

**ЖУРАВЛЕВ Д.М.,**

д.э.н., Научно-исследовательский институт Социальных Систем при МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, e-mail: jdenis@niiss.ru

**КОПЫЛОВ Ф.Ю.,**

д.м.н., Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, г. Москва, Россия, e-mail: kopylov\_f\_yu@staff.sechenov.ru

**ЧААДАЕВ В.К.,**

д.э.н., Научно-исследовательский институт Социальных Систем при МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, e-mail: vkchaadaev@niiss.ru

**АРДАТОВ С.В.,**

к.м.н., Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, e-mail: ardatov67@mail.ru

**ЧААДАЕВ К.В.,**

Инновационный Технологический Центр МОЛНЕТ, г. Москва, Россия; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, e-mail: kchaadaev@molnet.ru

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДДЕРЖКИ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА

DOI: 10.25881/18110193\_2023\_3\_58

**Аннотация.**

В статье рассмотрены методы и процедуры разработки нейросетевой системы поддержки принятия решения при выборе тактики оперативного вмешательства на коронарных сосудах сердца, предназначеннной для консультирования широкого круга практикующих кардиологов и кардиохирургов при принятии решения о тактике проведения оперативного вмешательства при состояниях пациентов, связанных с нарушением проводимости коронарных сосудов. Основываясь на математической модели, учитывающей ряд факторов и опыт исходов предыдущих операций, нейросетевая система предлагает выбор между аортокоронарным шунтированием и чрескожным коронарным вмешательством. Определённое системой решение может служить дополнительным голосом и фактором для окончательного принятия коллегиального решения в сложных клинических случаях. Правильно принятное решение влияет на сроки восстановления пациента после операции, качество жизни после восстановления, возможность продолжать трудовую деятельность после лечения. Нейросетевая система поддержки принятия решения в области кардиохирургии выполнена в виде стандартного приложения для персонального компьютера со специфическими техническими характеристиками, позволяющими обрабатывать большой массив данных. Доступ к системе может получить любой врач кардиолог или кардиохирург, зарегистрированный в системе и прошедший валидацию. Созданный комплекс призван обеспечить учреждения системы здравоохранения цифровым продуктом и сервисом отечественного производства на основе нового технологического уклада. Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям).

**Ключевые слова:** диагностика и лечение, ишемическая болезнь сердца, математическая модель, нейронная сеть, программное обеспечение, сердечно-сосудистые заболевания.

Для цитирования: Журавлев Д.М., Копылов Ф.Ю., Чадаев В.К., Ардатов С.В., Чадаев К.В. Автоматизированный комплекс мультидисциплинарной нейросетевой поддержки врачебных решений при лечении ишемической болезни сердца. Врач и информационные технологии. 2023; 3: 58-71. doi: 10.25881/18110193\_2023\_3\_58.

**ZHURAVLEV D.M.,**

DSc, Institute of Social Systems, Moscow, Russia,  
e-mail: jdenis@niiss.ru

**KOPYLOV F.YU.,**

DSc, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia,  
e-mail: kopylov\_f\_yu@staff.sechenov.ru

**CHAADAEV V.K.,**

DSc, Institute of Social Systems, Moscow, Russia,  
e-mail: vkchaadaev@niiss.ru

**ARDATOV S.V.,**

PhD, Samara State Medical University, Samara, Russia,  
e-mail: ardatov67@mail.ru

**CHAADAEV K.V.,**

ITC MOLNET, Moscow, Russia; Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,  
e-mail: kchaadaev@molnet.ru

## **AUTOMATED COMPLEX OF MULTIDISCIPLINARY NEURAL NETWORK SUPPORT OF MEDICAL DECISION MAKING IN THE TREATMENT OF CORONARY HEART DISEASE**

DOI: 10.25881/18110193\_2023\_3\_58

**Abstract.** The article covers methods and procedures for developing a neural network decision support system when choosing the tactics of surgical intervention on coronary heart vessels. The system is designed to advise a wide range of practicing cardiologists and cardiac surgeons when deciding on the tactics of surgical intervention in patients with conditions associated with compromised coronary vessels. Based on a mathematical model taking into account a number of factors and the outcomes of previously performed surgeries, the neural network system offers a choice between aorto-coronary bypass surgery and percutaneous coronary intervention. The decision determined by the system can serve as an additional argument for the final adoption of a collegial decision in complex clinical cases. Right decision affects the patient's recovery time after surgery, the quality of life after recovery, and the ability to continue working after treatment. The neural network decision support system in the field of cardiac surgery is designed as a standard application for a personal computer with specific technical characteristics that allow processing a large amount of data. Access to the system can be obtained by any cardiologist or cardiac surgeon registered in the system and validated. The developed complex is designed to provide healthcare institutions with a digital product and domestic service based on a new technological structure.

The work was supported by the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE).

**Keywords:** cardiovascular diseases, diagnostics and treatment, ischemic heart disease, mathematical model, neural network, software.

**For citation:** Zhuravlev D.M., Kopylov F.Yu., Chaadaev V.K., Ardatov S.V., Chaadaev K.V. Automated complex of multidisciplinary neural network support of medical decisions in the treatment of coronary heart disease. Medical doctor and information technology. 2023; 3: 58-71. doi: 10.25881/18110193\_2023\_3\_58.

