

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.8

doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-13-22

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕДТЕХНИКИ

Елена Викторовна Нестерова^{1✉}, Светлана Васильевна Игрунова²,
Иван Николаевич Григоренко³, Дарья Александровна Иващук⁴,
Валерий Георгиевич Нестеров⁵, Елена Вячеславовна Калюжная⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Россия

¹ nesterova@bsu.edu.ru

² igrunova@bsu.edu.ru

³ igrunova@bsu.edu.ru

⁴ 1302561@bsu.edu.ru

⁵ cireto@gmail.com

⁶ kaludgnaya@bsu.edu.ru

Аннотация. В ходе исследования были выявлены проблемы, с которыми сталкиваются современные медицинские учреждения – в частности, клиника «Медицина». Эти трудности обусловлены управлением, техническим обслуживанием и пользовательской эксплуатацией медицинских устройств. Чтобы их преодолеть, нужно пересмотреть систему обслуживания и ремонта медицинской техники, а также обеспечить непрерывное повышение квалификации сотрудников, ответственных за эксплуатацию оборудования. Была предложена информационная модель с включающая технический инструментарий для прогнозирования, такой как экспоненциальное сглаживание. На основе исследования была создана программная реализация информационной системы и прогнозирующего модуля. Эти разработки были протестированы в работоспособных условиях ЛПУ «Медицина». Благодаря построенному прогнозу срока службы деталей анализатора РНОХ Plus удалось скорректировать в меньшую сторону закупку расходных частей.

Ключевые слова: управляющая система, временной ряд, медицинское оборудование, информационная модель

Для цитирования: Нестерова Е.В., Игрунова С.В., Григоренко И.Н., Иващук Д.А., Нестеров В.Г., Калюжная Е.В. Автоматизация прогнозирования неисправностей медтехники // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №3 (25). С. 13-22. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-13-22.

Original article

Open Access Article

AUTOMATION OF MEDICAL EQUIPMENT FAILURE FORECASTING

Elena V. Nesterova^{1✉}, Svetlana V. Igrunova², Ivan N. Grigorenko³, Darya A. Ivashchuk⁴,
Valery G. Nesterov⁵, Elena V. Kalyuzhnaya⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

¹ nesterova@bsu.edu.ru

² igrunova@bsu.edu.ru

³ igrunova@bsu.edu.ru

⁴ 1302561@bsu.edu.ru

⁵ cireto@gmail.com

⁶ kaludgnaya@bsu.edu.ru

Abstract. The study identifies the problems faced by modern medical institutions, in particular, the Meditsina clinic. The management, maintenance, and user operation of medical devices cause these difficulties. To overcome them, it is necessary to revise the system of maintenance and repair of medical equipment, as well as to ensure continuous professional development of the employees responsible for the equipment operation. The paper proposes an information

model that includes technical tools for forecasting, such as exponential smoothing. The authors create software implementation of the information system and forecasting module based on the research; test these developments in the working conditions of the medical and preventive institution Meditsina. Thanks to the constructed forecast of the service life of the PHoX Plus analyzer parts, it is possible to adjust the purchase of consumables downwards.

Keywords: control system, time series, medical equipment, information model

For citation: Nesterova E.V., Igrunova S.V., Grigorenko I.N., Ivashchuk D.A., Nesterov V.G., Kalyuzhnaya E.V. Automation of Medical Equipment Failure Forecasting. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 3 (25). pp. 13-22. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-13-22.

Введение

Информационные технологии в медицине предназначены для улучшения ухода за пациентами, повышая при этом эффективность системы здравоохранения.

Современное медицинское оборудование – это физическая подгруппа цифровых технологий, включающая в себя любой аппарат, машину, инструмент, имплантат, который используется для лечения, предотвращения, диагностики, смягчения или лечения заболеваний и других состояний здоровья.

Нехватка запасных частей для критически важного оборудования недопустима, однако бюджетные ограничения затрудняют планирование запасов, также негативно сказываются и экономико-политические сложности, влияющие на поставки запчастей, вызывая задержки в обслуживании и ремонте. На текущий момент в сфере здравоохранения используются различные информационные системы, но они не адаптированы под обслуживание современного медицинского оборудования [1, 2]. Из-за этого многие медицинские учреждения сталкиваются с тем, что не могут своевременно обслуживать и ремонтировать технику. Это может приводить к сбоям в работе, дополнительным расходам на ремонт и замену оборудования, а также к финансовым потерям медицинских учреждений. [3, 4]. Медицинская организация определяется как система, в которой бизнес-процессы по обслуживанию оборудования – планирование, обслуживание, распределение – автоматизированы и интегрированы в рамках единой информационной системы медицинской организации. Соединение оборудования, отделений, систем в общую сеть позволит взаимодействовать между собой всем структурным подразделениям и участникам процесса обеспечения функционирования медицинского учреждения, влиять друг на друга автоматически и минимизировать простои, а также максимизировать обслуживание пациентов, тем самым повышать экономическую эффективность деятельности медицинской организации [5 – 8].

