

С. М. Селякова<sup>1</sup>, А. В. Ниценко<sup>2</sup>, Н. К. Базиян-Кухто<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»  
400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28

<sup>2</sup>ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта»  
283048, г. Донецк, ул. Артёма, д. 118-б

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького»  
283003, г. Донецк, проспект Ильича, д. 16.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНЫХ С КРИТИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

S. M. Selyakova<sup>1</sup>, A. V. Nicenko<sup>2</sup>, N. K. Baziyani-Kuhto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University"

400005, Volgograd, Lenin avenue, 28.

<sup>2</sup>Federal Budgetary State Scientific Institution "Institute of Artificial Intelligence Problems"

283048, Donetsk, Artema str., 118-b.

<sup>3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk State Medical University named after M. Gorky"

283003, Donetsk, Ilyicha avenue, 16.

## INFORMATION SUPPORT FOR THE DECISION-MAKING PROCESS IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH CRITICAL LOWER LIMB ISCHEMIA

Статья посвящена разработке системы поддержки принятия решений «Ангиоэксперт» с целью повышения эффективности процесса лечения больных с критической ишемией нижних конечностей. Данная система позволяет оптимизировать хирургическую тактику и минимизировать риски возникновения осложнений и летальности. В работе представлены основные функции, общая структура, функциональная модель и главные окна пользовательского интерфейса системы. Рассмотрены задачи принятия врачебных решений, которые решаются на основе её управляющих алгоритмов.

**Ключевые слова:** интеллектуальное управление, система поддержки принятия решений, ангиохирургия, критическая ишемия нижних конечностей.

This article presents the development of the "AngioExpert" decision support system (DSS), aimed at improving the efficacy of treatment for patients with critical limb ischemia (CLI). The system facilitates optimization of surgical management strategies and mitigates risks associated with postoperative complications and mortality. The paper details the system's core functionality, overall architecture, functional model, and key user interface components. It further examines the specific clinical decision-making tasks addressed by the system's algorithms.

**Key words:** clinical decision support, decision support system (DSS), vascular surgery, critical limb ischemia (CLI).

## Введение

Лечение больных с хронической ишемией нижних конечностей является одной из актуальных международных социальных и медицинских проблем, которая «объединяет в себе группу заболеваний кровеносных сосудов, приводящих к уменьшению притока крови по артериям в пораженную конечность из-за их сужения (стеноз) или полной закупорки (окклюзия)» [1]. Критическая ишемия нижних конечностей (КИНК) является наиболее опасным исходом хронической артериальной недостаточности. КИНК приводит к высокому уровню инвалидизации, утрате трудоспособности, высокой летальности и экономическим затратами на лечение, а также составляет 56,2% наблюдений в структуре госпитальной заболеваемости хронической ишемией. Число людей, страдающих этим заболеванием, в России не менее 1,5 миллиона, следовательно, критическую ишемию обнаруживают у 100000 граждан, и это приводит к 20000-40000 ампутаций каждый год [2].

Наиболее эффективным методом лечения КИНК является выполнение последовательных вмешательств – сосудистой реконструкции и санации гнойно-некротического очага. В настоящее время широко используются следующие операции у больных с КИНК: транслюминальная баллонная ангиопластика; внутриартериальное стентирование; бедренно-подколенное шунтирование; профундопластика. Каждая из вышеперечисленных операций имеет свои показания и отдалённые результаты, учитывая локализацию и протяженность поражения [3].

Однако проведение реконструктивно-восстановительных операций на сосудах всё равно не может гарантировать успешного и своевременного заживления язвенно-некротических дефектов в дистальных отделах конечностей, а также сохранения конечностей. Благодаря накопленному опыту многолетней медицинской практики и росту технических возможностей, подавляющее количество запущенных случаев заболевания КИНК могут поддаваться лечению за счёт адекватного и всеобъемлющего диагностического подхода, включающего в себя методы визуализации, клинического наблюдения и комплексного анализа признаков заболевания [4-6].

С учетом того, что любой лечебный процесс обладает следующими особенностями: ошибочностью, неоднозначностью, динамичностью, неполнотой и противоречивостью исходных данных, эффективность лечения заболеваний, в первую очередь, зависит от опыта и знаний специалистов в конкретной области медицины. В связи с этим возникает естественное желание передать это умение ЭВМ, зафиксировать его в специальных системах с целью повышения качества и обоснованности решения соответствующих задач в сжатые сроки. В результате того, что применение экспертных систем и систем поддержки принятия решений на практике позволяет значительно повысить скорость принятия решений в условиях ограниченности, субъективности и неточности информации, актуально применить данные подходы для повышения эффективности лечебно-диагностического процесса также и при КИНК.

Постановка задачи исследования: разработать систему поддержки принятия решений (СППР) при лечении пациентов с КИНК, которая позволит повысить эффективность лечебно-диагностического процесса с учётом физиологических особенностей конкретного пациента и его истории болезни.

## Обзор существующих информационных медицинских систем

Непрерывное развитие вычислительной техники расширяет потенциальные возможности медицинских информационных систем, которые в течение длительного времени применяют для диагностики и лечения различных заболеваний. Данные системы строятся на основе нескольких методов обработки информации: построение дерева решений, статистическая обработка данных и использование элементов искусственного интеллекта [7]. Перспективным является развитие методики построения самообучающихся медицинских экспертных систем принятия решений, которые должны удовлетворять следующим требованиям: индивидуализация; динамическое развитие; возможность перенастройки при резком изменении условий; способность к экстраполяции результата; возможность конструирования с нуля конечным пользователем; «нечёткий» характер результата или предоставление нескольких вариантов решения; ответственность за решение всегда лежит на пользователе (лице, принимающем решение) [8].

