

# «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ»

Сборник трудов  
Всероссийской  
научно-технической  
конференции  
(Ижевск, 23–24 мая 2024 г.)

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»

**«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ»**

Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции  
(Ижевск, 23–24 мая 2024 г.)



Издательство УИР ИзГТУ  
имени М. Т. Калашникова  
Ижевск 2024

**Редакционная коллегия**

**Губерт Александр Викторович**, председатель организационного комитета, канд. техн. наук, доц., и. о. ректора, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Копысов Андрей Николаевич**, зам. председателя, канд. техн. наук, доц., проректор по научной и инновационной деятельности, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Архипов Игорь Олегович**, зам. председателя, канд. техн. наук доц., декан факультета «Информационные технологии», отв. организатор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Архипова Елена Игоревна**, канд. пед. наук, доц., зав. кафедрой «Английский язык», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Вологдин Сергей Валентинович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Информационная безопасность», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Гитлин Валерий Борисович**, д-р техн. наук, проф., ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Горохов Максим Михайлович**, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой «Информационные системы», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Леонов Михаил Витальевич**, д-р экон. наук, доц., зав. кафедрой «Программное обеспечение», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Миловзоров Георгий Владимирович**, д-р техн. наук, проф., директор Сарапульского политехнического института (филиала ИжГТУ имени М. Т. Калашникова)

**Макроусов Максим Николаевич**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Молин Сергей Михайлович**, канд. техн. наук, доц., руководитель Физико-технического института, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (УдмФИЦ УрО РАН) (Ижевск)

**Моченов Станислав Васильевич**, канд. техн. наук, проф., ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Петухов Константин Юрьевич**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Вычислительная техника», ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Пронин Сергей Петрович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Информационные технологии», Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова (Барнаул)

**Файзрахманов Рустам Абубакирович**, д-р экон. наук, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Информационные технологии и автоматизированные системы», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь)

**Шелковников Евгений Юрьевич**, д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией, Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Ижевск)

**Шелковников Юрий Константинович**, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., Удмуртский Федеральный Исследовательский центр УрО РАН (Ижевск)

**Ясовеев Васик Хаматович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Электронная инженерия», Уфимский государственный авиационный технический университет (Уфа)

*Т. Ю. Мерзлякова*, ответственный секретарь

**«Информационные технологии в науке, промышленности и образовании»** : сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции (Ижевск, 23–24 мая 2024 г.) / отв. ред. К. Ю. Петухов. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024. – 466 с. – 17,1 МБ (PDF). – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7526-1051-6

Сборник составлен из работ студентов, аспирантов, преподавателей и сотрудников вузов России и институтов РАН, отражающих результаты исследований в области применения информационных технологий в системах различного назначения. Издание адресовано студентам, преподавателям и инженерам в области информационных технологий.

