

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ АЛЖИРА

М. Ю. Михеев<sup>1</sup>, О. В. Прокофьев<sup>2</sup>, С. Хилал<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup> mix1959@gmail.com, <sup>2</sup> prokof\_ow@mail.ru, <sup>3</sup> sonya.nina.helal@gmail.com

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Система здравоохранения Алжира, как и других стран, претерпела значительные изменения за последние десятилетия. Изменились потоки финансирования, численность населения, продолжительность жизни граждан. Одновременно с этим выросли требования по информационному обеспечению: мобильной доступности, формату и безопасности хранения данных, облачному хранению и облачным вычислениям. Поэтому авторы поставили целью выполнить краткосрочные прогнозы основных социально-экономических показателей Алжира и предложить перспективные оценки объемов персональных медицинских данных, необходимых для страны в ближайшие годы. Кроме того, авторы предложили рекомендации по выбору криптографических алгоритмов для безопасной работы с персональными данными из облачного хранилища. *Материалы и методы.* Использованы статистические данные Алжира из официальных источников и научных публикаций, данные о скорости мобильных криптографических вычислений их научных публикаций. Использованы методы корреляционно-регрессионного анализа, метод построения модели Бокса – Дженкинса для временного ряда. *Результаты.* Представлены математические модели, проверка адекватности моделей и результаты прогнозирования. *Выводы.* Даны оценки объема конфиденциальной медицинской информации в ближайшие годы, служащие для разработки планов развития информационной инфраструктуры страны, а также рекомендации к выбору метода криптографического закрытия мобильных данных.

**Ключевые слова:** модель временного ряда, здравоохранение Алжира, медицинские персональные данные, облачное хранилище данных

**Для цитирования:** Михеев М. Ю., Прокофьев О. В., Хилал С. Моделирование и прогнозирование потребности в информационном обеспечении системы здравоохранения Алжира // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 4. С. 31–39. doi:10.21685/2307-4205-2022-4-4

## MODELING AND FORECASTING THE NEEDS FOR INFORMATION SUPPORT OF THE HEALTH CARE SYSTEM OF ALGERIA

M.Yu. Mikheev<sup>1</sup>, O.V. Prokofiev<sup>2</sup>, S. Helal<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Penza State Technological University, Penza, Russia  
<sup>1</sup> mix1959@gmail.com, <sup>2</sup> prokof\_ow@mail.ru, <sup>3</sup> sonya.nina.helal@gmail.com

**Abstract.** *Background.* Algeria's healthcare system, like that of other countries, has undergone significant changes over the past decades. Financing flows, population size, life expectancy of citizens have changed. At the same time, the requirements for information support have grown: mobile accessibility, format and security of data storage, cloud storage and cloud computing. Therefore, the authors set out to make short-term forecasts of the main socio-economic indicators of Algeria and to offer forward estimates of the amount of personal health data needed for the country in the coming years. In addition, the authors offered recommendations on the choice of cryptographic algorithms for secure work with personal data from cloud storage. *Materials and methods.* The statistical data of Algeria from official sources and scientific publications, data on the speed of mobile cryptographic computations of their scientific publications are used. The methods of correlation-regression analysis, the method of constructing the Box-Jenkins model for the time series were used. *Results.* Mathematical models, model adequacy checks and forecasting results are presented. *Conclusions.* Estimates of the volume of confidential medical information in the coming years are given, which serve to develop plans for the development of the country's information infrastructure, as well as recommendations for choosing a method for cryptographic closing of mobile data.

**Keywords:** time series model, health care in Algeria, medical personal data, cloud data storage

**For citation:** Mikheev M.Yu., Prokofiev O.V., Helal S. Modeling and forecasting the needs for information support of the health care system of Algeria. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2022;(4):31–39. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-4-4

### Введение

После обретения независимости Алжира принятие политики бесплатной медицины в 1973 г. привело к появлению значительного спроса и ускорению потребления медицинских услуг, к появлению потребности к расширению инфраструктуры здравоохранения. Источниками финансирования системы являются вклад государства, взносы фонда социального страхования и расходы домохозяйств, которые характеризуются высокой динамикой [1, 2]. Растущее население, изменения в уровне жизни, появление пандемии и других патологий привели к созданию существенного потока информации о здоровье и, в частности, персональных медицинских данных. Целью авторов является перспективная оценка спроса на персональную медицинскую информацию, которая является основой планов новых инфраструктурных проектов страны и частных инвестиций. Кроме того, авторы были ориентированы на выработку рекомендаций относительно структурных решений в области построения современного облачного медицинского сервиса, предусматривающих в том числе достаточно высокий уровень защиты персональных данных.