Исследования в области использования информационных технологий в медицине начались в конце 60-х начале 70-х гг. XX века [9]. С 2000-го года и по настоящее время успешно развиваются следующие зарубежные системы: IndiGO (Archimedes) – обеспечивает обработку данных клинической, физиологической природы и сведений об управлении процессом лечения и формирует индивидуализированные протоколы диагностики и лечения; Auminence – система дифференциальной диагностики, анализирует сведения о симптомах и др. информацию, формирует диагностический план; Diagnosis One – система использует данные об оказанных медицинских услугах и другие сведения для поиска упущений и формирования планов лечения; СППР Isabel Healthcare – система поддержки принятия диагностических решений на основе сведений о симптомах; Problem-Knowledge Couplers (Sharecare) – информационно-аналитическая система в сфере здоровья с широким функционалом; Visual Dx – система поддержки диагностических решений с использованием принципов дифференциальной диагностики; СППР Siemens система Protis – интерпретация результатов обследования на основе сведений о большом числе пациентов; Nuance – система поддержки принятия решений для радиологии; система IBM Watson – суперкомпьютер фирмы IBM, оснащённый вопросно-ответной системой искусственного интеллекта. Развиваются и более простые программные продукты интеллектуального направления, такие как симптом-чекеры и другие программы для конечного пользователя. Примеры: Web MD Symptom Checker, Dr Now, iPharmacy, Easy Diagnosis и др. [10], [11]. При этом большинство ведущих СППР имеют онлайн- и мобильные версии [12].

Отметим, что искусственный интеллект был включен в компьютерные системы поддержки диагностических решений, которые изначально были разработаны для медицинских работников разных медицинских направлений [13], [14]. Эти платформы теперь стали легкодоступными для широкой публики и известны как приложения для самодиагностики или проверки симптомов. К примеру, это приложения «Ada health» и «K Health» [15]. На основе медицинской информации и симптомов, предоставленных человеком, эти цифровые платформы предоставляют людям список потенциальных диагнозов и помогают в их сортировке [16]. Хотя точность проверки симптомов все еще остается под вопросом, эта технология набирает популярность во всем мире благодаря своему потенциалу в решении проблемы отсутствия доступа к поставщикам первичной медико-санитарной помощи и ненужных визитов к врачу — серьезных проблем в большинстве стран мира [17], [18].

По оценкам Goldman Sachs, технологии ИИ будут способствовать росту производительности труда и в совокупности добавят к мировому ВВП 7 трлн долл. в ближайшие 10 лет. По мнению аналитиков Accenture внедрение когнитивных вычислений увеличат производительность труда на 40% к 2035 году [19].

Таким образом, экспертные системы внедрились практически во все сферы медицинской практики, и лечение заболеваний сосудов нижних конечностей не является исключением.

Ван Сяочэнь в 2019 году разработал автоматизированную систему прогнозирования результатов хирургического лечения у больных с хронической ишемией нижних конечностей на основании клинических, гемодинамических, реологических критериев и изменений липидного спектра. Система апробирована и широко внедрена в отделении хирургии ФБГНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» для поддержки принятия решений при реваскуляризации артерий нижних конечностей у больных с хронической ишемией с окклюзией бедренно-подколенного сегмента [20], [21].

В 2023 году также в ФБГНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» Е. Хаожань создана «Программа прогнозирования результатов хирургического лечения больных с КИНК у больных с сахарным диабетом». Она способствует планированию тактики лечения пациентов с КИНК на фоне сахарного диабета с целью избежания ампутаций конечностей и улучшения качества жизни пациентов, а в крайне тяжелых случаях, снижения уровня ампутаций. Данная программа вычисляет следующие показатели: проходимость шунтов после бедренно-подколенного шунтирования в течение года; сохранность оперированных конечностей после повторного шунтирования при тромбозе первичного шунта; сохранность оперированных конечностей после профундопластики в течение года [22], [23].

Результативность внедрения информационных систем в медицинскую практику должна быть объективно оценена по трём основным направлениям, оценивая клиническую, организационную и экономическую эффективность. К наиболее важным показателям эффективности внедрения компьютерных систем относят следующие: сокращение затрат рабочего времени медицинского персонала при подготовке отчетной документации; снижение количества врачебных ошибок при назначении препаратов и направлении на обследование; повышение точности, оперативности и информативности диагностических исследований; уменьшение числа обострений хронических заболеваний за определенный период времени; общее снижение заболеваемости; повышение степени соответствия лечения установленным стандартам [24]. Таким образом, информационная поддержка принятия решений при лечении различных заболеваний должна повысить эффективность процесса диагностики степени тяжести заболевания и сформировать оптимальные рекомендации по лечению пациента. Поэтому дальнейшее развитие данного подхода актуально в медицинской практике.

## Структура СППР «Ангиоэксперт» и её основные функции

На основании проведенного анализа клинических, гемодинамических, гемостазиологических показателей больных с КИНК была разработана информационная система поддержки принятия решений (СППР) «Ангиоэксперт» с целью выбора наиболее эффективных методов хирургической реабилитации для данной категории пациентов. Система является помощником-консультантом для ангиохирурга на этапе предварительного сбора физиологических данных о пациенте, определения его объективного статуса и дальнейшего алгоритма лечения на основе текущего состояния здоровья пациента, его анамнеза, данных объективного и инструментального методов

обследования. СППР «Ангиоэксперт» является консультационной системой, обеспечивающей два режима работы: режим приобретения знаний и режим консультации. В режиме приобретения знаний эксперт (ангиохирург) дообучает систему в двух случаях: при возникновении осложнений после использования рекомендаций системы при лечении больного, а также при необходимости пополнения базы данных новыми клиническими случаями и рекомендациями. К основным преимуществам СППР «Ангиоэксперт» относятся следующие её функции:

1. Возможность внесения сведений о пациентах в единую базу данных системы, при этом результаты УЗИ и ангиографии сосудов изображаются наглядно в виде 2D-модели для удобства пользователя и изображения протяженности и локализации поражения.

2. Автоматизированная поддержка многокритериального сравнительного анализа различных типов реконструктивных операций на нижних конечностях, а также других способов лечения на основе модифицированного метода аналитической иерархии, что позволит врачу выбрать наиболее эффективный метод лечения КИНК для конкретного пациента.

3. Предварительная оценка кардиологического риска перед оперативным вмешательством на основе разработанной искусственной нейронной сети, учитывающая тип операции, возраст, функциональное состояние и физический статус пациента, а также степень сердечной и почечной недостаточности (при наличии); также есть возможность спрогнозировать риск ампутации конечности по классификации WIFI.

4. Автоматизированное дообучение системы на основе данных о послеоперационных осложнениях и повторных вмешательствах, проведённых в соответствии с рекомендациями системы.

С целью организации потоковой цепочки информационных процессов, типичной для СППР, в качестве основных компонентов «Ангиоэксперт» выбраны следующие подсистемы: интерфейс пользователя, база данных (БД), база знаний (БЗ), решатель задач, модуль обучения системы (МО) (рис. 1).