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно действующим рекомендациям, принятие решения как о необходимости реваскуляризации миокарда, так и о выборе метода (чрескожное коронарное вмешательство (ЧКВ) или аортокоронарное шунтирование (АКШ)) должно проводиться командой кардиологов и кардиохирургов с учетом оценки риска и пользы проводимой процедуры. При этом необходимо прогнозировать не только риск смерти в краткосрочном (внутригоспитальном) и долгосрочном периодах, но и оценивать качество жизни, ожидаемый функциональный класс заболевания, риск повторных инфарктов миокарда, вероятность повторных хирургических вмешательств.

Для стратификации риска разработаны различные шкалы:

- шкала EuroScore II учитывает 18 клинических факторов, в том числе возраст, пол, функцию почек, наличие сопутствующих заболеваний, перенесенных ранее хирургических вмешательств, функциональный класс сердечной недостаточности и стенокардии, сократимость миокарда, наличие легочной гипертензии, сроки проведения хирургического вмешательства, необходимость в дополнительном вмешательстве на аорте или клапанах сердца. Данная шкала прогнозирует риск только внутригоспитальной летальности при изолированном АКШ, а также сочетании АКШ с хирургическими вмешательствами на аорте или клапанах сердца. Таким образом, отсутствует оценка пользы от вмешательства в долгосрочном периоде, также шкала не подходит для расчета риска ЧКВ. Учитываются только клинические факторы, не оценивается анатомическое строение коронарного русла [1, 2];
- шкала Syntax Score применяется для выбора оптимального метода хирургического вмешательства (ЧКВ или АКШ) с учетом анатомического строения коронарного русла, при стратификации риска учитывается 11 факторов. Данная шкала позволяет прогнозировать риск/пользу ЧКВ в отсроченном периоде, но не АКШ. Не учитываются клинические факторы. Кроме того, шкала не применима для использования врачами кардиологами, расчет основан на визуальной оценке коронарного русла специалистом хирургом,

а следовательно, существует широкая вариация результатов с учетом субъективной оценки и опыта специалиста [3, 4];

- шкала Logistic Clinical SYNTAX совмещает в себя оценку как клинических, так и анатомических факторов. Однако при расчете риска учитывается только три клинических фактора: возраст, фракция выброса левого желудочка, креатинин. SYNTAX II учитывает 6 клинических и 12 анатомических факторов, позволяет оценить долгосрочные риски ЧКВ [5, 6].

Таким образом, существует ряд прогностических шкал, позволяющих стратифицировать риск у пациентов кардиохирургического профиля. Однако каждая из рассмотренных методик имеет ряд ограничений и недостатков: EuroSCORE II — универсальность применения у всех кардиохирургических больных, отсутствие показателей поражения коронарного русла; Syntax Score — объемность, отсутствие признаков поражения коронарного русла; SYNTAX II — ограниченное рассмотрение клинических показателей. Кроме того, эти шкалы не предназначены для проведения комплексной оценки как клинических факторов, так и анатомического строения коронарного русла, необходимой для выбора стратегии и тактики ведения пациентов с ишемической болезнью сердца. То есть, можно сказать, что на сегодняшний день существуют определенные проблемы с оценкой не только риска повторного инфаркта миокарда, но и качества жизни, а также функционального класса пациента после хирургического вмешательства.

В связи с этим возникает необходимость разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решения при выборе тактики оперативного вмешательства на коронарных сосудах сердца на основе машинного обучения, предназначенной для консультирования широкого круга практикующих кардиологов и кардиохирургов.

Реваскуляризация миокарда является подходящим методом, если при принятии решения ожидаемая польза с точки зрения выживаемости и улучшения здоровья (симптомов, функционального статуса и/или качества жизни) превосходит ожидаемые негативные последствия процедуры. Решение о предпочтении

медикаментозного лечения, как и ЧКВ, АКШ, должно основываться на отношениях риска-польза соответствующих методов, включая риски смерти во время процедуры, инфаркта миокарда и инсульта в сопоставлении с улучшением качества жизни, продления жизни, удлинения периода без инфаркта или повторной реваскуляризации. Команда специалистов должна принимать во внимание анатомию коронарного русла, заболевание, возраст, сопутствующие заболевания, а также предпочтения пациента, навыки проводящего процедуру врача и общий опыт лечебного учреждения [7, 8].

Однако такой подход все же остается достаточно субъективным, значительно зависит от квалификации и накопленного практического опыта лечащего врача. Альтернативным вариантом выбора оптимального лечения в сложных клинических ситуациях являются информационные системы поддержки принятия врачебных решений с использованием нейронных сетей. Технологии искусственного интеллекта (англ. Artificial Intelligence, AI) способны существенно дополнить возможности человека в части получения более ясной картины рассматриваемой проблемы для повышения точности диагноза с использованием различных алгоритмов и когнитивных вычислений [9]. Основой технологии является машинное обучение (англ. Machine learning, ML), использующее модели, основанные на обучающих данных, необходимых для принятия решений, и программные алгоритмы для решения проблемы [10].

Авторами, после проведения анализа ряда математических методов [11–15], используемых для построения алгоритмов нейронных сетей, выбор был остановлен на комбинированной модели, включающей в себя:

- алгоритмы вычисления оценок, ключевым понятием которых является параметризованная функция близости;
- реализации генетического алгоритма для формирования векторов весов признаков (и групп признаков, например, весов объектов и медицинских характеристик) в целях классификации (разграничения опорных множеств) медицинских случаев (объектов), подбора весовых параметров функции близости и расширения обучающей выборки.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

С прикладной точки зрения система поддержки принятия решения при выборе тактики оперативного вмешательства на коронарных сосудах сердца представляет собой информационную систему, состоящую из двух компонентов:

1. Подсистема обучения и управления знаниями, задача которой — обучение нейронной сети на массиве данных об оперированных пациентах. В формализованном описании каждого медицинского случая присутствуют такие сведения как: анамнез пациента, состояние здоровья до операции, протокол выполнения операции, информация о восстановлении пациента и наблюдение за его состоянием после операции.
2. Подсистема поддержки принятия решения, формирующая предложения по тактике лечения на основании знаний, заложенных в семантическую сеть. Чем более полно и точно будут описаны случаи, заложенные в базу знаний, тем более точное и квалифицированное решение может быть предложено системой.

