
МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-181-200>



УДК 614.8:078.351

Система поддержки принятия решений при прогнозировании и диагностике эндометрита в послеродовом периоде

В. В. Аксёнов¹✉, С. П. Серегин¹, С. А. Громыко¹,
С. В. Петров², А. В. Хардигов^{2,3}, А. С. Петрова³

¹Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

²Клинический медицинский центр «Доктор Петров»
ул. Павлуновского, д. 114, г. Курск 305040, Российская Федерация

³Курский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск 305041, Российская Федерация

✉ e-mail: aksenchik777@gmail.com

Резюме

Целью исследования является разработка системы поддержки принятия решений для врача-гинеколога, основанной на синтезированных прогностических и диагностических решающих правилах, которая будет использована при диагностике и прогнозировании послеродового эндометрита.

Методы. При разработке системы поддержки принятия решений был использован следующий инструментарий: медицинская статистика, методы разработки экспертных систем, теория принятия решений и методы распознавания образов. Для обработки и анализа медицинских данных, а также для проверки решающих диагностических правил применялись такие инструменты для статистического анализа данных, как Excel и Statistica. Для оценки риска послеродового эндометрита и его диагностики включен 31 признак, ранжированный по степени их информативности. Эти данные использованы в качестве основы для разработки алгоритма прогнозирования риска развития послеродового эндометрита в системе поддержки принятия решений.

Результаты. Применение разработанных диагностических решающих правил на клинически репрезентативном материале показало диагностическую эффективность $0,96 \pm 0,02$. Разработанная экспертная система может эффективно применяться в клинических условиях. Также возможно использование данной экспертной системы в учебном процессе при подготовке медицинских работников.

Заключение. Учет факторов риска, интеграция данных из различных источников, использование прогностических моделей и формирование индивидуальных рекомендаций по лечению и профилактике – все это ключевые аспекты, которые должны быть учтены при разработке такой системы. Внедрение подобной системы в клиническую практику может значительно улучшить качество диагностики и лечения послеродового эндометрита, снизить риск осложнений и улучшить исходы для пациенток.

© Аксёнов В. В., Серегин С. П., Громыко С. А., Петров С. В., Хардигов А. В., Петрова А. С., 2025

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; прогнозирование; диагностика; послеродовой эндометрит.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Система поддержки принятия решений при прогнозировании и диагностике эндометрита в послеродовом периоде / В. В. Аксёнов, С. П. Серегин, С. А. Громыко, С. В. Петров, А. В. Харди́ков, А. С. Петрова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 3. С. 181–200. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1536-2025-15-3-181-200](https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-181-200)

Поступила в редакцию 05.07.2025

Подписана в печать 04.08.2025

Опубликована 30.09.2025

Decision support system for prediction and diagnosis of endometritis in the postpartum period

Vitaliy V. Aksenov¹✉, Stanislav P. Seregin¹, Svetlana A. Gromiko¹,
Sergey V. Petrov², Aleksandr V. Khardikov^{2,3}, Arina S. Petrova³

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Dr. Petrov Clinical Medical Center
114 Pavlunovsky Str., Kursk 305040, Russian Federation

³ Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
3 K. Marx Str., Kursk 305041, Russian Federation

✉ e-mail: aksenchik777@gmail.com

Abstract

The purpose of the research is to develop a decision support system for gynecologists, based on synthesized prognostic and diagnostic decision rules, which will be used in the diagnosis and prognosis of postpartum endometritis.

Methods. The following tools were used in the development of the decision support system: medical statistics, expert system development methods, decision theory, and pattern recognition methods. Such tools for statistical data analysis as Excel and Statistica were used to process and analyze medical data, as well as to verify crucial diagnostic rules. To assess the risk of postpartum endometritis and its diagnosis, 31 signs are included, ranked according to their degree of informativeness. These data were used as the basis for the development of an algorithm for predicting the risk of developing postpartum endometritis in a decision support system.

Results. The application of the developed diagnostic decision rules on clinically representative material showed a diagnostic effectiveness of $0,96 \pm 0,02$. The developed expert system can be effectively applied in clinical conditions. It is also possible to use this expert system in the educational process when training medical professionals.

Conclusion. Consideration of risk factors, integration of data from various sources, the use of prognostic models and the formation of individual recommendations for treatment and prevention are all key aspects that should be taken into account when developing such a system. The introduction of such a system into clinical practice can significantly improve the quality of diagnosis and treatment of postpartum endometritis, reduce the risk of complications and improve patient outcomes.

Keywords: decision support system; forecasting; diagnosis; postpartum endometritis.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Aksenov V.V., Seregin S.P., Gromiko S.A., Petrov S.V., Khardikov A.V., Petrova A.S. Decision support system for prediction and diagnosis of endometritis in the postpartum period. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(3):181–200. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-181-200>

Received 05.07.2025

Accepted 04.08.2025

Published 30.09.2025

Введение

В настоящее время сепсис и септический шок занимают четвертое место в мире в структуре материнской смертности (Клинические рекомендации МЗ РФ «Септические осложнения в акушерстве») [1]. В 90–95% случаев причиной сепсиса и шока является послеродовой эндометрит (ПЭ), который остается одной из наиболее распространенных форм послеродовой инфекции [2]. Частота ПЭ варьируется в зависимости от типа родов: после самопроизвольных родов она составляет 1–5%, после патологических родов – 15–20%, а после кесарева сечения – более 20% [3]. У женщин с высоким инфекционным риском частота ПЭ может достигать 80,4% [4]. В случаях сочетания нескольких факторов риска вероятность развития ПЭ возрастает до 91% [5]. Достаточно часто латентный период на начальном этапе ПЭ протекает под видом лохиометры или субинволюции матки, и только когда процесс выходит за рамки локальной инфекции, начинаются героические усилия по спасению жизни матери [6]. Эти данные подчеркивают масштаб проблемы и необходимость поиска новых подходов к ее решению [7].