### Материалы и методы

Ниже представлено определение исходных данных для моделирования. Для множественного регрессионного анализа, согласно справочным данным [1, 2], были использованы следующие данные за 2000–2014 гг.:

- ожидаемая продолжительность жизни при рождении, всего (лет,  $Y$ );
- население, всего (человек);
- внутренний валовый продукт (ВВП, по текущему курсу в долларах США);
- вклад Фонда социального страхования в финансирование расходов на здравоохранение (миллионов динар,  $X_2$ );
- вклад государства в финансирование сферы здравоохранения (миллиардов динар,  $X_3$ ).

В модель был введен фактор  $X_1$  – внутренний валовый продукт на одного человека населения (по текущему курсу в долларах США), полученный из расчета по приведенным выше данным. Кроме того, был использован временной ряд – население (человек), охватывающий интервал времени 1960–2021 гг.

Следует отметить, что данные для модели множественной регрессии могут иметь общий временной тренд и учет этого обстоятельства может привести к выводу о ложной корреляции между факторами, а также к мультиколлинеарности модели. Поэтому частью исследования должен быть этап по исключению незначимых и статистически связанных между собой факторов.

### Моделирование и эксперименты

Матрица парных линейных коэффициентов корреляции представлена на рис. 1 (выборка за 2000–2014 гг.).

		Корреляции			
		Y	X1	X2	X3
Y	Корреляция Пирсона	1	,969**	,930**	,868**
	Знач. (двухсторонняя)		,000	,000	,000
	N	15	15	15	15
X1	Корреляция Пирсона	,969**	1	,913**	,885**
	Знач. (двухсторонняя)	,000		,000	,000
	N	15	15	15	15
X2	Корреляция Пирсона	,930**	,913**	1	,901**
	Знач. (двухсторонняя)	,000	,000		,000
	N	15	15	15	15
X3	Корреляция Пирсона	,868**	,885**	,901**	1
	Знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	
	N	15	15	15	15

\*\* . Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Рис. 1. Матрица парных корреляций для переменных  $Y$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$

Согласно рис. 1, любая пара факторов имеет существенную связь с силой связи более 0,8, т.е. подтверждено предположение о наличии явления мультиколлинеарности. По этой причине был построен набор моделей частной корреляции между результативным признаком  $Y$  и каждым из факторов (рис. 2).

**Корреляции**

Переменные управления			Y	X1
X2 & X3	Y	Корреляция	1,000	,795
		Значимость (двухсторонняя)	.	,001
		ст.св.	0	11
X1	Y	Корреляция	,795	1,000
		Значимость (двухсторонняя)	,001	.
		ст.св.	11	0

а)

**Корреляции**

Переменные управления			Y	X2
X3 & X1	Y	Корреляция	1,000	,472
		Значимость (двухсторонняя)	.	,104
		ст.св.	0	11
X2	Y	Корреляция	,472	1,000
		Значимость (двухсторонняя)	,104	.
		ст.св.	11	0

б)

**Корреляции**

Переменные управления			Y	X3
X1 & X2	Y	Корреляция	1,000	-,167
		Значимость (двухсторонняя)	.	,586
		ст.св.	0	11
X3	Y	Корреляция	-,167	1,000
		Значимость (двухсторонняя)	,586	.
		ст.св.	11	0

в)

Рис. 2. Матрицы частных корреляций:

- а – корреляция между  $Y$  и  $X1$  с исключением влияния  $X2, X3$ ;
- б – корреляция между  $Y$  и  $X2$  с исключением влияния  $X1, X3$ ;
- в – корреляция между  $Y$  и  $X3$  с исключением влияния  $X1, X2$

Из рис. 2 следует, что корреляционная связь между  $Y$  и  $X1$  является сильной положительной и статистически значимой на уровне 0,001.

Тот же результат показывает и пошаговый метод отбора факторов (рис. 3).

