

УДК 004.67

DOI 10.24412/2312-2935-2024-2-292-303

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ

Т.Г. Авачева¹, А.В. Пруцков^{1,2,3}, О.В. Медведева¹

¹ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань

² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

³ ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», г. Липецк

Введение. Программные средства повысили эффективность обработки данных, в том числе статистическую обработку. Программные средства разнообразны по назначению, предлагаемым методам обработки, способу взаимодействия с пользователем. По результатам наших исследований, наиболее часто используемыми программными средствами для статистической обработки данных являются текстовый процессор Microsoft Excel, пакеты SPSS и Statistica. Применению языка R для обработки биологических и медицинских данных посвящены многочисленные научные статьи и книги. Язык программирования R был специально разработан для статистической обработки данных, но незаслуженно обходится стороной.

Цель исследования. Оценка возможностей языка программирования R, как научно обоснованного инструмента получения производных статистических данных.

Материалы и методы. Язык программирования R описывает сценарии обработки данных и представляют собой платформу с расширяемыми возможностями. К достоинствам этого языка относят бесплатность для использования, расширяемость за счет пакетов, развитые графические возможности, ввод и вывод данных в различных форматах, представление обработки данных в виде сценария, реализация для различных операционных систем. Основными недостатками языка R являются трудность обучения программе и относительная медлительность обработки данных. Язык R является популярным в настоящий момент языком программирования.

Результаты и обсуждение. Мы привели два примера обработки данных с помощью языка R. В первом примере исследовалась значимость разницы между выборочным средним и установленной нормой. В исследовании использовалась проверка гипотезы о числовом значении математического ожидания нормального распределения при неизвестной дисперсии. Во втором примере кластеризовались данные методом средних. Для обоих примеров разработан сценарий на языке R и построчно прокомментирован. Примеры обработки данных демонстрируют то, что сценарии на языке R несложны и не требуют знания программирования, что опровергает соответствующий недостаток. При написании сценариев можно воспользоваться помощью языка R, многочисленными публикациями и веб-сайтами.

Заключение. Язык R является мощным инструментом и поможет исследователю в получении производных данных. Мы надеемся, что читатели будут чаще применять этот язык в своей работе.

Ключевые слова: язык R, проверка гипотез, кластеризация, медицина

MODERN TECHNOLOGIES FOR SOLVING PROBLEMS OF MEDICAL STATISTICS

T.G. Avacheva¹, A.V. Prutzkow^{1,2,3}, O.V. Medvedeva¹

¹*Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia*

²*Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia*

³*Lipetsk State Pedagogical University, Lipetsk, Russia*

Introduction. Software have increased the efficiency of data processing, including statistical processing. Software are varied in purpose, proposed processing methods, and method of interaction with the user. According to the results of our research, the most commonly used software tools for statistical data processing are the Microsoft Excel word processor, SPSS, and Statistica. Numerous scientific articles and books are devoted to the use of the R language for processing biological and medical data. The R programming language was specifically designed for statistical data processing, but is unfairly neglected.

Purpose of the investigation. Assessing the capabilities of the R programming language as a scientifically based tool for obtaining derived statistical data.

Materials and methods. The R programming language describes data processing scenarios and provides an extensible platform. The advantages of this language include free use, extensibility through packages, advanced graphic capabilities, input and output of data in various formats, presentation of data processing in the form of a script, implementation for various operating systems. The main disadvantages of the R language are the difficulty of learning the program and the relative slowness of data processing. The R language is a popular programming language at the moment.

Results and discussion. We have given two examples of data processing using the R language. The first example examined the significance of the difference between the sample mean and the established norm. The study used a hypothesis test about the numerical value of the mathematical expectation of a normal distribution with unknown variance. In the second example, data was clustered using the k -means method. For both examples, a script was developed in R and commented line by line. Examples of data processing demonstrate that scripts in the R language are simple and do not require programming knowledge, which refutes the corresponding drawback. When writing scripts, you can take help from the R language and numerous published works and websites.

Conclusion. The R language is a powerful tool and will help the researcher in obtaining derived data. We hope that readers will use this language more often in their work.