В целом, при разработке информационной системы была применена следующая последовательность действий:

1. Формирование базы знаний:
  - разработка формальной конструкции описания случая лечения пациента (включая классификаторы, форматы ввода-вывода данных);
  - сбор и структурирование данных (из электронных медицинских карт, из текстовых документов, из экспертных анкет и пр.).
2. Опытная апробация системы поддержки принятия решений:
  - разработка формата запроса к системе, требований к интерфейсу и способам получения информации, то есть составление частного технического задания;
  - разработка механизма запросов к семантической сети, формированию решения и самообучения;
  - испытание системы в клинической практике.

В рамках решения задачи был сформирован массив из 26104 видеофайлов, содержащих результаты коронарографии более 1500 пациентов. Сбор данных по медицинским случаям, в том числе последующий обзвон прооперированных пациентов

выполнен специалистами Первого МГМУ им. И.М. Сеченова. Затем была проведена обработка данных на предмет их полноты, достоверности и степени структурированности сведений, характеризующих состояние пациента в динамике. Анализ проводился с применением апробированных технологий как в медицинской сфере [16, 17], так в других областях науки и техники [18]. По итогам расшифровки и обработки медиафайлов и данных были созданы 1000 карточек реальных медицинских случаев и 1 тестовая. 500 карточек были отсняты по причине отсутствия в них сведений, необходимых для формирования полнотекстовой базы данных разработанного комплекса.

Результат заполнения карточки пациентов с опубликованными медиафайлами коронарографии приведен на рис. 1, 2 (приведена карточка условного пациента, использующаяся для отладочных и тестовых работ).

С точки зрения исследования медицинских случаев и подходов при принятии врачебных решений были formalизованы факторы, риски и противопоказания при реваскуляризации для формирования комментариев информационной системы при выборе тактики лечения:

**Блок Коронароангиографии:**

- Абсолютных противопоказаний нет.
- Ограничения проведения коронарографии:
  - тяжелая почечная недостаточность: скорость клубочковой фильтрации ниже 30 (можно при наличии аппарата гемодиализа);
  - вес пациента более 130 кг (нежелательно более 120 кг);
  - известная анафилактическая реакция на йод;
  - нежелание пациента;
  - рецидивирующая желудочковая тахикардия;
  - выраженная тахисистолия при фибрillationи предсердий с нестабильным уровнем артериального давления.

**Блок стентирования коронарных артерий:**

- Абсолютных противопоказаний нет.
- Ограничения проведения коронарографии:
  - тяжелая почечная недостаточность: скорость клубочковой фильтрации ниже 30 (можно при наличии аппарата гемодиализа);

- вес пациента более 130 кг (нежелательно более 120 кг);
- известная анафилактическая реакция на йод;
- нежелание пациента;
- рецидивирующая желудочковая тахикардия;
- выраженная тахисистолия при фибрillationи предсердий с нестабильным уровнем артериального давления;
- диаметр артерии менее 2 мм.

**Блок аортокоронарного шунтирования:**

- Абсолютных противопоказаний к плановой АКШ нет.
- Оценка риска операции проводится по шкале EUROSCORE и EUROSCORE-2.
- Факторами риска периоперационной смертности являются:
  - женский пол;
  - хроническая болезнь почек II и более стадии;
  - патология периферических артерий;
  - перенесенные операции на сердце;
  - дыхательная недостаточность II и III степени;
  - острый эндокардит;
  - сахарный диабет;
  - хроническая сердечная недостаточность III и IV функционального класса;
  - фракция выброса левого желудочка ниже 50%;
  - перенесенный инфаркт миокарда;
  - лёгочная гипертензия умеренной и тяжелой степени.
- Относительными противопоказаниями к аортокоронарному шунтированию считаются:
  - диффузное поражение всех коронарных артерий;
  - снижение фракции выброса левого желудочка до 30%;
  - клинические признаки застойной сердечной недостаточности IV функционального класса;
  - дыхательная недостаточность тяжелой степени;
  - почечная или печеночная недостаточность тяжелого течения;
  - онкологические заболевания;
  - предполагаемая продолжительность жизни менее 3 лет.