Материалы, модели, эксперименты и методы

Исследование проводилось в клинике «Медицина» (г. Москва) в рамках магистерской диссертации в НИУ «БелГУ» (г. Белгород).

Целью исследования является совершенствование процесса технической эксплуатации медицинского оборудования путем разработки модели прогнозирования срока службы медтехники для автоматизации процессов учета обслуживания и ремонта медицинского оборудования.

На основании исследований И.Г. Новокрещёнова, А.Н. Островского, Е.П. Ковалёва, Н.Г. Кислинского, А.В. Рачинских, А.Д. Стрекаловской, А.Г. Тумашевой [9] посвящённых актуальным проблемам обслуживания медоборудования и анализа материала, связанного с эксплуатацией и ремонтом медицинского оборудования в клинике АО «Медицина» города Москва за 2020 – 2023 годы была проведена классификация неисправностей по процентному соотношению, продолжительности и важности решения, показанная на рис. 1.

Проанализировав диаграмму максимальных сроков простоя по дням и процентного соотношения на основе диаграммы Парето, видим, что такие факторы как отсутствие на рынке сервисных центров завода-изготовителя, увеличения периода поставки запасных частей для устройств влияют на простои медицинской аппаратуры в медицинских учреждениях. В свою очередь на эксплуатацию оборудования так же влияют как внутренние, так и внешние организационные изменения. Медицинское оборудование производителей GE, Siemens,

Philips имеет различные встроенные телеметрические датчики, но свободный анализ этой информации невозможен в связи с тем, что для неё необходим сервисный доступ. Монтаж дополнительных датчиков для мониторинга параметров работы является внесением конструктивных изменений в медицинское оборудование и снимает ответственность производителя за его безопасность и работоспособность. При эксплуатации аппаратуры собираются временные данные о замене запасных частей и числовые данные из актов о выполнении работ. Таким образом применяется комплексный прогноз, включающий качественный и количественный подходы.

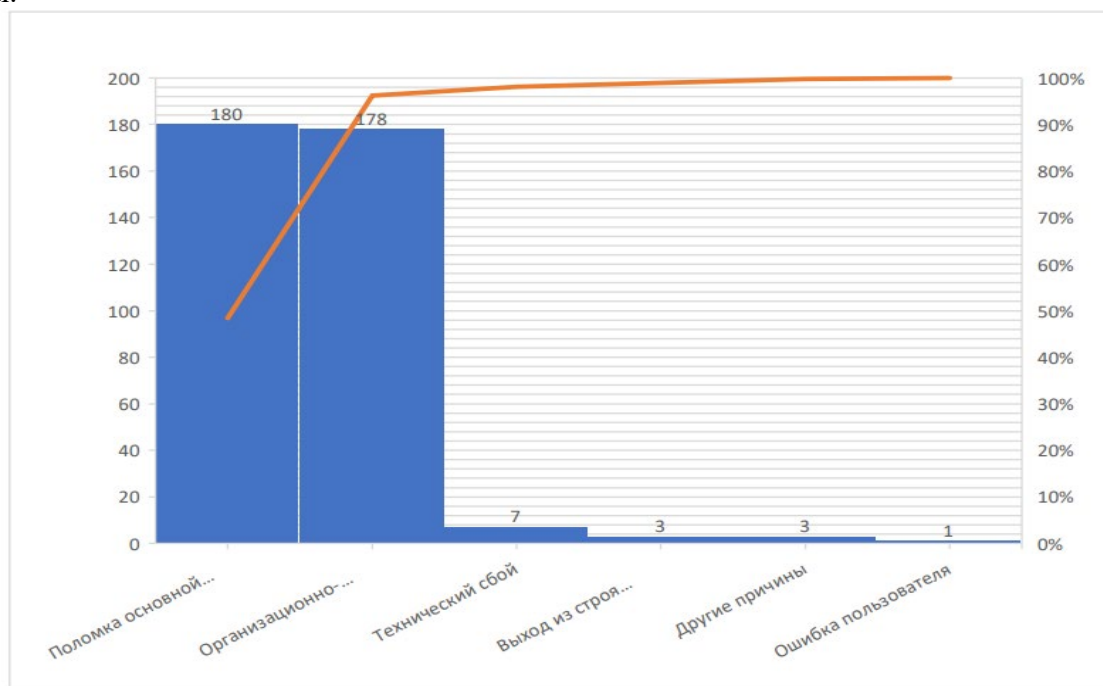


Рис. 1. Диаграмма причин простоя медицинского оборудования
Fig. 1. Diagram of reasons for maximum downtime of medical equipment

Значение интенсивности и периодичности оказывает влияние период работы основных узлов медицинской техники. Во время технического обслуживания инженер сервисной службы смотрит исторические данные о работе аппарата и оценивает частоту эксплуатации за интервал между прошлым и текущим техническим обслуживанием. Эти данные имеют свойство временного ряда, зависящего от частоты эксплуатации оборудования и трендовый характер.