УДК 621.396.6.001

ISBN 978-5-7526-1051-6

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024  
© Оформление. Издательство УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е. А. Вахрушева.</i> Кафедре «Вычислительная техника» 65 лет .....	6
<b>Раздел 1. Интеллектуальные информационные технологии</b>	
<i>А. Т. Akkuzin, I. O. Arkhipov, M. O. Elancev, V. S. Zaharov.</i> Development of a method for segmenting an aerial photograph by texture features to classify special points of the image .....	27
<i>Д. П. Аляшев.</i> Разработка подсистемы управления интеллектуальной системы визуального контроля .....	32
<i>А. О. Бизяева, М. О. Еланцев.</i> Обзор моделей обнаружения и классификации объектов на изображении в задаче поиска видео по содержимому .....	36
<i>М. В. Боднар.</i> Подсистема поиска дефектов с использованием нейронной сети для интеллектуальной системы визуального контроля .....	41
<i>Е. Д. Бойко, М. М. Горохов.</i> QR-коды в системе инвентаризации и учета предприятия на примере организации нефтегазовой отрасли .....	46
<i>К. G. Bulatova, M. D. Kaysina, S. V. Vologdin.</i> ECM and ERP – components of a corporate information system .....	52
<i>А. С. Варламов, О. Л. Макарова.</i> Проблемы распознавания старославянских манускриптов .....	57
<i>Д. Ю. Варов.</i> Разработка системы для изучения японского языка .....	62
<i>К. О. Голиков, М. С. Брычкина.</i> Разработка системы подсчёта и отслеживания людей на видеозаписи с использованием нейронной сети .....	67
<i>Г. В. Гренкин, К. И. Шахгельдян.</i> Учет сочетаний факторов риска в модели прогнозирования внутригоспитальной летальности .....	72
<i>А. О. Гуркина, Н. А. Иванова, О. В. Кубанских.</i> Технологии преобразования изображений с помощью нейронных сетей .....	78
<i>D. A. Devyatov.</i> Application of neural networks in the design of mechanisms .....	84
<i>А. М. Емельянов.</i> Использование метода анализа оптического потока Фарнебака для автоматизации создания датасета паттернов движения и обучения нейронной сети в контексте распознавания движений на видеозаписях, с анализом других методов анализа видеопотока .....	89
<i>А. Г. Злобина, Е. А. Рублева, И. В. Журбин.</i> Способ корректировки искажений снимков тепловизионной аэрофотосъемки, вызванных температурным дрейфом камеры .....	93
<i>Т. Г. Злобина.</i> Информационный потенциал отражательной способности земной поверхности в оценке состояния природной среды .....	97
<i>М. С. Зюляев, М. О. Еланцев.</i> Сравнительный обзор моделей нейронных сетей для распознавания речи в задаче поиска видеоматериалов на основе их содержания .....	102
<i>Д. В. Ившин.</i> Подсистема обработки изображений для нейронной сети в интеллектуальной системе визуального контроля .....	106
<i>Т. В. Климанова.</i> Риски применения алгоритмов искусственного интеллекта в сфере государственных закупок .....	110
<i>А. К. Конычев.</i> Оптимизация асинхронного кода веб-приложений на основе использования событийного цикла браузеров .....	114
<i>А. А. Красильников.</i> Разработка новостного блога на платформе IOS .....	122
<i>D. N. Krylova,</i> Analysis of the advantages and limitations of using digital doubles to account for work in progress at the enterprise .....	128
<i>К. А. Куликов.</i> Проблемы управления зависимостями в программном обеспечении и способы их решения .....	132
<i>П. М. Кургузкин, Г. А. Благодатский, М. М. Горохов.</i> Структура и возможности информационно-аналитической системы оценки экологического состояния природно-технических систем .....	136
<i>П. П. Лугачев, Е. В. Шулакова.</i> Методика планирования с применением статистики, влияния факторов, путеводаителя по семантике определений принятия решений в стратегиях .....	140
<i>П. П. Лугачев, Е. В. Шулакова.</i> Методики планирования и принятия решений на основе мониторинга, статистики, влияния факторов, путеводаителя, их применение в создаваемом и стандартном программном обеспечении .....	146
<i>А. М. Мазитов, А. Г. Русских.</i> Оптимизация потребления памяти при изменении массива в PHP .....	150
<i>А. А. Макаров, К. С. Чернышев.</i> Обзор методов искусственного интеллекта для решения задачи классификации .....	155

