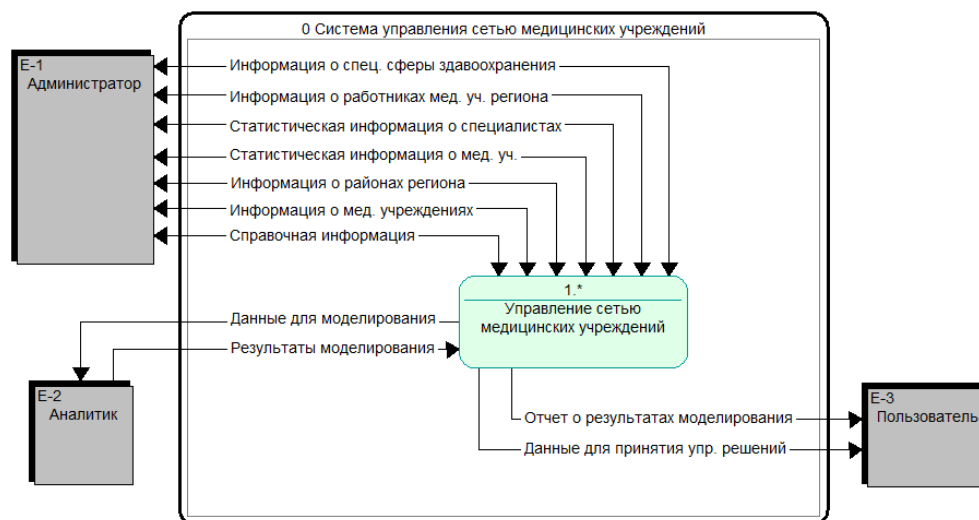


Рис. 3. Функциональная модель информационной системы управления сетью медицинских учреждений

Внешними объектами данной системы являются администратор системы, который отвечает за актуализацию информации в хранилище данных, аналитик, который является специалистом по имитационному моделированию и взаимодействует с системой с целью получения данных, необходимых для моделирования, а также отвечает за внесение в систему результатов моделирования, а также пользователь системы, который является руководителем органа управления в сфере здравоохранения, он взаимодействует с си-

стемой с целью получения данных, необходимых для принятия решений по оптимизации работы сети медицинских учреждений.

Для анализа работы сети медицинских учреждений и оценки результатов выполнения модели было принято решение использовать объекты панели «Статистика» среды AnyLogic.

Для отображения средней длины очереди к специалистам и статистики по времени обслуживания пациентов используются столбиковая диаграмма и гистограмма соответственно.

Пример статистических данных для одного медицинского учреждения приведен на рис. 4.

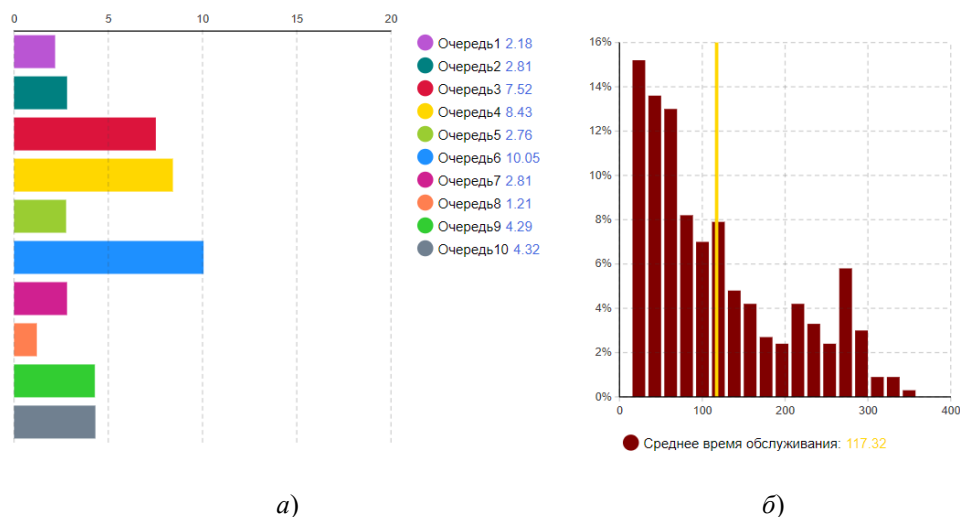


Рис. 4. Сбор статистики:

a – средняя длина очереди к каждому специалисту;
б – среднее время обслуживания пациента

Из рисунка выше видно, что значения средней длины очереди к врачам-терапевтам колеблются от 1,21 до 10,05 мин. Такая разница может быть обусловлена, к примеру, выходом из строя или некорректной работой средств компьютеризации, которыми оснащен кабинет специалиста, из-за чего время работы с медицинской документацией, а следовательно, и общее время приема пациентов может увеличиться.