Keywords: R language, hypothesis testing, clustering, medicine

Введение. Развитие методов математического описания явлений и процессов привело к их широкому применению в общественном здоровье и здравоохранении. Более того, этот процесс стал формировать спрос на разработку новых математических методов. Распределение Стьюдента, корреляция, работы Р. Фишера стали широко использоваться для исследований наблюдений для оценки здоровья населения и деятельности системы здравоохранения. «Медицинские данные статистики анализируются с использованием

математической статистики и теории вероятностей» [1] что расширило возможности медицинской статистики, которая изучает значительный объем явлений при помощи математических методов [2].

Можно выделить три основных направления математизации биологии, медицины и здравоохранения:

- 1) статистическая обработка данных;
- 2) поиск неочевидных зависимостей (поиск ассоциативных правил, кластеризация);
- 3) моделирование случайных процессов.

Для реализации этих направлений необходимо математическое и программное обеспечение. Исследователи в области медицины и здравоохранения обычно используют следующее программное обеспечение: текстовый процессор Microsoft Excel, пакеты SPSS, Statistica [3]. Однако язык программирования R (<http://r-project.org>) остается незаслуженно невостребованным, несмотря на то, что этот язык был разработан для статистической обработки данных. В частности, в профильных журналах мы нашли незначительное количество публикаций с упоминанием языка R, две из них – в журнале «Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики» [4,5]. В то же время, язык R широко используется для анализа медицинских данных и представляет интерес для организаторов здравоохранения [6,7], однако описан, в основном, в публикациях по биологическим и клиническим исследованиям, в том числе, зарубежных [8-10].

Цель исследования. Оценка возможностей языка программирования R, как научно обоснованного инструмента получения производных статистических данных.

Материалы и методы. Язык R – это не язык программирования в общепринятом значении, а язык команд обработки данных. В нем есть управляющие структуры (условия, циклы), но они просты в понимании. Это не программа, а платформа с расширяемыми возможностями.

Язык R обладает следующими преимуществами [11-13]:

- бесплатен для использования; среды разработки RGui (<http://cran.r-project.org>) или RStudio (<http://posit.co>) также бесплатны;
- расширяем за счет пакетов – наборов команд для обработки данных; пакеты реализуют различные методы обработки данных: статистические, интеллектуальные, текстовые и др.; по состоянию на конец сентября 2023 г. на официальном веб-сайте языка R было размещено более 19 900 пакетов;

- имеет развитые графические возможности; реализовано построение традиционных графиков и диаграмм, найденных ассоциативных правил и др.;
- может получать исходные данные из различных источников, записывать результаты в различных форматах;
- представляет обработку данных в виде сценария, который можно сохранять и автоматически многократно повторять;
- реализован для различных операционных систем.

В то же время, отмечаются и следующие недостатки языка R. Например, использование только оперативного запоминающего устройства для обработки данных, невозможность создания исполняемых файлов; трудность обучения, объясняемую необычностью подхода: отсутствие окон интерфейса пользователя и выпадающих меню для выбора нужного критерия, представляя, в то же время, данные о том, что язык R занимал в феврале 2020 г. 13-е место в индексе TIOBE и 7-е в индексе PYPL – индексах популярности языков программирования [12, 13]. В отдельных публикациях выявлены трудность обучения программе и относительная медлительность, отмечается что помочь в обучении помогут команды языка и сама публикация, там же представлена история создания языка. Сравнение языков R, Python и пакета Matlab можно найти в опубликованных исследованиях Т.Б. Павловой и Е.А. Ковалевой, а также у С. Ozguc с соавторами, значительный интерес для специалистов может представлять описание возникновения этого языка у С.Э. Мастицкого и В.К. Шитикова [14-18].

Результаты и обсуждение. Проверим гипотезу о числовом значении математического ожидания нормального распределения при неизвестной дисперсии на языке R на конкретном примере: имеются данные о суточном потреблении пищи 11 женщинами [19]. Значима ли разница между выборочным средним и установленной нормой в 7725 кДж/сутки? (листинг 1).

В листинге строки, начинающиеся символами «>», содержат команды, строки без этого символа – результат выполнения команд.

Исходные данные помещаются в переменную `daily.intake` (строка 1). Данные могут быть считаны из файлов различных форматов (например, команды `read.csv`, `read.xlsx` из пакета `xlsx`).

Перед проверкой гипотезы получим справочно среднее арифметическое (равно 6753,636; строки 3-4), среднее квадратическое отклонение (равно 1142,123; строки 6-7) и квантили (строки 9-11).