Для сокращения простоя, связанного с техническим сбоем аппарата, необходимо создание базы знаний с инструкциями и подсказками, основанными на данных, связанных с выходом из строя расходных частей, основных узлов и длительностью ожидания ремонта.

Анализ временных рядов в направлении медицинских исследований рисков сложных технических систем не являются новыми, но теория построения методов прогнозирования неисправностей медицинского оборудования открыта для исследования.

Была предложена информационная модель прогнозирования, включающая экспоненциальное сглаживание временного ряда и, позволяющая автоматизировать процессы технического обслуживания и ремонта медицинского оборудования в медицинских учреждениях.

В рамках исследования также была разработана информационная система, направленная на сокращение времени простоя оборудования и, соответственно, повышение эффективности работы медицинских учреждений. В клинике «Медицина» используется информационная система Visual FM, разработанная немецкой фирмой Лой энд Хутц. Эта система успешно работает уже более десяти лет, однако производитель ушёл с российского рынка и больше не поддерживает её. Это представляет собой основное ограничение для обновления системы и её адаптации к новым требованиям.

На рис. 2 представлена функциональная модель процесса подачи заявки на ремонт «AS IS».

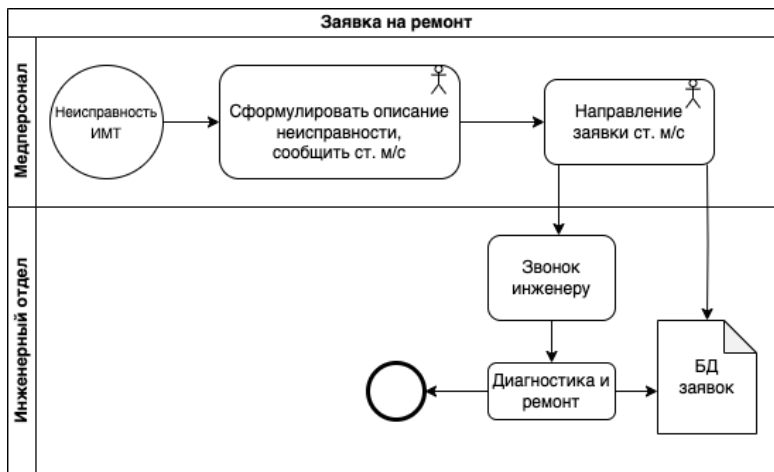


Рис. 2. Функциональная модель процесса подачи заявки
 Fig.2. Functional model of the application process

В данном алгоритме подачи заявок есть существенный минус – «эффект бутылочного горлышка». Проблема заключается в том, что взаимодействие с сервисной службой осуществляется через старшую медсестру. Если возникают проблемы, и информация о природе неисправности не может быть передана старшей медсестре, медицинский персонал сообщает по неофициальным каналам связи. Инженеру сложно определить из нескольких задач по восстановлению работоспособности аппарата, какую выполнять в первую очередь. Помимо этого, из-за отсутствия у персонала в доступной близости инструкции по эксплуатации высокотехнологичной аппаратуры, позволяющей оперативно решать некоторые причины простоя оборудования, например, перезагрузкой устройства. В следствие чего время, затраченное на организацию вызова инженера, время его пути многократно превышает время работы для решения причин простоя.

Для снижения времени реагирования инженера по вопросам медицинского оборудования была разработана функциональная модель процесса подачи заявки на ремонт «ТО ВЕ», полученная в ходе моделирования информационной системы, показанная на рис. 3.