<i>Н. С. Малышев, М. Н. Мокроусов.</i> Автоматизированный учет посещаемости занятий студентами и преподавателями с применением QR-кодов .....	159
<i>А. А. Миронов, М. М. Горохов.</i> Системный подход на основе ERP к комплексной автоматизации учебного процесса в образовательном учреждении высшего образования .....	165
<i>М. Р. Монасыпов, М. С. Брычкина.</i> Прогноз электропотребления энергии в электросетевом комплексе методами искусственного интеллекта.....	172
<i>I. A. Nazarov, N. K. Perevozchikov, S. V. Vologdin.</i> Using the YOLOv5 neural network for wrist-based identity identification .....	179
<i>D. A. Nikitin.</i> Classification of scientific articles by CSCSTI using convolutional neural network.....	184
<i>Г. А Патрушев, О. Л. Макарова.</i> Разработка модуля системы документооборота на основе объектного хранилища для загрузки и скачивания файлов.....	189
<i>К. Ю. Петухов.</i> Некоторая статистика 62-й редакции списка Топ-500 наиболее производительных суперЭВМ мира.....	194
<i>Е. В. Потейчук, А. В. Тарутин.</i> Анализ текущего бизнес-процесса управления рекламными проектами в агентстве инфлюенсер-маркетинга .....	200
<i>D. V. Surnin.</i> Analysis of decision support systems (DSS) and the perspective of their application for the enterprise economy .....	204
<i>Г. М. Тулегенов, М. С. Брычкина.</i> Применение методов машинного обучения в медицинской диагностике .....	209
<i>Д. В. Целищев, М. С. Воробьев, Е. Н. Вахрушева, С. В. Вологдин.</i> Разработка программного прототипа оптимизации выпуска продукции машиностроительного предприятия в условиях неопределенности спроса .....	213
<i>Д. В. Целищев, А. В. Демышев, С. В. Вологдин.</i> Разработка программного модуля управления производственным планом выпуска продукции предприятия.....	221
<i>А. О. Чураков, М. В. Леонов.</i> Влияние на изменение организационной структуры и бизнес-процессов ИТ-подразделения при использовании подхода Cloud Native для разработки программного обеспечения .....	228
<i>Я. А. Шадрина.</i> Объяснимый искусственный интеллект в сфере медицины .....	234
<i>А. С. Шмыков.</i> Фондовый рынок как объект имитационного моделирования.....	239
<b>Раздел 2. Информационно-измерительные и управляющие системы</b>	
<i>В. В. Антоньян, А. Ю. Вдовин.</i> Разработка подсистемы получения метеорологических данных для стрелковой баллистической измерительной установки в закрытом тире .....	244
<i>И. А. Арасланов, В. А. Сидорина.</i> Возможность использования нейронной сети для обработки последовательности точек полигональной модели .....	249
<i>А. Ю. Шаимов, К. В. Черных, А. К. Черных, М. И. Владыкин, А. С. Коротков, А. С. Малькин.</i> Разработка плат с использованием репрограммируемых ПЛИС.....	258
<i>А. Ю. Шаимов, К. В. Черных, А. К. Черных, М. И. Владыкин, А. С. Коротков, А. С. Малькин.</i> Разработка программ с использованием технологии ПЛИС.....	266
<i>E. M. Ivshin, A. V. Korobeynikov.</i> Comparative review of the RSocket and STOMP protocols in information-measuring and control systems .....	273
<i>Д. Р. Касимов, И. С. Пономарёв, Р. Г. Соскин, К. М. Постников.</i> Реверс-инжиниринг программных систем, основанный на пользовательском опыте и графическом интерфейсе .....	279
<i>И. В. Князев, П. А. Ушаков.</i> Элементы с комплексным фрактальным импедансом на основе резистивно-емкостной среды со структурой слоев С-R-НС.....	286
<i>Н. И. Бушуев, А. А. Козлова, Г. А. Мкртчян, Д. Д. Насыров, П. С. Королев.</i> Обзор современных методов оценки надежности электронных модулей при проектировании .....	291
<i>Г. С. Пестерев, Е. М. Зайцева, М. З. Ахметзянов, Е. В. Кортаева.</i> Разработка и апробация прибора для контроля количества отжиманий с учетом требований центров тестирования комплекса ГТО.....	299
<i>Е. А. Podshivalova, R. A. Timirshin, A. Yu. Vdovin.</i> Shot cloud parameter estimation systems .....	307
<i>Д. Р. о. Угузов, В. А. Сидорина.</i> Использование искусственного интеллекта на промышленных предприятиях.....	311
<i>С. В. Умбетов, С. П. Пронин.</i> Анализ контрастной зависимости цветовых компонентов отраженного света от корродированной поверхности металлического трубопровода .....	314

### **Раздел 3. Информационная безопасность**

<i>Б. В. Апаков, А. Л. Харитонов.</i> Организация защищенного сетевого взаимодействия для безопасного обмена данными.....	318
<i>М. Н. Ахметов, С. Ж. Козлова.</i> Типовые объекты информационной безопасности в учреждениях дополнительного образования.....	326
<i>А. П. Ашихмин, А. К. Галиуллин, В. С. Кривоногов, Д. В. Ардашев.</i> Комплексное применение систем виртуализации, виртуальных частных сетей, межсетевых экранов и анализаторов трафика для обеспечения безопасности информационных систем.....	331
<i>П. Д. Баженов, Е. Н. Вахрушева.</i> К вопросу о выборе средств защиты информации от несанкционированного доступа.....	343
<i>Р. Р. Гафуров, Е. Ф. Стукалина.</i> Обеспечение защиты информации в условиях проведения импортозамещения.....	346
<i>А. Л. Железкова, Е. Ф. Стукалина.</i> Защита критической информационной инфраструктуры. Основные положения.....	354
<i>В. В. Зеленин, П. А. Кудашев.</i> Сбор и анализ: эффективная практика управления логами на основе программного обеспечения стека ELK.....	365
<i>А. А. Каринцев, Д. В. Ардашев.</i> Метод обнаружения сетевой стеганографии на основе вычисления информационной энтропии.....	370
<i>И. А. Касаткин.</i> Обзор системы безопасности стандарта промышленной связи Open Platform Communications Unified Architecture.....	375
<i>А. А. Кассирова, Р. Р. Шарипов.</i> Исследование уязвимостей протокола аутентификации SHAR.....	381
<i>С. П. Макаров, Р. Р. Шарипов.</i> Разработка программной реализации блочного алгоритма шифрования KASUMI.....	384
<i>В. О. Никитина.</i> Информационная война и кибервойна в современном мире.....	389
<i>Е. М. Петькун.</i> Тенденции развития SIEM-систем для критической инфраструктуры Российской Федерации.....	393
<i>М. А. Серебряков, Р. Р. Шарипов.</i> Методы утечки конфиденциальной информации по электрическим каналам.....	398
<i>М. Д. Старкова, Е. Ф. Стукалина.</i> Организация и подготовка к аттестации объекта информатизации с точки зрения жизненного цикла системы защиты информации.....	403
<i>О. С. Сумзина.</i> Информационная безопасность в сфере спорта и развлечений.....	410