**Коэффициенты<sup>а</sup>**

Модель	Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты	t	Значимость	Статистика коллинеарности	
	B	Стандартная ошибка	Бета			Допуск	VIF
1 (Константа)	69,460	,319		217,660	,000		
X1	,001123	,000	,969	14,044	,000	1,000	1,000

а. Зависимая переменная: Y

**Исключенные переменные<sup>а</sup>**

Модель	Бета-включения	t	Значимость	Частная корреляция	Статистика коллинеарности		
					Допуск	VIF	Минимальный допуск
1 X2	,277 <sup>b</sup>	1,771	,102	,455	,167	5,987	,167
X3	,050 <sup>b</sup>	,323	,752	,093	,216	4,622	,216

а. Зависимая переменная: Y

б. Предикторы в модели: (константа), X1

Рис. 3. Модель Y(X1), выбранная пошаговым методом

Рассматривая временной ряд численности населения за 1960–2021 гг. объем данных и инерционный характер развития процесса позволили перейти к модели Бокса – Дженкинса, представленной на рис. 4 (краткий отчет).

**Описание модели**

			Тип модели
ИД модели	P	Модель_1	ARIMA(1,3,1)

**Параметры модели АРПСС<sup>а</sup>**

					Оценка	Ст. ош.	t	Значимость
P-Модель_1	P	Без преобразования	AR	Лag 1	,746	,090	8,298	,000
			Дифференциальный		3			
			CC	Лag 1	-,726	,100	-7,277	,000

а. Модели наилучшего согласия, соответствующие стационарному R-квадрат (чем больше значения, тем лучше подгонка).

**Прогнозируемые значения<sup>а</sup>**

Модель		2022	2023	2024	2025
P-Модель_1	Прогнозируемые значения	45346852	46039517	46692978	47306006
	UCL	45351593	46061243	46751735	47429661
	LCL	45342111	46017791	46634220	47182351

Рис. 4. Модель АРПСС (1, 3, 1)

На рис. 4 изображено уравнение модели авторегрессии 1-го порядка, проинтегрированного ряда до 3-й конечной разности, скользящего среднего 1-го порядка:

$$Y_t = 0,746Y_{t-1} - 0,726\epsilon_{t-1} + u_t,$$

где  $\epsilon_{t-1}$  – разность между уровнем ряда и модельным значением в момент  $(t - 1)$ ;  $u_t$  – случайная составляющая в момент  $t$ .

Интервальный прогноз численности населения Алжира на рис. 4 проиллюстрирован диаграммой на рис. 5.

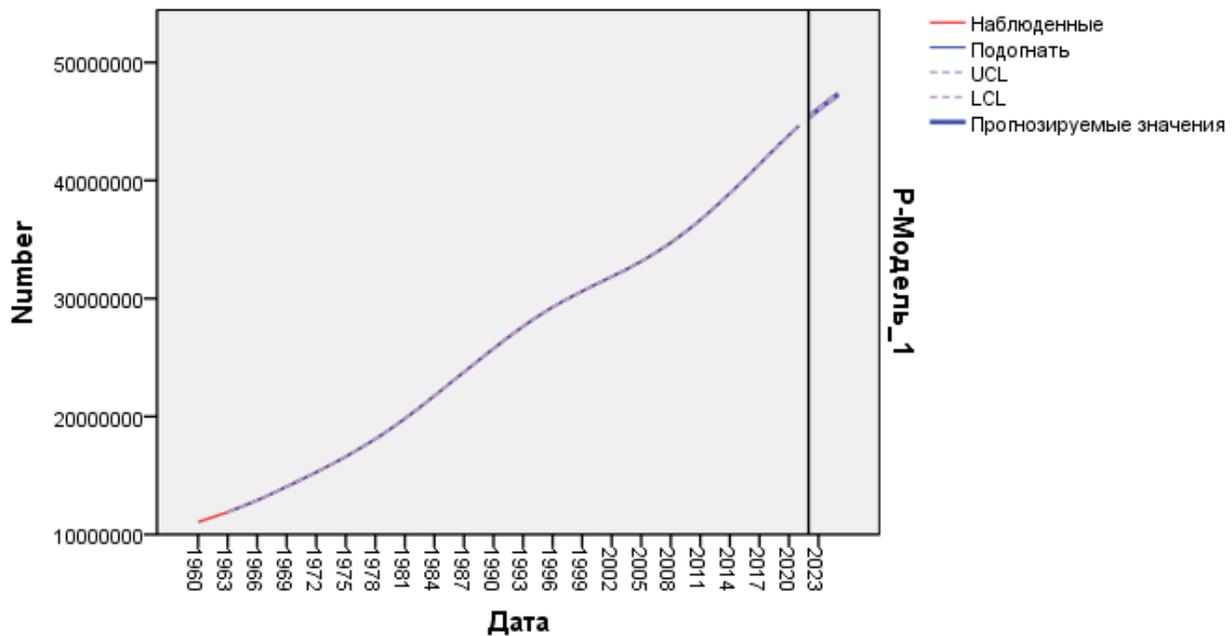


Рис. 5. Численность населения Алжира с прогнозом на 2022–2025 гг.