Администрирование		Поддержка врачебных решений	
Алгоритм	Пациенты	Опросник	Поддержка решений
Консилиумы			
00001			
<b>ФИО</b> Пробная Инесса Ивановна		<b>Дата КАГ</b> Тип кровоснабжения сердца Сбалансированный	
<b>Пол</b> Женский		<b>Кол-во стенозов ствола ЛКА</b> 2	
<b>Дата рождения</b> 20.07.1957г. 60 лет		<b>Стеноз ствола ЛКА</b> 0.01%	
<b>Место жительства</b> Москва		<b>2-й стеноз ствола ЛКА</b> 0.02%	
<b>Телефон 1</b> +7(916)674-03-69		<b>Окклюзия ствола ЛКА</b> Нет	
<b>Телефон 2</b> Дата госпитализации 29.07.2017г.		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ПМЖА</b> 0	
<b>Вес</b> 64 кг		<b>ПМЖА стенозирована в устье</b> Нет	
<b>Рост</b> 158 см		<b>Окклюзия проксимального сегмента ПМЖА</b> Нет	
<b>ИМТ</b> 25.64		<b>Кол-во стенозов среднего сегмента ПМЖА</b> 0	
<b>Стенокардия</b> Нет		<b>Окклюзия среднего сегмента ПМЖА</b> Нет	
<b>Острый инфаркт миокарда</b> Нет		<b>Кол-во стенозов дистального сегмента ПМЖА</b> 0	
<b>ПИКС</b> Повторные		<b>Окклюзия дистального сегмента ПМЖА</b> Нет	
<b>Вмешательства на коронарных сосудах</b> Нет		<b>Количество стенозов ветвей ПМЖА более 75%</b>	
<b>Сахарный диабет</b> Второй тип		<b>Окклюзии в ветвях ПМЖА</b> Нет	
<b>Артериальная гипертензия</b> Скорректирована		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ИМА</b> 3	
<b>Фибрилляция предсердий</b> Нет		<b>Стеноз проксимального сегмента ИМА</b> 0.01%	
<b>Трепетание предсердий</b> Нет		<b>2-й стеноз проксимального сегмента ИМА</b> 0.02%	
<b>Желудочковая тахикардия</b> Нет		<b>3-й стеноз проксимального сегмента ИМА</b> 0.03%	
<b>Паузы более 3 секунд</b> Нет		<b>ИМА стенозирована в устье</b> Да	
<b>Курение</b> Нет		<b>Окклюзия проксимального сегмента ИМА</b> Да	
<b>Бронхиальная астма</b> Нет		<b>Кол-во стенозов среднего сегмента ИМА</b> 3	
<b>ХОБЛ</b> Нет		<b>Стеноз среднего сегмента ИМА</b> 0.21%	
<b>ХСН</b> Нет		<b>2-й стеноз среднего сегмента ИМА</b> 0.22%	
<b>Язва желудка</b> Нет		<b>3-й стеноз среднего сегмента ИМА</b> 0.23%	
<b>Язва 12-перстной кишки</b> Нет		<b>Окклюзия среднего сегмента ИМА</b> Да	
<b>Фракция выброса</b> 60.0		<b>Кол-во стенозов дистального сегмента ИМА</b> 3	
<b>Толщина ЗСЛЖ</b> 0.0 мм		<b>Стеноз дистального сегмента ИМА</b> 0.31%	
<b>Толщина МЖП</b> 0.0 мм		<b>2-й стеноз дистального сегмента ИМА</b> 0.32%	
<b>Размер ПЖ</b> 3.0 см		<b>3-й стеноз дистального сегмента ИМА</b> 0.33%	
<b>Размер ЛП</b> 5.0 см		<b>Окклюзия дистального сегмента ИМА</b> Да	
<b>Объем ЛП</b> мл		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ОА</b> 0	
<b>Конечный систолический объем</b> 100.0 мл		<b>Стеноз проксимального сегмента ОА</b> Нет	
<b>Конечный диастолический объем</b> 50.0 мл		<b>Окклюзия проксимального сегмента ОА</b> Нет	
<b>Кальциноз аорты</b> Нет		<b>Кол-во стенозов среднего сегмента ОА</b> 0	
<b>Аортальная регургитация</b> 1		<b>Окклюзия дистального сегмента ОА</b> Да	
<b>Аортальный стеноз</b> 1		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ОА</b> 0	
<b>Митральная регургитация</b> 1		<b>Стеноз дистального сегмента ОА</b> Нет	
<b>Митральный стеноз</b> 1		<b>Окклюзия дистального сегмента ОА</b> Да	
<b>Систолическое давление в лёгочной артерии</b> мм рт.ст.		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ОА</b> 0	
<b>Зоны акинеза</b> Нет		<b>Стеноз проксимального сегмента ОА</b> Нет	
<b>Зоны гипокинезии</b> Нет		<b>Окклюзия проксимального сегмента ОА</b> Нет	
<b>Аневризма ЛЖ</b> Нет		<b>Кол-во стенозов среднего сегмента ОА</b> 0	
<b>Аневризма грудного отдела аорты</b> Нет		<b>Окклюзия дистального сегмента ОА</b> Да	
<b>Заключение ЭхоКГ</b> дегенеративных признаков не выявлено		<b>Кол-во стенозов проксимального сегмента ОА</b> 0	

Рисунок 1 — Карточка пациента. Часть 1.