### **Раздел 4. Цифровые образовательные технологии**

<i>А. Л. Белова.</i> Особенности дидактической организации занятия по иностранному языку в вузе с применением искусственного интеллекта.....	416
<i>В. Н. Бороз, С. А. Зырянова.</i> Формирование информационной среды в музыкальных школах Российской Федерации.....	420
<i>Д. А. Волкова, Е. В. Волменских, Т. Ю. Ретина.</i> Применение электронного курса «Иностранный язык» на платформе Moodle для студентов заочной и очно-заочной форм обучения.....	424
<i>А. С. Гуреева, Е. И. Архипова.</i> Применение технологических решений искусственного интеллекта в обучении иностранному языку в неязыковом вузе.....	431
<i>В. В. Девочкин.</i> Применение и создание тестов с помощью сервиса 4Exam.....	435
<i>М. Е. Дмитриев.</i> Опыт формирования цифровой компетентности преподавателей вузов в комбинированном формате профессионального повышения квалификации.....	440
<i>И. Д. Камкин, П. В. Стебнев, И. А. Седых.</i> Использование Manim при изучении математических и технических дисциплин.....	444
<i>Р. М. Kasimov, Yu. A. Shikhov.</i> Digital educational technologies based on the project method and professionally oriented physics assignments for students of technical specialties.....	448
<i>А. А. Попова, К. Д. Сомова.</i> Language applications as one of the tools to learn a foreign language at technical university.....	453
<i>А. Е. Серезкина.</i> Цифровые компетенции инженерных кадров.....	458
<i>К. А. Тимаков.</i> Применение элементов геймификации в образовательном процессе инженерных специальностей.....	462

Г. В. Гренкин, кандидат физико-математических наук, доцент  
К. И. Шахгельдян, доктор технических наук, доцент  
Владивостокский государственный университет

### Учет сочетаний факторов риска в модели прогнозирования внутригоспитальной летальности

*Работа посвящена построению метода для интерпретации модели машинного обучения, прогнозирующей риск смерти в результате оперативного вмешательства, на основе дихотомизации комбинаций предикторов. Предложен алгоритм настройки весов и порогов модели. Вместо традиционного подхода, использующего функцию потерь, параметры модели подбираются из условия максимума отношения шансов в выделяемой области.*

**Ключевые слова:** объяснимое машинное обучение, медицинское прогнозирование.

Применение моделей машинного обучения в клинической практике затрудняется при отсутствии свойства объяснимости у применяемых методов. Объяснимый искусственный интеллект позволяет понять причины принятия моделью того или иного решения. Среди методов, обеспечивающих интерпретируемость моделей машинного обучения, выделяют локальные методы, предоставляющие объяснение для индивидуальных наблюдений (метод локальной аппроксимации LIME, метод аддитивного объяснения Шепли), а также глобальные методы (например, метод глобальной аппроксимации), направленные на интерпретацию того, как модель работает в целом на всей выборке [1].

Используемый нами метод глобальной интерпретации заключается в том, чтобы дихотомизировать исходные данные с помощью специально подобранных пороговых значений, в результате чего получится модель, работающая на дихотомизированных предикторах. В такой модели вес при каждом бинарном признаке определяет важность выделяемого фактора риска. Для учета влияния сочетаний факторов риска мы построим модель с парными предикторами, которые представляют собой конъюнкции дихотомизированных признаков. Тем самым мы моделируем возможные ситуации, когда превышение одним признаком порогового значения создает условия для срабатывания другого фактора риска.