Помимо численности населения авторами была предложена модель продолжительности жизни, так как обращение к медицинским услугам практически будет производиться на протяжении всех лет жизни. Использован временной ряд величины  $Z$  за 1960–2020 гг. [1]. Модель Бокса – Дженкинса и краткосрочные прогнозы показаны на рис. 6.

На рис. 6 изображено уравнение модели авторегрессии 1-го порядка, проинтегрированного ряда до 3-й конечной разности, скользящего среднего 10-го порядка:

$$Z_t = 0,784Z_{t-1} - 0,381\varepsilon_{t-1} + 0,371\varepsilon_{t-10} + u_t,$$

где  $\varepsilon_{t-1}$  – разность между уровнем ряда и модельным значением в момент  $(t - 1)$ ;  $u_t$  – случайная составляющая в момент  $t$ .

**Описание модели**

			Тип модели
ИД модели	Y1	Модель_1	ARIMA(1,3,10)

**Параметры модели АРПСС<sup>а</sup>**

				Оценка	Ст. ош.	t	Значимость	
Y1-Модель_1	Y1	Без преобразования	AR	Лag 1	,784	,088	8,865	,000
			Дифференциальный					
			СС	Лag 1	-,381	,130	-2,937	,005
Лag 10	,371	,136	2,726					

а. Модели наилучшего согласия, соответствующие стационарному R-квадрат (чем больше значения, тем лучше подгонка).

**Прогнозируемые значения<sup>а</sup>**

Модель		2021	2022	2023	2024	2025
Y1-Модель_1	Прогнозируемые значения	77,25	77,43	77,62	77,82	78,02
	UCL	77,26	77,50	77,80	78,20	78,70
	LCL	77,23	77,36	77,44	77,44	77,34

Рис. 6. Модель АРПСС (1, 3, 10)

Интервальный прогноз продолжительности жизни населения Алжира проиллюстрирован диаграммой на рис. 7.