В контексте этих вызовов разработка системы поддержки принятия решений (СППР) для прогнозирования послеродового эндометрита представляется крайне актуальной [8]. Такая система могла бы интегрировать данные о множестве факторов риска, включая анамнез пациентки, особенности течения беременности и родов, состояние иммунной системы [9], а также микробиологические и клинические показатели [10]. Это позволило бы не только более точно оценивать индивидуальный риск развития ПЭ [11], но и разрабатывать персонализированные стратегии профилактики и лечения [12].

Целью исследования является разработка системы поддержки принятия решений при прогнозировании и диагностике эндометрита в послеродовом периоде на основе синтезированных прогностических и диагностических решающих правил.

Материал и методы

Для реализации цели использованы методы теории принятия решений, теории распознавания образов, разработка экспертных систем (ЭС) и медицинская статистика, принципы самоорганизации моделирования. В качестве инструментария

разведочного анализа и верификации решающих диагностических правил применялись пакеты Excel и Statistica. Учитывая то, что в качестве математического инструментария были выбраны модели, основанные на нечеткой принадлежности, было решено использовать универсальную программную платформу, разработанную на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ [13]. За основу взята экспертная система оценки риска возникновения и развития тромбоза [14]. Данная система адаптирована для прогнозирования ПЭ и внедряется в Клинический медицинский центр «Доктор Петров».

Для оценки риска ПЭ и его диагностики включен 31 признак, ранжированный по степени их информативности. Эти данные использованы в качестве основы для разработки алгоритма прогнозирования риска развития ПЭ в системе поддержки принятия решений. Система может автоматически рассчитывать суммарный балл риска на основе данных, введенных врачом, и выдавать рекомендации по дальнейшему наблюдению или лечению. Например, при высоком риске развития ПЭ система может рекомендовать более частый мониторинг состояния пациентки.

Каждый из 31 признаков имеет свой диагностический коэффициент, отражающий степень его влияния на риск развития ПЭ. Эти признаки охватывают различные аспекты здоровья женщины, анамнез, течение беременности, клинику родов и послеродового периода.

Подробно рассмотрим каждый из этих признаков и их диагностические коэффициенты.

Анамнестические данные

1. Возраст матери:

- до 19 лет: +1 балл;
- 20–24 года: 0 баллов;
- 25–29 лет: +2 балла;
- 30 лет и более: +2 балла.

Возраст матери, особенно младше 19 или старше 30 лет, может быть фактором риска.

2. Семейное положение пациентки:

- замужем: 0 баллов.
- не замужем: +4 балла.

Незамужние женщины могут иметь повышенный риск ПЭ.

3. Образование:

- высшее: 0 баллов;
- незаконченное высшее: 0 баллов;
- среднее специальное: +1 балл;
- среднее (незаконченное среднее): +2 балла.

Низкий уровень образования может быть связан с повышенным риском ПЭ.

4. Срок взятия на учет по беременности:

- до 12 недель: 0 баллов;
- 13 до 22 недель: +1 балл;
- 22 и более недель: +12 баллов.

Позднее взятие на учет по беременности увеличивает риск ПЭ.

5. Паритет:

- первые роды: 0 баллов;
- вторые роды: +1 балл;
- третьи роды и более: +2 балла.

Последующие роды могут быть связаны с повышенным риском ПЭ.

6. Количество беременностей:

- первая: +1 балл;
- вторая: +2 балла;
- третья и более: +2 балла.

Многократные беременности могут увеличивать риск ПЭ.

7. Возраст начала половой жизни:

- до 17 лет: +4 балла;
- 18 лет и старше: –2 балла.

Раннее начало половой жизни может быть связано с повышенным риском инфекций.

8. Аборты (медицинские или самопроизвольные) в анамнезе:

- не было: 0 баллов;
- один: +3 балла;
- два и более: +7 баллов.

Наличие абортов в анамнезе увеличивает риск ПЭ.

9. Сопутствующие экстрагенитальные заболевания:

- без сопутствующих экстрагенитальных заболеваний: 0 баллов;
- болезни мочевыводящих путей: +4 балла;
- болезни системы кровообращения: +4 балла;
- болезни эндокринной системы: +6 балла;
- отягощенный аллергический анамнез: +6 баллов;
- заболевания органов дыхания: +2 балла;
- ОРВИ, грипп и другие инфекции во время беременности: +8 баллов;
- два и более сопутствующих экстрагенитальных заболеваний: +7 баллов.

Наличие хронических заболеваний, особенно аллергических и эндокринологических, а также ОРВИ, гриппа повышает риск ПЭ в послеродовом периоде.

10. Сопутствующие генитальные заболевания:

- нет сопутствующих генитальных заболеваний: 0 баллов;
- два и более заболеваний: +4 балла;
- патология шейки матки: +1 балл;
- воспалительные заболевания влагалища, вагинальный дисбиоз: +2 балла;
- миома матки: +1 балл.

Наличие генитальных заболеваний, особенно инфекционно-воспалительных, увеличивает риск ПЭ.

Течение беременности**1. Осложнения беременности:**

- без осложнений: 0 баллов;
- два и более осложнений: +2 балла;
- угроза прерывания беременности: +1 балл;
- гестационный пиелонефрит: +6 баллов;
- вагинит или вагинальный дисбиоз: +2 балла;
- анемия: +3 балла;
- преэклампсия: +3 балла;
- хроническая гипоксия плода: +10 баллов;
- многоводие: +12 баллов;
- признаки внутриутробного инфицирования (примеси в околоплодных водах) +10 баллов.

Осложнения беременности, особенно хроническая гипоксия плода, многоводие и внутриутробное инфицирование значительно повышают риск ПЭ.

2. Психосоматический статус:

– оптимальный тип психологического компонента гестационной доминанты (ОТПКГД): 0 баллов;

– другие типы ПКГД: +1 балл.

Психологическое состояние матери может влиять на риск развития ПЭ.

3. Расположение плаценты:

– на передней стенке матки: +1 балл;

– на задней стенке матки: +1 балл;

– локализация плаценты в области дна матки: 0 баллов;

– предлежание плаценты (низкая плацентация): +8 баллов.

Расположение плаценты может влиять на риск воспалительных процессов в матке. Максимальный риск ПЭ при предлежании плаценты.