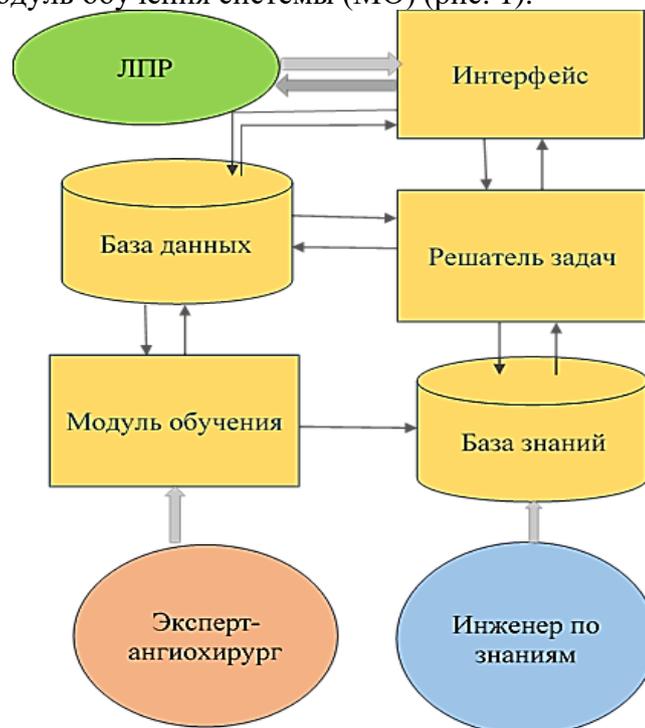


Рисунок 1 – Схема структуры СППР «Ангиоэксперт»

В качестве лица, принимающего решения (ЛПР) выступает, как правило, врач-ангиохирург. Также пользователями системы могут быть: создатель инструмента; инженер по знаниям; эксперт, добавляющий в систему новые знания; специалист, заносащий в систему текущую информацию.

## Функциональная модель системы

Функциональная модель СППР «Ангиоэксперт» представлена в соответствии с требованиями методологии SADT и ее подмножества IDEF0. Процесс автоматизированного принятия решений при лечении сосудов нижних конечностей может быть разделен на ряд укрупненных модулей. Тор-диаграмма модели IDEF0 представлена на рисунке 2. Схема построена на основании утверждения, что лечение пациентов осуществляется персоналом лечебного учреждения с целью получения наилучшего результата в плане сохранения здоровья человека и максимального увеличения продолжительности и качества его жизни с учетом действующих законодательных и нормативных актов (в том числе должностных инструкций) [24].

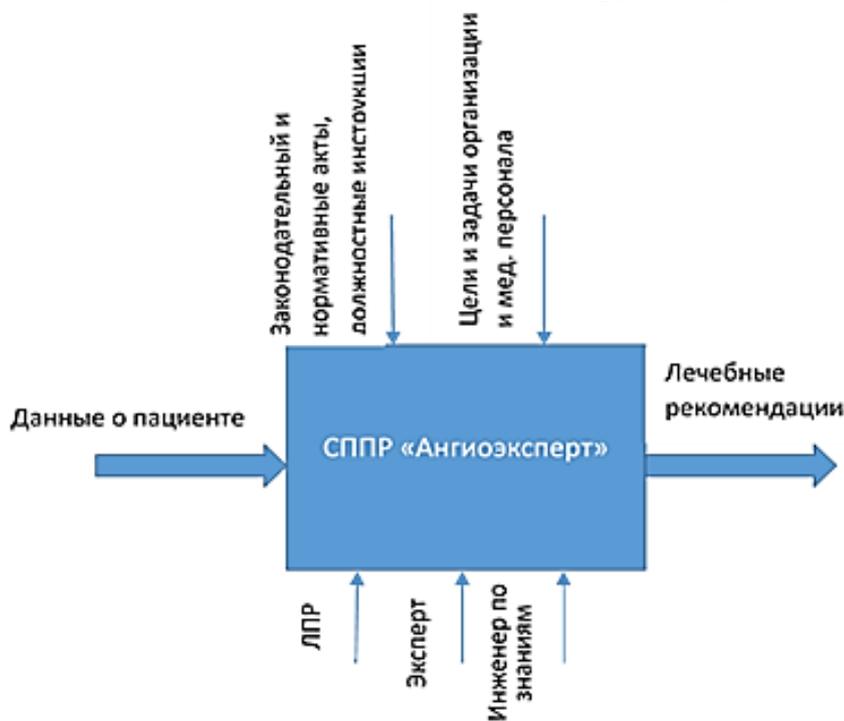


Рисунок 2 – A0-диаграмма функциональной модели системы

В качестве входных переменных системы выступают следующие показатели:

1. ФИО пациента;
2. Пол;
3. Возраст (лет);
4. Основной диагноз (атеросклероз; заболевания, вызванные дегенеративным поражением артериального русла; сахарный диабет, фибромышечная дисплазия; гигантоклеточный артериит (болезнь Хортона); болезнь Такаясу; синдром Бехчета; васкулиты, сопровождающие артропатии; узелковый периартериит; гранулематоз Вегенера; синдром Черга-Страуса; болезнь Кавасаки; поражения сосудов, обусловленные поражением радиацией; болезнь Бюргера

- (облитерирующий тромбоангиит); нарушения липидного обмена; повышенная вязкость крови и гиперкоагуляционные состояния; повышенный уровень С-реактивного белка; гиперфибриногенемия; повышенный уровень гомоцистеина.
5. Сопутствующие заболевания (ишемическая болезнь сердца; артериальная гипертензия; сахарный диабет II-го типа; хроническая почечная недостаточность; ХОБЛ; никотиновая зависимость по тесту Фагерстрема больше либо равно 4).
  6. Тип предполагаемой операции (эндоваскулярная, открытая, гибридная, первичная ампутация);
  7. Общее состояние (удовлетворительное, средней тяжести, тяжелое);
  8. Степень сердечной недостаточности по Василенко (отсутствует; I стадия; IIa стадия; IIb стадия; III стадия);
  9. Тяжесть хронической ишемии по Покровскому (I – асимптомная; IIa – невыраженная легкая ПХ; IIb – умеренная ПХ; IIIa – выраженная ПХ; IIIb – боль в покое; IVa – начальные небольшие трофические нарушения; IVb – язва или гангрена);
  10. Тяжесть острой ишемии по Затевахину (1 – неугрожающая – онемение, парестезии, боль; 2A – угрожающая – парез; 2Б – угрожающая – паралич; 2В – субфасциальный отек; 3A – необратимая - дистальная контрактура, некротические дефекты; 3Б – необратимая – тотальная контрактура, некротические дефекты);
  11. Физический статус по ASA (I – здоровый пациент; II – пациент с легким системным заболеванием; III – пациент с тяжелым системным заболеванием; IV - пациент с тяжелым системным заболеванием, представляющим постоянную угрозу жизни; V – умирающий пациент, операция по жизненным показаниям);
  12. Функциональный статус (удовлетворительный, средней тяжести, тяжёлый, крайне тяжёлый);
  13. Креатинин (мкмоль/л);
  14. Входные показатели для WIFI-классификации – степень раневого поражения, степень ишемии и уровень инфицирования ран нижних конечностей.
  15. Уровень поражения артерий конечностей по сегментам.
  16. Класс поражения артерий нижних конечностей по TASC2 (A, B, C, D).
  17. Оценка проведенной операции (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо).
  18. Характер ранее выполненной операции (эндоваскулярная, открытая, гибридная).
  19. Временной период развития повторной КИНК (сут.).