Листинг 1

Проверка гипотезы о числовом значении математического ожидания нормального распределения при неизвестной дисперсии на языке R

```
1 > daily.intake <- c(5260,5470,5640,6180,6390,6515,6805,7515,7515,8230,8770)
2
3 > mean(daily.intake)
4 [1] 6753.636
5
6 > sd(daily.intake)
7 [1] 1142.123
8
9 > quantile(daily.intake)
10 0% 25% 50% 75% 100%
11 5260 5910 6515 7515 8770
12
13 > t.test(daily.intake,mu=7725)
14
15     One Sample t-test
16
17 data:  daily.intake
18 t = -2.8208, df = 10, p-value = 0.01814
19 alternative hypothesis: true mean is not equal to 7725
20 95 percent confidence interval:
21  5986.348 7520.925
22 sample estimates:
23 mean of x
24  6753.636
↳
```

Проверим гипотезу (строка 13). В команду `t.test` передается выборка `daily.intake` и норма. Ответ содержит результаты выполнения команды (строки 15-24):

– значение критерия t , число степеней свободы df , вероятность такого значения критерия p -value (строка 18);

- результат проверки гипотезы: выборочное среднее не равно норме (принимается альтернативная гипотеза) (строка 19);
- границы доверительного интервала при вероятности 0,95 (строки 20-21);
- выборочное среднее (строки 22-24; см. также строки 3-4).

Пример 2. Мы использовали язык R для кластеризации преподавателей, кафедр и факультетов по цитируемости и книг для начального освоения комплекса программ Elastic Stack [20]. Типовой сценарий включает следующие команды (листинг 2). Результаты выполнения команд не приводятся.

Листинг 2

Кластеризация данных на языке R

```
1 | > books<-read.csv2("elasticsearchbook.csv",row.names=1)
2 | > books
3 | > kmeansResult<-kmeans(books,3)
4 | > kmeansResult
↳
```

Исходные данные считываются в переменную books из файла elasticsearchbook.csv в формате CSV (строка 1). Значение переменной books выводится на экран для проверки правильности считывания (строка 2). Данные в переменной books кластеризуются методом - средних на три кластера и помещаются в переменную kmeansResult (строка 3). Результат кластеризации в переменной kmeansResult выводится на экран (строка 4).

Этот сценарий использовался и в первом, и во втором исследовании. Нам не пришлось что-то менять в сценарии (кроме имени файла с исходными данными и числа кластеров).

Таким образом, примеры демонстрируют простоту сценариев на языке R и отсутствие необходимости знаний программирования, поэтому мы не согласны с тем, что язык R труден в обучении.

В освоении этого языка помогут следующие источники:

- помощь языка R (на английском языке); все команды языка R имеют описание; для получения справки о команде поставьте перед ней знак вопроса (например, ?mean) и выполните ее, или выполните команду help с названием команды в скобках (например help - t.test); английский язык необходимо знать не только для чтения помощи к языку R, но и чтобы быть в курсе современных научных достижений;
- публикации, посвященные языку R;

– веб-сайты сети Интернет, которые можно найти с помощью поисковых систем.

Статистический критерий можно выбрать с помощью материалов, представленных в публикации А.Н. Наркевича и К.А. Виноградова [21].

Возможно обработка данных в языке R является медленной, но задачи, решаемые за более чем несколько часов редки в нашей практике и практике наших коллег. Медлительность языка R нами не отмечена.

Заключение. Итак, выбор инструмента для обработки данных остается за исследователем. В нашей статье мы представили язык программирования R, а также подход написания сценариев вместо системы окон и меню. Мы надеемся, что исследователи обратят внимание на этот язык и будут использовать его при обработке данных.

Мы обсудили лишь одно воздействие на медицину и здравоохранение – математизацию. Другим воздействием на направления научных исследований в этих областях науки является информатизация. Внедрение информационных систем в процессы работы медицинских организаций упростило запись пациентов на прием, доступ врачей и другого медицинского персонала к медицинской документации, позволило накопить данные для исследования здоровья населения, особенностей функционирования системы здравоохранения. Оба эти воздействия способствуют развитию биологии, медицины и здравоохранения.

«Грядет время – пусть отдаленное, когда математический анализ, опираясь на естественнонаучный, охватит величественными формулами уравнений все эти уравновешивания, включая в них, наконец, и самого себя» [22].