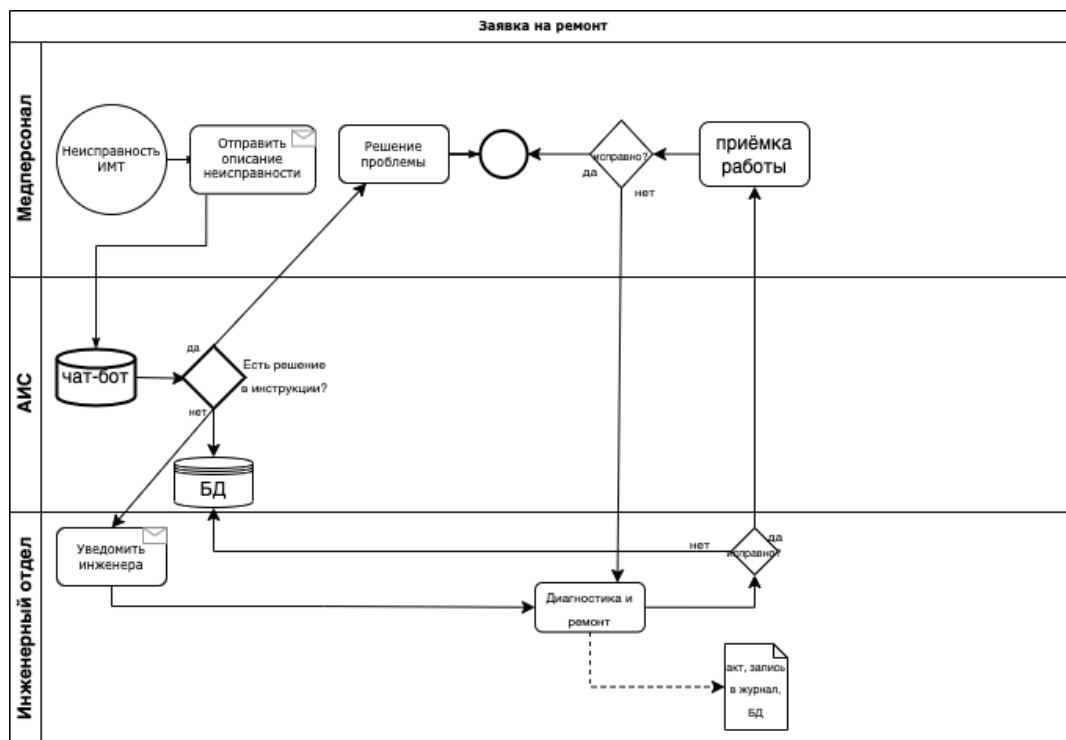


Рис. 3. Функциональная модель процесса подачи заявки на ремонт «ТО ВЕ»
 Fig. 3. Functional model of the «TO VE» repair application process

Для решения задачи прогнозирования срока службы был выбран в качестве примера анализатор газов крови и электролитов. Это реанимационное оборудование, благодаря которому определяются ключевые показатели состояния пациентов. В клинике налажена плановая госпитализация и коечный оборот примерно одинаков и с учетом фиксированной периодичности проведения анализов трендовая и сезонная компонента малозначительны.

Результаты

Для разработки автоматизированной системы прогнозирования неисправностей медицинской техники необходимо разработать структуру, основанную на принципах иерархичности и декомпозиции конструкции. Эти принципы предполагают разделение медицинского аппарата на отдельные сборочные единицы. Такой подход позволяет прогнозировать срок службы каждого блока и оперативно заменять их на новые идентичные, что упрощает ремонт оборудования.

На рис. 4 представлен алгоритм модели прогнозирования отказов медицинского оборудования. Модель опирается на срок службы компонентов и конструктивные принципы медицинской техники.

Благодаря возможности предсказать срок службы отдельных блоков, можно спрогнозировать дату выхода из строя всего аппарата. Для этого используются существующие модели анализа временных рядов. На основании заявленного и реального сроков службы деталей оборудования были использованы модели экспоненциального сглаживания и взвешенного среднего скользящего [10 – 13]. Для этого выделено две выборки: первая выборка бралась для детали с большим сроком годности, а вторая с малым сроком годности.

Первая выборка включала детали, которые не поставляются партией и их качество может отличаться в зависимости от компонентов и сборки. Во вторую входили значения, характеризующие детали, имеющие малый срок эксплуатации, что позволило использовать больше исторических данных для анализа.

Как мы видим по табл. 1, некоторые позиции выходят из срока службы, заявленного производителем и тем самым, спустя некоторое время, формируется профицит запаса деталей с истекающим сроком годности. Получив прогнозное значение срока службы, мы можем вычислить погрешность прогноза. Для этого мы рассчитаем разницу между прогнозным значением и реальным сроком службы, а затем определим эту разницу в процентах. В качестве коэффициента важности последнего события мы используем значение 0,75. Мы выбрали это значение методом проб и ошибок, сравнив результаты прогнозирования при разных коэффициентах. В результате мы определили, что коэффициент 0,75 обеспечивает наименьшую ошибку прогнозирования методом экспоненциального сглаживания. Поэтому мы считаем его оптимальным для использования в прогнозе.

Для расходных материалов, по которым собрано достаточное количество исторических данных, предлагается применить модель временного ряда с экспоненциальным сглаживанием. Для этого определяется как скользящее среднее между средним сроком службы и наиболее ранним значением (1).

$$Y_t^* = \alpha Y_{t-1} + (1 + \alpha) Y_{t-1}^*, \quad (1)$$

где Y_t^* – прогнозируемое значение; α – коэффициент сглаживания; Y_{t-1}^* – фактические данные предыдущего периода срока службы детали узла, предоставляемые сервисной службой.