Выходные данные системы следующие:

1. Риск ампутации нижней конечности в течение 1 года по классификации WIFI (очень низкий, низкий, средний, высокий).
2. Показатель кардиориска (0-1).
3. Наиболее приемлемый вариант лечения (фармакотерапия, эндоваскулярное вмешательство, открытая, гибридная операция, ампутация конечности).

Работа системы начинается с ввода пользователем информации о пациенте на главной форме СППР (после нажатия кнопки «Новый пациент») или выбора нужного человека в БД системы, если данные о пациенте там уже хранятся. ФИО пациента

вводится в выпавшем окне, и после этого пользователь системы заполняет остальную информацию о больном на главной форме на основе имеющегося анамнеза, результатов клиничко-лабораторных и инструментальных исследований. В верхнем правом углу формы появится «Условный класс пациента», состоящий из одной буквы (X или Y – женщина или мужчина) и трех цифр, имеющих значение (0 или 1), где 0 – отсутствие, а 1 – наличие определенного признака у пациента, что используется при модельных расчетах в алгоритмах системы. Первая цифра задает пожилой возраст (после 55 лет), вторая – наличие сахарного диабета, третья – курение. Например, условный класс Y110 задает пожилого мужчину 68 лет с сахарным диабетом 2 типа и не курильщика (рис. 3).

Скриншот интерфейса программы «СППР "Ангиоэксперт"». В верхней части окна отображены поля для ввода Ф.И.О. (Иванов Иван Иванович) и кнопки «Новый пациент...». Основная форма «Данные пациента» содержит следующие элементы:

- Пол: муж
- Возраст: 68
- Тип операции: эндоваскулярная
- Условный класс пациента: Y110
- Основной диагноз: Болезнь Такаясу
- Соп. заболевания:
  - Ишемическая болезнь сердца
  - Артериальная гипертензия
  - Сосудисто-мозговая недостаточность
  - Сахарный диабет II типа
  - Хроническая почечная недостаточность
- Общее состояние: удовлетворительное
- Степень сердечной недостаточности по Василенко: IIА стадия
- Тяжесть хронической ишемии (по Покровскому): IIb (<200м) - Умеренная ПХ
- Тяжесть острой ишемии (по Затевахину): 1 - Не угрожающая - Онемение, парестезии, боль
- Физический статус по ASA: ASA III - Пациент с тяжелым системным заболеванием
- Функциональный статус: Умеренный
- Креатинин (Мкмоль/л): 110
- Оценка проведенной операции: [выпадающее меню]
- Рецидив:
  - Тип предыдущей операции: [выпадающее меню]
  - Временной период рецидива (мес.): [поле ввода]
  - Кнопка: Сохранить в базе рецидивов

В нижней части формы расположены кнопки: «Карта сосудов», «WIFI классификация», «Рекомендации к лечению», «Кардиориск», «БД рецидивов», «Сохранить в БД» и «Выход».

Рисунок 3 – Форма введения начальных данных

Функциональная модель системы (уровень А1) состоит из следующих блоков:

1. Введение начальных данных о пациенте.
2. Прогноз риска ампутации нижней конечности по WIFI-классификации.
3. Оценка способов лечения и выбор наилучшего варианта.
4. Прогноз сердечно-сосудистого риска при операции.
5. Анализ результатов и принятие решений ЛПП.
6. Сохранение данных пациента в общей БД.
7. Сохранение данных в БД о характере послеоперационных осложнений и повторных оперативных вмешательствах.
8. Дообучение системы.

Блоки связаны информационными потоками, изображенными на рис. 4.