В работе [2] для нахождения пороговых значений применялся метод максимизации отношения шансов в области, выделяемой порогами. Другими словами, пороги подбирались так, чтобы максимизировать число истинно положительных случаев летальности (True Positive – TP) и при этом минимизировать число ложноположительных случаев (False Positive – FP). Основываясь на этом подходе, мы построим метод, работающий с многофакторной моделью машинного обучения, который подбирает пороги и веса поочередно для каждого признака. В модель с парными комбинациями предикторов будут по очереди включаться те пары признаков, добавление дихотомизированной комбинации которых в модель приведет к максимальному увеличению отношения шансов.

Предлагаемый метод проверялся на данных внутригоспитальной летальности у больных острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST после чрескожного коронарного вмешательства [3].

#### Описание метода

На рис. 2, 3 представлены блок-схемы алгоритмов нахождения весов и порогов для индивидуальных и парных признаков.

Сначала находятся индивидуальные пороги, которые вместе с дополнительными признаками будут составлять пару – сочетание факторов риска. Метод основан на последова-

тельном включении признаков в модель. Допустим, что в модели уже есть некоторое количество признаков, тогда можно найти значения решающей функции логистической регрессии для всех наблюдений. Для этого потребуется найти интерсепт из условия минимума логистической функции потерь. Отметим, что здесь функция потерь применяется только для настройки интерсепта при заданных весовых коэффициентах при признаках.

Оставим только точки, соответствующие наблюдениям со значениями решающей функции, не превосходящими заданного фиксированного порога отсечения  $p_0$ . Остальные точки уже относятся моделью к классу «1», так что добавление нового признака с положительным весом на них не повлияет. Рассмотрим выбранные точки в двух координатах (рис. 1): по оси абсцисс отложим значения нового признака, включаемого в модель, а по оси ординат – значения логита решающей функции. Тогда, если выделить прямоугольник, верхняя сторона которого имеет ординату  $\sigma^{-1}(p_0)$ , левая сторона имеет абсциссу  $a_i$  (значение порога), а высота равна  $w_i$  (значение весового коэффициента), то после дихотомизации  $i$ -го признака с порогом  $a_i$  и включения его в модель с весом  $w_i$  все точки, попавшие в этот прямоугольник, которые ранее относились моделью к классу «0», будут отнесены к классу «1». Остается так выбрать координаты прямоугольника, чтобы отношение числа точек, попавших в прямоугольник и относящихся к реальному классу «1», к числу точек в прямоугольнике, относящихся к реальному классу «0» (то есть отношение шансов TP/FP) было как можно больше. Описанная процедура многократно повторяется и используется для покоординатной настройки весов и порогов.

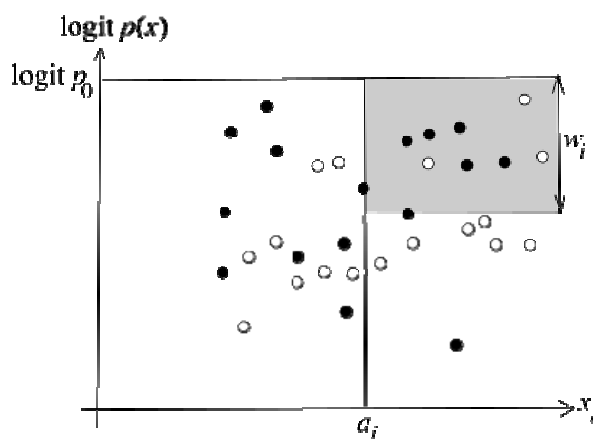


Рис. 1. Прямоугольник с максимумом отношения шансов (число черных точек, отнесенное к числу белых, в закрашенной области)

Для настройки интерсепта применяется минимизация логистической функции потерь с помощью алгоритма BFGS, встроенного в пакет `scipy.optimize`.

Для быстрого вычисления оптимального прямоугольника, содержащего максимум «1» и минимум «0», используем алгоритм, который обращается к структуре данных сбалансированного дерева порядковых статистик, реализованной в классе `SortedList` из библиотеки `sortedcontainers`. Сначала все точки упорядочиваются по убыванию ординат. Затем используется два упорядоченных списка, в один из которых добавляются абсциссы всех точек, а в другой – только абсциссы «1». Таким образом, для каждой очередной «1» мы можем быстро найти количество «1» и «0» не левее этой точки. Заметим, что оптимальные границы искомого прямоугольника проходят через точки класса «1». Поэтому так мы переберем все интересующие координаты. Сложность алгоритма составит  $O((n + m^2) \log n)$ , где  $n$  – число точек,  $m$  – число «1».