4. Инвазивные диагностические манипуляции (амниоцентез, хорион- и плацентобиопсия, кордоцентез) или оперативные вмешательства (аппендэктомия и т. д.) во время беременности:

– диагностические манипуляции: +12 баллов;

– оперативные вмешательства: +10 баллов.

Инвазивные диагностические манипуляции значительно увеличивают риск ПЭ.

Течение родов**1. Срок родов:**

– преждевременные: +12 баллов;

– срочные: 0 баллов;

– запоздалые: +12 баллов.

Преждевременные и запоздалые роды значительно повышают риск ПЭ.

2. Осложнения во время родов:

– без осложнений: 0 баллов;

– два и более осложнений: +8 баллов;

– аномалии родовой деятельности: +6 баллов;

– острая гипоксия плода: +4 балла;

– индуцированные роды: +6 баллов;

– хориоамнионит (эндометриит) в родах: +12 баллов.

Эти признаки указывают на то, что осложнения во время родов, особенно множественные, значительно увеличивают риск развития ПЭ.

3. Кратность влагалищных исследований во время родов:

– 4 и более: +12 баллов;

– 3 и менее: +1 балл.

Частые влагалищные исследования во время родов могут способствовать инфицированию и повышать риск ПЭ.

4. Длительность безводного периода:

– менее 6 часов: +2 балла;

– 6 и более часов: +5 баллов;

– более 12 часов: +8 баллов.

Длительный безводный период увеличивает риск инфицирования матки.

5. Гипертермия в родах:

– до 37,5: +2 балла;

– выше 37,5: +4 балла.

Гипертермия в родах повышает риск развития ПЭ.

6. Характер околоплодных вод:

– светлые: 0 баллов;

– воды с меконием: +6 баллов;

– воды с меконием и неприятным запахом: +10 баллов.

Отхождение вод с меконием и наличием неприятного запаха связано с высоким риском ПЭ.

7. Повреждения мягких родовых путей:

- без повреждений: +0 баллов;
- разрыв шейки матки +8 баллов;
- разрыв стенок влагалища: +1 балл;
- разрыв промежности: +8 баллов;
- множественная травма мягких родовых путей: +10 баллов.

Травмы родовых путей, особенно разрыв шейки матки 2-3 степени и множественные травмы родового канала, значительно повышают риск ПЭ.

8. Продолжительность родов:

- быстрые: +8 баллов;
- стремительные: +12 баллов;
- затяжные: +12 баллов;
- нормальные: +1 балл.

Как стремительные, так и затяжные роды увеличивают риск развития ПЭ.

9. Оперативные вмешательства во время родов и раннем послеродовом периоде:

- без вмешательства: 0 баллов;
- ручное или инструментальное обследование полости матки: +12 баллов;
- кесарево сечение по экстренным показаниям: +10 баллов;
- подготовка к родам (индукция) с помощью катетера Фолея: +10 баллов.

Оперативные вмешательства, особенно ручное обследование полости матки, значительно повышают риск ПЭ.

10. Объем кровопотери во время родов:

- до 0,5% массы тела: +1 балл;
- более 0,5% массы тела: +3 балла;
- массивная кровопотеря (более 1 л): +6 баллов.

Патологическая (более 0,5% от массы тела) кровопотеря увеличивает риск ПЭ.

11. Площадь поверхности плаценты:

- до 359 см²: +2 балла;
- от 360 до 389 см²: +3 балла;
- 390 и более см²: +6 баллов.

Увеличенная площадь плаценты может быть связана с повышенным риском воспалительных процессов.

12. Характеристика плода: масса, количество:

- до 2999 г: +1 балл;
- 3000 г до 3999 г: +1 балл;
- 4000 г и больше: +4 балла;
- многоплодная беременность: +12 баллов.

Крупный плод и многоплодная беременность повышают риск ПЭ.

Течение послеродового периода

1. Расширение полости матки (лохиометра) по данным УЗИ на 3-и и 4-е сутки после родов:

- до 8 мм: +9 баллов;
- 9 и более мм: +9 баллов;
- остатки плацентарной ткани: +14 баллов.

Расширение полости матки после родов может указывать на задержку лохий и повышать риск развития ПЭ, остатки плацентарной ткани значительно увеличивают риск ПЭ.

2. Уровень гемоглобина (послеродовая анемия):

- 89 и менее г/л: +12 баллов;
- от 90 до 99 г/л: +6 баллов;
- от 100 до 109 г/л: +4 балла;
- 110 и выше г/л: +1 балл.

Анемия после родов является значительным фактором риска ПЭ.

3. Заболевания новорожденных воспалительного генеза:

- да: +5 баллов;
- нет: 0 баллов.

Заболевания новорожденных воспалительного генеза могут указывать на инфекционные процессы у матери.

4. Совместное пребывание матери и ребенка после родов:

- да: 0 баллов;
- нет: +6 баллов.

Отсутствие совместного пребывания может быть связано с осложнениями у матери.

5. Изменение количества лейкоцитов в периферической крови:

- отсутствие лейкоцитоза: 0 баллов;
- лейкоцитоз до $10 \cdot 10^9/\text{л}$: + 4 балла;
- лейкоцитоз до $15 \cdot 10^9/\text{л}$: + 8 баллов;
- лейкоцитоз выше $20 \cdot 10^9/\text{л}$: + 10 баллов.

Выраженный лейкоцитоз или лейкопения свидетельствуют о высоком риске ПЭ.

6. Субинволюция матки после родов:

- отсутствие субинволюции: +1 балл;
- наличие субинволюции: +9 баллов.

Субинволюция матки свидетельствует о высоком риске развития ПЭ.

Диагностические коэффициенты оцениваются в динамике: сначала во время беременности, затем к ним добавляются коэффициенты факторов, оцениваемых во время родов, и далее – в

послеродовом периоде. Таким образом, риск ПЭ может как возрастать, так и снижаться.