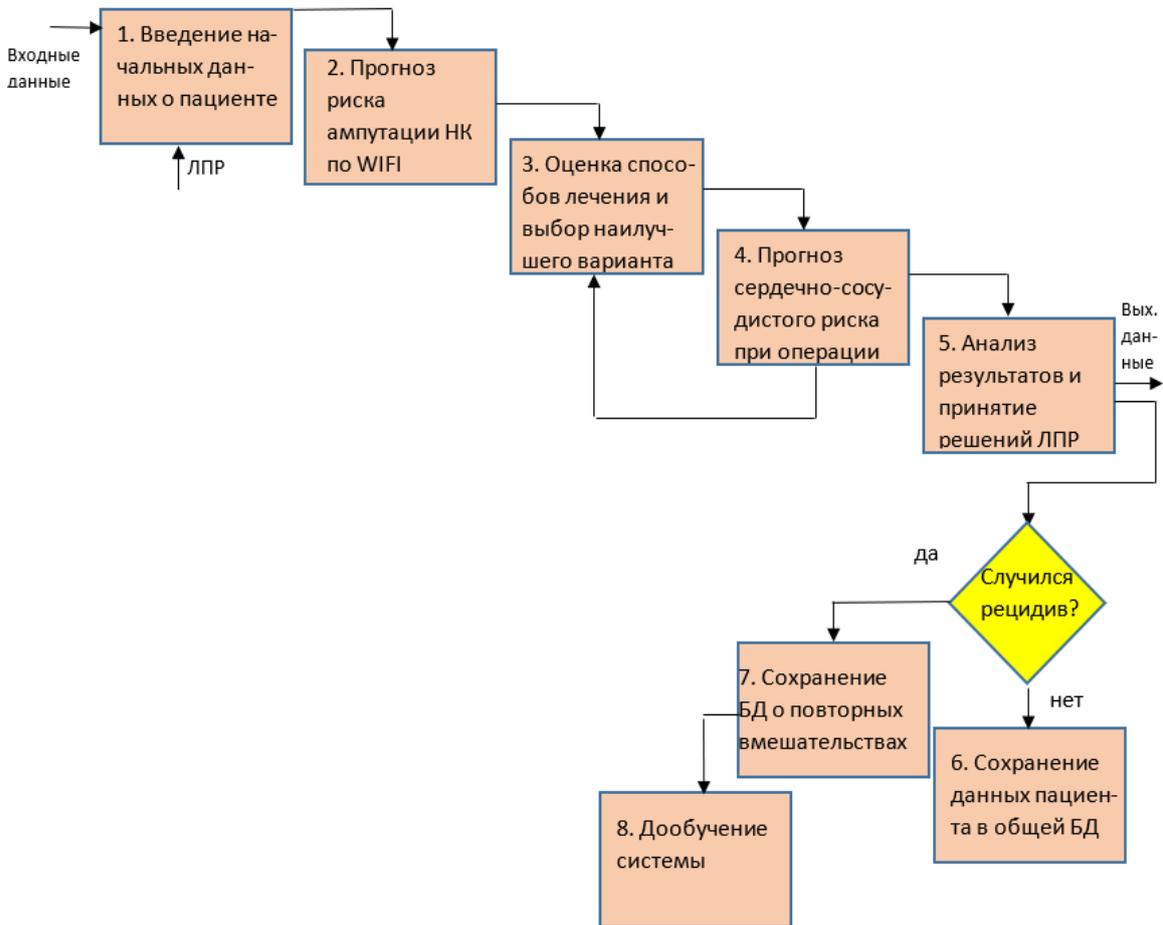


Рисунок 4 – A1- диаграмма функциональной модели системы

При введении начальных данных о пациенте (блок 1 в A1) проводится анализ жалоб пациента, учитывая его желание получить соответствующее лечение. Потом уточняется объективный статус пациента на основе опроса, объективного исследования, данных лабораторных и инструментальных обследований. При этом описывается анамнез жизни пациента – заболевания, которыми он болел или болеет в настоящее время (основные и сопутствующие), особенности профессиональной деятельности пациента в плане вредности для здоровья, предрасположенность к вредным привычкам, особенности питания и т.п. Информация, полученная в процессе общения с пациентом, вносится в БД системы.

Затем составляется карта состояния сосудов по компьютерной ангиографии или УЗИ сосудов, и врач определяет степень их повреждения по классификации TASC2. На карте сосудов указывается степень поражения сосудов в соответствии с классификацией TASC2 (рис. 5) и обозначается A0, A, B, C, D по мере усиления поражения. Для наглядности указанные данные отображаются на рисунке, и в зависимости от степени поражения та часть сосуда закрашивается в определенный цвет: серый (A0) – без повреждения, желтый (A) – до 25% повреждения, оранжевый (B) – 25-50%, красный (C) – 50-75% и фиолетовый (D) – 75-100%.

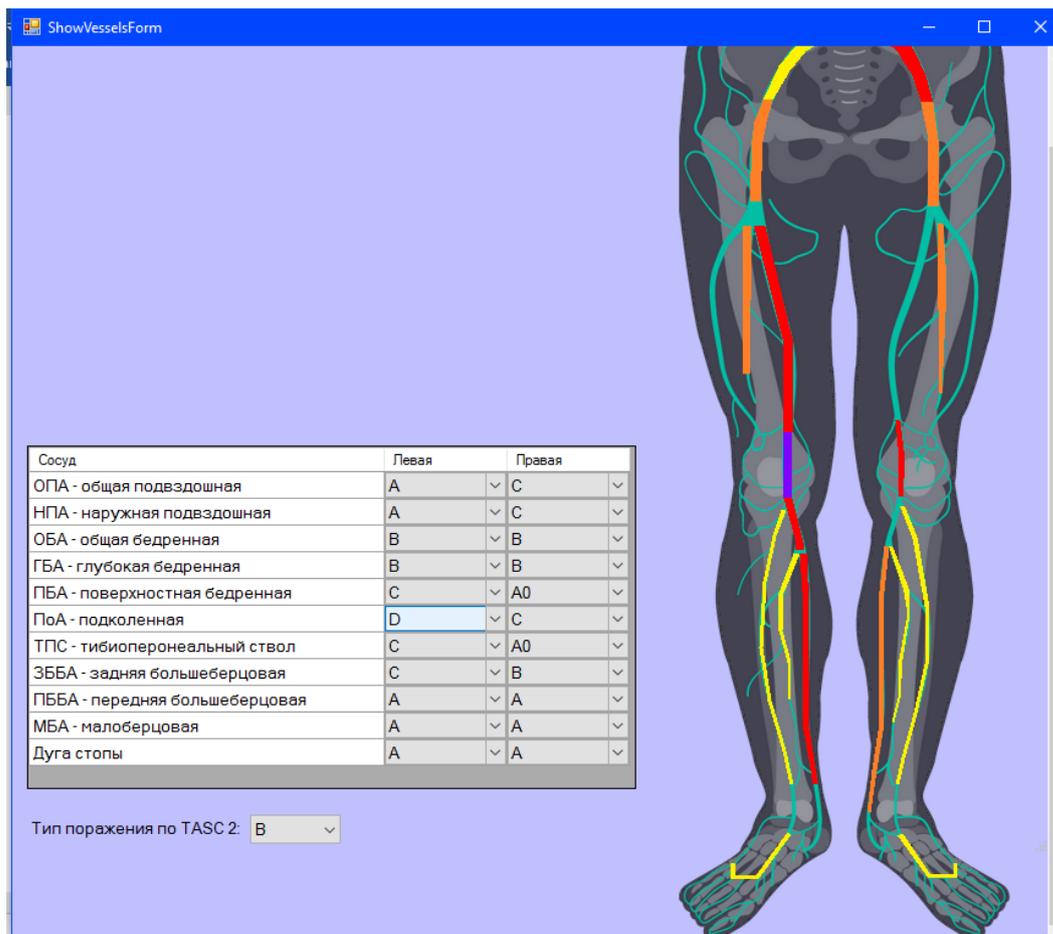


Рисунок 5 – Карта сосудов пациента

После введения начальных данных о пациенте программа позволяет оценить риск ампутации нижней конечности в течение одного года на основе WIFI – классификации [2], а также определить степень кардиологического риска для больного при различных типах операций на основе искусственной нейронной сети.