Стеноз брахиоцефальных сосудов	80.0	Окклюзия среднего сегмента ОА	Нет
Стеноз сосудов нижних конечностей	0.0	Кол-во стенозов среднего сегмента ОА	0
Заключение по стенозу сосудов МАГ		Окклюзия дистального сегмента ОА	Нет
Заключение по стенозу сосудов нижних конечностей		Количество стенозов ветвей ОА более 75%	4
Дата нагрузочного тестирования		Окклюзии в ветвях ОА	Нет
Нагрузочный тест - признаки ишемии	Нет	Кол-во стенозов проксимального сегмента ПКА	0
Антиангинальная терапия	Нет	Окклюзия проксимального сегмента ПКА	Нет
Максимальная ЧСС	в мин	Кол-во стенозов проксимального сегмента ПКА	0
Ишемия при ЧСС	в мин	Окклюзия среднего сегмента ПКА	Нет
Максимальное АД	мм рт.ст.	Кол-во стенозов проксимального сегмента ПКА	3
Тolerантность к нагрузке	Низкая	Стеноз дистального сегмента ПКА	0.25%
Ишемия при нагрузке (METS)		2-й стеноз дистального сегмента ПКА	0.01%
Индукция желудочковой групповой аритмии	Нет	3-й стеноз дистального сегмента ПКА	0.02%
Заключение нагрузочной пробы	Пробная прoba	Окклюзия дистального сегмента ПКА	Нет
Креатинин	1.11 мг/дл	Количество стенозов ветвей ПКА более 75%	7
СКФ	53.9324	Окклюзии в ветвях ПКА	Нет
Гемоглобин	120.0 г/л	Сохранность дистального коронарного русла	Умеренно изменено
АСТ	50.0 Ед/л	Заключение коронарографии	Тип кровоснабжения сердца - правый Ствол левой коронарной артерии: без R-признаков гемодинамически значимых стенозов Передняя межжелудочковая ветвь (ПМВЖ): окклюзия в проксимальном сегменте, дистальные отделы контрастируются фрагментарно по интракоронарным и межкоронарным коллатералам Огибающая артерия (ОА) без R-признаков гемодинамически значимых стенозов.Правая коронарная артерия (ПКА): без K-признаков гемодинамически значимых стенозов.
АЛТ	50.0 Ед/л	Жив на момент выписки	Нет
Глюкоза	13.0 ммоль/л	Какую операцию выполнили	Ничего
НbА1с	5.02%	Удалось дозвониться	Да , дата контакта:
Тромбоциты	121.0	Хирургическое вмешательство после КАГ	
Общий холестерин	10.0 ммоль/л	Инфаркт миокарда, связанный с ЧКВ/АКШ	
ЛПНП	5.0 ммоль/л	Инфаркт миокарда в течение последующих лет, не связанный с ЧКВ/АКШ	
		Повторные хирургические вмешательства на коронарных артериях	АКШ и ЧКВ даты АКШ: 01.11.2017 , 03.11.2017 даты ЧКВ: 09.11.2017 , 30.11.2017

**Рисунок 2 — Карточка пациента. Часть 2.**

При разработке математической модели поддержки врачебных решений при лечении ишемической болезни сердца были использованы следующие данные:

– сведенный и внесенный в базу массив данных по медицинским случаям, при этом для обучения сети было использовано 97%

выбранных клинических случаев и 3% клинических случаев для проверки адекватности обучения;

– алгоритмы вычисления оценок, обеспечивающих обучение на определенной изначальной выборке данных (формализованных в виде дискретных векторов значений) в

- части принадлежности каждого вектора к одному из классов, позволяющей по «близости» вновь поступающего на обработку медицинского случая (вектора диагностических характеристик) к имеющимся в обучении векторам определить принадлежность медицинского случая к установленным классам;
- требования конечных потребителей информации, кардиохирургов, к предоставлению результатов работы.

Основными базовыми объектами математической модели стали:

- формализованная конструкция, описывающая случай обращения пациента, содержащий информацию о нем, на основании которой принимается решение (является объектом, записанным в виде характеристического вектора значений в терминах алгоритма вычисления оценок);
- классов объектов, определенный практикующими кардиохирургами, состоит из следующих элементов:
- пациент жив через 5 лет после проведения ЧКВ;
- пациент жив через 5 лет после проведения АКШ;
- смерть пациента через 5 лет после проведения ЧКВ;
- смерть пациента через 5 лет после проведения АКШ;
- невозможность рассчитать результат по АКШ;
- невозможность рассчитать результат по ЧКВ.

На данном этапе, фактически тестовой работы информационной системы, в качестве конечной точки взят временной интервал в 5 лет. Это период времени, в течение которого есть информация о состоянии пациентов в сформированных медицинских карточках. На основании данной информации система может предлагать ту или иную тактику лечения. При необходимости, в случае дальнейшего развития программного комплекса, временной интервал может быть увеличен, также может быть расширен и класс объектов;

- формализованная конструкция, описывающая результат проведения операции — успех или неуспех в перспективе как минимум в 5 лет, сформированный по результатам обзыва пациентов. Все результаты проведения

операции формируют опорные множества на фиксированных указанных выше классах;

- ряд модельных математических задач, а именно задачи классификации, теории алгоритмов вычисления оценок, генетических алгоритмов и функции близости (база вычислительного ядра; описывающее разработанное математическое и программное обеспечение).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

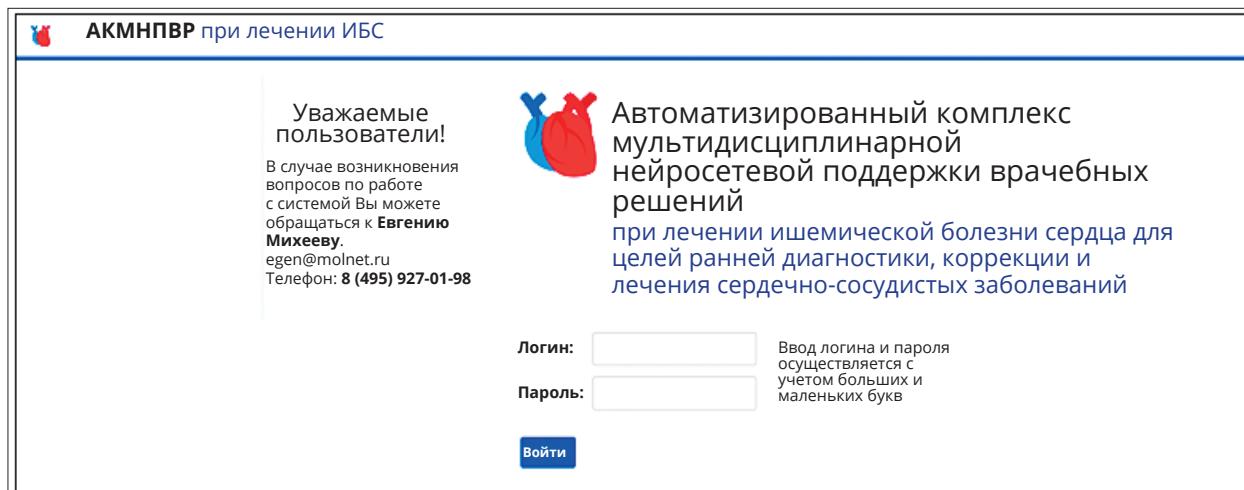
В рамках задачи по разработке программного приложения, реализующего приведенную выше математическую модель поддержки врачебных решений при лечении ишемической болезни сердца подсистемы поддержки принятия решения и подсистемы лечения пациента (подсистема обучения и управления знаниями), выполнены следующие действия:

- произведено развитие функциональной архитектуры и информационного обеспечения приложения;
- разработаны графические пользовательские интерфейсы подсистемы поддержки принятия решения и подсистемы обучения и управления знаниями.

Полнофункциональный прототип клиентской части приложения размещен в сети Интернет по адресу: <http://chd.molnet.ru/chd/cp> (логин и пароль — по запросу), на рис. 3 приведен пример пользовательского интерфейса (стартовая страница).

Для обучения разработанной нейросети был использован массив данных из 976 реальных медицинских случаев, по которым собраны порядка 150 характеристик (см. рис. 1–3). Обучение проводилось по следующему алгоритму:

- вычисление порогов решающих правил;
- построение функции близости, при помощи которой вычислялись веса признаков и объектов обучения;
- оптимизация системы опорных множеств;
- генерация векторов системы опорных множеств;
- оператор мутации применяется ко всем векторам системы средствами хранимой процедуры в базе данных, значение параметра оператора мутации берется равным 0,001 (эмпирическое значение применения генетического алгоритма для смежных задач);



**Рисунок 3 — Стартовая страница приложения.**

- оценка каждого опорного множества за счет построения функции близости всех объектов контроля для каждого вектора из системы опорных множеств и занесение результатов в базу данных;
  - генерация нового поколения с учетом оценки каждого вектора и занесение всех векторов системы в базу данных;
  - после оценивания всей системы опорных множеств  $\Omega\{A\}$  происходит проверка на критерий останова (выбрано 100 итераций работы алгоритма);
  - проверка адекватности обучения.
- Кроме того, в процессе обучения (или «цикл «скрещивание-мутация/селекция-размножение» в терминах генетических алгоритмов) использовались итерационные технологии «обучения с учителем», в ходе которого система принудительно обучалась с помощью примеров «стимул-реакция». В итоге приложение произвело «самонастройку» параметров алгоритма вычисления оценок, также были выполнены мероприятия по проверке качества обучения.

Тестирование качества обучения нейросети было проведено на примерах, которые не участвовали в её обучении. Для чего из сформированного массива данных были взяты 24 реальных медицинских случая: 12 пациентов с выполненным ЧКВ и 12 — с выполненным АКШ.

Сравнение результатов работы приложения с тестовыми данными производилось по следующим категориям:

- по совпадению врачебных рекомендаций врача-хирурга и результата работы приложения:
  - совпало;
  - не совпало;
- врач изменил собственное решение после ознакомления с результатом работы приложения («близкие» медицинские случаи и вероятности проведения операции);
- по результатам расчета врачебных рекомендаций приложением и исходам оперативного вмешательства:
  - врачебные рекомендации совпали с принятыми, пациент жив;
  - врачебные рекомендации совпали с принятыми, пациент умер;
  - врачебные рекомендации не совпали с принятыми, пациент жив;
  - врачебные рекомендации не совпали с принятыми, пациент умер.

Указанные категории взаимно ортогональны, и каждая категория покрывает полностью все пространство вариантов, что позволяет построить матрицы сопоставления и затем сравнить их. Таким образом, была сформирована матрица результатов исследования, где по вертикали и горизонтали отложены указанные категории, а в ячейках — количество случаев, относящиеся к соответствующим категориям (см. табл. 1).

Ниже, на рисунках 4–7, визуализированы результаты расчета тактики лечения коронарных

Таблица 1 — Матрица результатов исследования

Врач, проводящий испытание, принял врачебное решение о тактике лечения пациента	Решение врача, проводящего испытание, в сравнении с решением, предложенным Системой:		
	совпало с решением, предложенным Системой	не совпало с решением, предложенным Системой	врач изменил собственное решение после ознакомления с решением, предложенным Системой
Решение врача, проводящего испытание, в сравнении с решением, принятым врачом, проводившим лечение пациента:	совпало с решением, принятым врачом, проводившим лечение пациента, и пациент жив	5	2
	совпало с решением, принятым врачом, проводившим лечение пациента, и пациент умер	1	1
	не совпало с решением, принятым врачом, проводившим лечение пациента, и пациент жив	3	3
	не совпало с решением, принятым врачом, проводившим лечение пациента, и пациент умер	-	2

**Пояснения к таблице:** красные ячейки — наиболее значимые ошибки алгоритма, требуемые уточнения. Зеленые ячейки — наиболее важные для оценки результативности работы Системы.