Сумма диагностических коэффициентов позволяет оценить риск развития ПЭ:

- сумма до +9 баллов: отсутствие риска (ω_0);
- сумма от +10 до +14 баллов: низкий риск ($\omega_{\text{нр}}$);
- сумма от +15 до +19 баллов: средний риск ($\omega_{\text{ср}}$);
- сумма +20 и более баллов: высокий риск ($\omega_{\text{вр}}$).

Эти данные могут быть интегрированы в систему поддержки принятия решений для автоматической оценки риска ПЭ у каждой пациентки на основе введенных данных.

Результаты и их обсуждение

Для эффективной работы системы поддержки принятия решений необходимо выполнить интеграцию данных из различных источников, таких как электронные медицинские карты, результаты лабораторных и инструментальных исследований, а также информацию о факторах риска. Назначение разработанной системы заключается в проведении анализа полученных данных в реальном времени и предоставлении врачу актуальных рекомендаций. Например, при поступлении новой информации о состоянии пациентки (например, результаты анализа крови или УЗИ) система должна автоматически обновлять получившиеся рекомендации.

На первом этапе проектирования СППР экспертной системы прогнозирования риска возникновения ПЭ было определено ее место и роль в

клиническом процессе – в первом приближении представлено информационно-аналитической моделью (рис. 1).

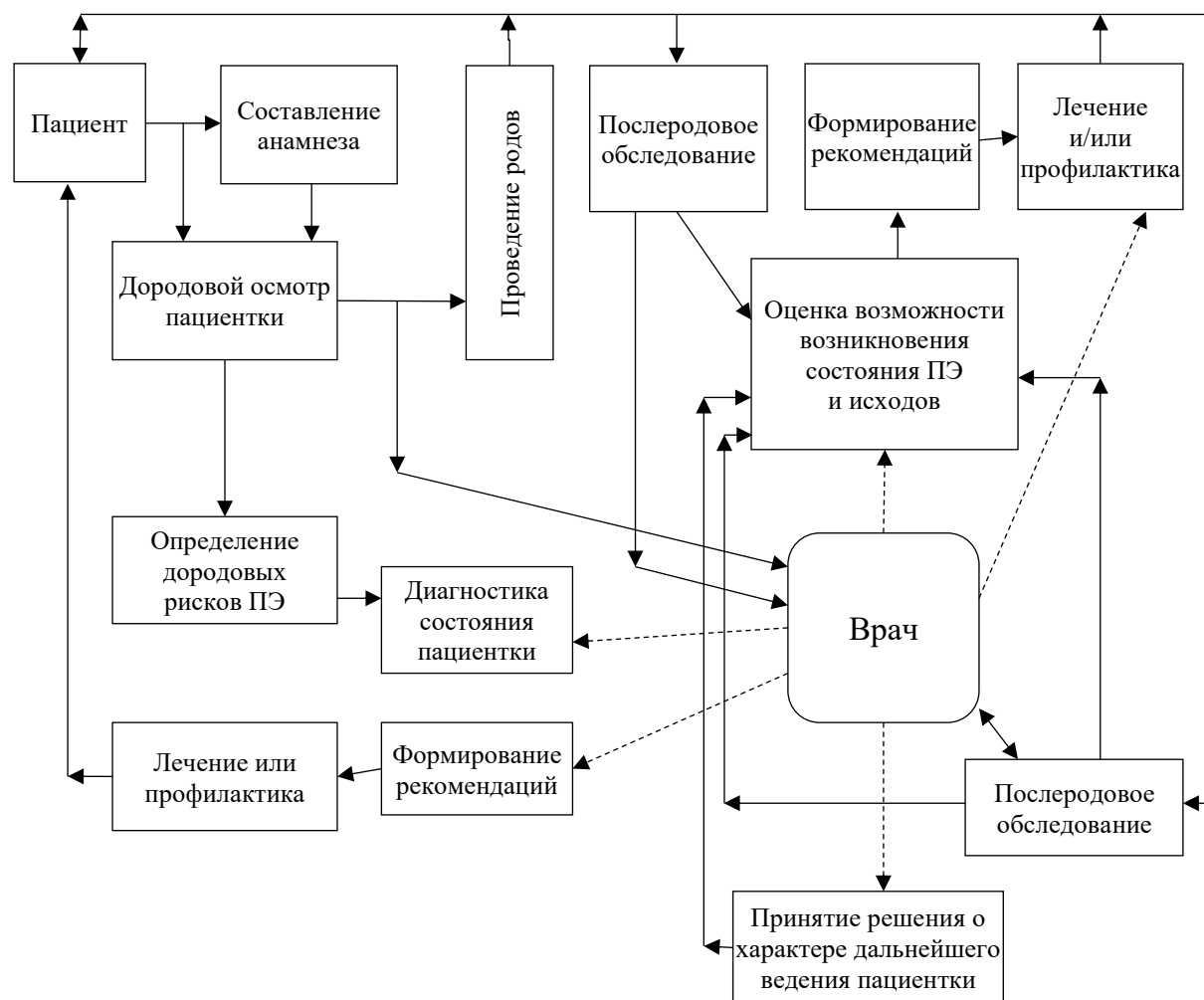


Рис. 1. Информационно-аналитическая модель клинического процесса:
 ————— – информационные потоки; - - - - - – действия врача [15]

Fig. 1. Information and analytical model of the clinical process:
 ————— – information flows; - - - - - – doctor's actions [15]

Таким образом, формируя и анализируя анамнез и оценивая численные значения рисков ПЭ, по решающим правилам осуществляется прогнозирование различных форм ПЭ (ω_0 – отсутствие риска ПЭ; ω_{1np} – низкий риск; ω_{2cp} – средний риск; $\omega_{3вр}$ – высокий риск) [16].

После проведения терапевтических или профилактических мероприятий обязательно осуществляется контроль текущего состояния больной и прогнозируется риск возникновения ПЭ (и исходов протекания заболевания).

Архитектура программного обеспечения СППР (ЭС выделена штрихпунктирной линией) построена по классическому принципу и представлена ниже (рис. 2).

ЭС функционирует в трех режимах:

1) обучение (формирование базы знаний специалистами когнитологами);

2) формирование прогностического диагностического заключения о риске возникновения и развития ПЭ для лечащего врача;

3) импорт информации о состоянии пациента (выполняется медицинским работником – врачом, медсестрой, врачом-статистиком).