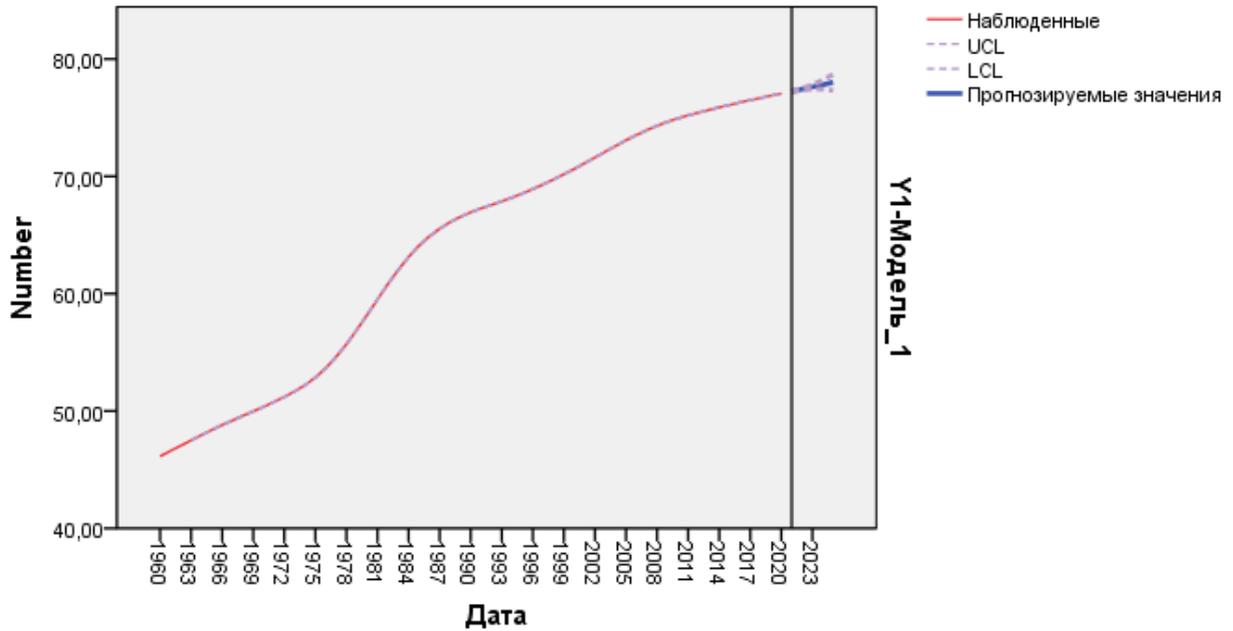


Рис. 7. Продолжительность жизни населения Алжира с прогнозом на 2022–2025 гг.

В то же время не все макроэкономические показатели Алжира, влияющие на продолжительность жизни, можно описать как инерционный процесс, близкий к линейной закономерности. Примером иного варианта с изменением структуры временного ряда является временной ряд внутреннего валового продукта на одного жителя страны, изображенного на рис. 8.

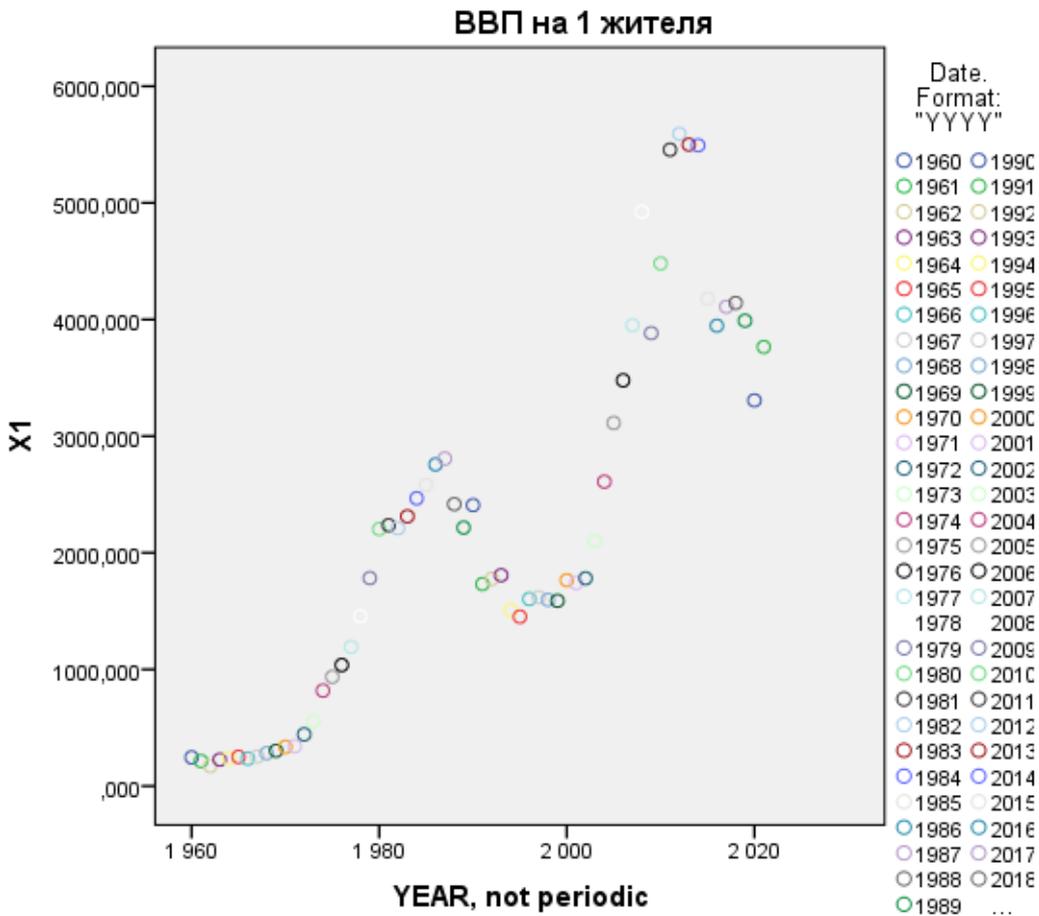


Рис. 8. ВВП Алжира на душу населения за 1960–2021 гг.