Для оценки эффективности работы медицинских учреждений были смоделированы две ситуации, возникновение которых может привести к изменению качества работы медицинских учреждений в худшую сторону.

В качестве первого эксперимента была смоделирована ситуация, при которой происходит значительное увеличение потока пациентов. Это может быть, к примеру, время сезонных заболеваний, период пандемии, а также период плановой вакцинации населения или медицинских осмотров.

Для этого значение свойства «Интенсивность прибытия» объекта Source было изменено с 141 на 171 в час, а свойство «Максимальное количество прибытий» с 990 на 1350 (в среднем интенсивность возросла на 25 %). Результат запуска модели приведен на рис. 5.

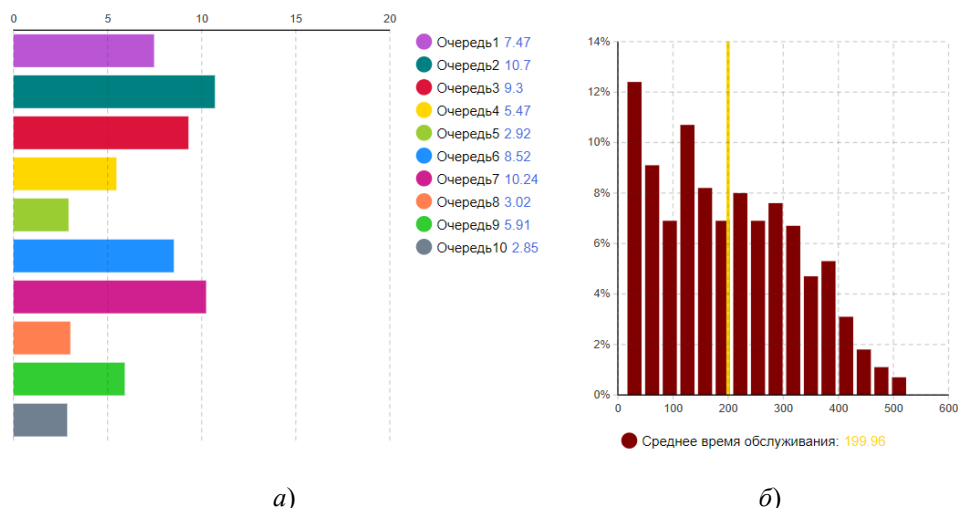


Рис. 5. Модель в процессе выполнения при увеличении потока пациентов на 25 %:
a – средняя длина очереди к каждому специалисту; *б* – среднее время обслуживания

Из рис. 5 можно сделать вывод о том, что увеличение потока пациентов сильно сказывается на длине очереди, а также на времени обслуживания пациентов в целом.

В качестве второго эксперимента была выбрана ситуация, при которой может значительно увеличиться нагрузка на специалистов. Возникновение подобной ситуации наиболее вероятно в случаях, когда некоторые из специалистов не осуществляют прием пациентов по причине отпуска или больничного, а также по иным обстоятельствам.

Для моделирования данной ситуации были отключены два блока (20 % от общего числа врачей), имитирующие работу врачей-терапевтов, а общее число пациентов равномерно было распределено между оставшимися шестью блоками. Результат запуска модели приведен на рис. 6.