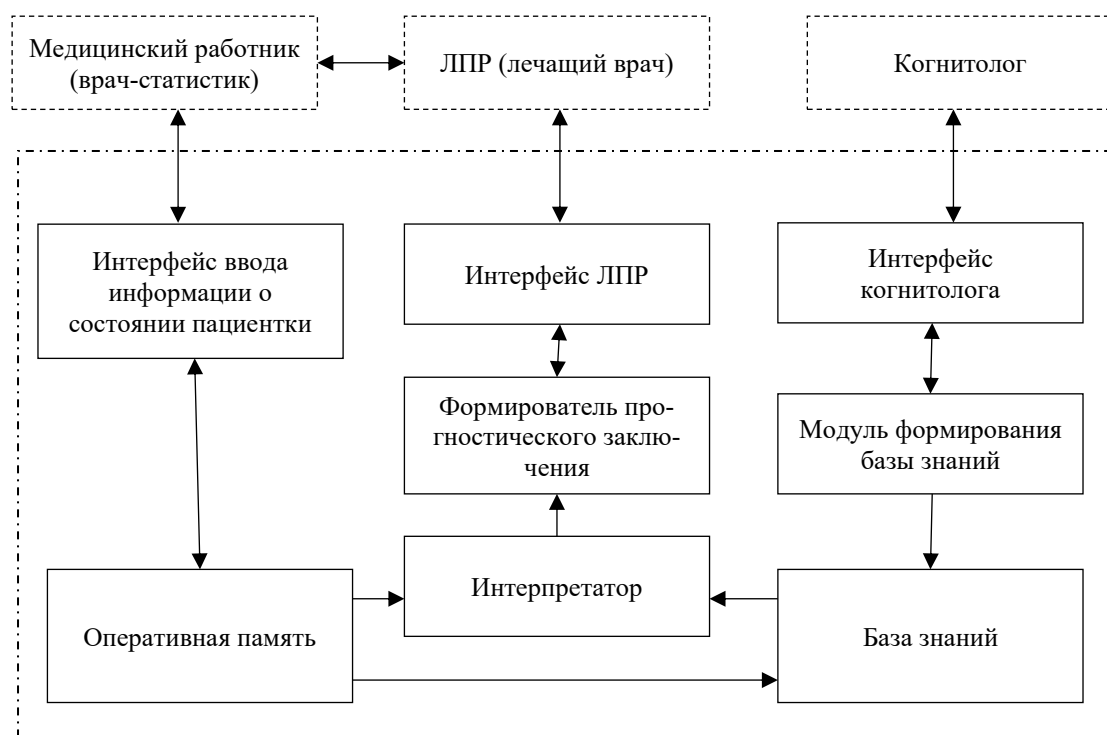


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения экспертной системы

Fig. 2. Software architecture of the expert system

В *оперативной памяти* ЭС осуществляется временное или постоянное (на усмотрение ЛПР) хранение информации, вводимой врачом (или иным медицинским работником) о состоянии больной. Эта информация формируется в процессах обследования и анализа анамнеза (включая «паспортные» данные). Из блока «Оперативная память» информация поступает в блок «База

знаний», если она применяется в дальнейшем для коррекции продукционных решающих правил (например, для изменения значений коэффициентов уверенности), или «*Интерпретатор*». В блоке «Интерпретатор» осуществляется сопоставление анализируемого состояния больной к одному из альтернативных кластеров: отсутствие риска, низкий риск, средний риск, высокий риск.

Анализируя значения коэффициентов уверенности, блок «Интерпретатор» упорядочивает идентифицированные кластеры по мере убывания коэффициентов и передает сформированный кортеж в блок «Формирования прогностического заключения».

Блок «Формирователь прогностического заключения» создает итоговое заключение о риске возникновения и вида исходов для лечащего врача, которое передается ему (в стандартизованном определенном виде) посредством инструментов «Интерфейса ЛПР». Предикативное итоговое включение формируется в виде

<информация о пациенте > (паспортная часть)

1. ЕСЛИ

$$(\text{Risk}_{\omega_{\text{вр}}} > \text{por}) \& (\text{Risk}_{\omega_{\text{вр}}} \geq \left(1 - \prod_{\text{ср}=1, l \neq \text{ср}}^L (1 - \text{Risk}_{\omega_{\text{ср}}})\right) \& \left(\sum_{\text{ср}=1, l \neq \text{ср}}^L (U_{\omega_{\text{ср}}}) \neq 0\right)),$$

ТО прогнозируется ПЭ типа овр с уверенностью $U_{\omega_{\text{вр}}}$.

Посредством блок «Модуль формирования базы знаний» вводятся: номера кластеров i (0, 1, 2, 3); пороговые значения риска соотнесения к кластеру – $\text{por } i$ (0, 1, 2, 3); коэффициенты уверенности $U_{\omega_{\text{ср}}}$ (определяются когнитологом на этапе обучения ЭС) и значения $\text{Risk}_{\omega_{\text{вр}}}$. Значения $\text{Risk}_{\omega_{\text{вр}}}$ определяются блоком «Интерпретатор» (табл. 1). Полученные значения показателей были уточнены на дополнительной выборке AnamFact клинически подтвержденного материала [2].

ПРОГНОЗ ПЭ

<источник информации> (данные анализа обследования или изучения анамнеза)

<риск> <коэффициент уверенности в прогнозе>

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ

<выздоровление> <коэффициент уверенности в прогнозе>

<летальный исход> <коэффициент уверенности в прогнозе>

В блоке «База знаний» разработанной экспертной системы применяются следующие структуры продукционных решающих правил (получены на обучающих репрезентативных выборках) [1].

Семантический смысл данного решающего правила следующий: состояние пациента относится к тому кластеру заболеваний (ω_i , $i = 0, 1, 2, 3$), для которого выполняются условия: значение коэффициента уверенности должно быть больше нуля ($U_i > 0$, $i = 0, 1, 2, 3$), вычисленные величины рисков превышают заданные пороговые значения (por_i , $i = 0, 1, 2, 3$), но при этом оказываются больше значения риска не соотнесения к остальным альтернативным вариантам кластеров ПЭ.