Выбор наиболее эффективной процедуры лечения КИНК осуществляется после нажатия кнопки «Рекомендации к лечению», расположенной в нижнем левом углу экрана. После появляется окно программы с альтернативами и критериями, которые должны учитываться при выборе наиболее эффективного метода лечения больного. В случае необходимости создания еще одного или нескольких вариантов решения задачи принятия решений есть возможность разработать другую модель, для этого нужно нажать кнопку «Создать новый вариант задачи». Появится пустая экранная форма для указания альтернатив, критериев и их оценок, на основании которых производятся расчеты оценок для каждой альтернативы по правилам модифицированного метода аналитической иерархии. Таблица с результатами сравнения эффективности всех вариантов лечения для некоторого пациента приведена на рис. 6.

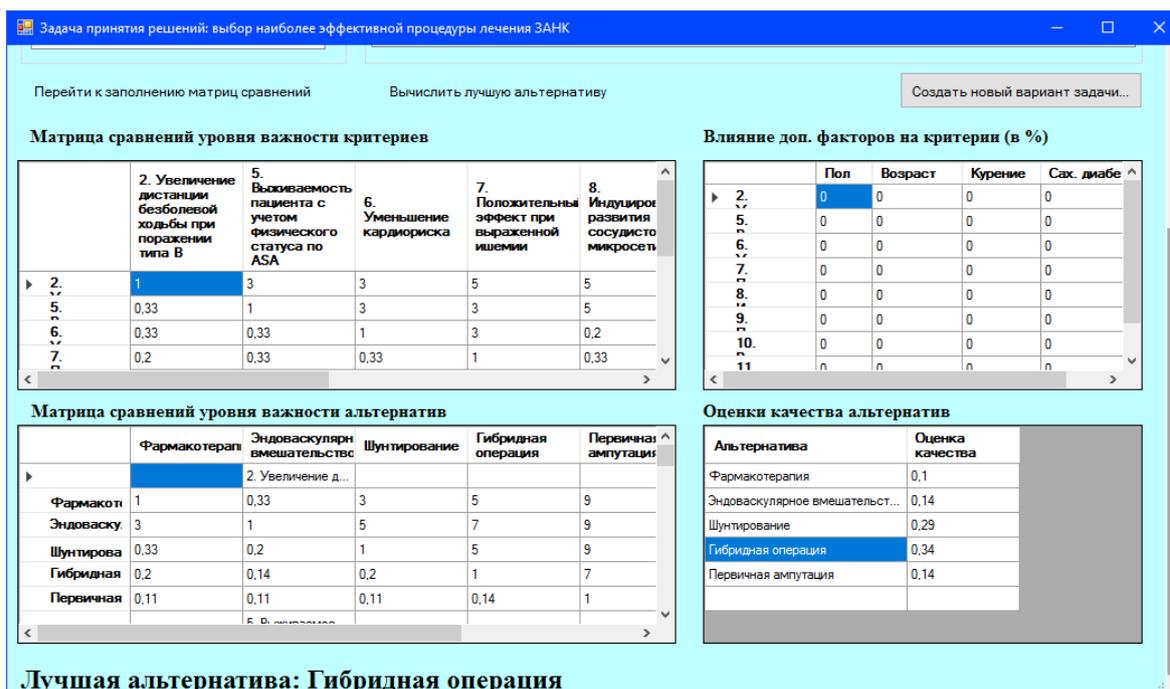


Рисунок 6 – Результативная форма выбора вариантов лечения

Разработанная функциональная модель обеспечивает полное и непротиворечивое отображение процесса функционирования СППР «Ангиоэксперт». Она позволяет реализовать подходы к эффективному медицинскому лечению, избежать ошибок на стадии реализации и функционирования системы. Большинство медицинских учреждений хорошо обеспечено компьютерами, и со временем оснащённость офисной техникой медицинских организаций будет только расти. Поэтому решение технических аспектов обеспечения системы не повлечет за собой больших материальных и трудовых затрат и может быть осуществлено на действующей программно-аппаратной базе.

## Выводы

СППР «Ангиоэксперт» позволила улучшить лечебно-диагностический процесс, стандартизировать подготовку, оптимизировать хирургическую тактику и минимизировать риски возникновения осложнений и летальности особенно для пациентов с тяжелой и крайне тяжелой степенью сердечной патологии. Система обладает необходимой гибкостью функционирования и настройки, простотой в использовании, и при этом выдаёт наиболее приемлемые врачебные решения.

## Список литературы

1. Белов Ю.В. Прогнозирование результатов реваскуляризирующих операций на артериях нижних конечностей на основе методов оценки регионарного кровотока / Ю.В. Белов, О.А. Виноградов, Н.Д. Ульянов, А.Н. Дзюндзя. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2014. № 7(5). С. 62-67.
2. *Национальные рекомендации по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей с председателями экспертной группы*: акад. РАН Бокерия Л.А., акад. РАН Покровский А.В. М., 2019. 89 с.
3. Ho V.T. Open, percutaneous and hybrid deep venous arterialization technique for no-option foot salvage / V.T. Ho, R. Gologorsky, V. Chandra, A. Prent, J. Lee, A. Dua. *J. Vasc. Surg.* 2019. N 31. P. S0741-5214(19)32636-9.