### Результаты

Существенным фактором, влияющим на продолжительность жизни, является значение ВВП на душу населения. В среднем на каждую тысячу долларов дохода продолжительность жизни жителя Алжира увеличивается на 1,1 года. С малой вероятностью ошибки можно считать, что в 2025 г. численность населения составит более 47 миллионов человек. Средняя ожидаемая продолжительность жизни к 2025 г. достигнет 78 лет, есть аргументы в пользу адекватности этой модели. Таким образом, объем медицинской информации, необходимый для обслуживания населения, будет возрастать по причинам роста численности населения, продолжительности жизни. К этому следует добавить высокие требования к объему данных, предъявляемые современными стандартами персональной медицинской информации, например, требования стандарта DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [3] и их реализация в HIS (Hospital Information Systems), PACS (Picture Archiving and Communication Systems), EHR/EMR (Electronic Health Records/Electronic Medical Records).

В то же время высокая динамика важнейшего фактора (ВВП на душу населения) показывает нестабильное состояние доходов населения, что делает возможной коррекцию приводимых моделей.

### Заключение

В 2012 г. исследователями [4] было обнаружено, что 30 % всех электронных хранилищ данных в мире занято отраслью здравоохранения. Они также опросили ряд поставщиков медицинских услуг, и 45 % респондентов заявили, что их учреждения намерены увеличить емкость хранения цифровых данных как минимум на один терабайт или более в течение года. Как минимум, каждый пациент будет добавлять 4 Мб данных в свою электронную медицинскую карту в год, но если при этом объединять текстовые записи и изображения, то около 80 Мб в год. Авторы [4] приводят пример. Предположим, что имеется 100 пациентов, которые посещают поликлинику в течение 4 лет. Это равняется приблизительно 32 Гб. В следующем году для тех же 100 пациентов потребуется 40 Гб. Всего за десятилетие вы получите 80 Гб только для этой группы пациентов. В этом примере не учитываются данные, необходимые для новых пациентов. Данный пример дает представление о порядке объема информации, с учетом будущей численности и продолжительности жизни населения Алжира. Результат в примере нужно увеличить в 470 000 раз, причем для данных, собранных за 10 лет.

Важным вопросом доступности данных является скорость считывания и, одновременно, конфиденциальность данных. Эксперименты с криптографической защитой облачных данных, проведенные исследователями [5], показывают эффективность алгоритма AES (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность шифрования/дешифрации файла, с

Показатель	AES	DES	3 DES	Blowfish	RSA	ElGamal
Размер ключа, бит	256	64	192	256	2048	1024
Размер файла (МБ)	1	0,03	0,03	0,09	0,03	332
	10	0,32	0,32	0,77	0,24	
	50	1,61	1,89	4,49	2,13	
	100	4,27	5,50	7,96	5,64	

Перечисленные расчеты показывают необходимость разработки стратегической программы развития электронных ресурсов здравоохранения государством и коммерческими фирмами Алжира. С учетом стадии развития медицинского информационного обеспечения и системы здравоохранения в целом представляют интерес мобильные приложения по оказанию первичной парамедицинской помощи, диагностике, записи на прием, диалоговых систем опроса будущих пациентов. Сертифицированные системы поддержки принятия решений будут полезным вспомогательным средством до доставки пациента в стационар и поликлинику, дополнением в процессе лечения [6–13].

### Список литературы

1. Rapport National sur le Developpement Humain 2013–2015. Algeria – Conseil National Économique et Social, CNES (National Economic and Social Council). URL: <https://socialprotection.org/discover/publications/rapport-national-sur-le-developpement-humain-2013-2015>
2. Mohammed A. D. The Financing Health System Problem in Algeria // The Financing Health System Problem in Algeria. 2016. Vol. 3, iss. 7. P. 48–53. doi:10.21744/irjmis.v3i7.150