Чтобы найти пары признаков вместе с весами и порогами, которые будут включены в нашу модель машинного обучения, применим аналогичный метод. Число парных признаков  $K$  является заданным. На каждой итерации алгоритма производится поиск оптимальной пары признаков, еще не включенной в модель, которая обеспечит максимум отношения шан-



сов в прямоугольнике, построенном в следующих осях: по абсциссе откладывается дополнительный признак, добавляемый к базовому, порог для которого найден, по ординате откладываются значения решающей функции логистической регрессии. Новым парным дихотомизированным признаком становится конъюнкция базового индивидуального признака, дихотомизированного с соответствующим индивидуальным порогом, и дополнительного признака, дихотомизированного с новым вычисленным порогом. После включения нового парного признака в модель производим по координатную донастройку весов и порогов всех парных признаков модели.

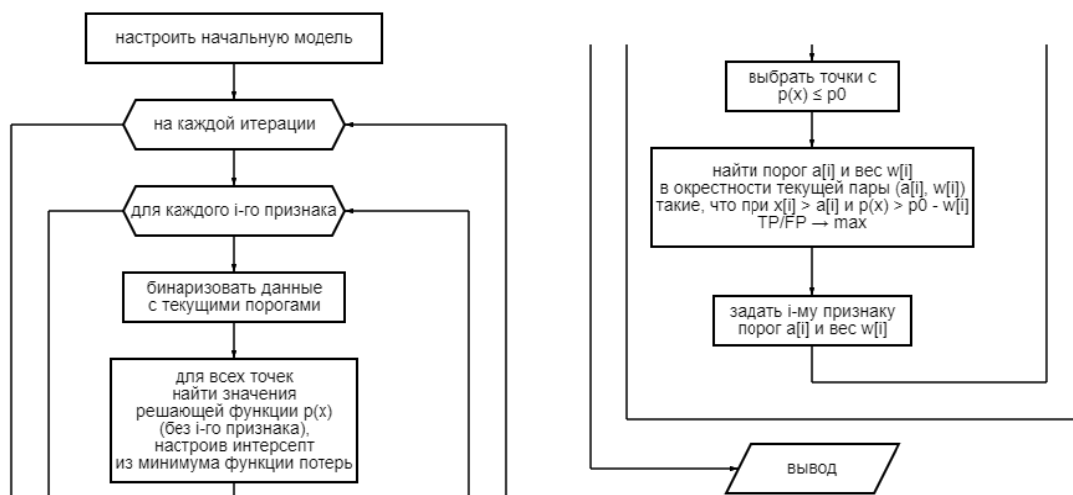


Рис. 2. Алгоритм нахождения весов и порогов для индивидуальных признаков

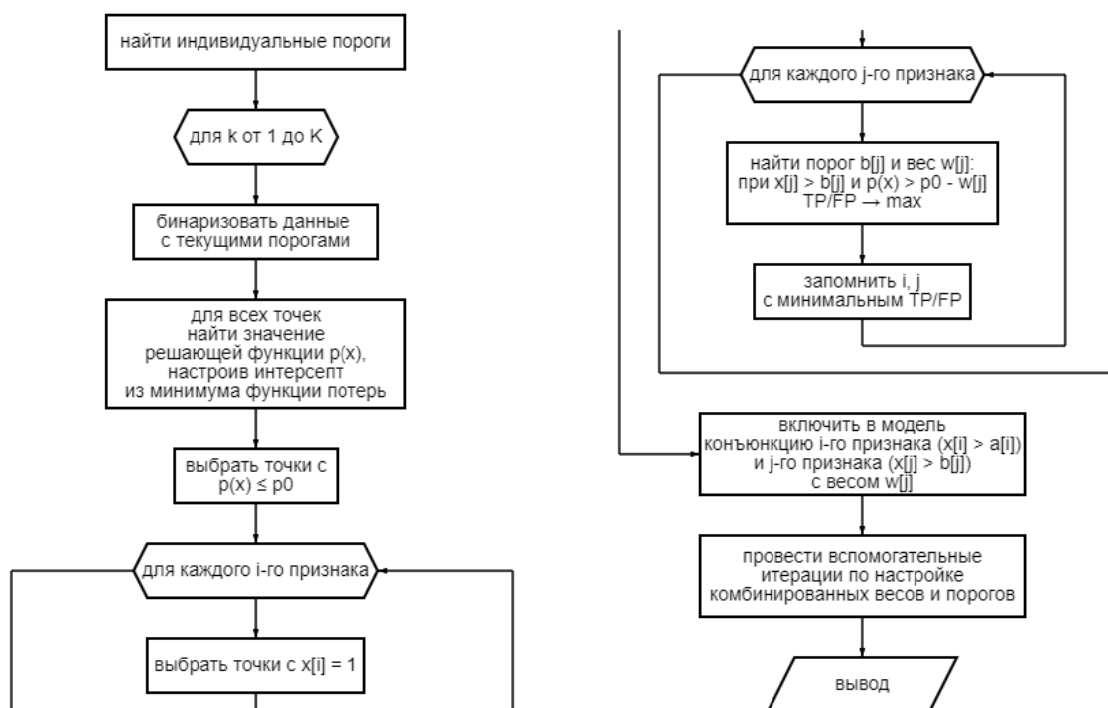


Рис. 3. Алгоритм нахождения весов и порогов для парных признаков

## Результаты

Выборка включала 3639 наблюдений, из которых 133 со смертельным исходом.

Используемые предикторы:

- Age – возраст;

- HR – частота сердечных сокращений;
- Killip class – класс острой сердечной недостаточности по T.Killip;
- Cr – креатинин;
- EF LV – фракции выброса левого желудочка по методу Тейхольца;
- NEUT – нейтрофилы;
- EOS – эозинофилы;
- PCT – тромбокрит;
- Glu – глюкоза;
- SBP – систолическое артериальное давление.

Данные подвергались Z-нормализации.

В табл. 1, 2 представлен пример параметров модели, настроенной по представленному алгоритму. Принято  $p_0 = 0.04$ ,  $K = 30$ .