4. Калинин Р.Е. *Ишемические болезни в практике семейного врача* / Р.Е. Калинин [и др.]. М.: ГЭОТАР, 2016. 296 с.
5. Кэмма А.Д. *Болезни сердца и сосудов: руководство Европейского общества кардиологов*: пер. с англ. / под ред.: А.Д. Кэмма, Т.Ф. Люшера, П.В. Серруиса. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 1437 с.
6. Затевахин И.И. *Баллонная ангиопластика при ишемии нижних конечностей: руководство* / И.И. Затевахин, В.Н. Шиповский, В.Н. Золкин. М.: Медицина, 2004. 256 с.
7. Смолин Д.В. *Введение в искусственный интеллект*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 208с.
8. Koponenko W. Machine leaning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artificial Intelligence in Medicine*. Ljubjana, 2001. P. 89-109.
9. Левин В.И. Д.А. Поспелов и развитие искусственного интеллекта в СССР. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. №2(21) С. 59-64.
10. Baker A. A Comparison of Artificial Intelligence and Human Doctors for the Purpose of Triage and Diagnosis / A. Baker, Y. Perov, K. Middleton, et al. *Front Artif Intell*. 2020. №3. P. 543405.
11. Chambers D. Digital and online symptom checkers and health assessment/triage services for urgent health problems: systematic review / D. Chambers, A.J. Cantrell, M. Johnson, et al. *BMJ Open*. 2019. №9(8). P. e027743.
12. Анцыферов С.С. Методология развития интеллектуальных систем / С.С. Анцыферов, А.С. Сигов, К.Н. Фазилова. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. №2(25) С. 42-47.
13. Ермоленко Т.В. Классификация аномалий сердцебиения с помощью глубокого обучения / Т.В. Ермоленко, Д.В. Ролик. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. №1(24) С. 40-53.
14. Тимофеев А. Будущее нашего общества и систем технического мышления. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2020. №1(16). С. 16-22.
15. Aboueid S. The Use of Artificially Intelligent Self-Diagnosing Digital Platforms by the General Public: Scoping Review / S. Aboueid, R.H. Liu, B.N. Desta, A. Chaurasia, S. Ebrahim. *JMIR Med Inform*. 2019. №7(2). P. e13445.
16. Semigran H.L. Evaluation of symptom checkers for self diagnosis and triage: audit study / H.L. Semigran, J.A. Linder, C. Gidengil, A. Mehrotra. *Br Med J*. 2015. №351. P. h3480.
17. Millenson M.L. Beyond Dr Google: the evidence on consumer-facing digital tools for diagnosis. / M.L. Millenson, J.L. Baldwin, L. Zipperer, H. Singh. *Diagnosis (Berl)*. 2018. №5(3). P. 95-105.
18. Fraser H. Safety of patient-facing digital symptom checkers / H. Fraser, E. Coiera, D. Wong. *Lancet* 2018. №392(10161). P. 2263-2264.
19. Миньковская М.В. Расширение внедрения цифровизации и средств искусственного интеллекта в экономику России. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2024. №1(32). С. 75-93.
20. Гавриленко А.В. Профундопластика в лечении больных с хронической ишемией нижних конечностей / А.В. Гавриленко, Н.Н. Аль-Юсеф, Ван Сяочэнь, Н.М. Мамедова, М.В. Ананьева, Ли Жуй. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2019. № 25 (3). С. 122–127.
21. Ван Сяочэнь *Прогнозирование результатов хирургического лечения больных с хронической ишемией нижних конечностей*, 14.01.26 – сердечно-сосудистая хирургия / Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. М, 2020. 24 с.
22. Хаожань Е. *Прогнозирования результатов хирургического лечения больных с критической ишемией нижних конечностей, у больных с сахарным диабетом*, 3.1.15 – сердечно-сосудистая хирургия / Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. М, 2023. 24 с.
23. Гавриленко А.В. Особенности лечения больных с КИНК при сахарном диабете / А.В. Гавриленко, Е. Хаожань, Я.М. Сарханидзе. *Клиническая медицина. Серия: Естественные и технические науки*. 2023. №1. С. 179-182.
24. Фролов С.В. Системы поддержки врачебных решений в медицине / С.В. Фролов, А.Ю. Куликов, О.А. Остапенко, Е.В. Стрыгина. *Научный журнал*. 2018. С. 9-16.

## References

1. Belov Yu.V. Prediction of the results of revascularizing operations on the arteries of the lower extremities based on methods for assessing regional blood flow / Yu.V. Belov, O.A. Vinogradov, N.D. Ulyanov, A.N. Dzyunzya // *Cardiology and cardiovascular surgery* – 2014. – № 7 (5) – P. 62-67.
2. National recommendations for the diagnosis and treatment of diseases of the arteries of the lower limbs with the chairmen of the expert group: Bokeria L.A., Pokrovsky A.V. – М., 2019. – 89 p.

3. Ho V.T. Open, percutaneous and hybrid deep venous arterialization technique for no-option foot salvage / V.T. Ho, R. Gologorsky, V. Chandra, A. Prent, J. Lee, A. Dua // *J. Vasc. Surg.* – 2019. – N 31. – P. S0741-5214(19)32636-9.
4. Kalinin R.E. Ischemic diseases in the practice of a family doctor / R.E. Kalinin [et al.]. – M.: GEOTAR, 2016. – 296 p.
5. Kamma A.D. Heart and blood vessels: the leadership of the European Society of Cardiologists: Per. from English. /Ed.: A.D. Camma, T.F. Lushera, P.V. Serruis. – M.: GEOTAR-MEDIA, 2011. – 1437 p.
6. Zatevakhin I.I. Boundry angioplasty for ischemia of the lower limbs: Guide / I.I. Zatevakhin, V.N. Shipovsky, V.N. Zolkin. – M.: Medicine, 2004. – 256 p.
7. Smolin D.V. Introduction to artificial intelligence. – M.: Fizmatlit, 2004. – 208 p.
8. Kononenko W. Machine leaning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective // *Artificial Intelligence in Medicine.* – Ljubjana, 2001. – P. 89-109.
9. Levin V.I. D.A. Pospelov and the development of artificial intelligence in the USSR / *Problems of artificial intelligence.* – 2021. – № 2 (21) – P. 59-64.
10. Baker A.A. Comparison of Artificial Intelligence and Human Doctors for the Purpose of Triage and Diagnosis / A. Baker, Y. Perov, K. Middleton, et al. // *Front Artif Intell.* – 2020. – №3 – P. 543405.
11. Chambers D. Digital and online symptom checkers and health assessment/triage services for urgent health problems: systematic review / D. Chambers, A.J. Cantrell, M. Johnson, et al. // *BMJ Open.* – 2019. – №9(8) P. e027743.
12. Antsyferov S.S. Methodology for the development of intellectual systems / S.S. Antsyferov, A.S. Sigov, K.N. Fazilova // *Problems of artificial intelligence.* – 2022. – №2(25) – P. 42-47.
13. Ermolenko T.V. Classification of heartbeat anomalies using deep learning / T.V. Ermolenko, D.V. Roller // *Problems of artificial intelligence* – 2022. – № 1 (24) – P. 40-53.
14. Timofeev A. The Future of our Society and Technical Thinking Systems / *Problems of Artificial Intelligence.* – 2020. – №1(16) – P. 16-22.
15. Aboueid S. The Use of Artificially Intelligent Self-Diagnosing Digital Platforms by the General Public: Scoping Review / S. Aboueid, R.H. Liu, B.N. Desta, A. Chaurasia, S. Ebrahim // *JMIR Med Inform.* – 2019. – №7(2) – P. e13445.
16. Semigran H.L. Evaluation of symptom checkers for self diagnosis and triage: audit study / H.L. Semigran, J.A. Linder, C. Gidengil, A. Mehrotra // *Br Med J.* – 2015. – №351. – P. h3480.
17. Millenson M.L. Beyond Dr Google: the evidence on consumer-facing digital tools for diagnosis. / M.L. Millenson, J.L. Baldwin, L. Zipperer, H. Singh // *Diagnosis (Berl).* – 2018. – №5(3). – P. 95-105.
18. Fraser H. Safety of patient-facing digital symptom checkers / H. Fraser, E. Coiera, D. Wong // *Lancet* 2018. – №392(10161). – P. 2263-2264.
19. M.V. Minkovsky Expansion of the introduction of digitalization and means of artificial intelligence in the Russian economy / *Problems of artificial intelligence.* – 2024. – №1(32) – P. 75-93.
20. Gavrilenko A.V. Profundoplasty in the treatment of patients with chronic ischemia of the lower extremities / A.V. Gavrilenko, N.N. Al-Yuseph, Van Xiaochen, N.M. Mamedova, M.V. Ananieva, Lee Zhui // *Angiology and vascular surgery.* – 2019. – №25(3) – P. 122-127.
21. Van Xiaochen Predicting the results of surgical treatment of patients with chronic ischemia of the lower extremities, 01.14.26 - cardiovascular surgery / dissertation for the degree of candidate of medical sciences. – M., 2020. – 24 p.
22. Khaozhan E. Predicting the results of surgical treatment of patients with critical ischemia of the lower extremities, in patients with diabetes, 3.1.15 - cardiovascular surgery / dissertation for the scientific degree of candidate of medical sciences. – M., 2023. – 24 p.
23. Gavrilenko A.V. Features of the treatment of patients with CILE in diabetes mellitus / A.V. Gavrilenko, E. Haozhan, Ya.M. Sarkhanidze // *Clinical medicine. Series: Natural and Technical Sciences.* – 2023. – №1 – P. 179-182.
24. Frolov S.V. Systems for supporting medical solutions in medicine / S.V. Frolov, A.Yu. Kulikov, O.A. Ostapenko, E.V. Strygina // *Scientific Journal* – 2018. – P. 9-16.