Таблица 1. Значения рисков и коэффициентов уверенности для выборки AnamFact**Table 1.** Risk values and confidence coefficients for the AnamFact sample

Кластер i	Риски	Коэффициенты уверенности
ω_0	$AnamRisk(w_0, an) = 0,88$	$U_{\omega_0} = 0,97$
$\omega_{1\text{ нр}}$	$AnamRisk(w_{\text{нр}}, an) = 0,91$	$U_{\omega_{1\text{ нр}}} = 0,93$
$\omega_{2\text{ ср}}$	$AnamRisk(w_{\text{ср}}, an) = 0,95$	$U_{\omega_{2\text{ ср}}} = 0,96$
$\omega_{3\text{ вр}}$	$AnamRisk(w_{\text{вр}}, an) = 0,81$	$U_{\omega_{3\text{ вр}}} = 0,92$

2. Если $Risk\ \omega_{\text{вр}} \geq Risk\ \omega_{\text{нр}}$,

ТО у больной возможен летальный исход с уверенностью $U_{\omega_{\text{вр}}}$,

ИНАЧЕ – прогнозируется выздоровление больной с уверенностью $U_{\omega_{\text{нр}}}$.

Параметры структуры $Risk\ \omega_{\text{вр}}$, $Risk\ \omega_{\text{нр}}$ и значения коэффициентов уверенности $U_{\omega_{\text{нр}}}$ и $U_{\omega_{\text{вр}}}$ определяются когнитологом на этапе обучения экспертной системы на дополнительной экзаменационной выборке.

Для признаков, полученных по результатам обследования пациента, применяется продукционное правило следующей конструкции:

3. ЕСЛИ ($Fin(\{XO\})_{\text{вр}}$),

ТО состояние больной соотносится к кластеру ПЭ с уверенностью $\omega_{\text{вр}}$ с уверенностью $U_{\omega_{\text{вр}}}(\{Osmt\})$.

Численные значения $U_{\omega_{\text{вр}}}(\{Osmt\})$ импортируются когнитологом в систему на этапе обучения.

Формулы $Fin(\{XO\})_{\text{вр}}$ представляют собой логические функции в дизъюнктивной нормальной форме и импортируются в виде текстовой строки (польская инверсная запись) «Интерпретатор».

Блок «Формирование базы знаний» настраивает или адаптирует параметры правил в блоке «Базе знаний» соотношением вводимых когнитологом параметров к определенным структурам альтернативных кластеров.

Работа экспертной системы инициализируется запуском HTML-файла. Затем в режиме дружественного интерфейса заполняются определенные формы путем ввода с клавиатуры значений или «флажка» присутствия/отсутствия определенных признаков (факторов риска) у больной.

Интерфейс ввода информации о состоянии больной включает две части – «Паспортную» и «Анамнестическую». «Паспортная часть» включает в себя: фамилию, имя, отчество, пол, дату рождения, номер медицинской карты, диагноз при поступлении, вид операции, дату поступления (формируется автоматически). «Анамнестическая часть» состоит из двух информационных блоков: анкета-опросник (по результатам анализа анамнеза) и присутствие/отсутствие определенного признака. При необходимости в процессе диалога с ЭС

пользователем осуществляется коррекция информации.

Интерфейс пользователя предназначен для работы ЭС с медицинским работником (врачом): формируется заключение о возможности возникновения или риска развития ПЭ и вариантов исхода (выздоровление или смерть) [10]. Оценивается и указывается уверенность в прогнозе. Врач, сравнивая альтернативные предложения, наблюдая за пациентом и на основании собственного опыта, принимает решение об определенной терапевтической или профилактической процедуре [11].

Обратная связь с системой реализуется «запросами» врача о различных вариантах формирования итогового заключения. Предусмотрен режим коррекции введенной ранее информации о состоянии пациента в блоке «Интерфейс ввода информации о пациенте» [17]. При использовании ЭС в режиме обучения или «проигрывание возможных ситуаций» с помощью ЭС рассматриваются различные варианты развития ситуации в послеоперационный период¹.

Блок «Интерфейс когнитолога» реализуется «Модуль формирования базы знаний» путем постепенного насыщения

базы знаний ЭС (БЗ) решающими диагностическими правилами продукционного типа [18]. Режимы работы когнитолога с ЭС позволяют осуществлять коррекцию введенных параметров правила, добавление и удаление правил [19], [20].

Выводы

Применение полученных диагностических решающих правил на клинически репрезентативном материале показало диагностическую эффективность $0,96 \pm 0,02$. Разработанная ЭС может эффективно применяться в клинических условиях. Также возможно использование данной ЭС в учебном процессе при подготовке медицинских работников.

Учет факторов риска, интеграция данных из различных источников, использование прогностических моделей и формирование индивидуальных рекомендаций по лечению и профилактике – все это ключевые аспекты, которые должны быть учтены при разработке такой системы. Внедрение подобной системы в клиническую практику может значительно улучшить качество диагностики и лечения послеродового эндометрита, снизить риск осложнений и улучшить исходы для пациенток.

¹ Серёгин С. П. Пути повышения эффективности патогенетически обоснованного лечения хронического простатита: дис. ... д-ра

мед. наук / Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова. СПб., 1997.