Язва 12-перстной кишки	Нет
Язва желудка	Нет
Положительный нагрузочный тест	Да
Отмена лечения	Да
Снижение сократимости миокарда при ЭХОКГ	Да
Артериальная гипертензия	Нет
Систолическое давление в лёгочной артерии	н/д
ХОБЛ	Нет
Бронхиальная астма	Нет
Стеноз сосудов нижних конечностей	н/д

Рисунок 4 — Данные пациента, часть 1.

сосудов сердца одного из пациентов контрольной группы.

Также необходимо отметить, что малая выборка базы исследования (1000 реальных случаев) не позволяет говорить о строгой

рекомендации использовать приложение, поэтому в ходе дальнейших натурных испытаний предполагается проведение полномасштабного обучения нейронной сети приложения.

Фибрилляция предсердий	Нет
Аортальная регургитация	О
Стенокардия	Стабильная III класса
ХСН	ФК по NYHA II
Ишемия при нагрузке (METS)	3.0
Аневризма ЛЖ	Нет
Толщина МЖП	н/д
Толщина ЭСЛЖ	н/д
ПИКС	Есть
ОИМ	Нет

**Рисунок 5 — Данные пациента, часть 2.**

Митральная регургитация	0
Митральный стеноз	0
Аортальный стеноз	0
Фракция выброса	60.0
ЧСС при ишемии	100 в мин.
Сохранность дистального русла	Нет
Стенозы ветвей ОД	10.0%
Стенозы ветвей ПКА	10.0%
Стенозы ветвей ПМЖА	10.0%
Стенозы ИМА	10.0%

**Рисунок 6 — Данные пациента, часть 3.**

**Рисунок 7 — Результаты расчета тактики лечения коронарных сосудов сердца.**

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основным функциональным назначением разработанного мультидисциплинарного комплекса информационной поддержки врачебных решений при лечении ишемической болезни сердца является консультирование широкого круга практикующих кардиологов и кардиохирургов при принятии решения о тактике проведения оперативного вмешательства при состояниях пациентов, связанных с нарушением проводимости коронарных сосудов.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Использование цифровых технологий в медицине, в частности искусственного интеллекта, позволяет создать доступные и недорогие в эксплуатации высокоточные диагностические инструменты для скрининга и выявления у пациентов различных хронических заболеваний. Более того, такие технологии могут значительно помочь сократить время и стоимость постановки диагноза, тем самым повысить пропускную способность учреждений здравоохранения [19].

Но, прежде всего, перспективы систем с использованием искусственного интеллекта заключаются в возможностях технологии обрабатывать большие объемы данных и фиксировать закономерности, которые традиционным способом было бы трудно идентифицировать. Это позволяет существенно снизить нагрузку на практикующих специалистов, минимизируя усталость и переутомление врачебного персонала. Именно поэтому за подобными технологиями стоит будущее, которое, при правильном подходе, способно кардинальным образом изменить практику медицины. Из приведенных в обзоре [20] примеров явно виден высокий интерес мирового медицинского сообщества к вопросу использования нейронных сетей для диагностирования патологических состояний. Методы системного анализа и создание систем интеллектуальной поддержки при соответствующей проработке могут быть применены при

описании практически любого класса заболеваний.

В настоящее время проводятся работы по расширению функциональности разработанного комплекса и оценка возможностей его использования в ортопедии на базе Самарского государственного медицинского университета.

## ВЫВОДЫ

Полученные в ходе тестирования разработанного мультидисциплинарного комплекса информационной врачебных решений при лечении ишемической болезни сердца результаты дают основания, что цифровой продукт может быть востребован медицинским сообществом, что, в свою очередь, позволит сформировать запросы на дальнейшее развитие приложения по следующим направлениям:

- расширение результатов формирования врачебных назначений за счет обеспечения возможности рекомендаций вида «показания к медикаментозному лечению» и «врачебное вмешательство не рекомендовано, показаны физические методы лечения»;
- подготовка полного перечня, рассчитанного математическими методами, значимых характеристик при выборе метода лечения для последующего анализа и выявления закономерностей в целях расширения медицинского знания на более глубоком уровне;
- проведение значительного количества аprobаций системы научным сообществом как для повышения достоверности рассчитанных решений, так и для повышения уверенности практикующих врачей в результатах рекомендациях и перестроения технологического уклада при диагностике пациентов с ишемической болезнью сердца;
- расширение возможностей приложения за счет внедрения технологий искусственного интеллекта распознавания поврежденных сосудов при коронарографии.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gogayeva O. Comparison of the EuroSCORE I, EuroSCORE II and STS Scales in Cardiac Surgery of High-Risk Patients with Complicated Forms of CAD. Ukrainian journal of cardiovascular surgery. 2020; 3(40): 15-21.