Рассчитаем предыдущий прогноз для электрода РСО2 по формуле (1), при условии, что $\alpha = 0,75$:

$$Y_t^* = 0,75 \cdot 740 + (1 + 0,75) \cdot 622 = 711. \quad (2)$$

Последний срок службы электрода РСО2 равен:

$$Y_t^* = 0,75 \cdot 740 + (1 + 0,75) \cdot 679 = 725. \quad (3)$$

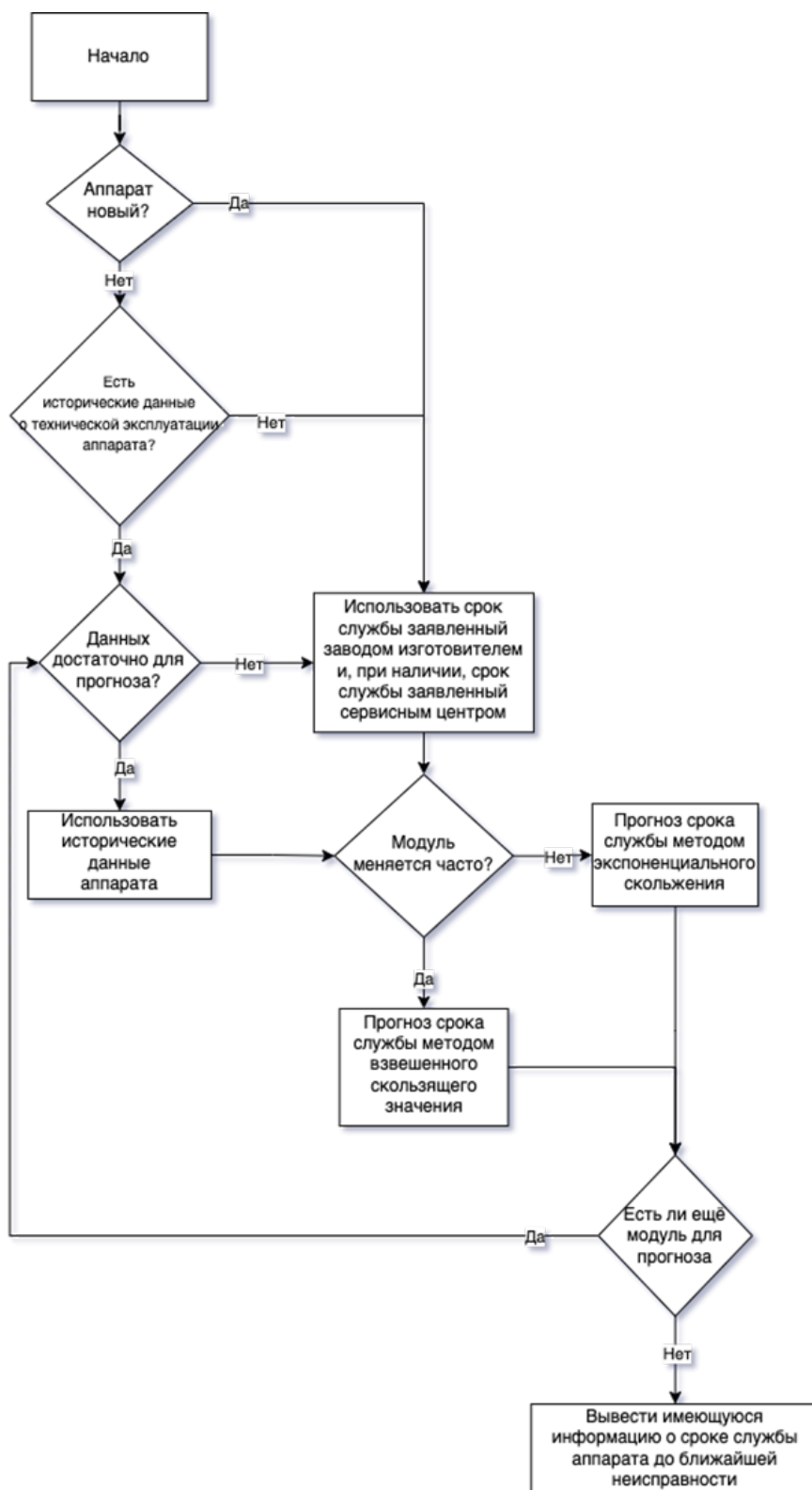


Рис. 4. Алгоритм прогноза
 Fig. 4. The forecast algorithm

Относительная ошибка реального последнего срока службы и прогнозируемого методом экспоненциального сглаживания значения равна 0,5 %. Прогнозом высокой точности является прогноз с погрешностью до 5 %. От 5 до 10 % прогноз является допустимым.