## RESUME

*S.M. Selyakova, A.V. Nicenko, N.K. Baziyani-Kuhto*

*Information support for the decision-making process in the treatment of patients with critical lower limb ischemia*

The article is devoted to the development of a decision support system «AngioExpert» in order to increase the effectiveness of the treatment of patients with critical lower limb ischemia. This system allows you to optimize surgical tactics and minimize the risks of complications and mortality. The work presents the main functions, the general structure, functional model and the main windows of the user interface of the system. The tasks of making medical decisions that are solved on the basis of its control algorithms are considered.

The work uses the SADT methodology to develop a functional model of the decision support system to describe the multi-level movement of information flows during the operation of the system. Methods of intellectual management and decision theory are used to solve the problems of the system in different modes of its work (training and consultation mode).

The AngioExpert assists vascular surgeons in selecting the most appropriate treatment option for patients with critical lower limb ischemia – including pharmacotherapy, endovascular intervention, open surgery, hybrid procedures, or amputation – based on comprehensive physiological data, comorbidities, and preoperative assessments. The system also evaluates the cardiovascular risk associated with surgical intervention and estimates the likelihood of lower limb amputation within one year after the procedure.

The use of the AngioExpert in practice provides an improvement in the therapy and diagnostic algorithm by issuing effective medical recommendations. In this case, the system has the necessary functional flexibility and simplicity in tuning and using.

## РЕЗЮМЕ

*С.М. Селякова, А.В. Ниценко, Н.К. Базиян-Кухто*

*Информационная поддержка процесса принятия решений при лечении больных с критической ишемией нижних конечностей*

Статья посвящена разработке системы поддержки принятия решений «Ангио-эксперт» с целью повышения эффективности процесса лечения больных с критической ишемией нижних конечностей. Данная система позволяет оптимизировать хирургическую тактику и минимизировать риски возникновения осложнений и летальности. В работе представлены основные функции, общая структура, функциональная модель и главные окна пользовательского интерфейса системы. Рассмотрены задачи принятия врачебных решений, которые решаются на основе её управляющих алгоритмов.

В работе применяется методология SADT для разработки функциональной модели системы поддержки принятия решений для описания многоуровневого движения информационных потоков при работе системы. Методы интеллектуального управления и теории принятия решений используются для решения задач системы при разных режимах её работы (режим обучения и консультации).

Разработанная СППР «Ангиоэксперт» позволяет ангиохирургу выбрать наиболее приемлемый вариант лечения больного с критической ишемией нижних конечностей (фармакотерапия, эндоваскулярное вмешательство, открытая, гибридная операция, ампутация), а также оценить кардиологический риск при оперативном вмешательстве и вероятность ампутации нижней конечности в течение одного года после операции.

Применение «Ангиоэксперт» на практике обеспечивает улучшение лечебно-диагностического алгоритма за счёт выдачи эффективных врачебных рекомендаций. При этом система обладает необходимой функциональной гибкостью и простотой в настройке и использовании.

**Семякова Светлана Михайловна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры вычислительной техники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград. *Область научных интересов:* интеллектуальное управление систем, теория принятия решений, медицинские экспертные системы. Эл. почта: svemise@yandex.ru, адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28, телефон: +7 992 1431993.

**Ниценко Артём Владимирович** – к.т.н., старший научный сотрудник отдела распознавания речевых образов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк. *Область научных интересов:* искусственный интеллект, обработка естественного языка, компьютерная лингвистика. Эл. почта: nav\_box@mail.ru, адрес: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, телефон: +7949 4315356.

**Базиян-Кухто Наира Кареновна** – д.м.н., доцент, профессор кафедры сердечно-сосудистой хирургии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького», г. Донецк. *Область научных интересов:* сердечно-сосудистая хирургия, проктология, медицинские экспертные системы. Эл. почта: paira-251088@mail.ru, адрес: 283003, г. Донецк, проспект Ильича, д. 16, телефон: +7 949 4118735.

Статья поступила в редакцию 25.06.2025.