2. Singh N., Gimpel D., Parkinson G. et al. Assessment of the EuroSCORE II in a New Zealand Tertiary Centre. *Heart, Lung and Circulation*. 2019; 28(11): 1670-1676. doi: 10.1016/j.hlc.2018.09.004.
3. Hatamnejad MR, Heydari AA, Salimi M, et al. The utility of SYNTAX score predictability by electrocardiogram parameters in patients with unstable angina. *BMC Cardiovasc Disord*. 2022; 22(8). doi: 10.1186/s12872-022-02455-6.
4. Minamisawa M, Miura T, Motoki H, et al. Prediction of 1-year clinical outcomes using the SYNTAX score in patients with prior heart failure undergoing percutaneous coronary intervention: sub-analysis of the SHINANO registry. *Heart Vessels*. 2017; 32(4): 399-407.
5. Modolo R, Collet C, Onuma Y, Serruys PW. SYNTAX II and SYNTAX III trials: what is the take home message for surgeons? *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2018; (4): 470-483. doi: 10.21037/acs.2018.07.02.
6. Nibber A, Ziada KM, Whayne TF. Predictive Value of the Logistic Clinical SYNTAX Score. *Angiology*. 2015; 66(8): 711-713. doi: 10.1177/000319714562244.
7. Самородская И.В., Чернявская Т.К., Какорина Е.П., Семенов В.Ю. Ишемические болезни сердца: анализ медицинских свидетельств о смерти // Российский кардиологический журнал. — 2022. — Т.27. — №1. — С.22-28. [Samorodskaya IV, Chernyavskaya TK, Kakorina EP, Semenov VYu. Ishemicheskie bolezni serdcza: analiz medicinskix svidetel'stv o smerti. Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. 2022; 27(1): 22-28. (In Russ.)]
8. Чернявская Т.К., Глезер М.Г. Клиническая характеристика и лечение амбулаторных пациентов с хронической сердечной недостаточностью в Московской области // Альманах клинической медицины. — 2021. — Т.49. — №2. — С.125-131. [Chernyavskaya TK, Glezer MG. Klinicheskaya kharakteristika i lecheniye ambulatornykh patsiyentov s khronicheskoy serdechnoy nedostatochnost'yu v Moskovskoy oblasti. Al'manakh klinicheskoy meditsiny. 2021; 49(2): 125-131. (In Russ.)]
9. Romiti S., Vinciguerra M., Saade W., Anso Cortajarena I., Greco E. Artificial Intelligence (AI) and Cardiovascular Diseases: an Unexpected Alliance. *Cardiology Research and Practice*. 2020; 2020: 1-8.
10. Zghyer F, Yadav S, Elshazly MB. Artificial Intelligence and Machine Learning. Precision Medicine in Cardiovascular Disease Prevention. 2021; 18: 133-148.
11. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. — 2017. — Т.6. — №3. — С.28-59. [Sozykin AV. Obzor metodov obucheniya glubokikh neyronnykh setey. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika. 2017; 6(3): 28-59. (In Russ.)]
12. Shaker M, Tantawi M, Shedeed A, Tolba F. Generalization of convolutional neural networks for ECG classification using generative adversarial networks. *IEEE Access*. 2020; 8: 35592-35605.

13. Голубев А.С., Звягин М.Ю., Прокошев В.Г., Рожков М.М. Особенности распознавания методом ближайшего элемента в алгоритмах вычисления оценок // Прикладная информатика. — 2013. — №1(43). — С.87-94. [Golubev AS, Zvyagin MYU, Prokoshev VG, Rozhkov MM. Osobennosti raspoznavaniya metodom blizhayshego elementa v algoritmakh vychisleniya otsenok. Prikladnaya informatika. 2013; 1(43): 87-94. (In Russ.)]
14. Журавлев Ю.И., Назаренко Г.И., Рязанов В.В., Клейменова Е.Б. Новый метод анализа риска развития ишемической болезни сердца с использованием геномных и компьютерных технологий // Кардиология. — 2011. — Т.51. — №2. — С.19-25. [Zhuravlev YUI, Nazarenko GI, Ryazanov VV, Kleymenova YeB. Novyy metod analiza riska razvitiya ishemicheskoy bolezni serdtsa s ispol'zovaniyem genomnykh i komp'yuternykh tekhnologiy. Kardiologiya. 2011; 51(2): 19-25. (In Russ.)]
15. Son C, Kim Y, Kim H, Park H, Kim M. Decision-making model for early diagnosis of congestive heart failure using rough set and decision tree approaches. Journal of Biomedical Informatics. 2012; 45: 999-1008.
16. Высоцкая Е.В., Беловод А.Н., Кириченко А.Н. Восстановление пропущенных значений параметров в таблицах биохимических анализов пациентов с псориазом // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. — 2010. — №21. — С.38-45. [Vysotskaya EV, Belovod AN, Kirichenko AN. Renewal of the skipped values of parameters in the tables of biochemical analyses of patients with psoriasis. Herald of the National Technical University «KhPI». Subject issue: Information Science and Modeling. 2010; 21: 38-45. (In Russ.)]
17. Lipton ZC, Kale D, Wetzel R. Directly modeling missing data in sequences with rnns: Improved classification of clinical time series. In Machine Learning for Healthcare Conference. 2016; 253-270.
18. Шафроненко А.Ю., Волкова В.В., Бодянский Е.В. Адаптивная кластеризация данных с пропущенными значениями // Радиоэлектроника, информатика, управление. — 2011. — №2(25). — С.115-119. [Shafronenko AYU, Volkova VV, Bodyanskiy YeV. Adaptivnaya klasterizatsiya dannykh s propushchennymi znacheniyami. Radioelektronika, informatika, upravleniye. 2011; 2(25): 115-119. (In Russ.)]
19. Астахова И.Ф., Киселева Е.И. Интеллектуальная поддержка принятия врачебных решений // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2020. — Т.16. — №3. — С.664-672. [Astakhova IF, Kiseleva EI. Intellektual'naya podderzhka prinyatiya vrachebnyx reshenij. Sovremenny'e informacionny'e tehnologii i IT-obrazovanie. 2020; 16(3): 664-672. (In Russ.)]
20. Sharma M, Savage C, Nair M, Larsson I, Svedberg P, Nygren JM. Artificial Intelligence Applications in Health Care Practice: Scoping Review. J Med Internet Res. 2022; 24(10): e40238.