Список литературы

1. Бахрамов Р., Норкулова Х., Набиев Б., Жуманазаров Ж. Роль и значение математической статистики в медицине. Евразийский журнал академических исследований. 2022; 2(13): 1615–1619. DOI:org/10.5281/zenodo.7502823. URL: <https://in-academy.uz/index.php/ejar/article/view/8179>.
2. Черняева Т.Н., Никифорова А.А., Маслова С.С. [и др.]. Математика в медицине. 2022;10. URL: <https://stolypin-vestnik.ru/wp-content/uploads/2022/12/28.pdf>.
3. Пруцков А.В. Анализ используемого математического аппарата в научных статьях по медицине. Инновационные технологии в медицине: взгляд молодого специалиста: материалы 4-й Всерос. науч. конф. Рязань; 2018:4-5.

4. Бурыхин В.С., Тестов В.В., Стерликов С.А. Возрастные и гендерные особенности первичной лекарственной устойчивости микобактерий туберкулёза. Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2022;3:271-86. DOI: 10.24412/2312-2935-2022-3-271-286.
5. Громов А.В., Михайлова Ю.В., Стерликов С.А. Продолжительность жизни от момента выявления заболевания до наступления летального исхода от болезни, вызванной ВИЧ, туберкулёза и парентеральных вирусных гепатитов в территориях с низкой плотностью населения. Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2022;3:271-86. DOI: 10.24412/2312-2935-2023-1-472-490.
6. Корнеенков А.А., Кузьмин С.Г., Дергачев В.Б., Борисов Д.Н. Создание номограмм для оценки риска неблагоприятного клинического исхода. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2019;2(66):114-121.
7. Косцова Л.В., Гутикова Л.В., Копыцкий А.В., Курбат М.Н. Метод оценки риска развития репродуктивной потери у беременных в I триместре. Медицинские новости. 2022;10:50-3.
8. Chan B. Biostatistics for Epidemiology and Public Health Using R. Berlin: Springer, 2015.460 p.
9. MacFarland T., Yates J. Using R for Biostatistics. Berlin: Springer, 2021. 929 p.
10. Zhao P. Working with Data in Public Health: A Practical Pathway with R. Springer/Xian Jiaotong University Press, 2021. 201 p.
11. Кабаков Р. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2014. 588 с.
12. Charalampopoulos I. The R Language as a Tool for Biometeorological Research. Atmosphere. 2020;11:682. DOI: 10.3390/atmos11070682
13. Hackenberger B. R Software: Unfriendly but Probably the Best. Croat. Med. J. 2020;61:66-8. DOI: 10.3325/cmj.2020.61.66
14. Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А. и др. Наглядная статистика. Используем R! М.: ДМК Пресс, 2014. 295 с.
15. Павлова Т.Б., Ковалева Е.А. Преимущества и недостатки средств учебной аналитики для малых наборов данных. Новые образовательные стратегии в современном информационном пространстве: сб. науч. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург; 2020:168-75.

16. Ozgur C., Colliau T., Rogers G., et al. MatLab vs. Python vs. R. J. of Data Science. 2017;15:355-72.
17. Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. Хайдельберг. М.: ДМК Пресс, 2014. 497 с.
18. Пруцков А.В. Обработка статистических данных в научных исследованиях с помощью языка R. Актуальные проблемы современной науки и производства: материалы 5-й Всерос. науч.-техн. конф. Рязань; 2020:179-82.
19. Dalgaard P. Introductory Statistics with R. Berlin: Springer, 2008. 370 p.
20. Перевезенцев Е.Е., Пруцков А.В., Ромашкова В.В. Анализ показателей цитируемости преподавателей учреждения высшего образования. Cloud of Science. 2020;7(1):104-13.
21. Наркевич А.Н., Виноградов К.А. Выбор метода для статистического анализа медицинских данных и способа графического представления результатов. Социальные аспекты здоровья населения. 2019;65(4). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1092/30/lang,ru/>. DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-4-9
22. Павлов И.П. Естествознание и мозг. Избранные произведения. М.: Медгиз, 1951. 608 с.