Этот метод можно применить к остальным значениям электродов. Результаты расчётов представлены в табл. 1.

Результаты прогноза методом экспоненциального сглаживания

Table 1

Forecast results using exponential smoothing method

Название деталей	Средний срок работы, дней	Прогноз срока службы t , дней	Срок службы контроль t , дней	Относительная ошибка, %
Электрод Лас	365...1095	1041	1103	5
Электрод GLU	365...1460	1443	1489	3
Электрод REF	730...1095	1108	1150	3
Электрод рН	365...730	797	810	2
Электрод PCO2	365...730	740	721	0,5
Электрод Na+	365...730	707	716	1
Электрод SO2	365...1095	985	1010	1

Коэффициент, применяемый в экспоненциальном скользящем и равный 0,75, показал высокую точность прогноза. Для электрода типа PO2 точность прогноза срока службы может быть недостаточно высокой, так как он имеет мало исторических данных. Однако если мы будем анализировать больше электродов этого типа и получим больше исторических данных, то сможем повысить точность прогноза. Данный метод также может быть использован для других расходных материалов или модулей биотехнических систем, которые обладают относительно редкой заменой по сравнению с их общим сроком службы. Однако точность прогнозирования для таких систем может варьироваться.

В результате расчета получен прогноз на последнюю замененную деталь со средней относительной ошибкой не более пяти процентов. Выбилась из списка мембрана лактата, но у нас дискретность измерения 1 сутки. В табл. 2 показаны результаты прогноза методом взвешенного среднего скользящего.

Таблица 2

Результаты прогноза методом взвешенного среднего скользящего

Table 2

Forecast results using the weighted moving average method

Название	Срок службы $t-3$, дней	Срок службы $t-2$, дней	Срок службы $t-1$, дней	Прогноз срока службы t , дней	Срок службы контроль t , дней	Относительная ошибка, %
К+ эл-д	343	338	350	345	347	0,5
PCO2 мем.	45	51	48	48,3	46	5
Лас мем.	12	11	13	12,2	13	6,5
GLU мем.	42	45	44	43,9	43	2
PO2 мем.	50	47	55	46,6	48	3

В среднем относительная погрешность составляет 31,4 %. По словам медицинского персонала, анализатор газов крови и электролитов используется одинаково часто, при этом нет сезонных или трендовых изменений в использовании прибора.

Анализ количественных данных показывает явное превышение срока службы расходных деталей как при краткосрочном, так и при долгосрочном использовании.

Проектирование информационной системы. Архитектура системы состоит из интерфейса инженера и пользователя, модулей заявок, базы знаний и прогнозирования. Интерфейс представлен в виде чат бота. Правее мы видим бизнес-процесс, в котором он встроен. На рис. 5 представлена концептуальная модель информационной системы.