На этом примере разделения выборки на обучающую и тестовую достигнуто значение AUC 0.873, Sen 0.814, Spec 0.815 при указанных в таблицах порогах и весовых коэффициентах. Если извлечь пороговые значения и бинаризовать данные, а затем обучить модель логистической регрессии (веса при этом станут другими), то будет достигнуто AUC 0.869, Sen 0.777, Spec 0.853 у модели с индивидуальными предикторами и AUC 0.857, Sen 0.740, Spec 0.885 у модели с комбинированными предикторами, при этом логистическая регрессия, обученная на непрерывных данных, дает значение AUC 0.914.

**Таблица 1. Пороговые значения и весовые коэффициенты для индивидуальных предикторов**

Предиктор	Пороговая область	Весовой коэффициент
Age	$\geq 75.0$	0.019
HR	$\geq 90.0$	0.019
Killip class	$\geq 2.0$	0.005
Cr	$\geq 123.67$	0.019
EF LV	$\leq 44.0$	0.069
NEUT	$\geq 92.1$	0.047
EOS	$\leq 0.1$	0.003
PCT	$\geq 0.37$	0.108
Glu	$\geq 6.75$	0.003
SBP	$\leq 79.0$	0.045

**Таблица 2. Пороговые значения и весовые коэффициенты для парных предикторов с указанием истинно и ложно классифицированных наблюдений в выделенной каждым предиктором области, а также индекса Джини**

Базовый предиктор	Дополнительный предиктор	Весовой коэффициент	TP	FP	Gini
Age $\geq 75.0$	HR $\geq 67.0$	8.40	36	340	0.211
Age $\geq 75.0$	EF LV $\leq 30.0$	16.1	8	9	0.070
Age $\geq 75.0$	NEUT $\geq 81.2$	6.62	26	95	0.104
HR $\geq 90.0$	SBP $\leq 100.0$	5.51	24	37	0.077
EF LV $\leq 44.0$	NEUT $\geq 66.6$	0.	47	247	0.166
SBP $\leq 79.0$	EF LV $\leq 52.0$	21.0	11	14	0.071
EOS $\leq 0.1$	Cr $\geq 172.8$	5.37	32	41	0.074
Killip class $\geq 2.0$	Glu $\geq 3.96$	0.023	99	1278	0.461
Glu $\geq 6.75$	NEUT $\geq 91.8$	34.2	5	11	0.073
Killip class $\geq 2.0$	HR $\geq 92.0$	3.77	47	196	0.142
PCT $\geq 0.37$	EF LV $\leq 50.0$	13.8	8	33	0.083
Killip class $\geq 2.0$	PCT $\geq 0.34$	12.1	13	66	0.097
EOS $\leq 0.1$	EF LV $\leq 30.0$	12.4	15	21	0.073
Glu $\geq 6.75$	Killip class $\geq 2.0$	4.45	69	446	0.241
Cr $\geq 123.67$	PCT $\geq 0.24$	0.363	35	174	0.138