References

1. Вахрамов Р., Норкулова Х., Nabiev B., Zhumanazarov Zh. Rol` i znachenie matematicheskoy statistiki v medicine [The role and significance of mathematical statistics in medicine]. Evrazijskij zhurnal akademicheskix issledovanij [Eurasian Journal of Academic Research]. 2022; 2(13): 1615–1619. DOI:org/10.5281/zenodo.7502823. URL: <https://in-academy.uz/index.php/ejar/article/view/8179>.
2. Chernyaeva T.N., Nikiforova A.A., Maslova S.S. [i dr.]. Matematika v medicine [Mathematics in Medicine]. 2022;10. URL: <https://stolypin-vestnik.ru/wp-content/uploads/2022/12/28.pdf> (In Russian).
3. Pruckov A.V. Analiz ispolzuemogo matematicheskogo apparata v nauchnyh statyah po medicine [Analysis of the mathematical apparatus used in scientific articles on medicine]. Innovacionnye tekhnologii v medicine: vzglyad molodogo specialist: materialy 4-j Vseros. nauch. konf. [Innovative technologies in medicine: the view of a young specialist: materials of the 4th All-Russian Scientific Conference]. Ryazan; 2018;4-5 (In Russian).

4. Buryhin V.S., Testov V.V., Sterlikov S.A. Vozrastnye i gendernye osobennosti pervichnoj lekarstvennoj ustojchivosti mikobakterij tuberkulyoza [Age and gender characteristics of primary drug resistance of mycobacterium tuberculosis]. *Sovremennye problem zdavoohraneniya i medicinskoj statistiki* [Modern problems of healthcare and medical statistics]. 2022;3:271-86. DOI: 10.24412/2312-2935-2022-3-271-286 (In Russian).
5. Gromov A.V., Mihajlova Yu.V., Sterlikov S.A. Prodolzhitelnost zhizni ot momenta vyyavleniya zabolevaniya do nastupleniya letalnogo iskhoda ot bolezni, vyzvannoj VICH, tuberkulyoza i parenteralnyh virusnyh gepatitov v territoriyah s nizkoj plotnostyu naseleniya [Life expectancy from the moment of detection of the disease to the onset of death from the disease caused by HIV, tuberculosis and parenteral viral hepatitis in areas with low population density]. *Sovremennye problem zdavoohraneniya i medicinskoj statistiki* [Modern problems of healthcare and medical statistics]. 2022;3:271-86. DOI: 10.24412/2312-2935-2023-1-472-490 (In Russian).
6. Korneenkov A.A., Kkuzmin S.G., Dergachev V.B., Borisov D.N. Sozdanie nomogramm dlya ocenki riska neblagopriyatnogo klinicheskogo iskhoda [Creation of nomograms to assess the risk of an adverse clinical outcome]. *Vestnik Rossijskoj voenno-medichinskoj akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]. 2019;2(66):114-121 (In Russian).
7. Koscova L.V., Gutikova L.V., Kopyckij A.V., Kurbat M.N. Metod ocenki riska razvitiya reproduktivnoj poteri u beremennyh v I trimestre [A method for assessing the risk of developing reproductive loss in pregnant women in the first trimester]. *Medicinskie novosti* [Medical news]. 2022;10:50-3 (In Russian).
8. Chan B. *Biostatistics for Epidemiology and Public Health Using R*. Berlin: Springer, 2015. 460 p.
9. MacFarland T., Yates J. *Using R for Biostatistics*. Berlin: Springer, 2021. 929 p.
10. Zhao P. *Working with Data in Public Health: A Practical Pathway with R*. Springer/Xian Jiaotong University Press, 2021. 201 p. DOI: 10.1007/978-981-99-0135-7.
11. Kabakov P. *R v dejstvii. Analiz i vizualizaciya dannyh v programme R* [R in action. Data analysis and visualization in the R program]: per. s angl. M.: DMK Press, 2014. 588 p. (In Russian)
12. Charalampopoulos I. *The R Language as a Tool for Biometeorological Research*. *Atmosphere*. 2020;11:682. DOI: 10.3390/atmos11070682.
13. Hackenberger B. *R Software: Unfriendly but Probably the Best*. *Croat. Med. J.* 2020;61:66-8. DOI: 10.3325/cmj.2020.61.66.