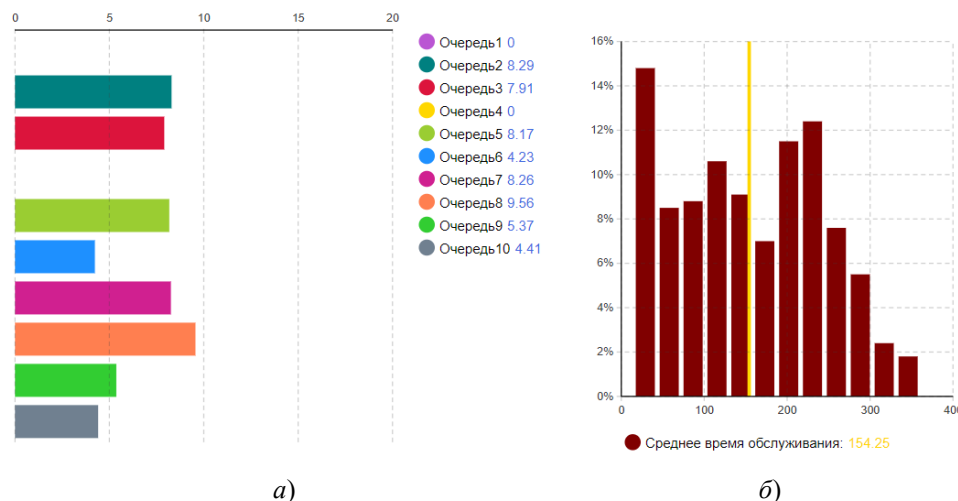


Рис. 6. Модель в процессе выполнения при сокращении числа специалистов на 20 %:
a – средняя длина очереди; *б* – среднее время обслуживания

Из рис. 6 можно сделать вывод о том, что уменьшение числа специалистов, осуществляющих прием пациентов, приводит к образованию большей очереди и увеличивает общее время пребывания пациентов в медицинском учреждении. Таким образом, становится очевидной необходимость принятия мер по увеличению числа специалистов, ведущих прием пациентов.

Заключение и выводы

Проведенные в ходе исследования вычислительные эксперименты подтвердили работоспособность выбранного подхода, целесообразность использования выбранной среды имитационного моделирования AnyLogic и пригодность полученных данных моделирования для поддержки принятия управленческих решений.

В частности, для системы из трех медицинских учреждений, в каждом из которых ведут прием восемь терапевтов и два кардиолога, эксперименты и анализ статистических данных, полученных с помощью инструментов статистики среды AnyLogic, показали, что при нормальной нагрузке медицинских учреждений очереди к специалистам и время обслуживания пациентов находятся в допустимых пределах, а увеличение нагрузки и сокращение штата терапевтов приводят к значительному увеличению данных показателей, что может негативно сказаться на качестве и своевременности предоставляемой медицинской помощи.

Дальнейшая разработка системы должна быть направлена на развитие клиент-серверной архитектуры системы, что позволит обеспечивать оперативный доступ к данным для должностных лиц, принимающих решения по управлению медицинскими учреждениями. Информационная система, обеспечивающая доступ к исходным данным, а также позволяющая сохранять результаты моделирования для последующего анализа и использования при поддержке принятия решений, должна быть доступна пользователям вне зависимости от местонахождения.

Список литературы

1. Официальный сайт Министерства здравоохранения Российской Федерации. Информатизация здравоохранения. URL: <https://minzdrav.gov.ru/informatizaciya-zdravoohranenia> (дата обращения: 20.01.2022).
2. BBC News Русская служба. URL: <https://www.bbc.com/russian/news-60123121> (дата обращения: 29.01.2022).
3. Синцева М. М. Имитационное моделирование обслуживания пациентов в медицинском учреждении // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021) : труды Междунар. науч.-техн. конф. (Самара, 24–27 мая 2021 г.) / под ред. С. А. Прохорова. Самара : Самарский научный центр РАН, 2021. С. 413–417.
4. Юданова В. В. Имитационное моделирование систем массового обслуживания // Отходы и ресурсы. 2019. Т. 6, № 4. С. 21. doi:10.15862/23INOR419
5. Мурshed Ф. А., Обади А. А., Аль-Хашеди А. А. Использование имитационного моделирования для администрирования систем массового обслуживания // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 1, № 1. С. 125–127.
6. Кобринский Б. А. Системы поддержки принятия решений в здравоохранении и обучении // Врач и информационные технологии. 2010. № 2. С. 39–45.
7. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. М. : Дело РАНХиГС, 2015. 513 с.

8. AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation> (дата обращения: 21.01.2022).
9. AnyLogic. Здравоохранение. URL: <https://www.anylogic.ru/healthcare/> (дата обращения: 21.01.2022).
10. Open ModelSphere. URL: http://www.modelsphere.com/org/help/User_Guide.html/ (дата обращения: 22.01.2022).
11. ФГБУЗ МСЧ № 59. URL: <https://msch59.ru/городская-поликлиника/i-терапевтическое-отделение/> (дата обращения: 23.01.2022).
12. Люцко В. В., Сон И. М., Иванова М. А. [и др.]. Затраты рабочего времени врачей-терапевтов участковых при посещении одним пациентом // Терапевтический архив. 2019. № 1. С. 19–23.
13. Стародубов В. И., Сон И. М., Иванова М. А. [и др.]. Затраты рабочего времени врачей-специалистов на оказание медицинской помощи в амбулаторных условиях // Менеджер здравоохранения. 2016. № 2. С. 6–12.

References

1. Official website of the Ministry of Health of the Russian Federation. Informatization of healthcare. (In Russ.). Available at: <https://minzdrav.gov.ru/informatizacia-zdravooohranenia> (accessed 20.01.2022).
2. BBC News Russian Service. (In Russ.). Available at: <https://www.bbc.com/russian/news-60123121> (accessed 29.01.2022).
3. Sintseva M.M. Simulation modeling of patient care in a medical institution. *Perspektivnye informatsionnye tekhnologii (PIT 2021): trudy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (Samara, 24–27 maya 2021 g.) = Promising Information Technologies (PIT 2021) : Proceedings of the International Scientific and Technical conf. (Samara, May 24–27, 2021)*. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN, 2021:413–417. (In Russ.)
4. Yudanov V.V. Simulation modeling of queuing systems. *Otkhody i resursy = Waste and resources*. 2019;6(4):21. (In Russ.). doi:10.15862/23INOR419
5. Murshed F.A., Obadi A.A., Al'-Khashedi A.A. The use of simulation modeling for the administration of queuing systems. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*. 2017;1(1):125–127. (In Russ.)
6. Kobrinskiy B.A. Decision support systems in healthcare and education. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and information technologies*. 2010;(2):39–45. (In Russ.)
7. Katalevskiy D.Yu. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii = Fundamentals of simulation modeling and system analysis in management*. Moscow: Delo RANKhiGS, 2015:513. (In Russ.)
8. AnyLogic. (In Russ.). Available at: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation> (accessed 21.01.2022).
9. AnyLogic. Healthcare. (In Russ.). Available at: <https://www.anylogic.ru/healthcare/> (accessed 21.01.2022).
10. Open ModelSphere. Available at: http://www.modelsphere.com/org/help/User_Guide.html/ (accessed 22.01.2022).
11. FGBUZ MSCh № 59. (In Russ.). Available at: <https://msch59.ru/gorodskaya-poliklinika/i-terapevticheskoe-otdelenie/> (accessed 23.01.2022).
12. Lyutsko V.V., Son I.M., Ivanova M.A. [et al.]. The costs of working time of district physicians during a visit by one patient. *Terapevticheskiy arkhiv = Therapeutic Archive*. 2019;(1):19–23. (In Russ.)
13. Starodubov V.I., Son I.M., Ivanova M.A. [et al.]. The cost of working time of specialist doctors to provide medical care in outpatient settings. *Menedzher zdravookhraneniya = Health care manager*. 2016;(2):6–12. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Марина Михайловна Синцева
студентка,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kudanovamarina@gmail.com

Marina M. Sintseva
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Андрей Викторович Кузьмин
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры информационно-
вычислительных систем,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: a.v.kuzmin@pnzgu.ru

Andrey V. Kuzmin
Doctor of technical sciences,
associate professor,
professor of the sub-department
of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Никита Евгеньевич Дятлов
кандидат медицинских наук, доцент,
доцент кафедры внутренних болезней,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: sakedas@gmail.com

Nikita E. Dyatlov
Candidate of medical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of internal diseases,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 08.12.2021

Поступила после рецензирования/Revised 28.02.2022

Принята к публикации/Accepted 04.03.2022