Базовый предиктор	Дополнительный предиктор	Весовой коэффициент	TP	FP	Gini
EF LV $\leq$ 44.0	Cr $\geq$ 141.6	1.69	23	65	0.091
Glu $\geq$ 6.75	EOS $\leq$ 0.5	1.26	79	526	0.267
Cr $\geq$ 123.67	HR $\geq$ 92.0	4.78	31	94	0.101
Age $\geq$ 75.0	SBP $\leq$ 130.0	7.06	31	230	0.165
Cr $\geq$ 123.67	Age $\geq$ 64.0	1.57	58	379	0.218
Glu $\geq$ 6.75	Cr $\geq$ 263.85	37.8	9	12	0.071
Killip class $\geq$ 2.0	Cr $\geq$ 140.55	3.55	49	190	0.139
HR $\geq$ 90.0	Killip class $\geq$ 3.0	8.53	41	110	0.104
Killip class $\geq$ 2.0	EF LV $\leq$ 30.0	6.04	17	28	0.076
EOS $\leq$ 0.1	SBP $\leq$ 85.0	10.2	18	32	0.077
HR $\geq$ 90.0	Glu $\geq$ 13.5	21.7	12	24	0.076
Cr $\geq$ 123.67	SBP $\leq$ 80.0	1.76	17	30	0.077
Cr $\geq$ 123.67	Killip class $\geq$ 3.0	2.03	50	177	0.132
Glu $\geq$ 6.75	PCT $\geq$ 0.26	9.68	38	234	0.164
Cr $\geq$ 123.67	Glu $\geq$ 7.74	5.40	44	142	0.118

Для проведения верификации предлагаемого метода рассмотрим следующие модели (табл. 3):

1. Модель с непрерывными признаками.
2. Модель с дихотомизированными индивидуальными признаками.
3. Модель с дихотомизированными парными признаками (без индивидуальных).

Во всех трех случаях используем модель логистической регрессии из пакета scikit-learn. Для моделей 2 и 3 модель обучалась на дихотомизированных с найденными порогами данных.

**Таблица 3. Метрики качества моделей (порог отсечения 0.04, число комбинированных признаков 30)**

Модель	AUC	Sensitivity	Specificity
1	0.894 (0.883–0.904)	0.804 (0.778–0.830)	0.854 (0.849–0.859)
2	0.860 (0.847–0.872)	0.740 (0.710–0.769)	0.837 (0.829–0.845)
3	0.859 (0.845–0.872)	0.682 (0.648–0.716)	0.879 (0.873–0.886)

Исходный код программной реализации доступен по ссылке <https://github.com/lap-kin25/XAI-Model>.

*Исследование поддержано проектом Российского научного фонда (РНФ) №. 23-21-00250.*

#### Список использованных источников и литературы

1. Molnar, C. Interpretable machine learning: a guide for making black box models explainable. – URL: <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/> (дата обращения: 21.03.2024).
- 2.. Фенотипирование факторов риска и прогнозирование внутригоспитальной летальности у больных ишемической болезнью сердца после коронарного шунтирования на основе методов объяснимого искусственного интеллекта / Б. И. Гельцер, К. И. Шахгельдян, В.Ю. Рублев, И. Г. Домжалов, М. М. Циванюк, О. И. Шекунова // Российский кардиологический журнал. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 85–93.
3. Прогнозирование внутригоспитальной летальности у больных острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST после чрескожного коронарного вмешательства / Б. И. Гельцер, К. И. Шах-

гельдян, И. Г. Домжалов, Н. С. Куксин, Е. А. Кокарев, В. Н. Котельников, В. Ю. Рублев // Российский кардиологический журнал. – 2023. – Т. 28, № 6. – С. 31–39.

*G. V. Grenkin*, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor  
*K. I. Shakhgeldyan*, DSc in Engineering, Associate Professor  
Vladivostok State University

### **Consideration of risk factors combinations in the model of interhospital mortality**

*The work is devoted to the construction of a method for interpreting a machine learning model that predicts the risk of death as a result of surgery, based on the dichotomization of combinations of predictors. An algorithm for adjusting the weights and thresholds of the model is proposed. Instead of the traditional approach using the loss function, the model parameters are selected from the condition of the maximum odds ratio in the selected area.*

**Keywords:** interpretable machine learning, clinical prediction.