14. Shipunov A.B., Baldin E.M., Volkova P.A. i dr. Naglyadnaya statistika. Ispolzuem R! [Visual statistics. We use R!] M.: DMK Press, 2014. 295 p. (In Russian)
15. Pavlova T.B., Kovaleva E.A. Preimushchestva i nedostatki sredstv uchebnoj analitiki dlya malyh naborov dannyh. Novye obrazovatelnye strategii v sovremennom informacionnom prostranstve: sb. nauch. statej po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Advantages and disadvantages of educational analytics tools for small datasets. New educational strategies in the modern information space: collection of scientific articles. articles based on the materials of the international scientific and practical conference] Sankt-Peterburg; 2020:168-75 (In Russian)
16. Ozgur C., Colliau T., Rogers G., et al. MatLab vs. Python vs. R. J. of Data Science. 2017;15:355-72.
17. Mastickij S.Eh., Shitikov V.K. Statisticheskij analiz i vizualizaciya dannyh s pomoshchyu R [Statistical analysis and visualization of data using R]. M.: DMK Press, 2014. 497 p. (In Russian)
18. Pruckov A.V. Obrabotka statisticheskikh dannyh v nauchnyh issledovaniyah s pomoshchyu yazyka R [Statistical data processing in scientific research using the R language]. Aktualnye problem sovremennoj nauki i proizvodstva: materialy 5-j Vseros. nauch.-tekhn. konf. [Actual problems of modern science and production: materials of the 5th All-Russian Scientific and Technical Conference] Ryazan; 2020:179-82 (In Russian)
19. Dalgaard P. Introductory Statistics with R. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 370 p.
20. Perevezencev E.E., Pruckov A.V., Romashkova V.V. Analiz pokazatelej citiruemosti prepodavatelej uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya [Analysis of the citation indicators of teachers of higher education institutions]. Cloud of science. 2020;7 (1):104-13 (In Russian)
21. Narkevich A.N., Vinogradov K.A. Vybora metoda dlya statisticheskogo analiza medicinskih dannyh i sposoba graficheskogo predstavleniya rezultatov [Choosing a method for statistical analysis of medical data and a way to graphically present the results]. Socialnye aspekty zdorovya naseleniya [Social aspects of public health]. 2019;65(4). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1092/30/lang,ru/>. DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-4-9. (In Russian)
22. Pavlov I.P. Estestvoznaniye i mozg [Natural science and the brain]. Izbrannyye proizvedeniya [Selected works]. M.: Medgiz, 1951. 608 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Acknowledgments. The study did not have sponsorship.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Сведения об авторах

Авачева Татьяна Геннадиевна - кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой математики, физики и медицинской информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 390026 г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9; e-mail: t.avacheva@rzgmu.ru; ORCID: 0000-0002-2099-655X; SPIN-код: 4798-4908

Пруцков Александр Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математики, физики и математической информатики ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 390026, Россия, г. Рязань, ул. Высоковольтная, 9; профессор кафедры вычислительной и прикладной математики ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1; профессор кафедры информатики, информационных технологий и защиты информации ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», 398020, г. Липецк, ул. Ленина, 42, e-mail: mail@prutzkow.com, ORCID: 0000-0002-4110-5269, SPIN: 3805-0125

Медведева Ольга Васильевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения с курсом организации здравоохранения ФДПО, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 390026 г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9; e-mail: o.medvedeva@rzgmu.ru; ORCID: 0000-0002-3637-9062; SPIN-код: 8808-5837

Information about authors

Avacheva Tatiana Gennadievna - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mathematics, Physics and Medical Informatics Ryazan State Medical University named after I.P. Pavlov of Ministry of Public Health of Russian Federation, 390026 Ryazan, Visokovoltnaya, 9; e-mail: t.avacheva@rzgmu.ru; ORCID: 0000-0002-2099-655X; SPIN-code: 4798-4908

Prutzkow Alexander Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Mathematics, Physics, and Medical Informatics Department, Ryazan State Medical University, 390026, Vysokovoltnaja str., 9, Ryazan, Russia, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University, 390005, Gagarin str., 59/1, Ryazan, Russia, Professor of the Informatics, Information Technologies and Information Security Department, Lipetsk State Pedagogical University, 398020, Lenin str., 42, Lipetsk, Russia, e-mail: mail@prutzkow.com, ORCID: 0000-0002-4110-5269, SPIN: 3805-0125

Medvedeva Olga Vasilievna - MD, Full Professor, Head of Department of public health and healthcare with the course of healthcare organization Ryazan State Medical University named after I.P. Pavlov of Ministry of Public Health of Russian Federation, 390026 Ryazan, Visokovoltnaya, 9, e-mail: o.medvedeva@rzgmu.ru; ORCID: 0000-0002-3637-9062; SPIN-code: 8808-5837

Статья получена: 02.04.2024 г.

Принята к публикации: 25.06.2024 г.