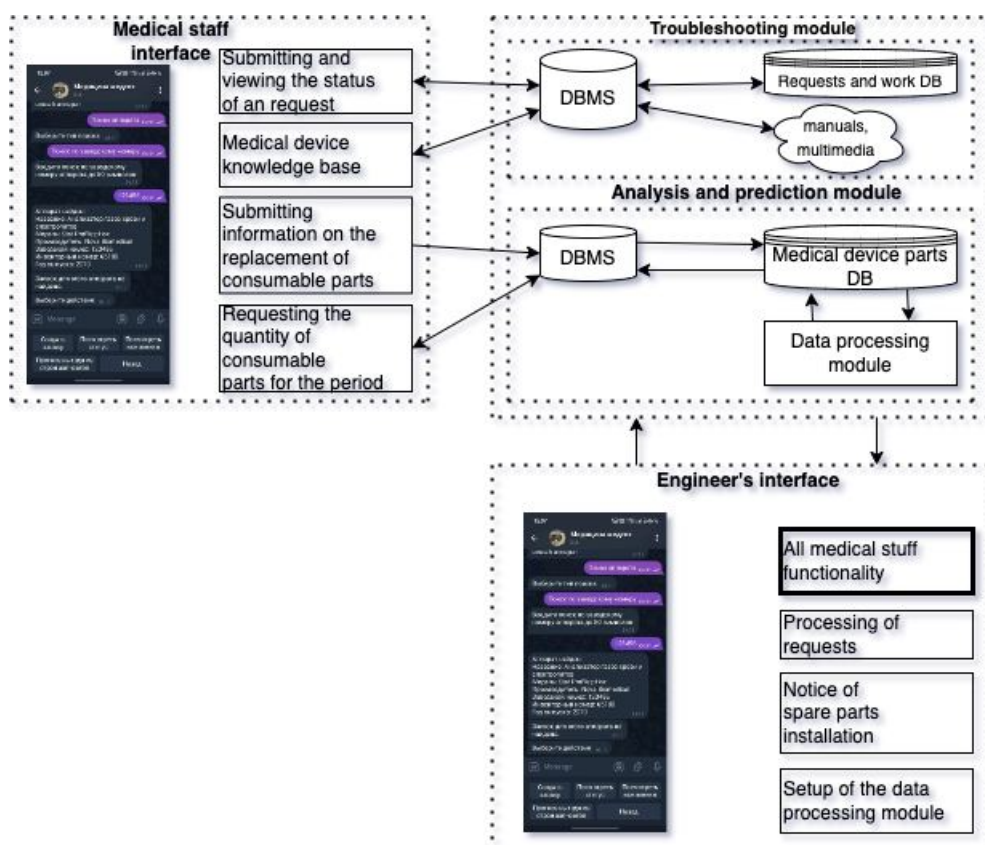


Рис. 5. Концептуальная модель информационной системы
Fig. 5. The conceptual model of the information system

Основная часть АИС представляет из себя совокупность модулей подачи заявок для диагностики и ремонта медицинского оборудования, базы знаний с пользовательскими материалами, модуль анализа и прогнозирования срока службы установленных запасных частей [14, 15].

Среда разработки Rucharm поддерживает дополнительные инструменты, необходимые для добавления нового аппарата и меню поиска аппарата с подачей заявки на ремонт. Работа методов, в зависимости от типа оборудования. Использовались библиотеки для прогнозирования, для работы с Telegram Messenger и библиотека для SQL базы данных [16, 17].

Результаты исследования показали, что программная реализация информационной системы и модуля прогнозирования, апробация в условиях ЛПУ АО «Медицина», включающая модель прогноза срока службы деталей анализатора РНОХ Plus, оказалась эффективна. В результате удалось скорректировать в меньшую сторону закупку расходных частей на 4-й квартал 2023 года. Заявки на ремонт, поданные через чат-бот, оказались намного информативнее и точнее других способов информирования.

Список источников:

1. Проблемы обеспечения работоспособности медицинского оборудования в условиях модернизации здравоохранения / И.Г. Новокрещёнов, А.Н. Островский, И.В. Новокрещёнов, Е.П. Ковалёв / Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2013. – Т. 3. – № 12.
2. Проблемы обеспечения работоспособности медицинского оборудования в условиях модернизации здравоохранения / Новокрещёнова И.Г. и др. // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – Общество с ограниченной ответственностью «Наука и инновации». – 2013. – Т. 3. – №. 12. – С. 1343-1347.

References:

1. Novokreshchenov I.G., Ostrovsky A.N., Novokreshchenov I.V., Kovalev E.P. Problems of Ensuring the Operability of Medical Equipment in the Context of Healthcare Modernization. Bulletin of Medical Internet Conferences. 2013;3:12.
2. Novokreshchenov IG, et al. Problems of Ensuring the Operability of Medical Equipment in the Context of Healthcare Modernization. Bulletin of Medical Internet Conferences. Science and Innovations LTD. 2013;3(12):1343-1347.