Список литературы

1. Неретин А. А., Петровский С. А. Медицинские экспертные системы поддержки принятия решений для клинических синдромов // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, 28 ноября 2018 г. Кемерово: ЗапСибНЦ, 2018. Т. 2. С. 106–108.
2. Dobrovolsky I. I., Artemenko M. V., Marentsov M. V. Features of synthesis of decisive rules for medical a smart of expert systems // Медико-экологические информационные технологии: сборник научных статей по материалам XXII Международной научно-технической конференции / под редакцией Н. А. Кореневского; Юго-Западный государственный университет. Курск, 2019. С. 63–71.
3. Создание математических моделей при помощи многомерного регрессионного анализа по скринингу диабетической ретинопатии / Т. И. Якунченко, С. П. Серегин, Л. В. Шульга, О. А. Кныш, Г. В. Сипливый, Д. Р. Шмарова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2024. Т. 23, № 4. С. 200–205. <https://doi.org/10.36622/1682-6523.2024.23.4.025>
4. Совершенствование диагностики острого эндометрита на основе моделирования и кластерного анализа параметров местного иммунитета / Н. М. Агарков, О. В. Головченко, В. В. Аксёнов [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. 2018. Т. 63, № 4. С. 239–242. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-4-239-242>
5. Аксёнов В. В. Диагностика и классификация больных острым эндометритом на основе дискриминантного анализа и информативных диагностических симптомов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 4(17). С. 93–98.
6. Рационализация дифференциальной диагностики рака яичников и хронического сальпингоофорита по параметрам дезинтеграции и сетевого моделирования изменений кровотока в маточных и яичниковых артериях и венах / Н. М. Агарков, П. В. Ткаченко, В. В. Аксёнов [и др.] // Вопросы онкологии. 2017. Т. 63, № 5. С. 766–769. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-5-766-769>
7. Использование метода проточной цитометрии и диагностически значимых показателей системного клеточного иммунитета для диагностики острого эндометрита / Н. М. Агарков, К. Ф. Макконен, В. В. Аксёнов [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62, № 9. С. 563–567. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2017-62-9-563-567>

8. Рационализация лабораторной диагностики острого сальпингоофорита по информативным параметрам гуморального иммунитета / Н. М. Агарков, В. Н. Агаркова, В. В. Аксёнов [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62, № 11. С. 690–693. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2017-62-11-690-693>

9. Оценка функционального состояния и состояния здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша / А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, С. Н. Корневская, В. Я. Провоторов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 927–932. doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121

10. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно-насыщенных систем / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, И. И. Хрипина, М. А. Мясоедова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 105–116. <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.2.017>

11. Прогнозирование появления и развития гангрены нижних конечностей с использованием нечетких интеллектуальных технологий: монография / А. В. Быков, С. Н. Родионова, С. А. Пархоменко, Л. В. Стародубцева, И. И. Хрипина. Курск: Издательский дом ВИП, 2017. 420 с.

12. Developing a biotech scheme using fuzzy logic model to predict occurrence of diseases using person's functional state / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, A. A. Aikeyeva, A. A. Shaqadan, I. Maksim, S. N. Rodionova // International Journal of Computer Applications in Technology. 2020. Vol. 62, N 3. P. 257–267. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2020.106570>

13. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

14. Экспертная система оценки риска возникновения и развития тромбоэмболизма / М. В. Артеменко, В. И. Федянин, А. Н. Шуткин, Г. А. Квашнина // Интегративные тенденции в медицине и образовании. 2024. Т. 4. С. 9–16.

15. Метод комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков в условиях нечеткой структуры данных / Н. А. Корневский, В. В. Аксёнов, С. Н. Родионова, С. Н. Гонтарев, Л. П. Лазурина, Р. И. Сафронов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 3. С. 80–96. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>

16. Синтез моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний на основе гибридной нечеткой технологии / Р. И. Сафронов, К. В. Разумова, А. Ю. Рыбаков, А. В. Лях // Известия Юго-Западного государственного университета.

Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 3. С. 102–121. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>

17. Антиоксидантный статус и состояние местного иммунитета у больных хроническим простатитом / А. В. Новиков, С. П. Серегин, С. Г. Шестаков, М. Н. Шатохин // Человек и его здоровье. 2001. № 2. С. 50–53.

18. Fuzzy models of choice of prevention schemes for the occurrence and development of gangrene of the lower extremities / N. A. Korenevskiy, A. V. Bykov, R. T. Al-Kasasbeh, M. S. Alshamasin, S. N. Rodionova, I. Maksim, S. A. Parkhomenko, M. M. Al-Smadi, M. Al-Jundi, A. A. Aikeyeva // Critical Reviews in Biomedical Engineering. 2021. Vol. 49, N 5. P. 1–12. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2022038502>

19. Оценка защитных функций организма и его систем по показателям функционального состояния и функционального резерва / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, К. В. Разумова, О. Ю. Лукаш // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2023. Т. 22, № 3. С. 67–77. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.22.3.009>

20. Прогнозирование и ранняя диагностика бронхиальной астмы у работников, специализирующихся на аргонной сварке на основе нечетких математических моделей / И. Ю. Григоров, Л. В. Стародубцева, С. П. Серегин, Л. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 2. С. 170–183. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-170-183>

References

1. Neretin A.A., Petrovsky S.A. Medical expert decision support systems for clinical syndromes. In: *Nauchno-tekhnicheskii progress: aktual'nye i perspektivnye napravleniya budushche-go: sbornik materialov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 28 noyabrya 2018 g. = Scientific and technological progress: current and promising areas of the future: Collection of materials of the IX International Scientific and Practical Conference, 28 November 2018*. Vol. 2. Kemerovo: ZapSibNTs; 2018. P. 106–108. (In Russ.)

2. Dobrovolsky I.I., Artemenko M.V., Marentsov M.V. Features of synthesis of decisive rules for medical a smart of expert systems. In: Korenevsky N.A. (ed.). *Mediko-ekologicheskie informatsionnye tekhnologii: sbornik nauchnykh statei po materialam XKhII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Medical and environmental information technologies: collection of scientific articles on the materials of the XXII International Scientific and Technical Conference*. Kursk: Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet; 2019. P. 63–71. (In Russ.)