3. DICOM Standard. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DICOM>
4. Brown N. Healthcare Data Growth: An Exponential Problem. URL: <https://www.nextech.com/blog/healthcare-data-growth-an-exponential-problem>
5. Al-Qasrawi I. S. A Security Scheme for Providing AIC Triad in Mobile Cloud Computing // International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS). 2016. Vol. 14, № 4. P. 32–36.
6. Михеев М. Ю., Прокофьев О. В., Семочкина И. Ю. Древоподобные карты для повышения качества поддержки решений // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 4. С. 98–108.
7. Михеев М. Ю., Прокофьев О. В., Савочкин А. Е., Семочкина И. Ю. Моделирование и трансфер агротехнологий на основе системы поддержки принятия решений // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 180–183.
8. Доросинский А. Ю., Прокофьев О. В., Линкова М. А., Семочкина И. Ю. Деревья решений на основе технологии мемристоров // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 2. С. 53–60.
9. Power D. J., Heavin C. Decision Support, Analytics, and Business Intelligence. Third Edition. New York : Business Expert Press, LLC, 2017. P. 196.
10. What is a decision tree? URL: <https://www.lucidchart.com/pages/decision-tree>
11. Phillips-Wren G. E., Carlsson S., Respício A. DSS 2.0 – Supporting Decision Making With New Technologies. IOS Press, 2014. P. 604.
12. Goldberg J. H., Helfman J. Enterprise Network Monitoring Using Treemaps // Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. 2005. P. 671–675. doi:10.1177/154193120504900508
13. International Federation For Information Processing. Technical Committee 8. Working Group 8.3. URL: <http://ifiptc8.dsi.uminho.pt/index.php/events?wg=8.3>

### References

1. *Rapport National sur le Developpement Humain 2013–2015. Algeria – Conseil National Économique et Social, CNES (National Economic and Social Council)*. Available at: <https://socialprotection.org/discover/publications/rapport-national-sur-le-developpement-humain-2013-2015>
2. Mohammed A.D. The Financing Health System Problem in Algeria. *The Financing Health System Problem in Algeria*. 2016;3(7):48–53. doi:10.21744/irjmis.v3i7.150
3. *DICOM Standard*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DICOM>
4. Brown N. *Healthcare Data Growth: An Exponential Problem*. Available at: <https://www.nextech.com/blog/healthcare-data-growth-an-exponential-problem>
5. Al-Qasrawi I.S. A Security Scheme for Providing AIC Triad in Mobile Cloud Computing. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*. 2016;14(4):32–36.
6. Mikheev M.Yu., Prokofev O.V., Semochkina I.Yu. Tree maps for improving the quality of decision support. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(4):98–108. (In Russ.)
7. Mikheev M.Yu., Prokofev O.V., Savochkin A.E., Semochkina I.Yu. Modeling and transfer of agrotechnologies based on a decision support system. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2021;1:180–183. (In Russ.)
8. Dorosinskiy A.Yu., Prokofev O.V., Linkova M.A., Semochkina I.Yu. Decision trees based on the technology of memristors. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(2):53–60. (In Russ.)
9. Power D.J., Heavin C. *Decision Support, Analytics, and Business Intelligence. Third Edition*. New York: Business Expert Press, LLC, 2017:196.
10. *What is a decision tree?* Available at: <https://www.lucidchart.com/pages/decision-tree>
11. Phillips-Wren G.E., Carlsson S., Respício A. *DSS 2.0 – Supporting Decision Making With New Technologies*. IOS Press, 2014:604.
12. Goldberg J.H., Helfman J. Enterprise Network Monitoring Using Treemaps. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*. 2005:671–675. doi:10.1177/154193120504900508
13. *International Federation For Information Processing. Technical Committee 8. Working Group 8.3*. Available at: <http://ifiptc8.dsi.uminho.pt/index.php/events?wg=8.3>

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Михаил Юрьевич Михеев

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой информационных  
технологий и систем,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, проезд Байдукова /ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: mix1959@gmail.com

#### Mikhail Yu. Mikheev

Doctor of technical sciences, professor,  
head of the sub-department of informational  
technologies and systems,  
Penza State Technological University  
(1a/11 Baidukov's passage /Gagarina street, Penza, Russia)

**Олег Владимирович Прокофьев**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры информационных технологий и систем,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: prokof\_ow@mail.ru

**Соня Хилал**

аспирант,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: sonya.nina.helal@gmail.com

**Oleg V. Prokofiev**

Candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the sub-department  
of informational technologies and systems,  
Penza State Technological University  
(1a/11 Baidukov's passage /Gagarina street, Penza, Russia)

**Sonya Helal**

Postgraduate student,  
Penza State Technological University  
(1a/11 Baidukov's passage /Gagarina street, Penza, Russia)

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

**Поступила в редакцию/Received 15.12.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 10.01.2022**

**Принята к публикации/Accepted 15.02.2022**