3. Анализ удовлетворенности пациентов доступностью и качеством медицинской помощи в сельском здравоохранении региона / Еремина М.Г. и др. // Эффективный менеджмент здравоохранения: стратегии инноваций. – 2022. – С. 91.
4. Морозов А.И., Рыков В.В. Обслуживание и ремонт медицинской техники. – М.: Медицина, 2018. – 328 с.
5. Батурин Ю.Н., Котов В.А. Медицинская техника и технологии. – СПб.: Питер, 2020. – 384 с.
6. Сидоров И.В. Техническое обслуживание медицинской техники: проблемы и перспективы // Медицинская техника. – 2019. – № 4. – С. 3-8.
7. Сергеев А.А., Шумилов В.М. Современные подходы к ремонту и обслуживанию медицинской техники // Технологии и инновации. – 2017. – №6. – С. 56-62.
8. Попов П.А., Кузнецов А.А. Стандартизация и сертификация медицинской техники. – М.: Медицина, 2019. – 480 с.
9. Мировые тренды цифровой трансформации отрасли здравоохранения / П.С. Пугачев, А.В. Гусев, О.С. Кобякова и др. // Национальное здравоохранение. – 2021. – Т. 2. – № 2. – С. 5-12.
10. Кузнецов О.Ю. Соловьев Н.А. Актуальные проблемы и пути решения организации технического обслуживания и ремонта медицинского оборудования // Шаг в науку. – 2020. – №4.
11. Амоян Э.Ф., Калинина В.А. Оптимизация использования медицинского оборудования в лечебно-профилактических учреждениях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №11 (4). – С. 590-591.
12. Shumak K.D. Mathematical methods forecasting failures of medical equipment // Scientific review. Technical sciences. – 2017. – №1. – С. 99-101.
13. Ван Квонг Сай, Щербakov М.В. Метод прогнозирования остаточного ресурса на основе обработки данных многообъектных сложных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – №1 (45). – С. 33-44.
14. Shevchenko I.V., Ershov A.P. Some models of time series analysis and prediction // System Informatics. – 2013. – № 2.
15. Егоров Д.Б., Захаров С.Д., Егорова А.О. Современные методы анализа и прогнозирования временных рядов и их применение в медицине. – 2020. – №1.
16. Управление медицинским оборудованием при разработке электронного журнала его технического обслуживания / Л.А. Басова, Н.О. Лабутина, М.Н. Аликберова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №5 (119).
17. Иванов И.В., Астапенко Е.М. Обеспечение безопасности обращения медицинских изделий в медицинской организации // Вестник Росздравнадзора. – 2018. – №1. – С.105-109.
3. Eremina MG, et al. Analysis of Patient Satisfaction With the Availability and Quality of Medical Care in Rural Healthcare of the Region. In: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference on Effective Healthcare Management: Innovation Strategies: 2022. p. 91.
4. Morozov A.I., Rykov V.V. Maintenance and Repair of Medical Equipment. Moscow: Medicine; 2018.
5. Baturin Yu.N., Kotov V.A. Medical Equipment and Technologies. Saint Petersburg: Piter; 2020.
6. Sidorov I.V. Medical Equipment Maintenance: Problems and Prospects. Biomedical Engineering. 2019;4:3-8.
7. Sergeev A.A., Shumilov V.M. Modern Approaches to Repair and Maintenance of Medical Equipment. Technologies and Innovations. 2017;6:56-62.
8. Popov P.A., Kuznetsov A.A. Standardization and Certification of Medical Equipment. Moscow: Medicine; 2019.
9. Pugachev PS, Gusev AV, Kobyakova OS, et al. Global Trends in the Digital Transformation of the Healthcare Industry. National Health Care (Russia). 2021;2(2):5-12.
10. Kuznetsov O.Yu. Soloviev N.A. Actual Problems and Solutions to the Organisation of Maintenance and Repair of Medical Equipment. Step to Science. 2020;4.
11. Amoyan E.F., Kalinina V.A. Optimization of the Use of Medical Equipment in Medical institutions. International Journal of Applied and Basic Research. 2016;11(4):590-591.
12. Shumak K.D. Mathematical Methods Forecasting Failures of Medical Equipment. Scientific Review. Technical Sciences. 2017;1:99-101.
13. Sai V.K., Shcherbakov M.V. Method for Predicting the Residual Resource Based on Processing Data From Multi-Object Complex Systems. Caspian Journal: Management and High Technologies. 2019;1(45):33-44.
14. Shevchenko I.V., Ershov A.P. Some Models of Time Series Analysis and Prediction. System Informatics. 2013;2.
15. Egorov D.B., Zakharov S.D., Egorova A.O. Modern Methods of Analysis and Forecasting of Time Series and Use in Medicine. 2020;1.
16. Basova LA, Labutina NO, Alikberova MN, et al. Management of Medical Equipment in Development of Electronic Journal of its Maintenance. International Research Journal. 2022;5(119).
17. Ivanov I.V., Astapenko E.M. Provision of Medical Products Circulation Safety in a Medical Organization. Vestnik Roszdravnadzora. 2018;1:105-109

Информация об авторах:

Нестерова Елена Викторовна

кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических наук Белгородского государственного национального исследовательского университета

Игрунова Светлана Васильевна

кандидат социологических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических наук Белгородского государственного национального исследовательского университета

Григоренко Иван Николаевич

магистр направления подготовки 12.04.04 Белгородского государственного национального исследовательского университета

Ивашук Дарья Александровна

магистр направления подготовки 09.04.03 Белгородского государственного национального исследовательского университета

Нестеров Валерий Георгиевич

Кандидат медицинских наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин Белгородского государственного национального исследовательского университета

Калюжная Елена Вячеславовна

кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков и профессиональной коммуникации Белгородского государственного национального исследовательского университета

Information about the authors:

Nesterova Elena Viktorovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Information and Robotics Sciences of Belgorod National Research University

Igrunova Svetlana Vasilievna

Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor at the Department of Information and Robotics Sciences of Belgorod National Research University

Grigorenko Ivan Nikolaevich

Master of the training direction 12.04.04 of Belgorod National Research University

Ivashchuk Darya Alexandrovna

Master of the training direction 09.04.03 of Belgorod National Research University

Nesterov Valery Georgievich

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Medical and Biological Disciplines of Belgorod National Research University

Kalyuzhnaya Elena Vyacheslavovna

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Foreign Languages and Professional Communication of Belgorod National Research University

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

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

Статья поступила в редакцию 30.04.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 02.06.2024.

The article was submitted 30.04.2024; approved after reviewing 13.05.2024; accepted for publication 02.06.2024.

Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.