3. Yakunchenko T.I., Seregin S.P., Shulga L.V., Knysh O.A., Siplivy G.V., Shmarova D.R. Creation of mathematical models using multidimensional regression analysis for diabetic retinopathy screening. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* = *System Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2024;23(4):200–205. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/1682-6523.2024.23.4.025>
4. Agarkov N.M., Golovchenko O.V., Aksenov V.V., et al. Improving the diagnosis of acute endometritis based on modeling and cluster analysis of local immunity parameters. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* = *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2018;63(4):239–242. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-4-239-242>
5. Aksenov V.V. Diagnosis and classification of patients with acute endometritis based on discriminant analysis and informative diagnostic symptoms. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2015;4(17):93–98. (In Russ.)
6. Agarkov N.M., Tkachenko P.V., Aksenov V.V., et al. Rationalization of the differential diagnosis of ovarian cancer and chronic salpingoophoritis according to the parameters of disintegration and network modeling of changes in blood flow in the uterine and ovarian arteries and veins. *Voprosy onkologii* = *Issues of Oncology*. 2017; 63(5):766–769. (In Russ.) <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-5-766-769>
7. Agarkov N.M., Makkonen K.F., Aksenov V.V., et al. The use of flow cytometry and diagnostically significant indicators of systemic cellular immunity for the diagnosis of acute endometritis. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* = *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2017;62(9):563–567. (In Russ.) <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2017-62-9-563-567>
8. Agarkov N.M., Agarkova V.N., Aksenov V.V., et al. Rationalization of laboratory diagnostics of acute salpingoophoritis according to informative parameters of humoral immunity. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* = *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2017;62(11):690–693. (In Russ.) <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2017-62-11-690-693>
9. Shutkin A.N., Boitsova E.A., Korenevskaya S.N., Provotorov V.Ya. Assessment of the functional state and state of human health using the theory of measurement of latent variables based on G. Rush models. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* = *System Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2014;13(4):927–932. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>
10. Konenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I., Myasoedova M.A. Hybrid fuzzy models for assessing the functional state and health of a human operator of information-rich systems. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* = *Systems Analysis and*

Management in Biomedical Systems. 2019;18(2):105–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.2.017>

11. Bykov A.V., Rodionova S. N., Parkhomenko S. A., Starodubtseva L. V., Khripina I.I. Forecasting the appearance and development of gangrene of the lower extremities using fuzzy intelligent technologies. Kursk: Izdatel'skii dom VIP; 2017. 420 c. (In Russ.)

12. Al-Kasasbeh R.T., Korenevsky N.A., Aikeyeva A.A., Shaqadan A.A., Maksim I., Rodionova S.N. Developing a biotech scheme using fuzzy logic model to predict the occurrence of diseases using a person's functional state. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2020;62(3):257–267. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2020.106570>

13. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems. Stary Oskol: TNT; 2019. 472 p. (In Russ.)

14. Artemenko M.V., Fedyanin V.I., Shutkin A.N., Kvashnina G.A. Expert system for assessing the risk of occurrence and development of thromboembolism. *Integrativnye tendentsii v meditsine i obrazovanii = Integrative Trends in Medicine and Education*. 2024;4:9–16. (In Russ.)

15. Korenevsky N.A., Aksyonov V.V., Rodionova S.N., Gontarev S.N., Lazurina L.P., Safronov R.I. A method of complex assessment of the level of informativeness of classification features in conditions of a fuzzy data structure. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2022;12(3):80–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>

16. Safronov R.I., Razumova K.V., Rybakov A.Yu., Lyakh A.V. Synthesis of models for forecasting and diagnosing occupational diseases based on hybrid fuzzy technology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023;13(3):102–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>

17. Novikov A.V., Seregin S.P., Shestakov S.G., Shatokhin M.N. Antioxidant status and the state of local immunity in patients with chronic prostatitis. *Chelovek i ego zdorov'e = Man and His Health*. 2001;(2):50–53. (In Russ.)

18. Korenevskiy N.A., Bykov A.V., Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M.S., Rodionova S.N., Maksim I., Parkhomenko S.A., Al-Smadi M.M., Al-Jundi M., Aikeyeva A.A. Fuzzy models of choice of prevention schemes for the occurrence and development of gangrene of the lower extremities. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*. 2021;49(5):1–12. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2022038502>

19. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Razumova K. V., Lukash O. Yu. Assessment of the protective functions of the body and its systems by indicators of functional state and functional reserve. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2023;22(3):67–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.22.3.009>

20. Grigorov I.Y., Starodubtseva L.V., Seregin S.P., Shulga L.V. Forecasting and early diagnosis of bronchial asthma in workers specializing in argon welding based on fuzzy mathematical models. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023;13(2):170–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-170-183>

Информация об авторах / Information about the Authors

Аксёнов Виталий Вячеславович, заведующий лабораториями кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6516-1871

Vitaliy V. Aksenov, Head of Laboratories of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6516-1871

Серегин Станислав Петрович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, e-mail: seregin.stanislav2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9001-8420

Stanislav P. Seregin, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: seregin.stanislav2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9001-8420

Громыко Светлана Александровна, студентка кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: gromyko2010@list.ru, ORCID: 0000-0002-2451-4503

Svetlana A. Gromyko, Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail gromyko2010@list.ru, ORCID: 0000-0002-2451-4503

Петров Сергей Вячеславович, кандидат медицинских наук, врач – акушер-гинеколог, руководитель, Клинический медицинский центр «Доктор Петров», e-mail reception@docpetrov46.ru, ORCID: 0000-0002-8709-5887

Sergey V. Petrov, Candidate of Sciences (Medical), Obstetrician-Gynecologist, Head, Dr. Petrov Clinical Medical Center, e-mail reception@docpetrov46.ru, ORCID: 0000-0002-8709-5887

Харди́ков Алекса́ндр Влади́мирович, доктор медицинских наук, врач – акушер-гинеколог, доцент кафедры акушерства и гинекологии, Клинический медицинский центр «Доктор Петров», Курский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Hardikov@docpetrov46.ru, ORCID: 0000-0002-7394-4622

Aleksandr V. Khardikov, Doctor of Sciences (Medical), Obstetrician-Gynecologist, Associate Professor of the Department of Obstetrics and Gynecology, Dr. Petrov Clinical Medical Center, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kursk, Russian Federation, e-mail: Hardikov@docpetrov46.ru, ORCID: 0000-0002-7394-4622

Петрова Арина Сергеевна, студент, Курский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: petrova2022@list.ru

Arina S. Petrova, Student, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kursk, Russian Federation, e-mail: petrova2022@list.ru